

**UNIVERSIDAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA  
UTEC**

**Carrera de Ingeniería Industrial**



**Mejora de la eficiencia global de los equipos en  
líneas de envasado usando metodología TPM en  
industria de productos lácteos**

Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Industrial

**Jean Carlos Inga Samaniego**

**Código 201310026**

**Asesor**

José Larco

Lima – Perú

Diciembre 2017

La tesis

**Mejora de la eficiencia global de los equipos en líneas de envasado usando metodología TPM en industria de productos lácteos.**

Ha sido aprobada

-----

[Nombres y apellidos del Presidente de Jurado]

-----

[Nombres y apellidos del Asesor de la tesis]

-----

[Nombres y apellidos del Tercer jurado]

*Dedicatoria:*

XX  
XX  
XX  
XX  
XX  
XX

*Agradecimientos:*

***A Dios.***

*Por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.*

***A mis padres Cecilia y Juan.***

*Por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, su hermosa crianza y amor incondicional que me ha permitido ser una persona de bien.*

***A mis maestros.***

*PhD. José Larco por su gran apoyo y motivación para la culminación de nuestros estudios profesionales y para la elaboración de esta tesis.*

***A mis amigos.***

*Que me apoyaron en situaciones clave para poder realizar este trabajo y que hasta ahora seguimos siendo amigos: Daner Villegas, Sheila Ybañez, Cristopher Ramírez y Orlando Díaz.*

## **GLOSARIO**

CIP – Cleaning In Place.  
E&E – Educación y entrenamiento.  
EBITDA – Earnings Before Interest, Taxes, Depreciation, and Amortization.  
EGE – Eficiencia Global de los Equipos.  
FMEA – Failure Mode and Effect Analysis.  
GT – Gestión Temprana.  
JIPM – Japanese Institute of Plant Maintenances.  
LILA – Limpieza, inspección, lubricación y ajuste.  
MA – Mantenimiento autónomo.  
MAA – Mantenimiento áreas administrativas.  
MbC – Mantenimiento basado en la condición.  
MC – Mantenimiento de la calidad.  
McC – Mantenimiento centrado en la confiabilidad.  
MCo – Mantenimiento correctivo.  
MdA – Mantenimiento de averías.  
ME – Mejora enfocada.  
MP – Mantenimiento planeado.  
MPa – Mantenimiento proactivo.  
MPd – Mantenimiento predictivo.  
MPv – Mantenimiento preventivo.  
OEE – Overall Equipment Efficiency.  
OPL – One Point Lesson.  
QA – Quality Assurance.  
SENATI – Servicio Nacional de Adiestramiento en Trabajo Industrial.  
SSMA – Seguridad, salud y medio ambiente.  
TQM – Total Quality Management.  
UHT – Ultra High Temperature.

# TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
<b>Capítulo 1 – Introducción .....</b>	<b>13</b>
1.1. Problema .....	13
1.2. Justificación de problema.....	14
1.3. Pregunta de investigación.....	16
1.4. Alcances de la investigación .....	16
<b>Capítulo 2 – Marco teórico .....</b>	<b>19</b>
2.1. Mantenimiento de equipos .....	19
2.2. Técnicas de mantenimiento.....	20
2.2.1. Mantenimiento de averías (MdA) o Mantenimiento correctivo (MCo).....	20
2.2.2. Mantenimiento preventivo (MPv).....	20
2.2.3. Mantenimiento basado en la condición (MbC) o mantenimiento predictivo (MPd).....	21
2.2.4. Mantenimiento proactivo (MPa) .....	21
2.2.5. Mantenimiento centrado en la confiabilidad (McC) .....	21
2.2.6. Sistema de gestión de mantenimiento computarizado.....	22
2.3. Total Productive Maintenance (TPM).....	22
2.3.1. Objetivos de TPM .....	24
2.3.2. Beneficios de TPM.....	25
2.3.3. Pilares de TPM.....	26
2.3.3.1. Pilar de mantenimiento autónomo (MA).....	26
2.3.3.2. Pilar de mantenimiento planeado (MP).....	28
2.3.3.3. Pilar de mantenimiento de la calidad (MC).....	30
2.3.3.4. Pilar de mejora enfocada (ME) .....	31
2.3.3.5. Pilar de educación y entrenamiento (E&E).....	32
2.3.3.6. Pilar de seguridad, salud y medio ambiente (SSMA).....	34
2.3.3.7. Pilar de gestión temprana (GT) .....	35
2.3.3.8. Pilar de mantenimiento en áreas administrativas (MAA) .....	36
2.3.4. Eficiencia global de los equipos (OEE) .....	37
2.3.4.1. Las ocho mayores pérdidas .....	37

2.3.4.2.	Componentes de OEE .....	40
2.3.5.	Barreras en la implementación .....	42
2.3.6.	Factores de éxito.....	46
2.3.7.	Casos de estudio .....	50
2.3.7.1.	Casos de estudio en Perú.....	52
<b>Capítulo 3 – Descripción de la empresa.....</b>		<b>53</b>
3.1.	Sobre la empresa .....	55
3.2.	Principales clientes .....	56
3.3.	Organización general.....	57
3.4.	Descripción de productos relevantes .....	60
3.5.	Descripción de procesos.....	60
3.5.1.	Capacidad productiva .....	61
3.5.2.	Indicadores de gestión relevantes.....	61
3.5.3.	Secuencia de procesos .....	62
3.5.4.	Organización en las líneas de producción .....	67
3.6.	Diagnóstico de OEE en líneas piloto.....	69
<b>Capítulo 4 – Metodología de investigación.....</b>		<b>73</b>
4.1.	Variables y escalas de medición.....	74
4.2.	Método de intervención.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
4.3.	Diseño de método de intervención .....	75
4.3.1.	Reuniones diarias .....	75
4.3.2.	Pilar de mantenimiento autónomo (MA).....	76
4.3.2.1.	Eliminar desechos y suciedad de la máquina .....	76
4.3.2.2.	Identificación y eliminación de problemas .....	77
4.3.2.3.	Elaboración de estándares e inspecciones .....	77
4.3.2.4.	Plan de auditorías .....	78
4.3.3.	Pilar de educación y entrenamiento.....	78
4.3.3.1.	Sistema de gestión diario.....	79
4.3.3.2.	Habilidades blandas.....	80
4.3.3.3.	Habilidades técnicas .....	81

4.4.	Método de recolección de datos .....	82
4.5.	Métodos de análisis de datos .....	82
4.5.1.	T-Student.....	82
4.5.2.	Mann-Whitney .....	82
4.5.3.	Análisis de paradas.....	83
<b>Capítulo 5 – Resultados.....</b>		<b>84</b>
5.1.	Línea base y resultado general .....	84
5.2.	OEE durante intervención .....	85
5.3.	Comparación entre índices de OEE .....	91
5.3.1.	Disponibilidad .....	91
5.3.1.1.	Escenario alternativo .....	94
5.3.2.	Rendimiento .....	96
5.3.3.	Calidad .....	99
5.4.	Cantidad y causas de paradas antes y después de intervención.....	100
<b>Capítulo 6 – Conclusiones.....</b>		<b>106</b>
<b>Bibliografía.....</b>		<b>108</b>
<b>Anexos.....</b>		<b>116</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Definiciones de TPM según diversos autores. ....	23
Tabla 2.2. Las 8 pérdidas principales en plantas de producción. ....	39
Tabla 2.3. Barreras encontradas en la implementación de TPM. ....	44
Tabla 2.4. Factores de éxito en la implementación de TPM. ....	47
Tabla 2.5. Evaluación de factores de éxito considerando empresa en estudio. ....	50
Tabla 2.6. Clasificación de factores de éxito. ....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Tabla 2.7. Casos de estudio. ....	51
Tabla 3.1. Distribución de trabajadores según localización. ....	58
Tabla 3.2. Distribución de tiempos en líneas Nano 2 y Nano 3 en los últimos meses. ....	71
Tabla 3.3. Ranking de paradas en líneas Nano 2 y Nano 3. ....	72
Tabla 5.1. Registro de eventos importantes durante la intervención. ....	87
Tabla 5.2. P-Value obtenido para distintos valores E (Factor Rendimiento). ....	98
Tabla 5.3. Comparación de distribución de tiempos entre la línea base y después de intervención (Nano 2 y Nano 3) .....	101
Tabla 5.4. Comparación de tiempos de paradas antes y después de intervención en Línea Nano 2. ....	103
Tabla 5.5. Comparación de tiempos de paradas antes y después de intervención en Línea Nano 3. ....	104

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Ventas perdidas desde octubre (2016) hasta abril (2017). .....	13
Figura 1.2. Relación e influencia de OEE sobre factores operacionales y empresariales [2, 3]. .....	15
Figura 2.1. Pasos de pilar de mantenimiento autónomo [12]. .....	27
Figura 2.2. Pasos de pilar de mantenimiento planeado [12]. .....	29
Figura 2.3. Pasos de pilar de mantenimiento de la calidad [12]. .....	30
Figura 2.4. Pasos de pilar de mejora enfocada [12]. .....	32
Figura 2.5. Pasos de pilar de educación y entrenamiento [12]. .....	33
Figura 2.6. Pasos de pilar de seguridad, salud y medio ambiente [12]. .....	34
Figura 2.7. Pasos de pilar de gestión temprana [12]. .....	35
Figura 2.8. Pilar de mantenimiento en áreas administrativas [12]. .....	36
Figura 2.9. Estructura de pérdidas [12]. .....	38
Figura 2.10. Cálculo y estructura de OEE [12]. .....	40
Figura 3.1. EBITDA en los últimos 5 años. ....	55
Figura 3.2. Principales provincias según volumen de ventas. ....	56
Figura 3.3. Principales clientes según volumen de ventas. ....	57
Figura 3.4. Organización general. ....	57
Figura 3.5. Organigrama de la gerencia de producción. ....	59
Figura 3.6. Producto Mix. ....	60
Figura 3.7. Diagrama de actividades del proceso de fabricación de productos Mix (1). ....	65
Figura 3.8. Diagrama de actividades del proceso de fabricación de productos Mix (2). ....	66
Figura 3.9. Layout de área de envasado y ubicación de operarios. ....	68

Figura 3.10. OEE observado en los últimos 6 meses en líneas Nano 2 y 3. ....	69
Figura 3.11. Factores disponibilidad, rendimiento y calidad en línea Nano 2 en los últimos meses. ....	69
Figura 3.12. Factores disponibilidad, rendimiento y calidad en línea Nano 3 en los últimos meses. ....	70
Figura 4.1. Método de intervención.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Figura 4.2. Estructura de reunión diaria. ....	75
Figura 5.1. Resultados en términos de OEE en líneas Nano 2 y Nano 3. .	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Figura 5.2. OEE vs metodología de intervención (Los cuadros verdes representan la semana que se realizó la acción).....	89
Figura 5.3. Diagrama de cajas de OEE Semanal en línea Nano 2.....	90
Figura 5.4. Diagrama de cajas de OEE Semanal en línea Nano 3.....	90
Figura 5.5. Diagrama de cajas de Disponibilidad Semanal en línea Nano 2.....	93
Figura 5.6. Diagrama de cajas de Disponibilidad Semanal en línea Nano 3.....	93
Figura 5.7. Comparación de disponibilidad Real vs Simulación, Línea Nano 2 (a) y Línea Nano 3 (b).....	95
Figura 5.8. Diagrama de cajas de Rendimiento Semanal en línea Nano 2.....	97
Figura 5.9. Diagrama de cajas de Rendimiento Semanal en línea Nano 3.....	97
Figura 5.10. Factores Disponibilidad, Rendimiento y Calidad durante los meses octubre 2016 y octubre 2017, línea Nano 2 (a) y línea Nano 3 (b). ....	100
Figura 5.11. Variación de distribución de tiempos en líneas Nano 2 y Nano 3 (Antes y después de intervención).....	102

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Distribución de clientes según provincias.....	116
Anexo 2. Estructura de tablero de reuniones diarias. ....	117
Anexo 3. Problemas hallados en intervenciones de máquinas. Se describe el problema y la acción correctiva.....	118
Anexo 4. Problemas hallados en intervenciones de máquinas (Fotos referenciales). ....	119
Anexo 5. Estándar de limpieza, inspección, lubricación y ajuste.....	120
Anexo 6. Formato de auditorías de mantenimiento autónomo.....	121
Anexo 7. Índice de taller de desarrollo de la inteligencia emocional.....	122
Anexo 8. Índice de taller de liderazgo y trabajo en equipo. ....	123
Anexo 9. Formato de cálculo de OEE (Parte 1). Se señalan las áreas A-D. ....	124
Anexo 10. Formato de cálculo de OEE (Parte 2). Se señalan las áreas E-I. ....	125
Anexo 11. Explicación de componentes de formato (Cálculo de OEE). ....	126
Anexo 12. Estudios para determinar aplicación de herramienta T-Student considerando OEE semanal. ....	126
Anexo 13. Estudios para determinar aplicación de herramienta T-Student considerando disponibilidad semanal. ....	127
Anexo 14. Estudios para determinar aplicación de herramienta T-Student considerando disponibilidad simulada semanal.....	127
Anexo 15. Estudios para determinar aplicación de herramienta T-Student considerando rendimiento semanal.....	127

# Capítulo 1 – Introducción

## 1.1. Problema

Ternerito es una empresa peruana dedicada al sector de consumo masivo, ésta cuenta con varias plantas de producción, en cada una de ellas se cuenta con productos estrella dentro de su portafolio, este es el caso de los productos Mix (envases personales de yogurt con cereal), cuya demanda ha venido creciendo en los últimos periodos. La familia Mix solo es producida en 2 líneas de envasado (Nano 2 y Nano 3), donde se viene notando variaciones constantes en la Eficiencia Global de los Equipos (EGE) u Overall Equipment Efficiency (OEE), tendiendo a tener resultados por debajo del 60% en promedio en los periodos octubre 2016 - abril 2017<sup>1</sup>. Asimismo, considerando el faltante de producto en el punto de venta, se puede estimar que el acumulado de ventas perdidas en los últimos 6 meses en la familia Mix, ascienden al valor de casi S/. 500,000<sup>2</sup>, la Figura 1.1 describe los resultados mencionados.

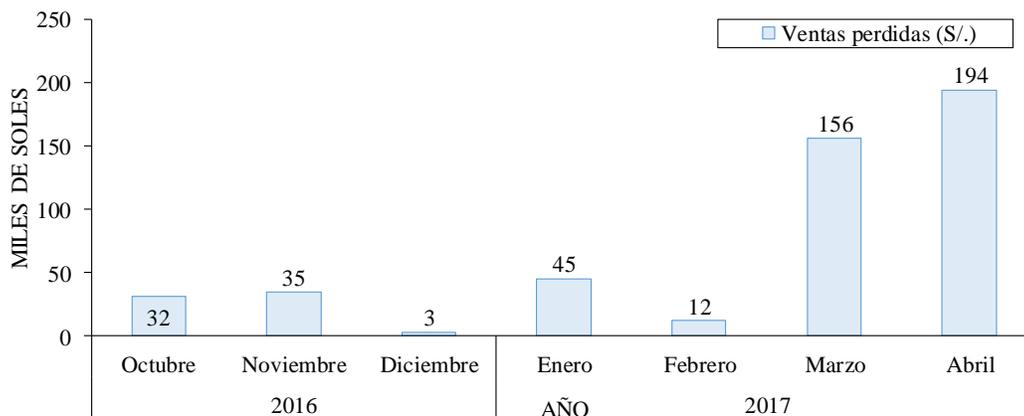


Figura 1.1. Ventas perdidas desde octubre (2016) hasta abril (2017).

Teniendo en cuenta los volúmenes de dinero, es importante prestar especial atención a lo que ocurre en las líneas de envasado de Mix, debido a que, si se tiene una baja eficiencia global en las máquinas, el acumulado en ventas perdidas continuará aumentando, en consecuencia, las utilidades en la compañía se verán afectadas.

<sup>1</sup> Obtenido del reporte semanal de indicadores de producción.

<sup>2</sup> Obtenido del reporte semanal de ventas por categoría.

## 1.2. Justificación de problema

El OEE es definido como una métrica del rendimiento total del equipo, esta métrica funciona como herramienta de análisis de tres componentes: disponibilidad, rendimiento y calidad. Asimismo, el OEE juega un rol importante en el sostenimiento de la ventaja competitiva de las empresas [1]. En un estudio, Oliverson [1] muestra que un aumento de diez unidades en el OEE de una empresa puede casi duplicar los rendimientos generales de la misma empresa, en este caso, un aumento de 1% de OEE simboliza una reducción de S/.45,000 en ventas perdidas por cada mes en promedio. Si bien el OEE está afectado directamente por factores operacionales, problemas a este nivel pueden impactar en el desempeño global de la empresa. Por ejemplo, supóngase que una planta industrial posee un alto ratio de paradas (1 por cada hora), esto impactaría en el OEE, lo que a su vez traería como consecuencia incumplimientos en el plan de producción y posibles quiebres de stock, terminando en un bajo nivel de servicio y una mala imagen en el mercado. Adicionalmente, estas paradas pueden ser ocasionadas por fallas o averías en las máquinas, lo que también impactaría en el OEE y podría implicar un constante cambio de repuestos, en consecuencia, la empresa aumentaría sus costos operacionales y sería menos rentable. La Figura 1.2, muestra posibles influencias del OEE [2, 3].

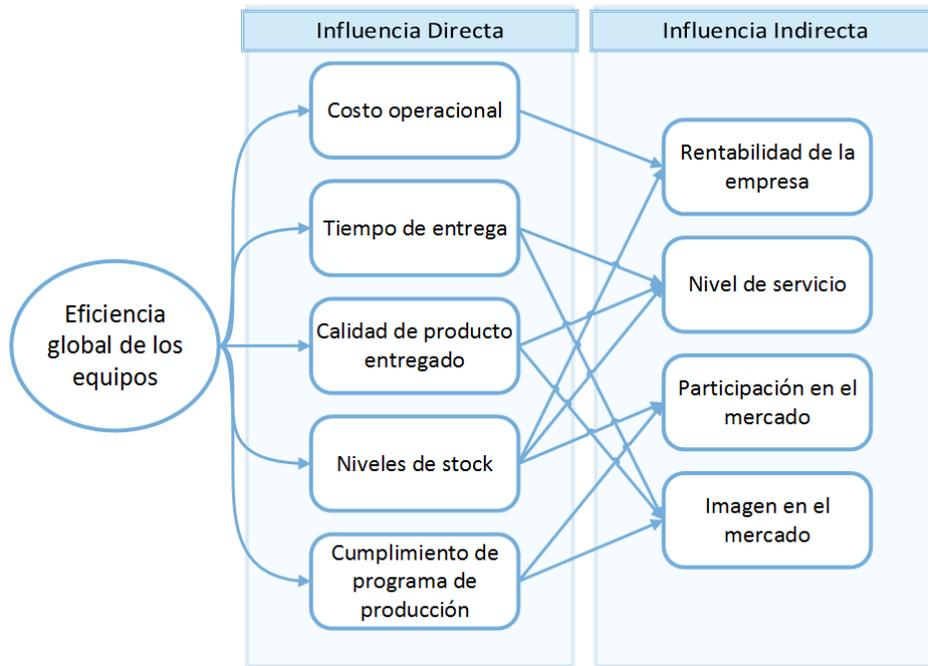


Figura 1.2. Relación e influencia de OEE sobre factores operacionales y empresariales [2, 3].

El TPM (Total Productive Maintenance) es una campaña que se extiende por toda la empresa, con la participación del cuerpo entero de los empleados, para lograr la máxima utilización de los equipos existentes, utilizando la filosofía de gestión orientado a los equipos [4]. En comparación a otras metodologías como Total Quality Management (TQM), Lean o Six Sigma, TPM tiene como principal enfoque reducir tiempos muertos ocasionados por fallas o averías [5].

La implementación de TPM ha tenido resultados alentadores en muchas empresas a nivel mundial (Procter & Gamble, Ford, Tetra Pak, entre otros). Según Nakajima [6], no es inusual que TPM incremente el nivel de OEE de 60% a 90% en promedio. Asimismo, otros autores afirman que TPM usa el OEE como una métrica cuantitativa para medir el rendimiento de un sistema productivo, también funciona como métrica básica para medir el éxito de la implementación de un programa TPM [7]. Adicionalmente, es importante señalar el objetivo principal de TPM es aumentar el OEE [8, 9, 10], esto se logra con la reducción de paradas y defectos de calidad, a través del mantenimiento [11].

Por otro lado, la compañía en estudio planea alcanzar sus metas cumpliendo las necesidades de las personas a través de la calidad, esto conlleva a que las metas relacionadas

con los equipos se alineen con las metas de la empresa. Lo que pone el mantenimiento de equipos e instalaciones, una de las funciones más importantes para la garantía de calidad y la productividad, también como fundamental para el buen funcionamiento de los procesos de producción. Del mismo modo, la falta de mantenimiento puede causar problemas durante los procesos de fabricación y afectar sobre otros tópicos como costo operacional, niveles de stock, calidad en el producto terminado, entre otros.

En resumen, mantener y mejorar el OEE de los equipos resulta un factor importante para que las empresas puedan mantener o progresar su posición en el mercado, así como aumentar la rentabilidad de la compañía. Considerando que la empresa persigue objetivos de expansión, alto nivel de servicio y calidad garantizada, es vital que se preste atención al OEE de sus equipos. Asimismo, la empresa está buscando la excelencia operacional con el uso de los principios de TPM, para esto está planificado trabajar con 6 pilares: Mantenimiento autónomo, mantenimiento planeado, mantenimiento de la calidad, mejora enfocada, entrenamiento y seguridad. Este trabajo busca determinar el impacto en términos OEE (disponibilidad, eficiencia, calidad) de un programa TPM. Del mismo modo, tiene como objetivos específicos determinar el OEE actual en las líneas Nano 2 y 3, determinación la evolución de eficiencia de la empresa en las áreas estudiadas mediante el OEE, comprobar que los pilares de mantenimiento autónomo (MA) y educación y entrenamiento (E&E) de TPM tienen una mayor influencia en el OEE y validar que la mayoría de factores de éxito son necesarios para lograr mejoras en términos de OEE.

### **1.3. Pregunta de investigación**

¿Cuál es el impacto en el OEE y sus factores, si se implementan los pilares de mantenimiento autónomo y educación y entrenamiento de TPM en la empresa de consumo masivo Ternerito S.A.?

### **1.4. Alcances de la investigación**

Este trabajo presenta los siguientes alcances:

- Este estudio sólo se refiere al mantenimiento de los equipos de producción, en la planta de productos lácteos en empresa de consumo masivo.

- Se aborda solo los departamentos producción, mantenimiento y calidad de la compañía, y las conclusiones son válidas sólo para la empresa en cuestión. Los resultados del trabajo serán delimitados a los problemas actuales de la empresa estudiada. Por lo tanto, para otras empresas, incluso la industria, debe ser analizado individualmente sus problemas reales, así como posibles soluciones a adoptar para cada caso.
- Actualmente la planta lácteos cuenta con 7 líneas de envasado, la aplicación se producirá sólo en 2 líneas de envasado (Nano 2 y Nano 3), las demás no se incluirán en este trabajo. La elección de estas líneas se debe a los siguientes factores:
  - Estas líneas poseen el mayor porcentaje de utilización en comparación a las demás máquinas (85% versus 40% en promedio).
  - Poseen un alto número y duración de paradas (6 paradas/día y 5 horas/día en promedio).
  - El número de horas extra por necesidad de cumplimiento de programa representa un importante costo para la compañía.
  - Según líderes en la fábrica, la mayoría de operarios en estas líneas son jóvenes, no son sindicalizados y se adaptan rápido al cambio.
- El TPM no incluye el mantenimiento centrado en la confiabilidad del equipo, no se habla de las técnicas de fiabilidad a tratar y herramientas enfocadas a la investigación y la mejora de la precisión del proceso, ya que este tema como sí mismo sería otro objeto de estudio y escapa de los alcances de este trabajo.
- Dado que la empresa aún se encuentra implementado TPM, solo se considera los avances de cada pilar en las líneas piloto desde el lanzamiento de TPM (01/04/17) hasta alcanzar una mejora sustancial. Asimismo, según los problemas actuales en las líneas de envasado (alto número y duración de paradas) y el contexto donde se realizará el trabajo, solo se considera la participación de los siguientes pilares:
  - Mantenimiento Autónomo, a continuación, se presentan algunas actividades que corresponden este pilar:
    - Eliminación de desechos y suciedad de la máquina.
    - Identificación y eliminación de problemas.

- Elaboración de estándares.
- Plan de auditorías.
- Educación & Entrenamiento, a continuación, se presentan algunas actividades que corresponden este pilar:
  - Capacitaciones en habilidades blandas (Inteligencia emocional, trabajo en equipo y liderazgo).
  - Capacitaciones en sistema de gestión diario.
  - Capacitaciones en habilidades duras (Calibración de equipos, mecánica aplicada al mantenimiento, electricidad, verificación de parámetros de arranque, entre otros).

Se considera el primero debido a que, según el diagnóstico, el factor más crítico es la disponibilidad y ésta tiene relación directa con las pérdidas por fallos de equipos y fallos en el proceso [12]. Por otro lado, también se considera diseñar e implementar programas de educación y entrenamiento ya que, según Suzuki [12] los operarios adiestrados en sus equipos son capaces de reparar las pequeñas deficiencias, pero es aún más importante su habilidad para detectar anomalías.

— Aunque relevante para el tema, los conceptos estadísticos de incumplimiento, estrategia de producción y otros indicadores no se detallan en este documento.

## **Capítulo 2 – Marco teórico**

El mantenimiento de equipos, maquinarias e instalaciones es uno de los aspectos más importantes para toda empresa, debido a que éste aumenta la vida útil de los activos, reduciendo la necesidad de gastos en repuestos y materiales. El TPM es un tipo de mantenimiento que se desarrolló en los años 50s, consiste en la implementación de pilares que reducen las pérdidas en una empresa. Es así que ha sido implementado en muchas empresas en el mundo, teniendo éxito en algunas y fracasos en otras. En esta sección se presenta una revisión de la literatura sobre las técnicas de mantenimiento, definiciones de TPM, objetivos de TPM, beneficios de TPM y los pilares de TPM. Posteriormente, se analiza la estructura del OEE debido a que éste será el indicador para medir el impacto de la intervención en este trabajo. Asimismo, se examinaron las barreras y factores de éxito en la implementación de TPM, esto con el objetivo de identificar los puntos débiles en la empresa y aumentar la probabilidad de éxito en el presenta proyecto de mejora. Finalmente, se comparan algunos casos de estudio para determinar factores aplicados que podrían ayudar a la implementación en la empresa Ternerito.

### **2.1. Mantenimiento de equipos**

A lo largo de los años, la importancia de mantenimiento ha venido creciendo a medida que la industrialización y automatización de procesos han reemplazado a los trabajos manuales. Asimismo, se ha reducido el número de personal de producción y aumentado el

capital empleado en los equipos de producción y estructuras civiles. Como resultado, la fracción de los empleados que trabajan en el área de mantenimiento, así como la fracción del gasto de mantenimiento en los costos operacionales totales, ha crecido a lo largo de los años [13].

Por otro lado, el objetivo principal del mantenimiento es asegurar que todos los equipos requeridos por producción estén operativos al 100% todo el tiempo, esto se logra a través de métodos como: inspecciones, limpiezas, lubricaciones, ajustes, entre otros [13]. Dependiendo de la técnica de mantenimiento escogida por la fábrica, se requerirán distintos recursos y niveles de análisis, estas técnicas serán presentadas en la próxima sección.

## **2.2. Técnicas de mantenimiento**

El mantenimiento de equipos ha pasado por muchas fases y ha sufrido cambios a lo largo de la historia. A continuación, se presentan las técnicas de mantenimientos halladas en la literatura:

### **2.2.1. Mantenimiento de averías (MdA) o Mantenimiento correctivo (MCo)**

También llamado mantenimiento correctivo, se refiere a la estrategia de mantenimiento, donde la reparación se realiza después de la falla, parada del equipo o al producirse un severo descenso del rendimiento [14]. En adición, Según Telang [15], este tipo de mantenimiento presenta complicaciones y desventajas, ya que trae como consecuencia eventos como: paradas imprevistas, daños excesivos, problemas con piezas de repuesto, altos costos de reparación, tiempo excesivo de espera, entre otros.

### **2.2.2. Mantenimiento preventivo (MPv)**

Consiste en una serie de tareas que se realizan a los equipos teniendo en cuenta periodos de tiempo o cantidad de producción. El MPv se caracteriza por realizar reparaciones en equipos que se encuentran aún funcionando, caso contrario al MCo, el cual solo se repara en equipos que ya dejaron de funcionar. Asimismo, es un mantenimiento basado en inspecciones regulares a las máquinas, de forma planificada, programada y controlada, con

el fin de anticipar desgastes y fallas funcionales. Consiste en prevenir o corregir el deterioro sufrido en un equipo, por variables como el uso normal, el clima, o fallas de algún accesorio que no repercute en la función principal, en tanto las actividades se ejecutan previendo que el equipo presente fallas mayores [16].

### **2.2.3. Mantenimiento basado en la condición (MbC) o mantenimiento predictivo (MPd)**

En el MPd o Mbc, se realiza teniendo en cuenta las condiciones o parámetros de los equipos, en los que se establecen algunos límites o ventanas operacionales y se verifica el comportamiento de dichos parámetros o límites establecidos, mediante algunas tecnologías como: análisis de vibraciones, termografía infrarroja, coronografía ultravioleta, alineación y balanceo dinámico. Este enfoque permite ahorrar tiempo y dinero debido a que permite corregir el problema antes que el equipo realmente falle [17]. Algunas ventajas de este tipo de mantenimiento es que las fallas se detectan en etapas iniciales, además, las inspecciones se pueden realizar con la máquina en operación.

### **2.2.4. Mantenimiento proactivo (MPa)**

Mientras el MPd usa monitoreos para predecir cuándo ocurrirá una falta, no siempre se encuentra la causa raíz de la falla. El mantenimiento proactivo usa la información del método anterior para identificar los problemas y aislar la fuente de falla [17]. Por otro lado, este sistema sólo es viable si existe detrás una organización adecuada de los recursos disponibles, una planificación de las tareas a realizar durante un periodo de tiempo, un control exhaustivo del funcionamiento de los equipos que permita acotar sus paradas programadas y una motivación de los recursos humanos destinados a esta función [18].

### **2.2.5. Mantenimiento centrado en la confiabilidad (McC)**

Este tipo de mantenimiento puede definirse como un proceso estructurado y lógico para desarrollar u optimizar los requerimientos de mantenimiento de un recurso físico en su contexto operativo para alcanzar un nivel de confiabilidad que se puede lograr con una

aplicación efectiva de mantenimiento. Además, es un proceso utilizado para determinar qué se debe hacer para asegurar que cualquier activo físico continúe haciendo lo que sus usuarios quieren que haga en su contexto operacional actual [19]. Por otro lado, el McC busca analizar todos los fallos potenciales que puedan originarse, estudiar sus consecuencias y determinar en último lugar qué debe hacerse para que no ocurran o minimizar las consecuencias de los fallos que no se pueden evitar [20].

### **2.2.6. Sistema de gestión de mantenimiento computarizado**

Un sistema de gestión de mantenimiento computarizado se trata de una plataforma informática (Software), que permite la gestión de mantenimiento de los equipos y/o instalaciones de una o más empresas, tanto mantenimiento correctivo como preventivo, predictivo, etc. Asimismo, está compuesto de varios módulos interactuando entre sí, que permiten ejecutar y llevar un control exhaustivo de las tareas habituales en los Departamentos de Mantenimiento como: Control de fallas/averías, Programación de las revisiones y tareas de mantenimiento preventivo, Control de mínimos y máximos de Stocks de repuestos, entre otros [21].

### **2.3. Total Productive Maintenance (TPM)**

TPM significa Total Productive Maintenance, es una filosofía japonesa basada en conceptos de mantenimientos productivos (El mantenimiento productivo significa el mantenimiento más económico que eleva la productividad del equipo [21]). El TPM tiene un enfoque innovador para el mantenimiento que optimiza la eficacia del equipo, elimina los fallos y promueve el mantenimiento autónomo de los operadores a través de actividades cotidianas que involucran la fuerza de trabajo [22].

Según Roberts [23], el TPM proviene de la evolución de la filosofía de calidad total desarrollada por Edward Deming en la década de los 50's y otro tipo de herramientas desarrolladas por la industria japonesa como el TQM, la cual tiene en común con el TPM, la necesidad de compromiso por parte de todos los miembros de la organización y el empoderamiento para que cualquier empleado pueda efectuar acciones de prevención o correctivas. Por otro lado, Moore [24] sostiene que la implementación de TPM proporciona

a las organizaciones una guía para transformar fundamentalmente su trabajo en piso, integrando la cultura, el proceso y la tecnología. La Tabla 2.1 presenta definiciones acotadas por algunos autores en la literatura:

Tabla 2.1. Definiciones de TPM según diversos autores.

Autor	Definición
Nakajima [25].	TPM tiene un enfoque innovador de mantenimiento que optimiza la eficacia del equipo, elimina las pérdidas y promueve el mantenimiento autónomo por parte de los operadores a través de actividades cotidianas que involucran a la fuerza de trabajo total.
Maggard y Rhyne [26].	TPM es una filosofía de cambio, que ha contribuido significativamente a la realización de mejoras significativas en las organizaciones de fabricación en Occidente y Japón.
Wilmott [27].	TPM es una aplicación relativamente nueva y práctica de TQM. Además, TPM apunta a promover una cultura en la que los operadores desarrollen la "propiedad" de sus máquinas, aprendan mucho más sobre ellas y en el proceso realicen operaciones especializadas.
Chowdhury [28].	TPM no es una política de mantenimiento, es una cultura, una filosofía y nueva actitud hacia el mantenimiento.
Robinson y Ginder [29].	TPM es una metodología de mejora impulsada por la producción, diseñada para optimizar la fiabilidad del equipo y garantizar una gestión eficiente de los activos de la planta.
Voss [30, 31].	TPM es una técnica muy influyente que está en el núcleo de la gestión de operaciones y merece la atención inmediata de organizaciones de todo el mundo.
Paterson et al. [32].	TPM es un sistema que saca provecho de las habilidades de todos los individuos de en una organización.
Sekine y Arai [33].	TPM es una metodología que se origina en Japón para apoyar su sistema de manufactura esbelta, ya que un equipo confiable y efectivo es requisito previo esencial para implementar iniciativas de fabricación Lean en las organizaciones.
Lawrence [34].	TPM es el movimiento general de la empresa para para tratar de hacer más con menos recursos.

Dwyer [35], Dossenbach [36].	TPM ha sido ampliamente reconocido como un arma estratégica para mejorar el rendimiento de fabricación mediante el aumento de la eficiencia de las máquinas.
Wal y Lynn [37].	TPM es considerada la respuesta japonesa al estilo de mantenimiento productivo americano.
Chaneski [38].	TPM es un programa de mantenimiento en el objetivo de eliminar paradas en los equipos.
Ahuja et al. [39].	TPM es la estrategia de fabricación probada que se ha empleado con éxito en todo el mundo durante las últimas tres décadas, para lograr los objetivos organizacionales de lograr una mayor competitividad.
Witt [40].	TPM trata sobre comunicación. Se ordena que los operadores, las personas de mantenimiento y los ingenieros colaboren colectivamente y comprendan el idioma del otro.

Según las definiciones presentadas por diversos autores (Tabla 2.1), son más frecuentes las cuales sostienen que TPM está relacionado a cambios culturales, trabajo en equipo y empoderamiento de los trabajadores para aumentar la productividad y eficiencia global en una empresa a través de la reducción de paradas. Desde el punto de vista del autor, las definiciones más sencillas y concretas son las de Wilmott [27], Chowdhury [28] y Dwyer [35]. Asimismo, la definición expuesta por Nakajima [6] engloba las anteriores e integra los conceptos de pérdidas y actividades cotidianas, el primer concepto guarda estrecha relación con el cálculo de OEE como principal métrica de un programa TPM, mientras el segundo transmite la importancia de realizar un trabajo constante y permanente en la implementación. Finalmente, es importante señalar que los conceptos transmitidos por los líderes y jefaturas de la fábrica a todos los niveles de la organización son similares a las definiciones aportadas por [27] y [28].

### **2.3.1. Objetivos de TPM**

Según las definiciones mostradas anteriormente, se puede apreciar que TPM está estrechamente ligado con la integración de los operarios con las jefaturas para que realice un cambio de cultura hace el cuidado de las máquinas para lograr la máxima eficiencia en el trabajo. Según Suzuki [12], todo programa de TPM presenta 5 objetivos principales los cuales son mostrados a continuación:

- Crear una organización corporativa que maximice la eficacia de los sistemas de producción.
- Involucrar a todos, desde la alta dirección a los operarios de la planta. en un mismo proyecto.
- Involucrar a todos los departamentos en la implantación de TPM.
- Formar equipos pequeños para lograr las "cero pérdidas".
- Gestionar la planta con una organización que evite todo tipo de pérdidas
  - Cero accidentes.
  - Cero defectos.
  - Cero averías.

Si bien estos objetivos son los deseados por TPM, existen barreras que pueden impedir que estas metas sean cumplidas, estas serán presentadas secciones más adelante.

### **2.3.2. Beneficios de TPM**

TPM es un programa de enfoque mundial, cuyo alcance involucra a todos en la organización. Según Tripathi [41], TPM puede garantizar una mayor productividad, mejor calidad, menos interrupciones, menores costos, entregas fiables, ambientes de trabajo motivadores, seguridad mejorada y moral mejorada del empleado. Del mismo modo, Bohoris [42] determinó que TPM ayuda en la utilización de equipos, mejora la calidad de los productos y costos de mano de obra reducidos, todos estos como consecuencia de inversiones en recursos humanos. Asimismo, TPM puede reducir paradas, minimizar tiempo inoperativo, reducir defectos de calidad, incrementar la productividad y promover el involucramiento de empleados [12]. En resumen, se puede identificar que los beneficios están claramente relacionados a paradas de máquina, reducción de costos operacionales y mejora en la calidad de los productos entregados.

Después de la implementación exitosa del TPM, algunos casos muestran que las empresas lograron una reducción del 15%-30% en el costo de mantenimiento, mientras que otras revelaron una reducción del 90% en los defectos del proceso y un 40%-50% por ciento de aumento en la productividad laboral [25]. Además, algunas empresas japonesas que han

aplicado programas de TPM importantes han experimentado un aumento general en la productividad del equipo del 40%-50% [27]. Los beneficios obtenidos a través de un programa eficaz de implementación de TPM incluyeron mejoras en el OEE: 14%-45%, reducción de inventarios: 45%-58%, mejoría en la producción de plantas: 22%-41%, reducción de rechazos de clientes: 50%-75%, reducción de accidentes: 90%-98%, reducción en costos de mantenimiento: 18%-45%, reducción de defectos y retrabajos: 65%-80%, reducción de costos de energía: 8%-27% [43], aumento en la disponibilidad de equipos: 50%, disminución de defectos del proceso: 90%, disminución de reclamos de clientes: 75%, reducción de inventario de mantenimiento: 50% [44]. Por otro lado, los beneficios mencionados anteriormente dependen de cada contexto en particular, para el caso de la empresa en estudio, se plantea trabajar con TPM para reducir la duración y frecuencia de paradas.

Adicionalmente, es importante señalar que algunos autores [12, 45] sostienen que los programas exitosos de implementación de TPM han contribuido a la realización de beneficios intangibles como la mejora continua de las habilidades y conocimientos de la fuerza de trabajo, la clarificación de las funciones y responsabilidades de los empleados, un sistema para mantener y controlar continuamente el equipo y el trabajo manual, una tasa de participación mejorada y un menor absentismo causado por el estrés y una comunicación más abierta dentro y entre los lugares de trabajo

### **2.3.3. Pilares de TPM**

#### **2.3.3.1. Pilar de mantenimiento autónomo (MA)**

El mantenimiento autónomo es uno de los principales pilares de TPM. Según Shirose [46], el pilar MA tiene como objetivo capacitar a los operadores en las habilidades relacionadas con el equipo y les permiten hacerse cargo de los equipos de los cuales son los "dueños". Los participantes en este pilar son los operadores y líderes de línea. Asimismo, las actividades específicas para aplicar se definen como los siete pasos de mantenimiento autónomo, la Figura 2.1 presenta los pasos [12]:

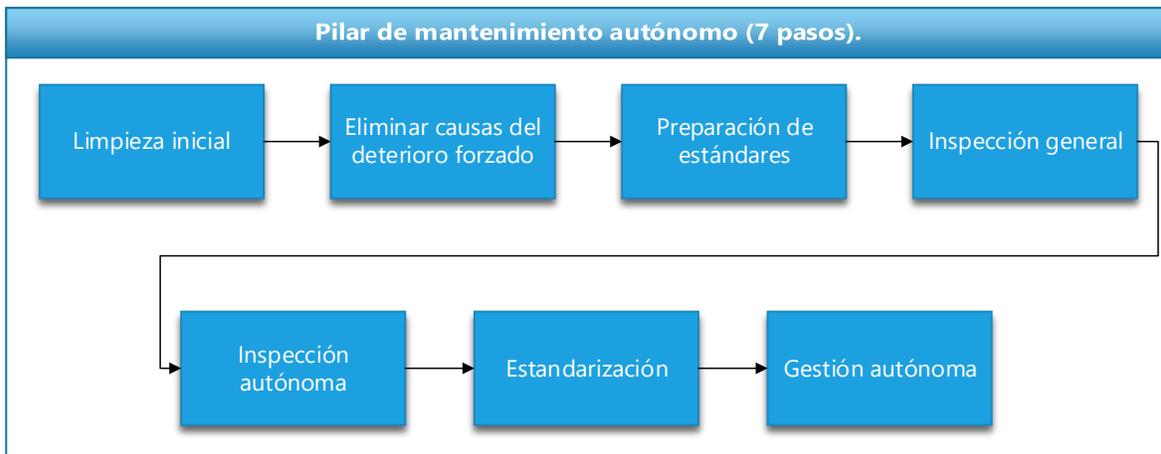


Figura 2.1. Pasos de pilar de mantenimiento autónomo [12].

La limpieza inicial consiste en que los equipos de producción, mantenimiento y personal de ingeniería deben bloquear el equipo y luego realizar una limpieza en profundidad e inspección, en busca de cualquier signo de deterioro [47]. Una vez que el equipo ha sido restaurado, se debe asegurar que no se deteriore nuevamente, controlando toda la contaminación que conduce al deterioro y mejorando la accesibilidad para la limpieza y el mantenimiento [47]. En la preparación de estándares se crean estándares provisionales de limpieza, inspección, lubricación y ajuste (LILA). Estos estándares son la evidencia más visible del MA. A partir de estos estándares, los empleados siguen el programa LILA, observando cualquier problema de accesibilidad, flujo de lubricación, entre otros. Estos estándares incluyen información como: artículos a limpiar, revisar o lubricar, los métodos a utilizar, frecuencia y responsabilidades. Algunos controles técnicos pueden seguir siendo responsabilidad del mantenimiento en lugar de la producción y esto se observa en la documentación [47]. Posteriormente, se realiza la inspección general, aquí los empleados son entrenados en disciplinas como neumática, eléctrica, hidráulica, lubricantes, accionamientos, pernos, seguridad, etc. Esto es necesario para mejorar las habilidades técnicas de los empleados y para utilizar correctamente los manuales de inspección creados en el paso anterior. Además, al adquirir este nuevo conocimiento técnico, los operadores ahora son muy conscientes de las piezas de la máquina [48]. Una vez realizada la inspección general, se procede a realizar la inspección autónoma. En este paso se utilizan nuevos métodos de limpieza y lubricación, cada empleado prepara su propio programa de mantenimiento

autónomo en consulta con el supervisor. Las piezas que nunca han dado ningún problema o parte que no necesitan ninguna inspección se retiran de la lista de forma permanente sobre la base de la experiencia. En este punto, la frecuencia de limpieza e inspección se reduce en función de la experiencia [48].

Mientras que los primeros cinco pasos han enfatizado el objetivo TPM de cero interrupciones, a través de la restauración del equipo y el desarrollo de estándares autónomos de mantenimiento, el sexto paso (estandarización) mueve al equipo hacia los otros dos objetivos cero defectos y cero accidentes [47]. Por otro lado, en este paso se organizan los alrededores de la maquinaria. Asimismo, los elementos necesarios deben ser organizados, de tal manera que no hay búsqueda y se reduce el tiempo de búsqueda. Del mismo modo, el ambiente de trabajo se modifica de tal manera que no hay ninguna dificultad en conseguir cualquier artículo y las piezas de recambio necesarias para los equipos se planifican y se obtienen [48]. Finalmente, en la gestión autónoma, se envuelve al equipo en la gestión y la fijación de objetivos como parte de un proceso general de implementación de políticas [47], se plantean objetivos como aumentar el OEE y otras metas de TPM que puedan lograrse mediante la mejora continua [48].

### **2.3.3.2. Pilar de mantenimiento planeado (MP)**

El mantenimiento planeado normalmente se establece para lograr dos objetivos: mantener el equipo y el proceso en condiciones óptimas y lograr la eficacia y la eficiencia en costos. En un programa de desarrollo del TPM, el mantenimiento planeado es una actividad metódicamente estructurada para lograr estos dos objetivos [12]. Es así que, en un sistema de mantenimiento planificado, el personal de mantenimiento realiza dos tipos de actividades: Actividades que mejoran el equipo y actividades que mejoran la tecnología y capacidad de mantenimiento. Este pilar, a largo plazo, puede determinar el éxito o fracaso de una línea entera de productos. Según Suzuki [12], es esencial perfilar el mantenimiento planificado en función de las características de cada equipo y proceso. La Figura 2.2 presenta los pasos que se siguen para implementar este pilar [12]:

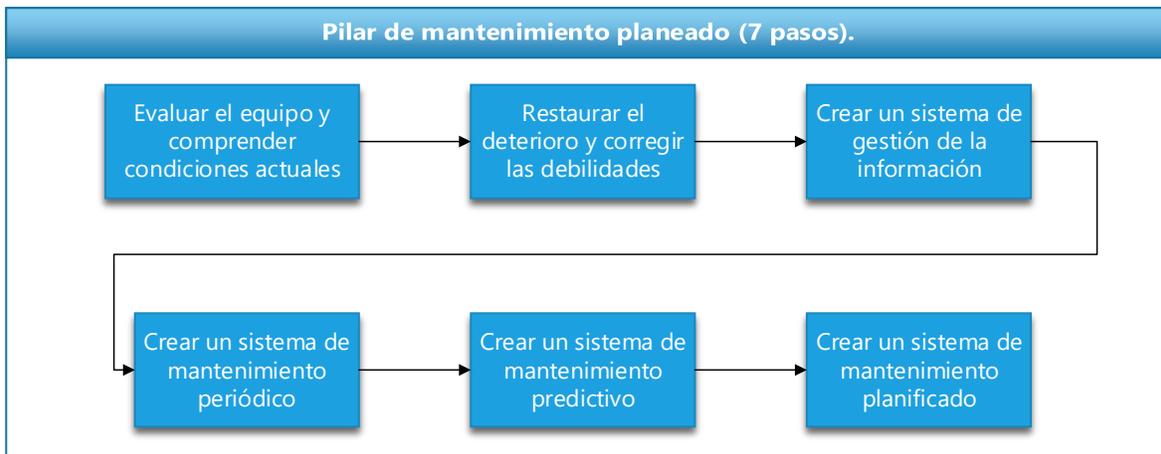


Figura 2.2. Pasos de pilar de mantenimiento planeado [12].

El primer paso de MP consiste en evaluar el equipo y comprender la situación actual de partida, esto se logra revisando los registros de los equipos, definiendo rangos de fallos. También se prioriza los equipos y componentes para que se realicen trabajos de MP. En este paso se empieza a medir indicadores (frecuencia y severidad de fallos, tiempo medio entre fallos, tiempo medio de restablecimiento, entre otros) y se plantean objetivos de mantenimiento. Posteriormente, una vez la situación actual es conocida, se procede a revertir el deterioro y corregir debilidades, aquí se corrigen las causas raíz que ocasionan deterioro, también se eliminan los entornos que puedan causarlos y se toman medidas para impedir la ocurrencia de fallos a futuro. Una vez terminado este paso, una parte de las fuentes de deterioro desaparecen, sin embargo, otras aún persisten y necesitan un mayor enfoque. El tercer paso consiste en crear un sistema de gestión de información, esto incluye un sistema de gestión de presupuestos, repuestos, planos, máquinas, mantenimientos, entre otros. Este paso es la preparación para lo que vendrán a ser los futuros sistemas de mantenimiento [12].

Los últimos 3 pasos del pilar MP consiste en establecer sistemas de mantenimiento. El mantenimiento periódico se enfoca en llevar un control de las actividades que se realizan a las máquinas con una frecuencia determinada. En el paso de implementación de sistema de mantenimiento predictivo, se agrega técnicas de diagnóstico de equipos y también se empieza a definir la expansión de metodología a los demás equipos de la fábrica. En el último paso, se introducen mejoras para aumentar la confiabilidad y mantenibilidad (tasa de

mantenimiento periódico, tasa de mantenimiento predictivo, tiempo medio entre fallas, entre otros). Además, se evalúan los ahorros en gastos de mantenimiento y la distribución de los fondos de mantenimiento [12].

### 2.3.3.3. Pilar de mantenimiento de la calidad (MC)

El propósito del mantenimiento de la calidad es producir productos sin defectos para mantener la calidad del producto, eliminando la no conformidad para satisfacer la demanda del cliente. El Japanese Institute of Plant Maintenances (JIPM) define el MC como actividades que establecen condiciones de equipamiento que impiden los defectos de calidad, basándose en el concepto básico de mantener un equipo perfecto para mantener la perfecta calidad de los productos. Este pilar presenta 9 pasos, los cuales se muestran a continuación (Figura 2.3) [12]:

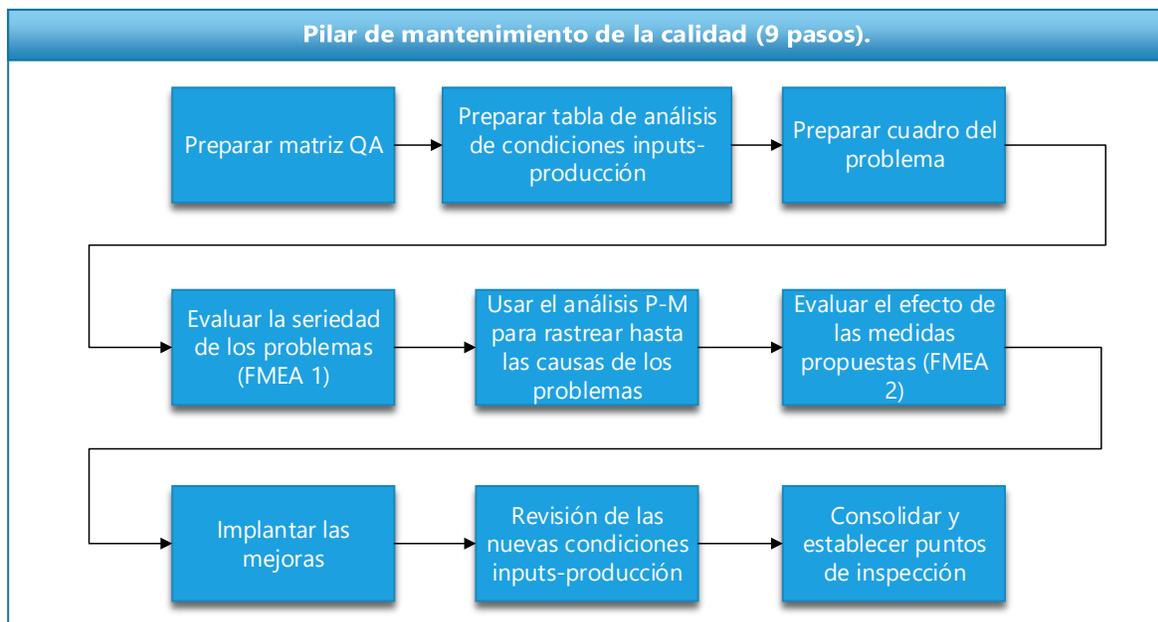


Figura 2.3. Pasos de pilar de mantenimiento de la calidad [12].

El pilar de mantenimiento de calidad, es el pilar que presenta la mayor cantidad de pasos y también uno de los pilares más importantes en TPM por el impacto en la reducción de defectos de producción. En el primer paso, se analiza las relaciones entre la calidad y los equipos, para esto se investiga sobre los tipos de defectos y los subprocesos, el resultado del

análisis es la matriz QA (Quality Assurance). El segundo paso consiste en revisar deficiencias en las condiciones de producción para cada tipo de defecto, también se revisa si existen estándares de calidad y si se cumplen. Después, en el tercer paso se plantean medidas inmediatas contra problemas específicos y se elabora un plan de acción para los que necesitan inversión o un mayor trabajo.

Posteriormente, en el paso 4, se priorizan los problemas según el efecto que sobre el producto final. Para los problemas más serios según el paso anterior, se realiza el análisis P-M u otra herramienta para proponer medidas (Paso 5). El paso 6 consiste en realizar un FMEA (Failure Modes and Effects Analysis) para evaluar preliminarmente la situación post-mejora. Luego, en el paso 7, en base al FMEA, se realizan las mejoras finales. El paso 8 consiste en una revisión final para comprobar si las condiciones de producción son apropiadas y correctas, el paso 9 usa los estándares del paso 8 para consolidar los puntos de control, esto se logra con una matriz de revisión de calidad [12].

#### **2.3.3.4. Pilar de mejora enfocada (ME)**

Este pilar tiene como objetivo satisfacer la demanda del cliente al menor costo mejorando el rendimiento general de la maquinaria y la productividad, también reduciendo desperdicios mediante el análisis de pérdidas y mejora continua. Aquí se plantean actividades que se desarrollan con la intervención de las diferentes áreas comprometidas en el proceso productivo con el objetivo de maximizar el OEE, procesos y plantas; todo esto a través de un trabajo organizado en equipos funcionales e interfuncionales que emplean metodología específica y centran su atención en la eliminación de las pérdidas existentes en las plantas industriales. El desarrollo de las actividades del pilar de ME se realizan a través de los pasos mostrados en la Figura 2.4 [49]:

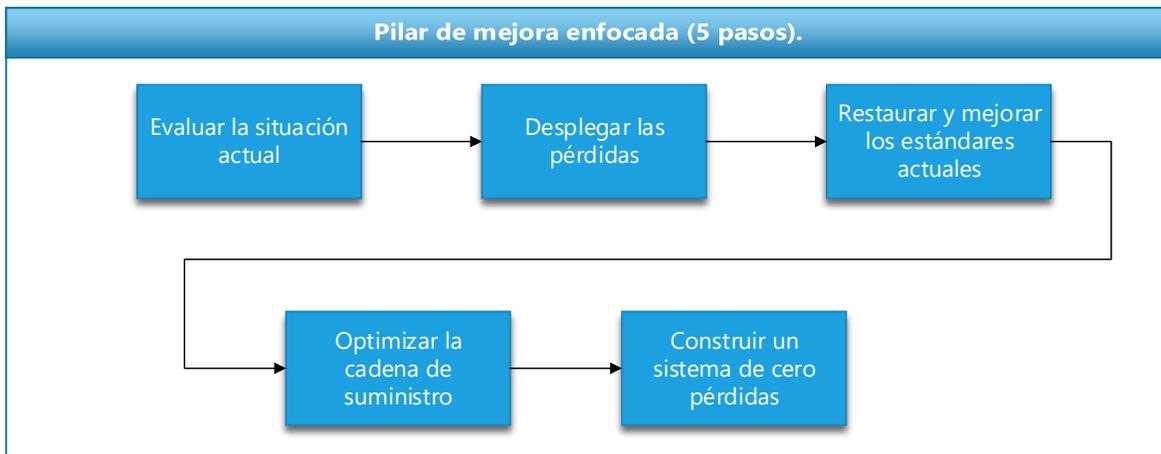


Figura 2.4. Pasos de pilar de mejora enfocada [12].

En el primer paso, el equipo que lidere el pilar debe estudiar meticulosamente las operaciones de la fábrica, entender los tipos de pérdidas y su relación con los costos. Esto con el objetivo de comprender las definiciones de pérdidas y conocer todo el proceso de producción. Luego, en el despliegue de pérdidas, se define los cuellos de botella y se encuentran oportunidades de mejora para cumplir con los objetivos de la fábrica. Una vez identificadas las mayores pérdidas, en el paso restaurar y mejorar los estándares actuales, se forma equipos Kaizen que restauren y mejoren la situación actual en las operaciones. Hasta este punto, la mayor parte del análisis se realizaba tomando al empleado y la máquina en conjunto. No obstante, cuando se optimiza la cadena de suministro se opta por separar en hombre y máquina para poder hacer un análisis más profundo. Además, se realiza un análisis minucioso en la cadena de valor para mejorar el flujo de procesos, aquí se debe tener capacidad de mantener y mejorar las condiciones estudiadas. Finalmente, se construye un sistema de cero pérdidas en cual debe permitir controlar los procesos continuamente, dar seguimiento a las pérdidas y OEE con el objetivo de realizar comparativas con otras fábricas [49].

### 2.3.3.5. Pilar de educación y entrenamiento (E&E)

El pilar de educación y entrenamiento tiene la función de comprender los cambios que se generan en torno al negocio y tomar acciones para que los empleados estén preparados para afrontar estos cambios. Asimismo, este pilar desarrolla 2 conceptos básicos:

entrenamiento en el mismo trabajo y auto-desarrollo, dichas aristas son la esencia de TPM dentro de una organización. Es importante señalar que, según Suzuki [12] la mejora de las destrezas de los individuos no solo incide eficazmente en la eficiencia de la empresa, sino que también aumenta la vitalidad de las personas y su orgullo por el trabajo. Este pilar presenta 6 pasos, estos son mostrados en la Figura 2.5 [12]:

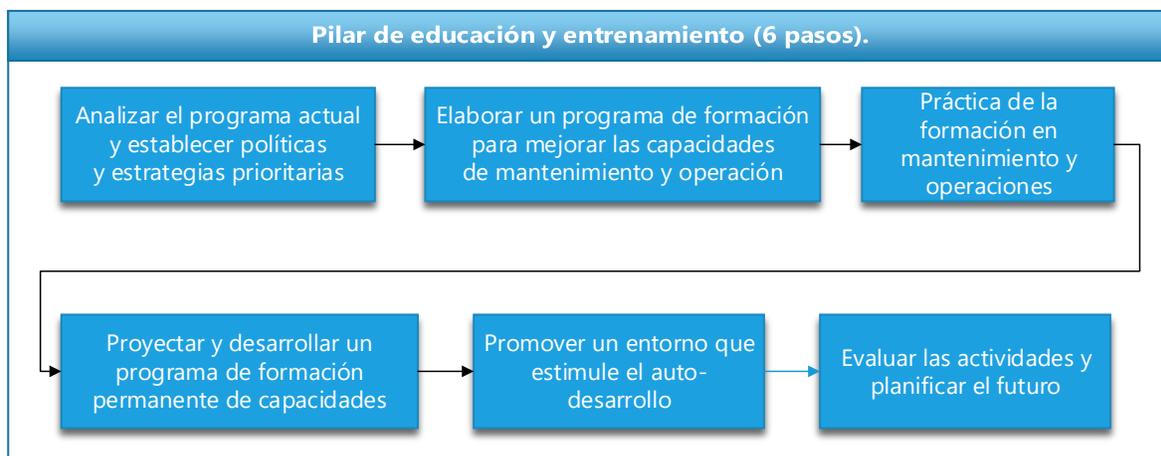


Figura 2.5. Pasos de pilar de educación y entrenamiento [12].

En el primer paso, se realiza una revisión profunda del programa de formación de la empresa para encontrar posibles problemas sobre falta de conocimiento. Luego, se perfila políticas, metas y prioridades claras para un programa de formación que resuelva los problemas actuales y se ajuste a las circunstancias particulares. En el segundo paso, se elabora un programa de formación para crear personas competentes en cada nivel, para esto la empresa debe elaborar un programa de formación que progrese en pasos desde lo elemental a lo básico, a lo intermedio, y a lo avanzado. En el tercer paso, se desarrolla a detalle el plan, material a utilizar, métodos de aprendizaje, estructura de capacitaciones, entre otros. Posteriormente, se capacita a los empleados en un piloto y se mejora en base a las pruebas. En el cuarto paso, se desarrolla un plan a largo plazo, el cual constituye una formación permanente y se ajusta a las necesidades de las personas y los puestos de trabajo, esto con el propósito de que los empleados puedan afrontar con éxito los cambios de técnicas y tecnologías en las máquinas y procesos. El penúltimo paso, consiste en que los trabajadores sean autodidactas, sin embargo, es común que el trabajo diario consuma el día a día y el

autoaprendizaje quede en último lugar. En consecuencia, algunas empresas toman medidas tales como: brindando cursos por correspondencia, facilitando libros y videos, ofreciendo ayuda financiera para la formación, entre otros. En el último paso, se crea un sistema que permita e evaluar periódicamente a los trabajadores para validar el conocimiento adquirido y volver a entrenar cuando sea requerido, en este nivel, los empleados deben ser capaces de mantener el ritmo e investigar autónomamente sobre nuevas tecnologías, equipos y métodos de gestión.

### 2.3.3.6. Pilar de seguridad, salud y medio ambiente (SSMA)

La gestión de la seguridad y el entorno es una actividad clave en cualquier programa TPM. Es así que, este pilar tiene como objetivo lograr “cero accidentes”. Asimismo, existen dos factores que ayudan a las personas a adquirir una mentalidad cero accidentes: la práctica diaria como parte de su trabajo y la gestión de materiales y un fuerte y visible apoyo de la dirección. La Figura 2.6 presenta los pasos de este pilar [12]:

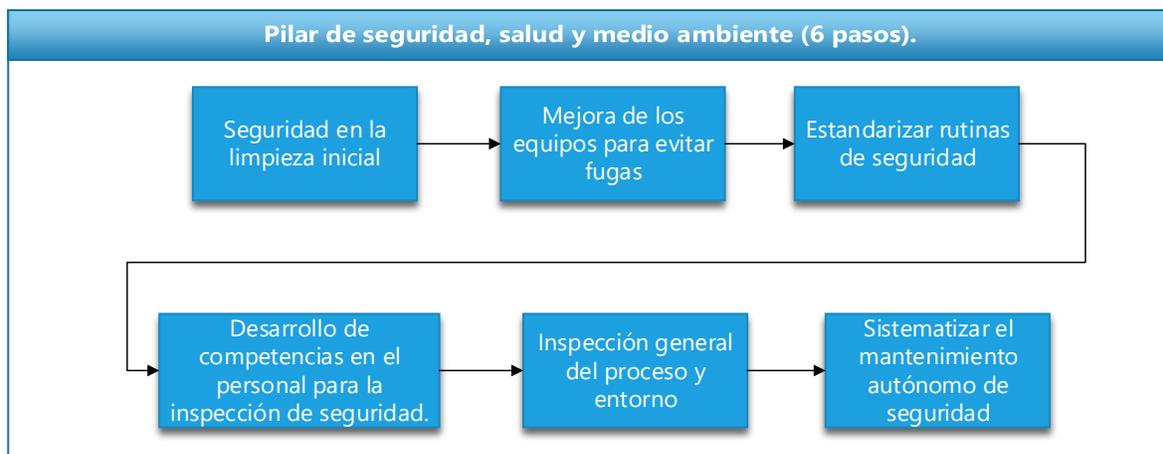


Figura 2.6. Pasos de pilar de seguridad, salud y medio ambiente [12].

El primer paso del pilar de SSMA es la limpieza inicial, en este paso se detectan los problemas de seguridad y se identifican los riesgos y medidas protectoras. Después, en el segundo paso se mejoran los estándares actuales para aumentar la seguridad del equipo, entorno y trabajo. El tercer paso consiste en incluir procedimientos de seguridad en las rutinas de limpia, dado que es común la operación con una sola persona, se debe establecer también rutinas de seguridad individuales. Más adelante, en el paso 4, se da formación sobre seguridad

basada en estudios de casos de accidentes reales, teniendo en cuenta las paradas en el equipo que puedan ocasionar un accidente. En el quinto paso, se implantan medidas específicas para evitar deficiencias de operación, también se revisan diagramas de tuberías o instrumentación. Finalmente, en el sexto paso se crea un sistema que permita revisar estándares de seguridad permanentemente.

### 2.3.3.7. Pilar de gestión temprana (GT)

En la actualidad, es común que muchas empresas diversifiquen sus productos y acorten sus ciclos de vida, este es el caso específico de la empresa Ternerito que se encuentra en el rubro de industria de alimentos. Bajo este contexto, crece la importancia de aumentar la eficiencia del desarrollo de nuevos productos e inversiones en equipos. Este pilar tiene como objetivo reducir el plazo de desarrollo inicial hasta la producción a gran escala y lograr un lanzamiento rápido, libre de dificultades desde el inicio del ciclo de vida del producto. La gestión temprana es particularmente importante en las fábricas porque se invierten cantidades considerables de fondos en unidades de proceso conectadas y la gerencia usualmente espera que funcionen un gran número de años [12]. Para lograr los objetivos mencionados previamente, se plantean 4 pasos que son mostrados en la Figura 2.7 [12].

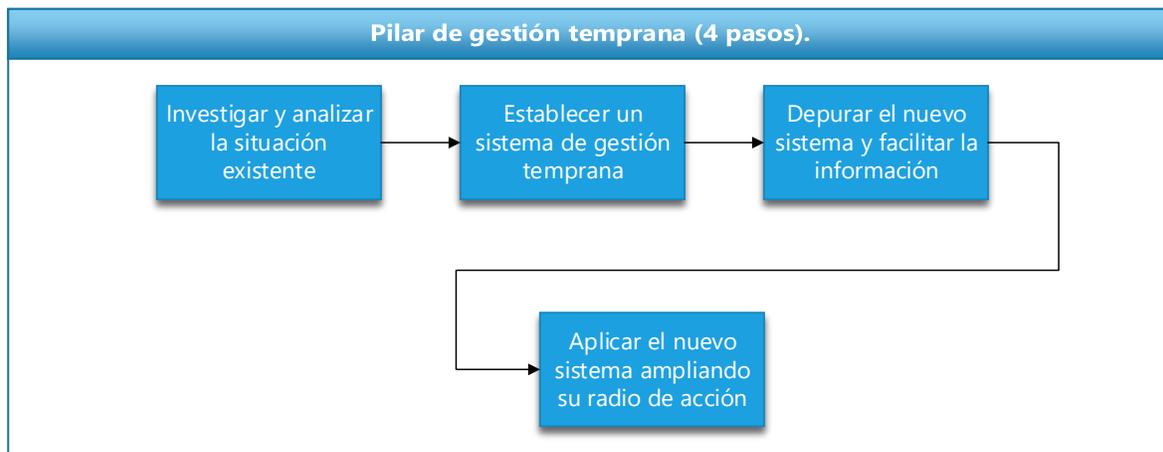


Figura 2.7. Pasos de pilar de gestión temprana [12].

Cuando se inicia este pilar, en el primer paso se investiga y analiza los procedimientos de gestión temprana usados en los pasados dos años e identificar problemas sucedieron durante la producción piloto, operación de test, y arranque en gran escala. El mismo análisis

se aplica para los retrasos ocurridos en los mismos procesos. Luego, se establece un sistema de gestión temprana, la información obtenida en el paso 1 se usa para crear un sistema de gestión temprana nuevo y mejorado cercano al ideal. Posteriormente, en el tercer paso, se inician proyectos modelo para poner en práctica el sistema y mejorar el rendimiento de cada persona. Finalmente, el último paso consiste en ampliar la aplicación del nuevo sistema a todas las áreas y trabajar en la optimización de los costos del ciclo de vida del producto [12].

### 2.3.3.8. Pilar de mantenimiento en áreas administrativas (MAA)

La información de departamentos tales como ingeniería y administración dispara la acción del departamento de producción. Por tanto, la calidad, precisión y oportunidad en el tiempo de esta información afectan profundamente a lo que hace el departamento de producción. El modo de manejar esta información es el núcleo del TPM en los departamentos administrativos y de apoyo. En el TPM, el trabajo de tales departamentos se trata de forma análoga a los procesos de producción. Este pilar tiene como objetivo hacer el trabajo administrativo visible y controlable, para esto se propone que los trabajadores administrativos trabajen como equipos de producción [12]. Por otro lado, los beneficios de este pilar son [50]: reducción de inventarios, reducción de tiempo de entrega del proceso crítico, balancea la carga de trabajo, mejor utilización del área de trabajo, reducción de los costos administrativos. La Figura 2.8 presenta los pasos de implementación de este pilar [12]:

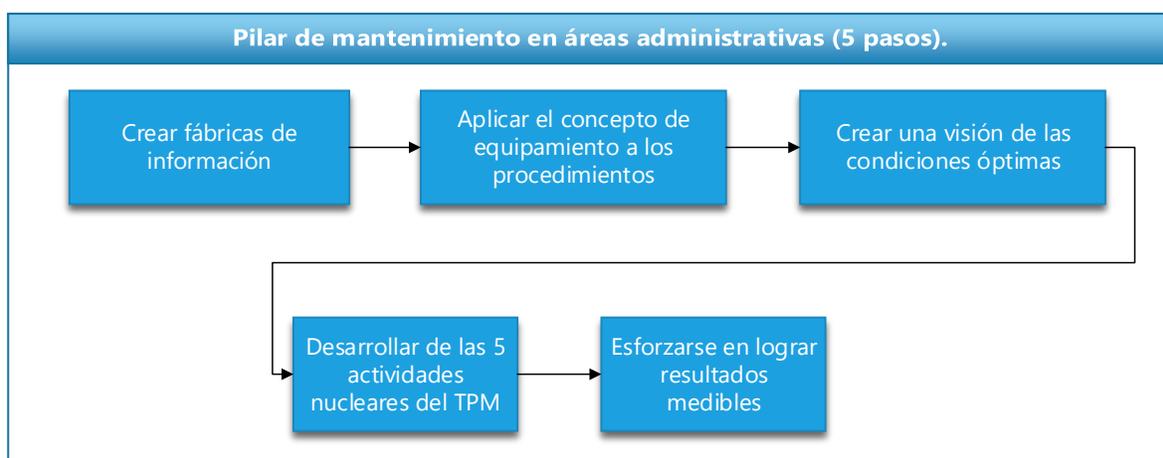


Figura 2.8. Pilar de mantenimiento en áreas administrativas [12].

El pilar de mantenimiento en áreas administrativas comprende 5 pasos, el primer paso busca que las áreas administrativas sean fábricas de información debe ser de alta calidad, precisas, de bajo coste de proceso. También deben entregar información de manera que sea útil para los que la necesitan, para lograr esto, los procesos que producen la información, como los procesos de producción, deben ser visibles y fáciles de supervisar. En el segundo paso se desglosan los procedimientos administrativos en subprocesos, esto con el objetivo de que se facilite la estimación de carga de trabajo generada en cada procedimiento. El tercer paso busca plantear un futuro óptimo para luego tomar acciones, estas son actividades que les corresponde a las jefaturas de las áreas administrativas. Más adelante, el cuarto paso involucra 5 actividades específicas: mejoras enfocadas (eliminar las pérdidas crónicas y perseguir eficiencia en los sistemas departamentales), mantenimiento autónomo (busca reducir los costos mejorando la calidad del sistema administrativo, crea entornos sin stress físico y mental), educación y entrenamiento (brinda capacitaciones continuas), dotación flexible de personal (uso eficaz de los recursos humanos) y medición de rendimientos (establecer indicadores para las áreas administrativas). Por último, el paso 5 consiste en que cada departamento debe lograr ciertos resultados medibles, tangibles en las áreas de costes, eficacia funcional, productividad y creatividad, estas actividades dependen de las estrategias que adopte cada líder para cumplir con su objetivo [12].

#### **2.3.4. Eficiencia global de los equipos (OEE)**

La eficiencia global de los equipos (OEE) es un indicador global de una planta que indica la fracción del tiempo disponible tomando en cuenta la disponibilidad, eficiencia y calidad [12]. Esta métrica ha sido ampliamente aceptada como una herramienta cuantitativa esencial para la medición de la productividad en las operaciones de fabricación [51], además, es fundamental para la formulación y ejecución de una estrategia de mejora del TPM [52].

##### **2.3.4.1. Las ocho mayores pérdidas**

El OEE está diseñado para identificar pérdidas que reducen la efectividad del equipo. Estas pérdidas son actividades que absorben recursos pero que no crean valor alguno. Según Jonsson y Lesshammar [53], las pérdidas se deben a perturbaciones de fabricación que son

crónicas o esporádicas. Las alteraciones crónicas son pequeñas y ocultas, y son el resultado de varias causas concurrentes. Por otro lado, los trastornos esporádicos son más obvios, ya que ocurren rápidamente y tienen grandes desviaciones del estado normal. Asimismo, un objetivo clave del TPM es eliminar o minimizar todas las pérdidas relacionadas con el sistema de fabricación para mejorar la efectividad de la producción en general. En las etapas iniciales, las iniciativas de TPM se centran en abordar 8 pérdidas importantes, que se consideran significativas para disminuir la eficiencia del sistema de producción [54]. En toda fábrica, existen pérdidas que impiden que una planta alcance su máxima eficacia, estas pérdidas son mostradas en la Figura 2.9 [12]:

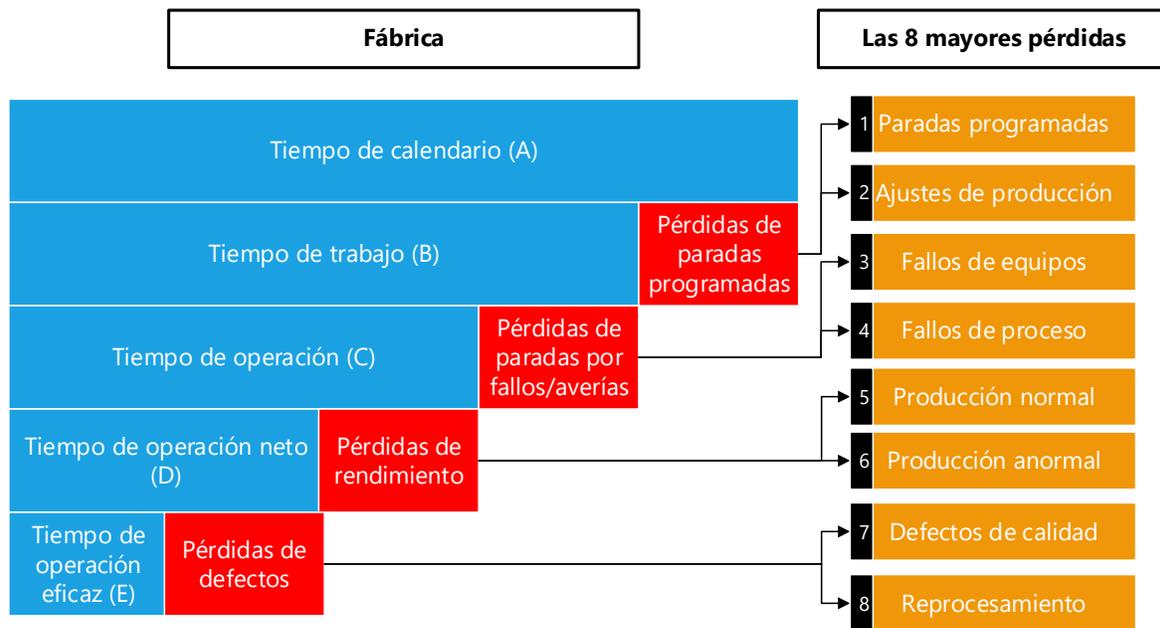


Figura 2.9. Estructura de pérdidas [12].

Como se ve en la Figura 2.9, cada pérdida reduce tiempo de producción, esto se traduce en un volumen de producción real muy menor al esperado o teórico. A continuación, la Tabla 2.2 presenta las definiciones de las pérdidas y algunos ejemplos [12]:

Tabla 2.2. Las 8 pérdidas principales en plantas de producción.

Pérdidas	Definición	Ejemplos
Paradas programadas.	Tiempo de producción perdido cuando la producción se detiene para un mantenimiento planificado o servicio periódico.	Servicio periódico, inspecciones reglamentarias, trabajos de reparación, etc.
Ajustes de producción.	Tiempo perdido cuando cambios en la demanda o suministros exigen ajustes en los planes de producción. También se considera set-ups y ajustes en la máquina.	Parada para ajuste de producción, parada para reducir stocks, etc.
Fallos de equipos.	Tiempo perdido cuando el equipo pierde súbitamente sus funciones específicas.	Fallos de bombas, motores quemados, cojinetes dañados, ejes rotos, etc.
Fallos de proceso.	Tiempo perdido en paradas debidas a factores externos tales como cambios en las propiedades químicas o físicas de los materiales procesados, errores de operación, materiales defectuosos, etc.	Fugas, derrames, obstrucciones, corrosión, erosión, dispersión de polvo, operación errónea, etc.
Producción normal.	Pérdidas de la tasa estándar y tiempo en arranques, paradas o cambios de accesorios.	Reducción durante periodo de calentamiento después del arranque, período de enfriamiento antes de la parada, etc.
Producción anormal.	Pérdidas de tasa de producción cuando la planta rinde por debajo del estándar debido a disfunciones y anomalías.	Operación con baja carga, o con baja velocidad.
Defectos de calidad.	Pérdidas debidas a producción de producto rechazable, pérdidas físicas o producto rechazable.	Pérdidas físicas y de tiempo debidas a producir un producto que no cumple los estándares de calidad.
Reprocesamiento.	Pérdidas de reciclaje debidas a tener que devolver el material a procesos anteriores.	Reciclaje de producto no conforme para hacerlo aceptable.

Las 8 pérdidas mencionadas son causadas por distintos factores (fallas, defectos de calidad, cambio de producto, entre otras) reflejados en un bajo OEE. Estas pérdidas, con el objetivo de realizar un mayor análisis y seguimiento, pueden ser clasificadas en 3 categorías que serán presentadas en la próxima sección. Por otro lado, resulta importa señalar que, en el caso de las líneas de producción en análisis, se conoce que se maneja un alto índice de calidad, lo cual genera que se realice un mayor énfasis en las pérdidas relacionadas a fallas

de máquina. Es aquí donde las paradas ocasionadas por fallas, son un factor que impacta en gran medida el indicador.

### 2.3.4.2. Componentes de OEE

Para calcular el OEE, es importante identificar la estructura de las pérdidas que ocurren en una planta y clasificarlas según su naturaleza. La Figura 2.10 describe la estructura de las ocho pérdidas mayores, además, muestra la fórmula para calcular el OEE [12]. Se puede observar que el OEE está conformado por: disponibilidad, rendimiento y calidad. La disponibilidad es el tiempo de operación expresado como porcentaje del tiempo de calendario, el rendimiento expresa la tasa de producción como porcentaje de la tasa de producción estándar (capacidad de diseño vs capacidad real), la calidad representa la cantidad de producto aceptable menos productos de graduación baja, desecho y producto reprocesado, expresado como un porcentaje de la producción total.

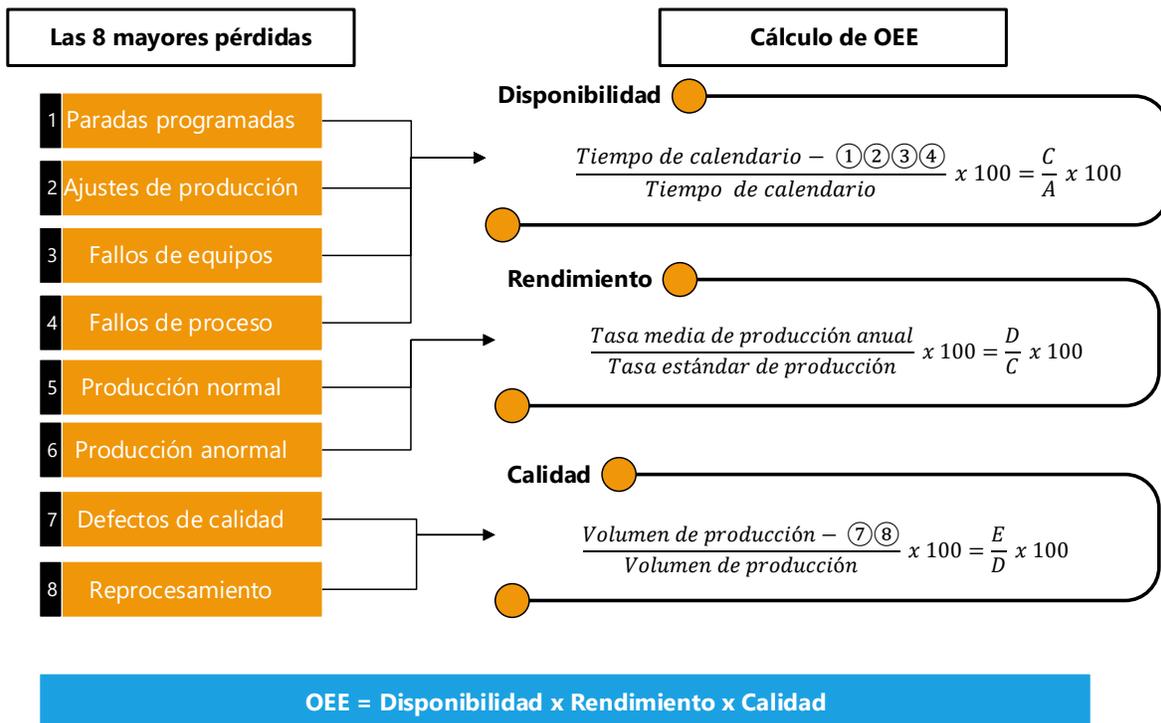


Figura 2.10. Cálculo y estructura de OEE [12].

El cálculo presentado en la Figura 2.10 es el más complejo y ayuda a determinar el lugar donde se deben concentrar los esfuerzos de mejora. Sin embargo, existen otros dos métodos más simples:

$$OEE = \frac{\textit{Tiempo neto de producción}}{\textit{Tiempo disponible}} \quad (1)$$

$$OEE = \frac{\textit{Unidades producidas en tiempo A}}{\textit{Capacidad teórica x Tiempo disponible}} \quad (2)$$

La fórmula presentada en (1) toma en cuenta las horas producidas contra el tiempo disponible. Por ejemplo, supóngase un turno de 10 horas, en el que 2 horas fueron destinadas a limpieza y 3 horas de paradas, en este caso el OEE sería 50% (5h/10h). En la segunda fórmula (2), supóngase que las máquinas tienen una capacidad teórica de 1000 u/h, entonces al final de turno se producen 5000 u, y el OEE sería 50% (5000u/10000u). Estos métodos son poco usados debido a que son generales y no permiten tomar acciones por falta de visibilidad.

### 2.3.5. Metodologías de implementación

Desde el nacimiento de TPM en los años 50's, se han desarrollado diversas técnicas de implementación, siendo la más citada y reconocida en la literatura la metodología propuesta por Nakajima [26]. Esta metodología consiste en 12 pasos, los cuales son mostrados en la Figura 2.11.



Figura 2.11. Pasos para la implementación de TPM según Nakajima [26].

Esta metodología está orientada principalmente a realizar una preparación detallada para la misma implementación y construir una cultura orientada al mantenimiento (pasos 1-6), siendo el *Lanzamiento del proyecto empresarial TPM* la reunión que da inicio a la creación de los pilares. Los pasos 7-11 están destinados a implementar y desarrollar los pilares que cada empresa decida dependiendo de la problemática y contexto específico. Finalmente, el paso 12 consiste en ajustar las metas según la nueva realidad de la empresa y postular a premios WCM (World Class Manufacturing). Es importante señalar que el periodo de implementación de esta metodología es de 2 a 3 años.

Otra metodología propuesta es la de Isik [56], la cual sugiere una implementación detallada en 20 pasos, ésta es mostrada en la Figura 2.12. Esta metodología también comprende una preparación inicial (pasos 1-4). No obstante, se encuentra centrada en la

correcta aplicación del mantenimiento autónomo (pasos 5-12) y mantenimiento planificado (pasos 13-20). Para una transformación cultural e inyectar Filosofía TPM al ADN de la empresa, se necesita al menos 3 años de trabajo [56]. El enfoque TPM de 20 pasos simplifica las ambigüedades de la implementación y brinda una imagen clara de qué, cuándo y con quién hacer.

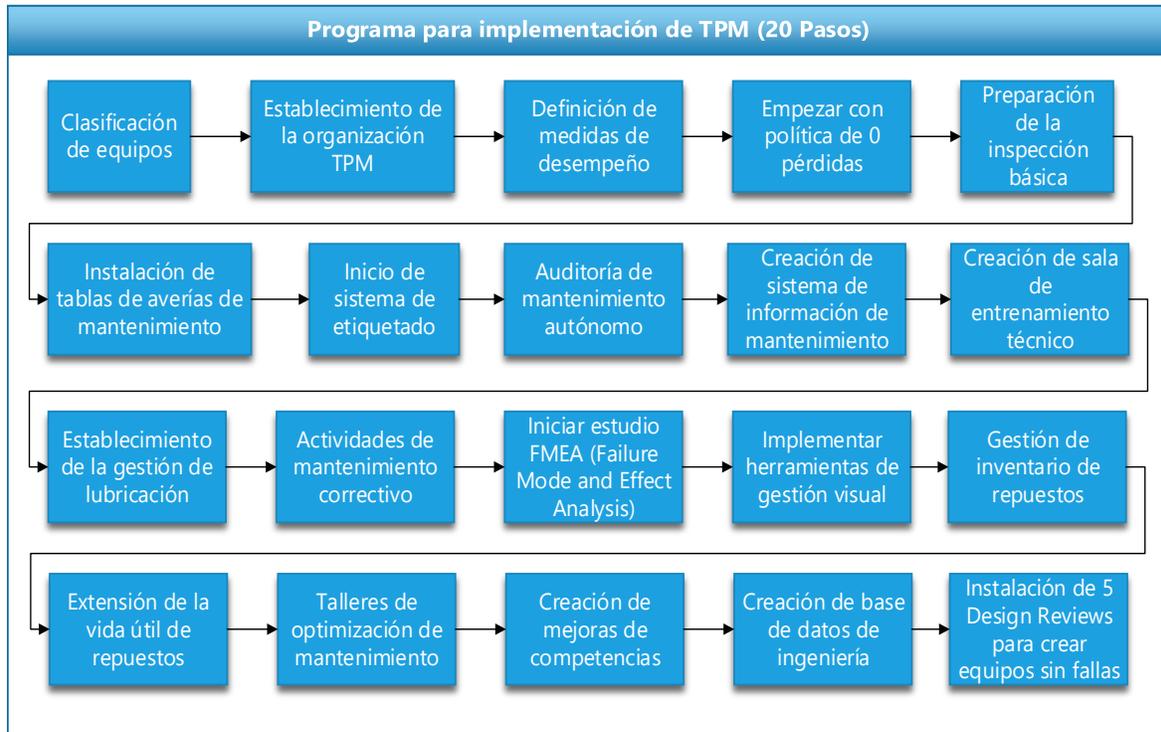


Figura 2.12. Pasos para la implementación de TPM según Isik [56].

Finalmente, Bellstedt [57] propone una metodología basada en 5 pasos, la cual es detallada en la Figura 2.13. Esta metodología está orientada a aplicar TPM en áreas críticas y realizar mediciones constantes al OEE. Asimismo, Bellstedt resalta que el involucramiento total de los trabajadores en todos los niveles es importante para garantizar el éxito de la implementación, la cual tiene un tiempo estimado de 6-12 meses.

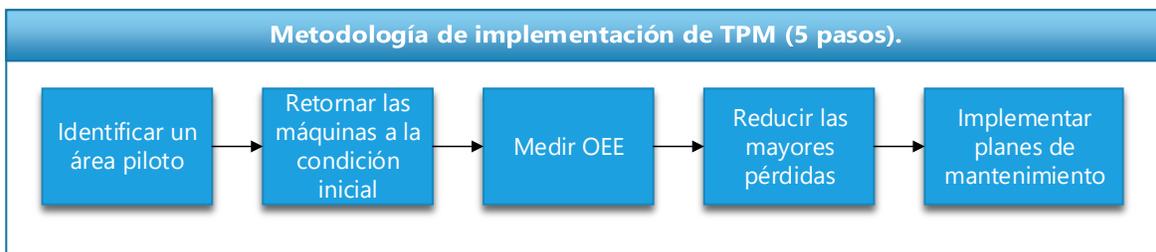


Figura 2.13. Pasos para la implementación de TPM según Bellstedt [57].

### 2.3.6. Barreras en la implementación

Las barreras son elementos o características de la organización que pueden frenar o incluso impedir el desarrollo del TPM y que pueden considerarse como facilitadores que no se encuentran presentes en la empresa [55]. Estas barreras han sido estudiadas por diversos autores en cada implementación, Marín-García et al. [55] planteó una categorización de barreras según: compromiso de la alta dirección, plan estratégico, enfoque a recursos humanos y enfoque a procesos. La Tabla 2.3 presenta barreras encontradas en la literatura:

Tabla 2.3. Barreras encontradas en la implementación de TPM.

Categoría	Subcategoría	Nº	Barrera específica
Compromiso de la alta dirección.	Involucración y liderazgo de la alta dirección.	1	Falta de soporte por la alta dirección por no entender bien el objetivo del TPM y el esfuerzo requerido [56].
		2	Incapacidad de la alta dirección de apoyar las iniciativas de mejora debido a la crisis de recursos, poco presupuesto, entre otros factores [56].
		3	Ineficiencia de la alta dirección para la holística implementación de iniciativas de gestión del cambio [56].
	La alineación con la misión de la compañía.	4	Incapacidad para alinear a los trabajadores con las metas y objetivos de la organización [56].
		5	Contradicción con otros cambios organizacionales e iniciativas de gestión [57].
		6	No remover los obstáculos grandes que motivan que el empleado no pueda ayudar a la nueva visión: la estructura organizacional, los sistemas de evaluación del desempeño, etc. [58].
Plan estratégico	Plan de implementación.	7	Falta de visión clara que ayude a dirigir el esfuerzo del cambio [58].
		8	Existencia de baja sinergia y coordinación entre los departamentos de mantenimiento y producción [56].

		9	No ser capaces de extender las prácticas y estándares TPM [56].
	Tiempo de implementación.	10	Falta de visión a largo plazo que motiva que la dirección espere resultados rápidos [59].
		11	Declarar victoria demasiado pronto, antes de que el cambio penetre en la cultura de la empresa [58].
		12	No establecer un sentido de urgencia suficientemente grande, que promueva la insatisfacción con el status quo [58].
		13	Existencia de presión por la carga de trabajo [57].
		14	Falta de formación, entrenamiento, habilidades y experiencia a todos los niveles de la organización [56, 59, 57].
	Formación y entrenamiento.	15	Falta de interés, voluntad y esfuerzo por parte de los trabajadores para participar en los trabajos de mantenimiento, adquirir conocimientos [56, 58].
		16	Falta de involucración de los operarios de producción y resistencia a ejecutar las tareas básicas del mantenimiento autónomo [56, 59].
Enfoque a recursos humanos.	Involucración total de los empleados.	17	Falta de motivación por parte de los trabajadores [56].
		18	Falta de pasión, ímpetu y dedicación al proyecto [56].
		19	Falta de cooperación de todo el personal involucrado [58].
		20	Obligar a aceptar el cambio a aquellos que opongan resistencia [58].
		21	Hacer partícipe a los trabajadores en la toma de decisiones de la organización [56].
		22	No tener las personas participantes, una visión compartida y un conocimiento adecuado del impacto del TPM [60].
		23	Falta de lealtad y orientación funcional [56].
	Transformaciones culturales.	24	Incapacidad de la dirección para convencer a los sindicatos sobre el verdadero potencial del TPM [56].
		25	Resistencia al cambio debido a la inseguridad del trabajo y aprensión por la pérdida de especialización debido a mejoras tecnológicas [56].
		26	Mucha gente, entre ellos producción, considera el TPM como trabajo adicional y una amenaza [59].
27		Existencia de firmes divisiones entre las responsabilidades de mantenimiento y producción [56].	
28		Estar atrapado por la pereza organizacional, permitiendo trabajar con márgenes de error y aceptando como razonable, niveles altos de defectos asociados con los sistemas de producción [56, 58].	
Enfoque al proceso.	Políticas de mantenimiento y mejoras enfocadas en el	29	Hacer mayor énfasis en la restauración de las condiciones de los equipos, que en la prevención de los fallos [56].
		30	No disponer de programas de mantenimiento predictivo adecuados para las instalaciones e infraestructuras en la organización [56].

sistema de producción.	31	Dedicar más tiempo a efectuar reuniones de objetivos de producción, que a motivar a la organización en la mejora de los procesos [56].
	32	Disponer de operarios con poca capacitación para la toma de decisiones de mejora en los equipos [56].

Según los autores citados previamente (Tabla 2.3), dentro de cada categoría se puede hallar barreras que dependen en su mayoría de la participación de la gerencia, jefatura y operarios. Asimismo, la colaboración entre los mismos determina el éxito o fracaso de un programa TPM. En adición, el factor cultural dentro de los cambios generados por TPM juega un papel primordial para lograr la penetración del programa [56], desde el punto de vista del autor, sería perjudicial si esta barrera y la falta de compromiso de la gerencia se encuentran en el mismo marco de análisis, debido a que generaría falta de interés y desmotivación en los operarios, dificultando que los empleados se involucren con el programa y sean solo espectadores. Por otro lado, en la empresa Ternerito se pueden identificar barreras relacionadas a tiempo de implementación e involucración total de los empleados. Dentro de la primera categoría, se identificaron los puntos 11 y 13. El programa TPM fue exitoso anteriormente en otra planta, esto genera que haya una confianza en que será exitoso en la nueva planta. A esto se le suma la carga de trabajo de los ingenieros y supervisores, los cuales aparentan sentir que TPM trae beneficios, pero genera carga de trabajo adicional. Con respecto a la segunda categoría, la barrera más resaltante fue la falta de lealtad y orientación funcional; siendo la rotación de personal un indicador que refleja estos síntomas en la compañía.

Es importante tener en cuenta estas barreras con el objetivo de eliminarlas o reducir las y evitar un posible fracaso en la implementación de TPM en la empresa en estudio.

### **2.3.7. Factores de éxito**

TPM es el resultado de un esfuerzo corporativo de hacer un uso eficiente de los recursos disponibles, centrándose en el cuidado y mantenimiento de equipos como vía principal. Además, el cambio de cultura y filosofía apalanca las mejoras en la empresa y reducción de pérdidas. La literatura de TPM presenta muchos criterios de éxito para una

implementación efectiva y sistemática. No obstante, para garantizar la implementación exitosa del TPM, los objetivos de TPM deben estar alineados con la estrategia global de la empresa, también deben complementarse en el sentido que TPM aporte a nivel operacional lo que la compañía necesite a nivel estratégico. La Tabla 2.4 presenta un resumen los factores de éxitos hallados en la literatura:

Tabla 2.4. Factores de éxito en la implementación de TPM.

N°	Factor de éxito	Swanson [61].	Robinson y Ginder [29].	McAdam y Duffner [62].	Yamashina [63].	Bohoris et al. [42].	Groote [64].	Leblanc [65].	Raouf y Ben-Daya [66].	Al-Najjar [67].	Hutchins [68].	Rodrigues y Hatakeyama [69].	Fredendall et al. [70].	Jonsson [71].	Davis y Willmott [72].	Davis [73].	Bamber et al. [74].	McKone et al. [75].	Park and Han [76].	Total
1	Involucramiento de operarios en todo el proceso de implementación.	x										x					x		x	4
2	Capacitación constante.	x		x								x			x			x		4
3	Implementación efectiva de los equipos de trabajo.	x		x			x			x	x									5
4	Los procesos de mejora deben ser reconocidos como beneficios.		x																	1
5	Fomentar un entorno que facilite a los empleados que apliquen técnicas de TPM.			x													x			2
6	Formación de puestos de trabajo más flexibles que especializados.			x																1
7	La gerencia debe apoyar la mejora continua.			x									x		x	x				4

8	Cooperación sinérgica de producción y mantenimiento.					x													x	2
9	Implementación gradual de TPM, en líneas piloto.					x														1
10	Mitigación de causa raíz de problemas en los equipos.									x										1
11	Enfoque a la gestión total del mantenimiento.	x																	x	5
12	Realización de auditorías de mantenimiento.																			1
13	Desarrollar una filosofía basada en el empoderamiento y el estímulo de personal de planta de todas las áreas.																		x	3
14	Utilización de técnicas para lograr plantas y equipos de producción altamente eficaces.																		x	2
15	Creación de indicadores de desempeño.																		x	4
16	Uso extensivo de ciclo Deming.																		x	1
17	Poner en marcha, capacitar y desarrollar una red de coordinadores TPM.																		x	1
18	Desarrollo de un plan práctico y el empleo de principios de gestión de programas y proyectos.																		x	4
19	Aceptar que TPM tomará mucho tiempo para extenderse a través de la																		x	1

organización y cambiar la cultura de mantenimiento existente.																			
---	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Los factores de éxito presentados anteriormente son resultados de estudios hechos en diversos contextos. Sin embargo, son un punto de partida para entender los elementos que facilitan una implementación de TPM. En la Tabla 2.4 se puede observar que son 7 los factores más mencionados:

- Implementación de equipos de trabajo (5 autores).
- Enfoque total al mantenimiento (5 autores).
- Involucramiento de operarios (4 autores).
- Capacitación constante (4 autores).
- Apoyo de la gerencia (4 autores).
- Creación de indicadores de desempeño (4 autores).
- Desarrollo de un plan de implementación (4 autores).

Estos factores guardan relación entre sí a tal punto que unos dependen de otros (Por ejemplo, el apoyo de la gerencia para brindar capacitaciones constantes puede aumentar el involucramiento de los operarios). Por otro lado, Ahuja y Khamba [77] realizaron un estudio en las industrias de manufactura en India (80 fábricas), donde determinaron que los principales focos para superar las barreras en toda implementación son los siguientes tópicos: apoyo de la alta gerencia, transformaciones culturales, involucramiento de empleados, prácticas de mantenimiento proactivo, capacitación constante y tener una producción enfocada a sistemas de mejora continua. Si bien este estudio fue realizado en la India, sus resultados concuerdan en gran medida con los de otros autores.

Adicionalmente, se analizó si los 7 factores de éxito más frecuentes en la literatura están presentes en la empresa en estudio, la Tabla 2.5 muestra los factores de éxito y cada evidencia:

Tabla 2.5. Evaluación de factores de éxito considerando empresa en estudio.

N°	Factor de éxito	Presencia	Evidencia
1	Implementación efectiva de los equipos de trabajo.	Sí	Se crearon equipos de trabajo según los requerimientos de cada pilar, participando las jefaturas de diversas áreas dentro de la empresa.
2	Enfoque a la gestión total del mantenimiento.	Sí	Se estableció programas de mantenimiento enfocados a la participación activa de los mantenimientos (Ver Anexo 5 y 6)
3	Capacitación constante.	Sí	Se implementaron planes de capacitación constante enfocados en desarrollar habilidades blandas y técnicas (Ver Anexo 7).
4	La gerencia debe apoyar la mejora continua.	No	No se cuenta con sustento.
5	Involucramiento de operarios en todo el proceso de implementación.	Sí	Los operarios participan de las reuniones diarias y en algunas ocasiones de las reuniones gerenciales (Ver Sistema de gestión diario, Capítulo 4)
6	Creación de indicadores de desempeño.	Sí	Se crearon indicadores que reflejan el trabajo diario del equipo de trabajo tales como: unidades producidas, merma, tiempo de paradas, entre otros. (Ver Anexo 9 y 10).
7	Desarrollo de un plan práctico y el empleo de principios de gestión de programas y proyectos	No	No se cuenta con sustento.

### 2.3.8. Casos de estudio

TPM se ha implementado en muchas empresas en todo el mundo, logrando grandes y medianos resultados dependiendo de la empresa y la estrategia en cada estudio. Tener en cuenta casos de estudio similares sirve como punto de referencia para una mejor toma de decisiones cuando se realice la intervención en las líneas piloto de la empresa Ternerito. Asimismo, ayuda a identificar qué factores de éxito como herramientas y estrategias se

aplicaron en cada implementación. A continuación, la Tabla 2.6 presenta una comparación de los casos de estudio hallados en la literatura:

Tabla 2.6. Casos de estudio.

Autor	Rubro	País	Estrategias/ Herramientas	Aumento de OEE (Puntos)
Gupta y Garg [78]	Manufactura (Ensamble de automóviles)	India	Se aplicaron 5S, MA, ME, E&E. Involucramiento de los operarios. Realista con el tiempo de implementación. Apoyo fuerte y activo de la gerencia. Las metas y objetivos organizacionales fueron claros.	11.3
Tsang y Chan [79]	Manufactura (Mecanizado de alta precisión)	China	Apoyo de la gerencia. Capacitaciones constantes. Lanzamiento en líneas piloto. Comunicación clara, constante y abierta con operarios.	No especificado (Se estudia la implementación y no se evalúa el OEE)
Singh et al. [80]	Manufactura (Mecanizado)	India	Se aplicaron 5S, MA, MP, MC, ME, SSMA, MAA. Involucramiento de operarios. Apoyo de gerencia.	16.0
Wakjira y Ajit Pal Singh [81]	Manufactura (Producción de cerveza)	Etiopía	Se aplicaron todos los pilares de TPM. Las actividades de mantenimiento autónomo se realizaron con participación total de los trabajadores. La inversión en formación y educación logró impulsar la moral del operador y el compromiso con los objetivos de la empresa.	10.1
Tsarouhas [82]	Alimentos (Panadería)	Grecia	Capacitaciones constantes. Aplicación de métodos para reducción de pérdidas por razón del fallo del equipo. Aplicación de políticas de mantenimiento, mantenimiento preventivo, sustitución y control periódico para aumentar la fiabilidad de las máquinas.	16.2
Jasiulewicz y	Fundición	Polonia	Se aplicaron MA, ME y E&E. Capacitaciones constantes.	-25.0

Piechowski [83]			
Jain et al. [84]	Químicos	India	Se aplicaron MA y E&E. Comprensión e interpretación analítica de datos. Capacitaciones constantes. Involucramiento de operarios a través de charlas. Motivación a través de metas. Auditorías a los avances de MA.
			30.0

Según los casos de estudios hallados en la literatura, se encuentra que la mayoría de casos de estudio fueron realizados en India y gran parte en la industria de manufactura. Los estudios más cercanos a la realidad de la empresa en análisis son los propuestos por [80] y [84], en ambos casos se usaron herramientas similares y son las que se planean usar para la empresa Ternerito. Adicionalmente, Tsang y Chan [79] realizaron la implementación de TPM en líneas piloto, y no en toda la fábrica como en otros casos. Este factor ayuda a que los involucrados en el programa puedan obtener experiencia y se facilite la implementación en demás áreas de una empresa.

Prestando atención a los resultados en términos de OEE, se ve un aumento de 16.7 puntos en promedio. Sin embargo, se registró un caso donde el OEE se redujo en 25 puntos. En este estudio, el factor que influyó en estos resultados fue una incorrecta toma de datos (operarios no entendían totalmente el uso de nuevos formatos). Según Muchiri y Pintelon [85], la validez y la utilidad de la medida OEE son altamente dependientes de la recopilación de datos y la precisión de estos.

Las estrategias aplicadas por las empresas mencionadas están alineadas a los factores de éxito descritos por los autores en la literatura, esto refuerza la idea de tener un mayor enfoque involucrando a los operarios, capacitar constantemente y buscar el apoyo gerencial.

### 2.3.8.1. Casos de estudio en Perú

Anteriormente, se revisaron los casos de implementación de TPM en el mundo, sin embargo, es importante estudiar implementaciones realizadas en Perú debido a que presenta el mismo contexto local que la empresa Ternerito.

Tabla 2.7. Casos de estudio en Perú

Autor	Rubro (Empresa)	Estrategias/ Herramientas	Aumento de OEE (Puntos)
Retamozo [89]	Manufactura (PRECOR S.A.)	Aplicación de todos los pasos de TPM. Capacitaciones continuas. Programa de limpieza periódica. Programa de ajuste, alineamiento, lubricación y engrase. Plan de mantenimiento preventivo.	8
Huachaca [90]	Manufactura (CIPSA S.A.)	Aplicación de MA. Capacitaciones continuas. Implementación de programas de MP.	7
Ponce [91]	Manufactura (SIDER PERÚ S.A.)	Lanzamiento en líneas piloto. Comunicación clara, constante y abierta con operarios. Aplicación de proyectos en paralelo.	-13
Zavaleta [92]	Manufactura (FIMA S.A.)	Apoyo de la gerencia. Se aplicaron todos los pilares de TPM. Capacitaciones continuas. Programa de limpieza periódica. Programa de ajuste, alineamiento, lubricación y engrase.	12
Aponte [93]	Manufactura (GLORIA S.A.)	Proyectos de mejora enfocada. Programa de limpieza periódica. Programa de ajuste, alineamiento, lubricación y engrase.	-
García [94]	Manufactura (SAN LUIS S.A.C.)	Capacitación constante. Programa de limpieza periódica. Programa de ajuste, alineamiento, lubricación y engrase. Enfoque al trabajo interdisciplinario.	15
Medina [95]	Manufactura (FILASUR S.A.)	Capacitación constante. Programa de limpieza periódica. Programa de ajuste, alineamiento, lubricación y engrase. Definición clave de proceso.	45

En la revisión de la literatura se encontraron 7 casos de estudio de implementación de TPM en empresas peruanas. La mayoría de estos casos presentan como factor común las capacitaciones constantes y el uso de programas de limpieza periódica, ajuste, alineamiento, limpieza, lubricación y engrase. Asimismo, las empresas tuvieron mejoras entre 7%-45% en cada implementación.

No obstante, el caso reportado por Medina [95] presenta una mejora fuera del promedio de los demás estudios, esto se debe en gran medida a que el estudio fue realizado con 1 operario de producción, y éste al ser entrenado en técnicas de mantenimiento permitió reducir el número de paradas no programadas. Del mismo modo, el estudio reportado por Ponce [91] presenta una disminución de 13 unidades en el OEE, esto es originado porque el operario con más experiencia renunció y los demás operarios aún se encontraban iniciando su entrenamiento.

Es importante señalar que el estudio realizado por Aponte [93] no presenta mejora en el OEE debido a que éste realizó 3 proyectos de mejora enfocada que estaban orientados a reducir costos, merma y mejora de bases de datos.

## Capítulo 3 - Descripción de la empresa

Ternerito es una empresa agroindustrial peruana. Esta empresa tiene por objeto principal el desarrollo, transformación, producción, procesamiento, industrialización, comercialización, importación y exportación de todo tipo de productos de consumo humano, trátase de derivados de las frutas, lácteos, cárnicos, vinos y licores, así como dedicarse a cualquier otra actividad conexas y vinculadas a la manufacturación de alimentos.

### 3.1. Sobre la empresa

La empresa tiene una antigüedad de 107 años en el mercado peruano, actualmente se mantiene operando tres unidades de producción ubicadas en Lima (en Lima se cuenta con 3 plantas: UHT (Ultra High Temperature, Lácteos y Cárnicos), Arequipa y Majes, donde elabora mantequilla, quesos, yogures, leches, jugos, manjares y embutidos. Luego de mantener un crecimiento promedio del 5% durante el periodo 2011-2015, la economía peruana no escapó a la desaceleración de la economía mundial y durante el 2016, el crecimiento del país fue de sólo 3.9%. Ternerito, luego de un crecimiento sostenido promedio de 7.2% anual durante los últimos cinco años, no fue ajena al impacto de la desaceleración del consumo masivo, creciendo 6.3% en el 2016 respecto al 2015 [86].

Como se mencionó anteriormente, la empresa viene manteniendo un crecimiento en los últimos años, este es reflejado en el EBITDA, la Figura 3.1 presenta el EBITDA (Earnings Before Interest, Taxes, Depreciation, and Amortization) en los últimos 5 años [86]:



Figura 3.1. EBITDA en los últimos 5 años.

Cada una de las 3 plantas ubicadas en Lima produce una amplia línea de productos, es así que la planta UHT produce 94 SKUs, Lácteos produce 170 y Cárnicos produce 82. Es importante señalar que el análisis y mejora se realizará en la planta Lácteos, donde serán afectados 8 SKUs.

**3.2. Principales clientes**

La empresa vende principalmente a clientes ubicados en Lima, donde se concentra el 80.1% de sus ventas, seguido por Trujillo (2.4%), Arequipa (2.4%), y Chiclayo (1.8%), las demás provincias a nivel nacional son detalladas en el Anexo 1. La Figura 3.2 muestra la participación de los clientes según provincias:

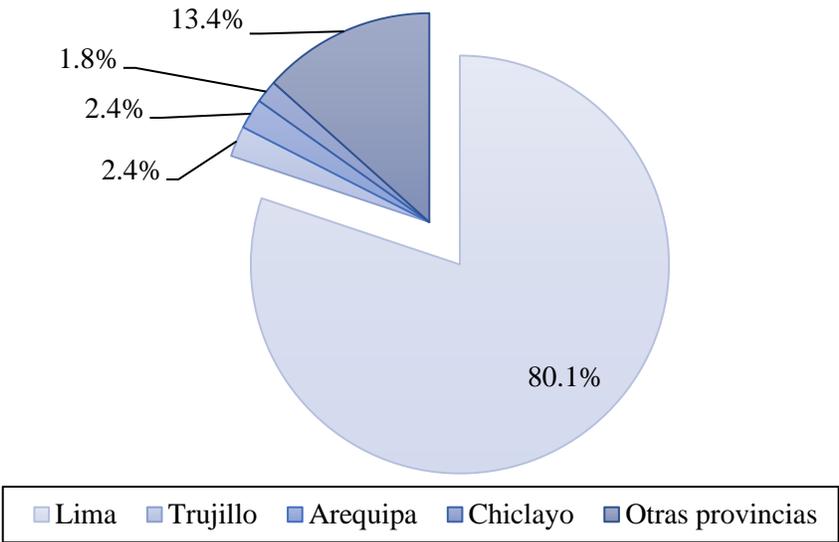


Figura 3.2. Principales provincias según volumen de ventas.

Dentro de la cartera de clientes de la compañía, la mayor participación está dada por las empresas Wong, Supermercados Peruanos y Tottus, estas suman en su conjunto el 43.9% de las ventas de la compañía. La Figura 3.3 muestra la distribución de clientes según volumen de ventas:

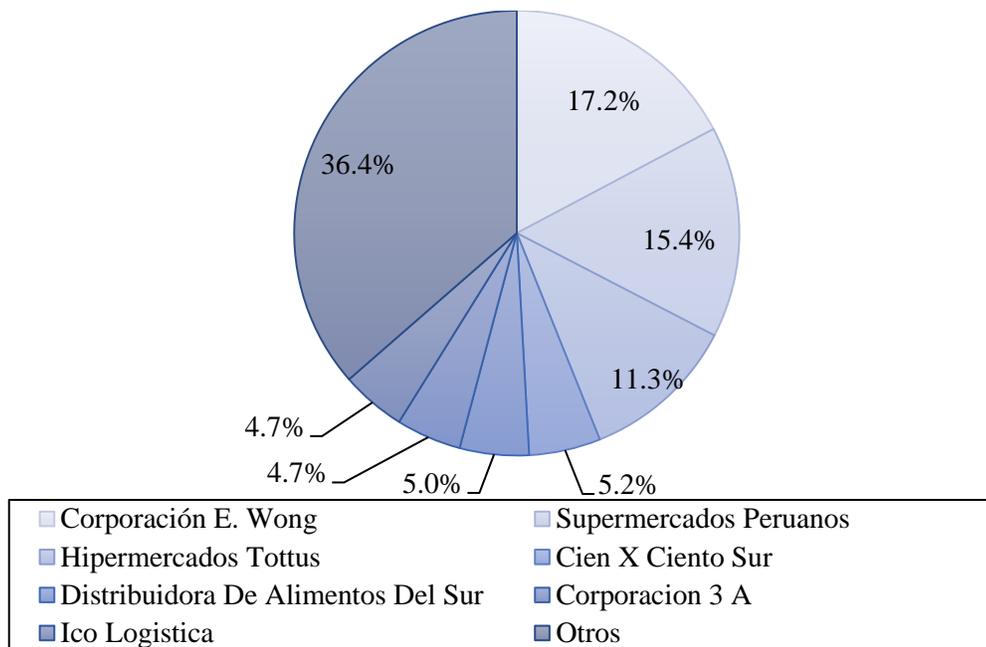


Figura 3.3. Principales clientes según volumen de ventas.

Como se ve en la Figura 3.3, la participación de los clientes está distribuida parcialmente entre grandes empresas peruanas. No obstante, aparentemente no existe una dependencia directa de la empresa Ternerito frente a algún cliente, por lo que se puede asumir que no existen riesgos relacionados a concentración de ventas en un solo cliente.

### 3.3. Organización general

La empresa en estudio está conformada por 8 gerencias, estas son mostradas en la Figura 3.4:

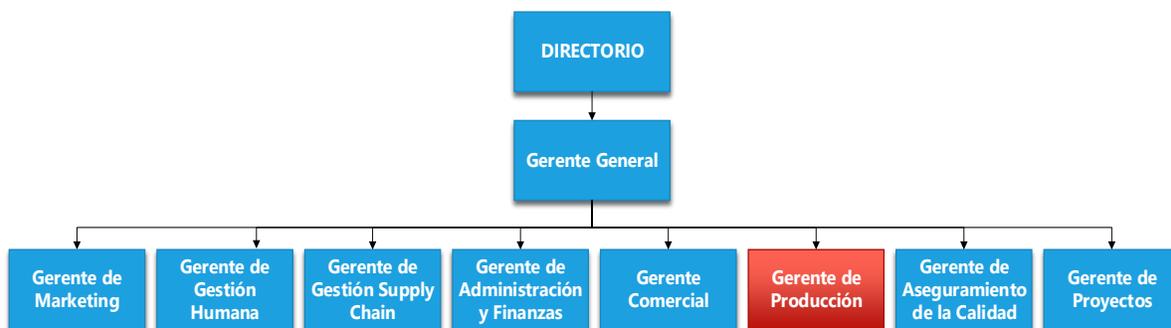


Figura 3.4. Organización general.

La implementación de TPM en este caso de estudio es liderada por la Gerencia de Producción, esta gerencia tiene a cargo las plantas de producción de Lima, Arequipa y Majes. TPM inició en la empresa Ternerito con el lanzamiento en la planta UHT en marzo de 2016, tras un año de trabajo se obtuvieron resultados alentadores en términos de reducción de mermas de envases y aumento de OEE en las líneas donde se implementó TPM. Bajo este contexto, el gerente de producción decide implementar TPM en la planta Lácteos con la expectativa de obtener resultados similares, es así que nace el presente estudio de mejora orientado al OEE en la planta Lácteos. La Figura 3.5 presenta la organización dentro de la gerencia de producción, se puede observar una jerarquía con características verticales, con diferencias organizacionales entre cada planta de producción (Arequipa, Majes, UHT, Lácteos, Cárnicos). En color rojo se resalta las áreas y líderes involucrados en la implementación de TPM en la planta Lácteos.

Por otro lado, es importante señalar cómo se distribuyen los trabajadores con respecto a los lugares de trabajo y las plantas de producción para poder entender la magnitud de las operaciones, la Tabla 3.1 presenta el número de trabajadores directos vinculados a la compañía hasta el 31 de diciembre de 2016:

Tabla 3.1. Distribución de trabajadores según localización.

Personal	Lima	Arequipa	Majes	<b>Total</b>
Administrativo	213	10	6	<b>229</b>
Operativo	774	73	41	<b>888</b>
<b>Total</b>	<b>987</b>	<b>83</b>	<b>47</b>	<b>1117</b>

Adicionalmente, la empresa genera 819 puestos de trabajo a través de terceros en sus áreas de ventas y operativos, también contribuye con 35 vacantes a través de modalidades formativas laborales.

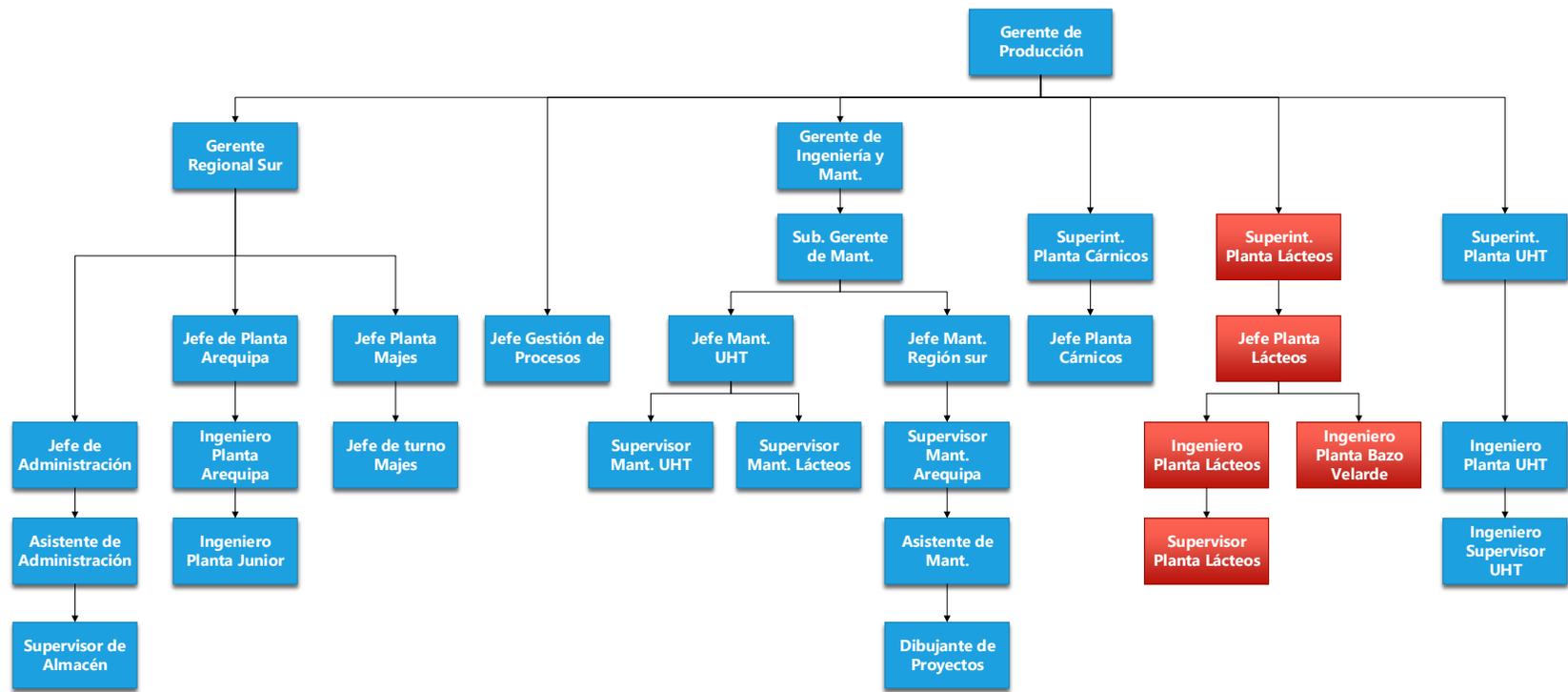


Figura 3.5. Organigrama de la gerencia de producción.

### 3.4. Descripción de productos relevantes

Cada planta produce distintos SKUs, en la planta Lácteos se fabrican productos como: crema de leche, dulce de leche, mantequilla, mantequilla light, queso fresco, queso fundido, queso crema, queso rebanado, queso parmesano, yogures y leches fermentadas. Dentro de la categoría de leches fermentadas se encuentran la familia de productos Mix (producidos únicamente en las líneas Nano 2 y 3). Estos productos están formados por 2 componentes, éstos son mostrados en la Figura 3.6:



Figura 3.6. Producto Mix.

El componente superior consiste en una sobrecopa de plástico en la cual se agrega cereal, la parte inferior es un vaso donde se vierte yogurt. Es importante señalar que pueden agregarse distintos tipos de cereales tales como: bolitas de chocolate, bolitas crujientes, hojuelas y bolitas de chocolate de colores. Asimismo, cada cambio de presentación involucra un cambio de formato y calibración en la máquina, siendo la línea Nano 3 la que fabrica más presentaciones de productos Mix, por lo que el tiempo de paradas por cambio de formatos y calibración es mayor al de la línea Nano 2.

### 3.5. Descripción de procesos

Previamente se mencionó que la empresa cuenta con varias plantas en Perú, cada planta cuenta con una cartera de productos. Mientras cada producto tiene un proceso de fabricación específico, para este trabajo solo se considera relevante el proceso de fabricación de la familia Mix, el cuál es detallado más adelante.

### **3.5.1. Capacidad productiva**

Calcular la capacidad de la planta Lácteos resulta complejo debido a la variedad de procesos y productos. No obstante, se puede estimar que la planta tiene una capacidad mensual de 4100 toneladas/mes teniendo como base yogurt.

Por otro lado, se conoce que las líneas Nano 2 y 3 tienen una capacidad de 5400 unidades/hora, esto equivale a 724 kg/hora aproximadamente. Cabe resaltar que, para estos productos, el 20% está conformado por cereal y 80% por yogurt.

### **3.5.2. Indicadores de gestión relevantes**

En cada planta se llevan indicadores de gestión asociados a producción, calidad, mantenimiento, seguridad, entre otros, estos indicadores son actualizados y revisados semanalmente en la reunión llamada “Revisión de fábrica”. En esta reunión se toman medidas a mediano y largo plazo para mejorar los resultados de la planta. Es importante señalar que en esta reunión participa el gerente de producción, el superintendente de la planta y jefes de las demás áreas (calidad, mantenimiento, seguridad, etc.). Los indicadores son mostrados a continuación:

- Número de accidentes en el trabajo: Conteo de accidentes registrados a la semana.
- Número de reclamos de clientes y consumidores:  $N^{\circ}$  reclamos de consumidores +  $N^{\circ}$  reclamos de consumidores.
- Incidencias de calidad en líneas de producción:  $N^{\circ}$  de incidencias / Total de lotes producidos.
- Producción no conforme:  $\text{Lotes no conformes} / (\text{Lotes } 100\% \text{ conformes} + \text{Lotes no conformes})$ .
- Balance de masa:  $\text{Kg producidos} / \text{Kg formulados}$ .
- Merma de envases:  $(N^{\circ} \text{ unidades consumidas} - N^{\circ} \text{ unidades producidas}) / N^{\circ} \text{ unidades consumidas}$ .
- Cumplimiento de programa de producción:  $\text{Kg producidos} / \text{Kg programados}$ .

- OEE: Disponibilidad x rendimiento x calidad
- Nivel de servicio: (Producto vendido - Producto faltante) / Producto vendido.
- Tiempo medio entre fallas: Horas de producción / N° paradas.
- Tiempo medio de restablecimiento: Horas de paradas / N° paradas.
- Cumplimiento del programa de mantenimiento: N° trabajos ejecutados / N° trabajos programados.

Por otro lado, cada indicador mencionado anteriormente es conocido a nivel de cada línea de producción, estos en su conjunto generan los mismos indicadores de la planta a nivel general. Para este caso de estudio, se seleccionarán algunos indicadores que permitan dar seguimiento y aumentar el OEE, esto será detallado en el próximo capítulo.

### 3.5.3. Secuencia de procesos

Dada la variedad de productos en la planta lácteos, en esta sección solo se hablará sobre los procesos que interfieren en la fabricación de los productos Mix. Las Figuras 3.7 y 3.8 muestran un resumen de los procesos que se detallarán a continuación:

- **Filtrado:** Por cuestiones de higiene la leche debe ser filtrada, este proceso separa las partículas extrañas que puedan estar en la leche.
- **Termizado:** Esta etapa es opcional, pues se termiza sólo si la leche no será consumida en las próximas horas, o si la calidad de la leche se encuentra en riesgo. Para esto la leche fresca cruda es calentada a 62-65 °C , luego se enfría a máx. 8°C.
- **Agitado:** La leche se almacena en los tanques isotérmicos de recepción, los cuales están provistos de agitadores, a una temperatura  $\leq 8^{\circ}\text{C}$ . En caso la temperatura supere el límite, se analiza la leche, se enfría y/o se prioriza su consumo.
- **Pesado y agitado:** La leche se agita en forma mecánica en los tanques, los cuales cuentan con balanzas incorporadas.

- **Recirculado y agitado:** Se procede a recibir la leche materia prima en la tina de preparación limpia y desinfectada, luego se agrega estabilizante recirculando entre la tina y el triblender. De adicionarse mantequilla o crema también se realiza en esta etapa, recirculando entre la tina y triblender, pasando por el homogenizador. Para una mejor adición del azúcar, estabilizante, suero en polvo, vitaminas y fortificantes, (según fórmula), es necesario recircular la leche entre el triblender y tanque de formulación
- **Estandarizado de sólidos de leche:** La mezcla de la tina de reconstitución se bombea al tanque de formulación agregando la cantidad de agua necesaria para alcanzar los parámetros de sólidos de leche de cada fórmula. Se mantiene en agitación constante.
- **Enfriado:** La mezcla de leche es bombeada al intercambiador de calor de placas, pasando previamente por un filtro, para ser enfriada y trasvasada a los tanques mezanine (tanques de espera). La máxima temperatura de leche enfriada debe ser 12 °C.
- **Almacenamiento en tanque mezanine:** Después de enfriada, la mezcla de leche reposa en los tanques isotérmicos de mezanine. Si la temperatura es mayor a 12°C no debe esperar más de 2 horas, ni sobrepasar los 20°C.
- **Pre-Calentamiento:** La mezcla ingresa al intercambiador de calor por medio de una bomba, y es calentada hasta una temperatura entre 60 y 70°C y enviada al homogenizador.
- **Homogenizado:** El fluido es homogenizado para reducir el tamaño de los glóbulos grasos. Se homogeniza a 2000 - 3000 psi. Terminando esta etapa, el fluido regresa al intercambiador de calor.
- **Pasteurizado:** Se pasteuriza a mínimo 85°C durante 5 minutos y la temperatura de salida de la mezcla debe ser entre 39°C y 44°C, esto con el objetivo de que la leche formulada reaccione con el fermento en el próximo proceso.

- **Fermentación:** Se agrega el fermento y se espera que la leche coagule. Este proceso dura aproximadamente 3.5 - 4 horas según el tipo de fermento, se puede sacar muestra para ir controlando el pH.
- **Enfriado:** Cuando la leche fermentada llegue al pH requerido, esta es enfriada a través de un filtro y del intercambiador de placas correspondiente entre 18°C y 20°C (esta temperatura es la óptima para el transporte en tuberías para el envasado). Se registra el pH, la hora, los sólidos solubles y la temperatura al inicio del enfriado. El producto frío es vaciado paralelamente al tanque de envasado previamente desinfectado.
- **Envasado:** La leche fermentada es bombeada y filtrada hacia la tolva de envasado. El producto es envasado en diferentes presentaciones dependiendo de la línea de producción. Para ello los envases deben utilizarse siempre que se encuentren en sus empaques correspondientes y no sueltos. Además, se verifica que los envases no tengan materia extraña dentro y estén libre de polvo. En el caso de las líneas Nano 2 y 3, el vaso viene preformado e impreso, se llena el producto y luego es sellado con tapa de aluminio. Luego, se coloca la sobrecopa de cereal y finalmente es codificado.
- **Etiquetado:** Los envases con producto pasan a través de la faja donde son una máquina se encarga de poner la fecha, el lote y nombre de máquina por la cual fue producido.
- **Empacado:** Según las presentaciones el producto es encajado o empacado con film termoencogible, posteriormente es paletizado.
- **Transporte a almacén:** Las paletas son trasladadas al almacén de fríos.
- **Almacenamiento:** El producto es entregado a despacho donde se debe conservar la temperatura de refrigeración (<8°C). El producto espera en los almacenes de despacho hasta la liberación de la misma y posterior emisión de las órdenes de pedido para envíos a clientes. Una vez listos los pedidos, los productos son enviados en camiones a los diferentes puntos de venta.

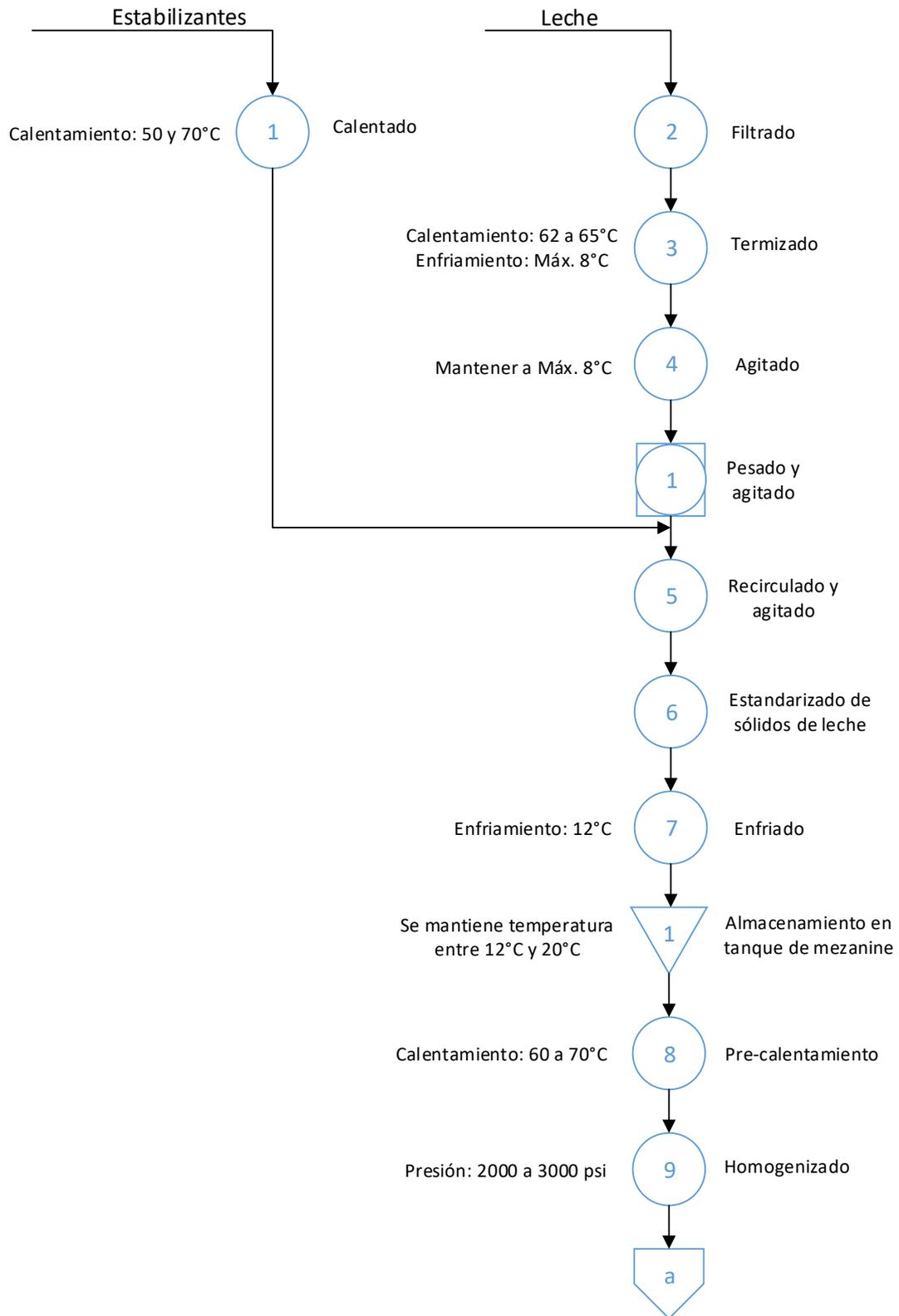


Figura 3.7. Diagrama de actividades del proceso de fabricación de productos Mix (1).

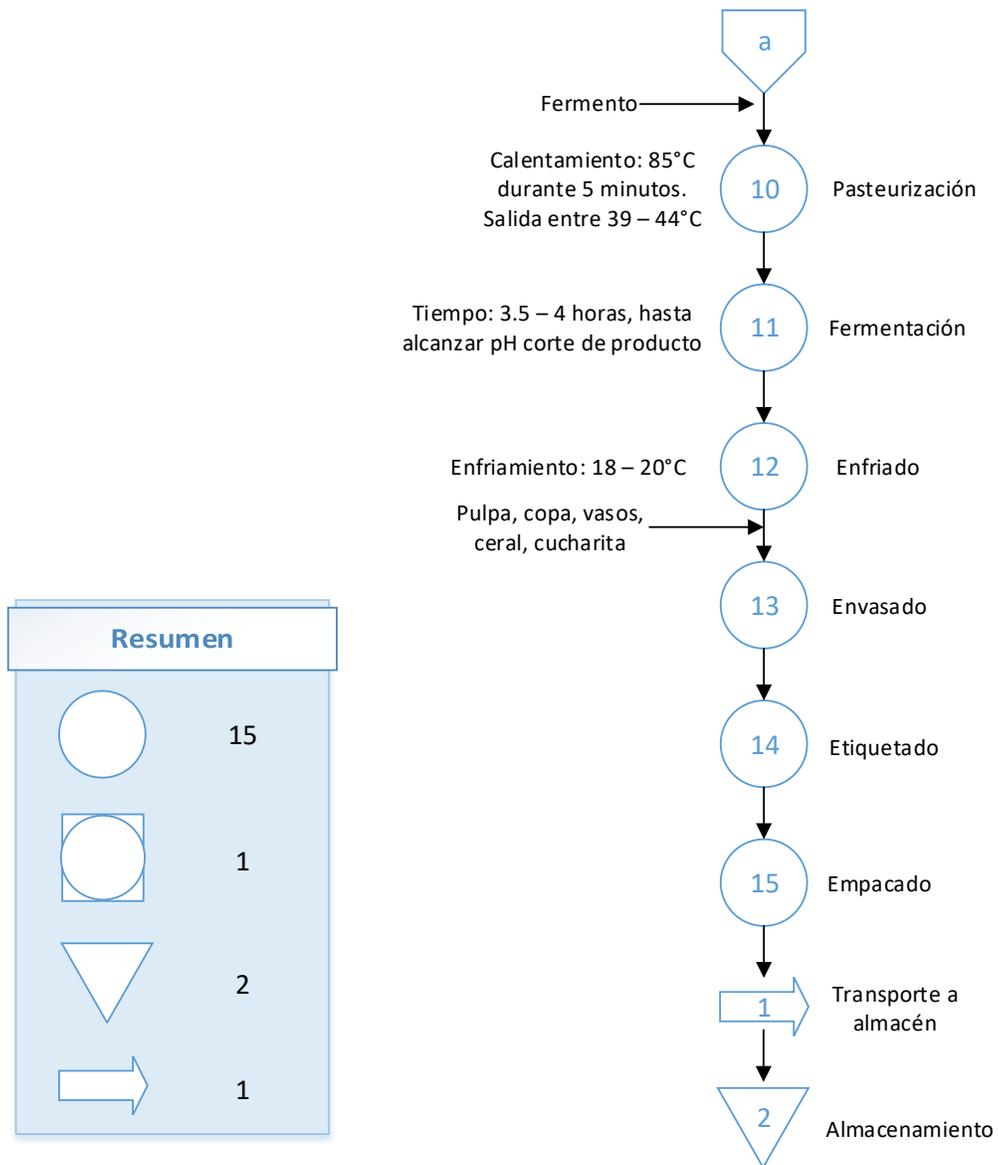


Figura 3.8. Diagrama de actividades del proceso de fabricación de productos Mix (2).

#### **3.5.4. Organización en las líneas de producción**

Las líneas de producción en estudio están conformadas por 7 personas (2 maquinistas de cereal, 1 maquinista de yogurt, 3 encajadores y 1 paletizador) en cada línea y 1 reponedor de insumos para ambas líneas (cereales, vasos, sellos de aluminio, entre otros). El responsable y líder de cada línea es el maquinista de yogurt, éste generalmente es el operario con más experiencia y conocimiento en habilidades técnicas, éste se encarga de realizar los reportes diarios de producción o designarlos a otros integrantes de la línea y realizar los mantenimientos semanales a los equipos. Los maquinistas de cereal son los segundos a mando, asumen las responsabilidades del maquinista de yogurt cuando éste se encuentra ausente. Ellos también se encargan de coordinar la reposición de insumos con el reponedor. Los encajadores, reponedores y paletizadores se encuentran en el mismo nivel, tienen funciones menos críticas y siempre están atentos a cualquier aviso o instrucción del maquinista de yogurt. Es importante señalar que los encajadores realizan inspecciones visuales a los productos terminados y comunican al maquinista de yogurt en caso se detecten defectos de calidad. La Figura 3.9 presenta un layout con la ubicación de cada integrante.

Por otro lado, en las líneas Nano 2 y Nano 3 se labora con horarios de trabajo diferentes: Los trabajadores de la línea Nano 2 trabajan en turnos de 12 horas al día, de lunes a jueves. Es común que los viernes se necesiten horas extra para cumplir con el programa de producción, los domingos son destinados para que el maquinista de yogurt realice el mantenimiento semanal. Caso contrario a la línea Nano 3, en esta línea se labora 8 horas al día (lunes a sábado), mientras los domingos son destinados a mantenimiento. Con respecto a la rotación de turnos, estos varían semanalmente (Mañana, tarde y noche para Nano 3, mañana y noche para Nano 2).

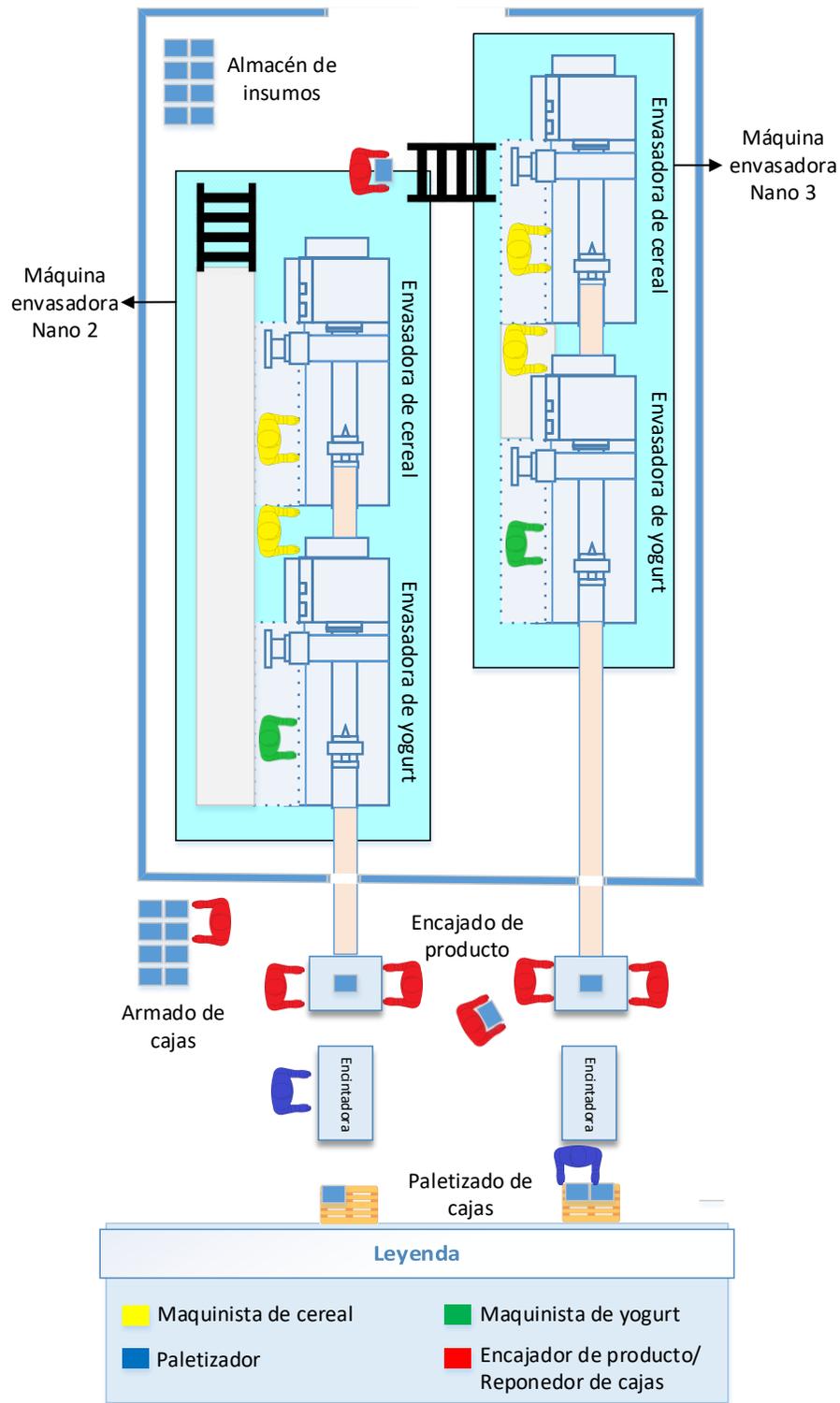


Figura 3.9. Layout de área de envasado y ubicación de operarios.

### 3.6. Diagnóstico de OEE en líneas piloto

En esta sección se verá el desempeño de las líneas Nano 2 y Nano 3 en los últimos meses, en la Figura 3.10 se puede que la línea Nano 2 presenta un mayor desempeño que la línea Nano 3. Además, ambas líneas tienden a mantenerse alrededor de 65% y 51% respectivamente.

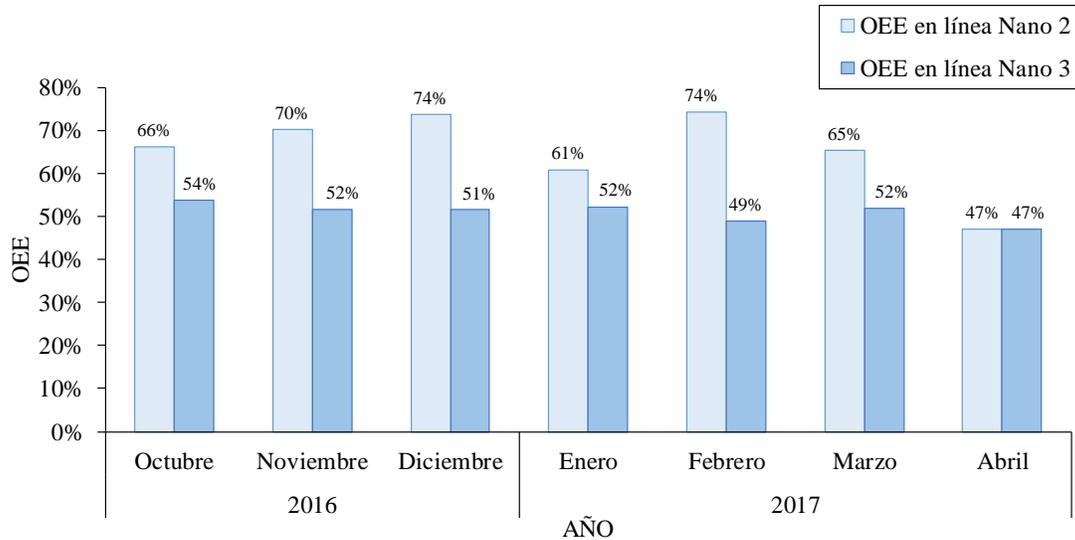


Figura 3.10. OEE observado en los últimos 6 meses en líneas Nano 2 y 3.

A continuación, se presenta los factores disponibilidad, desempeño y calidad de ambas líneas (Figura 3.11):

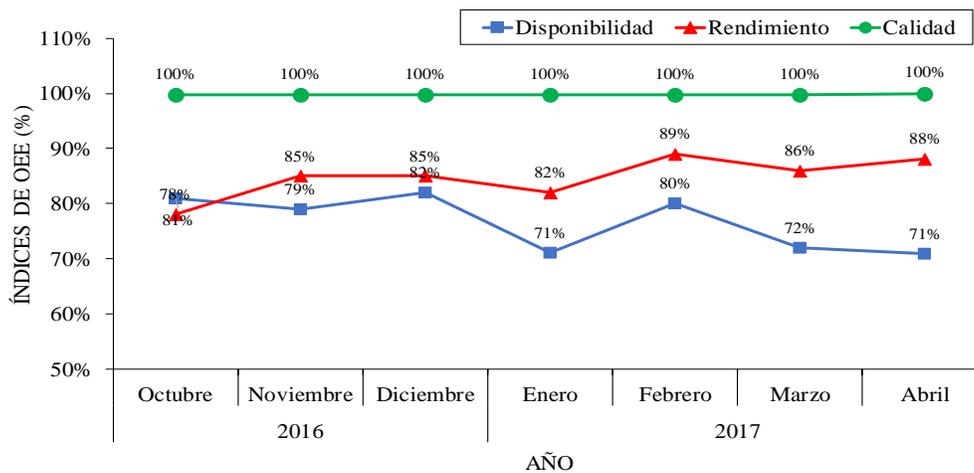


Figura 3.11. Factores disponibilidad, rendimiento y calidad en línea Nano 2 en los últimos meses.

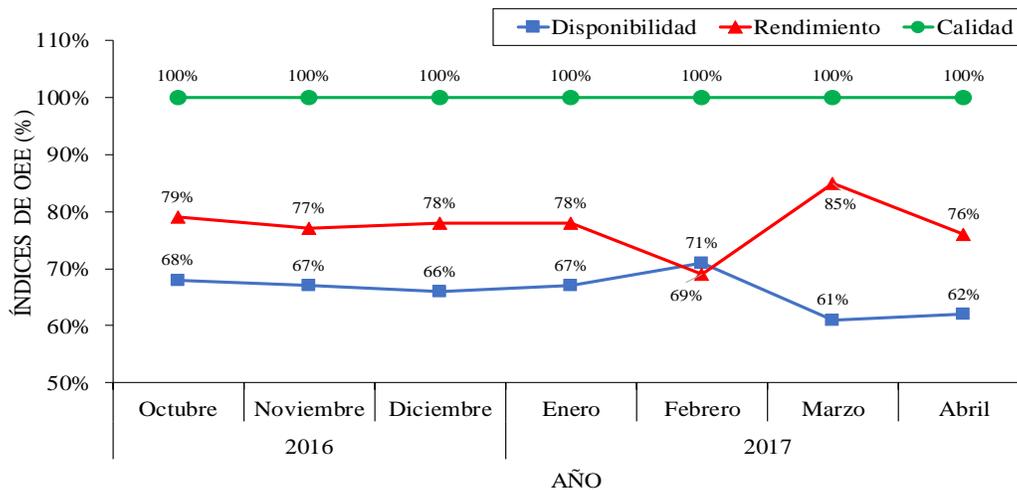


Figura 3.12. Factores disponibilidad, rendimiento y calidad en línea Nano 3 en los últimos meses.

Como se ve en la Figura 3.11 y 3.12, el factor más crítico en ambas líneas es la disponibilidad, teniendo un valor promedio de 77% en la línea Nano 2 y 66% en la línea Nano 3 y llega a ser el índice más bajo en el transcurso del tiempo. En el caso de rendimiento, las líneas presentan valores de 88% y 89% respectivamente. El factor calidad varía entre 99.9% y 100%, por lo que en las gráficas se ve una línea sin variaciones.

Con respecto al tiempo de producción, mensualmente la línea Nano 2 se encuentra en producción 212.9 horas (66.4%), mientras la línea Nano 3, 210.8 horas (55.4%) en promedio. El tiempo no productivo promedio mensual equivale a 107.9 horas (33.6%) y 169.7 horas (44.6%) respectivamente. A continuación, la Tabla 3.2 presenta la distribución de horas de producción y tiempo de paradas en los últimos meses.

Es importante señalar que en la categoría Paradas Programadas se contempla eventos como CIP (Cleaning In Place), limpieza de área, set-up, calibración de equipos, capacitaciones, entre otros. La categoría fallas de máquina corresponden únicamente a las paradas ocasionadas por un mal funcionamiento de los equipos en la línea de producción.

Tabla 3.2. Distribución de tiempos en líneas Nano 2 y Nano 3 en los últimos meses.

	2016			2017			
	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr
<b>Línea Nano 2</b>							
Horas de producción (%)	339.3 (67.8)	202.2 (68.9)	228.1 (71.1)	115.9 (62.0)	201.4 (64.7)	227.3 (62.2)	176.0 (66.0)
Horas de no producción (%)	161.0 (32.2)	91.4 (31.1)	92.9 (28.9)	71.0 (38.0)	109.9 (35.3)	138.3 (37.8)	90.7 (34.0)
Horas de paradas programadas (%)	118.1 (23.6)	74.5 (25.4)	73.2 (22.8)	55.7 (29.8)	98.0 (31.5)	104.4 (28.6)	61.3 (23.0)
Horas de fallas en máquina (%)	42.9 (8.6)	16.9 (5.8)	19.7 (6.1)	15.3 (8.2)	11.9 (3.8)	33.9 (9.3)	29.4 (11.0)
Total	500.3	293.6	321.0	186.9	311.3	365.6	266.7
<b>Línea Nano 3</b>							
Horas de producción (%)	220.2 (55.8)	226.5 (55.3)	157.5 (55.9)	221.9 (59.7)	308.0 (59.4)	214.9 (49.1)	126.8 (50.9)
Horas de no producción (%)	174.7 (44.2)	183.1 (44.7)	124.1 (44.1)	150.1 (40.3)	210.7 (40.6)	222.7 (50.9)	122.3 (49.1)
Horas de paradas programadas (%)	122.3 (31.0)	115.6 (28.2)	73.1 (26.0)	98.9 (26.6)	136.1 (26.2)	106.7 (24.4)	67.4 (27.1)
Horas de fallas en máquina (%)	52.4 (13.3)	67.5 (16.5)	51.0 (18.1)	51.2 (13.8)	74.6 (14.4)	116.0 (26.5)	54.9 (22.0)
Total	394.9	409.6	281.6	372.0	518.7	437.6	249.1

Finalmente, con respecto a las paradas relacionadas a fallas de los equipos, se conoce que las más frecuentes y de mayor duración están relacionadas a selladores de cereal, succionadores de sobrecopas, entre otras. La Tabla 3.3 presenta el ranking de paradas de ambas líneas:

Tabla 3.3. Ranking de paradas en líneas Nano 2 y Nano 3.

Nano 2	Tiempo promedio al mes (Horas)	Nano 3	Tiempo promedio al mes (Horas)
Falla dosificado de yogurt	4.9	Falla selladora cereal	7.3
Falla colocador de cuchara/tapa	2.9	Falla presellado/sellado de vaso	7.0
Falla fechadora	2.5	Falla cuchilla cereal no corta/no cae	6.4
Falla cuchilla cereal no corta/no cae	2.3	Falla succionador de vaso /sobrecopa	4.3
Falla colocador de sobrecopas	2.3	Falla sacador de yogurt salida a faja	4.0
Falla presellado/sellado de vaso	2.0	Falla fechadora	3.0
Falla sacador de yogurt de salida a faja	1.5	Falla levantador de cereal	2.7
Falla temperatura de sellado	1.0	Falla colocador de sobrecopas	1.7
Falla selladora de cereal	0.9	Falla transferidor de cereal	1.3
Falla encintadora de cajas	0.8	Falla encintadora de cajas	0.9

## **Capítulo 4 – Metodología de investigación**

El presente trabajo se encuentra bajo la categoría de diseño experimental, ya que se manipulan en forma deliberada una o más variables dentro del estudio.

El método de intervención corresponderá a actividades relacionadas a los pilares de mantenimiento autónomo y educación y entrenamiento del sistema de gestión TPM. Se considera el primero debido a que, según el diagnóstico, el factor más crítico es la disponibilidad y ésta tiene relación directa con las pérdidas por fallos de equipos y fallos en el proceso [12]. Por otro lado, también se considera diseñar e implementar programas de educación y entrenamiento ya que, según Suzuki [12] los operarios adiestrados en sus equipos son capaces de reparar las pequeñas deficiencias, pero es aún más importante su habilidad para detectar anomalías. Adicionalmente, según las barreras de implementación revisadas en el marco teórico, la formación y entrenamiento es un agente influyente en la implementación de TPM [56, 57, 58, 59]. Del mismo modo, varios autores [61, 62, 69, 73, 75] identifican la capacitación constante como un factor de éxito.

Asimismo, todas las actividades serán integradas con un sistema de reuniones diarias, este sistema será explicado más adelante. La Figura 4.1, presenta un resumen de las actividades que se realizarán en las líneas de producción.

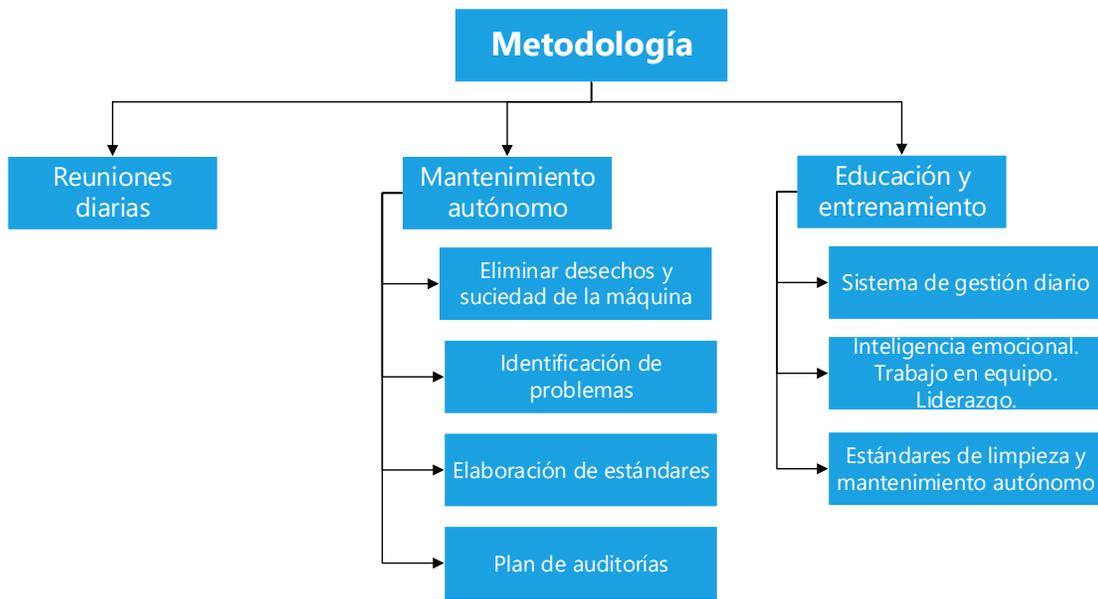


Figura 4.1. Método de intervención

#### 4.1. Variables y escalas de medición

Para este estudio, la principal variable de respuesta a medir es el OEE y sus índices. Asimismo, el tiempo y frecuencia de paradas también son variables que son analizadas para determinar posibles relaciones con las variables de entrada. Variables relacionadas al OEE que sirven como variables de entrada son el operario, turno de trabajo y tipo de producto.

Variable	Tipo de variable	Escala de medición	Frecuencia de medición	Instrumento de medición
OEE				
Disponibilidad				
Rendimiento	Cuantitativa	Razón	Diaria	Ficha de producción (Anexo 9 y 10)
Calidad				
Número de paradas				

## 4.2. Diseño de método de intervención

La intervención en las líneas de producción está formada por varios componentes, estos son detallados a continuación:

### 4.2.1. Reuniones diarias

El TPM busca el involucramiento total de los operarios y todas las áreas en una organización y que éstos sean parte del proceso de implementación es un factor de éxito reconocido por diversos autores [61, 69, 74, 75, 76]. Asimismo, la literatura sugiere que se desarrolle una filosofía basada en el empoderamiento del personal [72, 73, 74, 75, 76], es así que con el objetivo de tener presente la mayoría de factores de éxito, se diseñó un sistema basado en reuniones. Se programaron reuniones diarias donde participen todos los integrantes de la línea de producción, un inspector de calidad, un técnico de mantenimiento y un supervisor de producción. Las reuniones diarias tuvieron una duración de 30 minutos y fueron estructuradas como se muestra en la Figura 4.2.

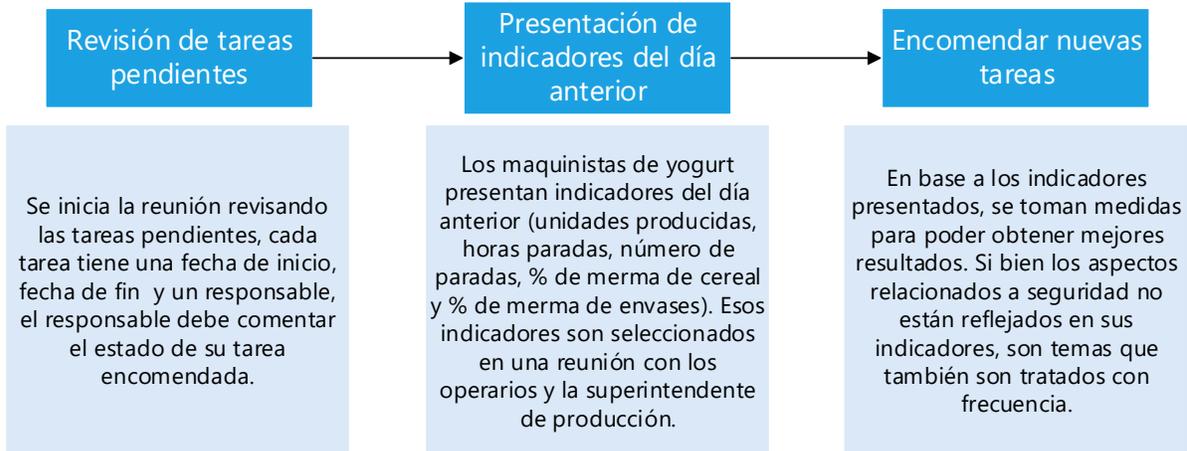


Figura 4.2. Estructura de reunión diaria.

En las reuniones diarias se generó información de una manera dinámica, cada día se inició tareas y se finalizaron otras. Estas tareas están relacionadas a la maximización de la eficiencia de la línea de producción (Por ejemplo, si un día se tuvo una parada de 1 hora por falta de personal, se encomienda una tarea al supervisor de turno para que revise su programación antes de iniciar el turno y evitar que se repita la parada a futuro). Asimismo,

con el objetivo de facilitar el seguimiento a las tareas y generar empoderamiento en los operarios, se usó un tablero el cual recopila la información generada por día, el Anexo 2 presenta detalles sobre el tablero. Por otro lado, las reuniones diarias se llevaron a cabo en la zona de paletizado, en esa área se dispone de espacio suficiente para que todos los involucrados puedan participar.

#### **4.2.2. Pilar de mantenimiento autónomo (MA)**

Debido al tiempo de integración de las mejoras, las actividades que se desarrollen por parte del pilar de mantenimiento autónomo son una adaptación de la metodología tradicional propuesta por Suzuki [12]. Como se vio en el marco teórico, los pasos del 1 al 3 dan prioridad a suprimir los elementos que causan el deterioro acelerado, prevenir y revertir el deterioro, establecer y mantener las condiciones básicas en el equipo. En los pasos 4 a 5, los líderes de grupos enseñan procedimientos de inspección a sus miembros, y la inspección general se amplía desde las unidades de equipos individuales a procesos enteros. Por otro lado, los pasos 6 y 7 están orientados a reforzar y elevar el nivel del mantenimiento autónomo y actividades de mejora, estandarizando sistemas y métodos, y ampliando la esfera de acción desde los equipos a otras áreas tales como los almacenes, distribución, etc. [12]. Si bien el pilar de mantenimiento autónomo requiere 7 pasos para que sea implementado a su totalidad, para este trabajo se consideran 4 actividades (Eliminar desechos y suciedad de la máquina, Identificación y eliminación de problemas, Elaboración de estándares e inspecciones y Plan de auditorías) debido a que, estos pasos están orientados a la mejora exclusiva de la máquina. No se considera los siguientes pasos debido a que están orientados a mejoras del proceso y dada la complejidad de éste, estos pasos escapan al alcance de este trabajo.

##### **4.2.2.1. Eliminar desechos y suciedad de la máquina**

Esta actividad involucra principalmente el Paso 1 del pilar MA visto en la revisión de la literatura. En este paso se realizará una limpieza general para poder reducir paradas que sean causadas por suciedad y funcionamiento inadecuado de la máquina. Se realizó 3 intervenciones, cada una en un fin de semana. Para esto se citó al personal de mantenimiento y los maquinistas de ambas líneas. Asimismo, se programó que estas intervenciones sean los

sábados por la tarde (las máquinas se encuentran en producción de lunes a sábados y es poco probable que los maquinistas asistan los domingos). Por otro lado, se registraron imágenes a las máquinas antes y después de cada intervención con el objetivo de poder analizar los problemas en la próxima actividad.

#### **4.2.2.2. Identificación y eliminación de problemas**

La identificación de problemas es una adaptación del Paso 2 del pilar de MA, en esta fase se pretende realizar 2 actividades: Identificar y eliminar problemas. Luego de realizar la limpieza general, se realizarán inspecciones para identificar problemas relacionados a los siguientes factores [87]:

- Defectos de máquina.
- Fuentes de suciedad.
- Lugares de difícil acceso.
- Fuentes de defectos de calidad.

Estas inspecciones se realizaron junto a los maquinistas, técnicos de mantenimiento y un inspector de calidad, se realizaron intervenciones quincenales durante 2 meses. Una vez realizadas las inspecciones, se levantaron las observaciones para poder concluir con el restablecimiento de las condiciones básicas de funcionamiento (Anexo 3 y 4).

Por otro lado, como resultado de cada inspección, las observaciones fueron relacionadas a la máquina y requirieron cambios en diseños y ajustes en la máquina. Con el objetivo de agilizar el levantamiento de las observaciones, se llevaron a cabo reuniones semanales con el jefe de mantenimiento para dar seguimiento a las tareas pendientes.

#### **4.2.2.3. Elaboración de estándares e inspecciones**

Cuando se hayan cumplido con todas las observaciones generadas en las inspecciones, se procedió a elaborar estándares de limpieza, inspección, lubricación y ajustes (LILA) (Anexo 5). Estos estándares fueron elaborados junto a los maquinistas y sirven de apoyo comprenden la siguiente información:

- Anomalía/Problema hallado.
- Foto referencial.
- Acción.
- Responsable.
- Frecuencia.

Es importante señalar que estos estándares sirvieron como material de apoyo para poder realizar las capacitaciones en habilidades duras y como base para que los operarios realicen las inspecciones a los equipos.

#### **4.2.2.4. Plan de auditorías**

Algunos autores identificaron que la resistencia a ejecutar tareas relacionadas al mantenimiento autónomo por parte de los operarios es una barrera que puede llevar al fracaso la implementación [56, 59]. Por otro lado, si bien las auditorías no son parte específica de los pasos del pilar MA, la metodología TPM acentúa la importancia de llevar a cabo auditorías y actividades de benchmarking que estimulen la productividad de mantenimiento y lograr una competitividad de clase mundial [88].

Por lo mencionado anteriormente, se adaptó la metodología para incorporar auditorías, éstas ayudaron a validar el cumplimiento de los estándares definidos en el paso anterior. Para dar un seguimiento constante se solicitó a los supervisores de turno que registren información en un formato (Anexo 6), este control ayudó a verificar que los maquinistas cumplen correctamente con los estándares establecidos y las inspecciones de los equipos.

#### **4.2.3. Pilar de educación y entrenamiento**

Dentro del pilar de educación y entrenamiento, se planea realizar capacitaciones en torno a un sistema de gestión diario, habilidades blandas y habilidades técnicas. Se considera el primero debido a que es una reconocida barrera de implementación la falta de involucramiento de los empleados [56, 58, 60] y se buscó mitigar este factor. Las habilidades blandas son incluidas ya que estudios previos [89] indican que TPM requiere cambios en las

actitudes y comportamiento de los empleados y su comportamiento, lo que lleva mucho tiempo para lograr. Además, la capacitación y el desarrollo de habilidades blandas fomentan las habilidades de mantenimiento necesarias en los operadores para resolver los problemas sin causar retrasos [90].

Por otro lado, las capacitaciones en habilidades técnicas son fundamentales para TPM. Por ejemplo, las actividades de mantenimiento autónomo implican aspectos visuales como la comprobación de un visor o manómetro, y asegurándose de que el aceite de la caja de cambios está dentro de los límites apropiados. Para atender estas situaciones, los operadores son entrenados para responder a estas irregularidades. Asimismo, con el entrenamiento de habilidades técnicas, se enseña a los operadores a identificar la causa raíz de por qué la presión de una máquina es baja, o por qué el fluido hidráulico está goteando [91]. A continuación, se explicará cada categoría:

#### **4.2.3.1. Sistema de gestión diario**

Como parte del sistema de reuniones diarias que se implementó, se realizaron capacitaciones al equipo sobre la nueva metodología de trabajo, donde se consideraron los siguientes temas: Medidas y objetivos de indicadores, Reunión diaria y Desarrollo del equipo. Se considera la primera debido a que autores señalan que tener indicadores de desempeño facilita la implementación de TPM [69, 72, 73, 75]. En segundo lugar, se explicó el sistema diseñado de reuniones diarias ya que es un nuevo sistema y los operarios deben saber en qué consiste. Finalmente, se determinó la función de cada miembro en las reuniones (el maquinista de yogurt lidera las reuniones, el maquinista de cereal prepara los indicadores y el personal de paletizado expone). A continuación, se detalla la estructura de capacitaciones:

- Medidas y objetivos de indicadores: Se cubrirán temas relacionados a Finalidad y objetivo de tener indicadores, Por qué tener medidas y objetivos, Definición de medidas y Como se utilizarán los indicadores. Estos indicadores son revisados en las reuniones diarias.

- Reunión diaria: En esta capacitación se introducirá a los operarios a las reuniones diarias, se abordarán temas como Visión general de la reunión diaria, Finalidad y objetivo, Importancia de la reunión diaria y Rol del presidente y de los miembros de las líneas (qué operario expondrá los indicadores, anotará nuevas tareas, moderará la reunión, etc.). Después de esta capacitación se dio inicio a las reuniones diarias.
- Desarrollo del equipo: En este taller se tratarán los siguientes temas: Que significa roles y responsabilidades, Identificación de necesidades y conocimientos y Definición de roles y responsabilidades. El objetivo de esta capacitación es que los operarios conozcan sus responsabilidades y que éstas sean oficializadas. También, detectar habilidades requeridas por el personal para futuras capacitaciones.

Estos entrenamientos duraron de 2 a 3 horas. Asimismo, a diferencia de los talleres de habilidades blandas, cada capacitación consistió de una única sesión. Además, cada capacitación se dictó mensualmente, dependiendo de la madurez observada en el equipo (nivel de discusión, puntualidad, responsabilidad, etc.).

#### **4.2.3.2. Habilidades blandas**

En la medida que un trabajador se encuentra dentro de los últimos niveles de jerarquía, las empresas tienden a no incluirlos dentro de sus planes de capacitación que promuevan las habilidades blandas. Sin embargo, para este trabajo se considera importante llevar a cabo planes de entrenamiento que aumenten la productividad en las líneas. Para este trabajo, se consideran los siguientes temas: Desarrollo de la inteligencia emocional (Anexo 7), Trabajo en equipo y Liderazgo (Anexo 8). Se incluye el taller de Desarrollo de la inteligencia emocional ya que estudios demuestran que la capacidad emocional puede jugar un papel determinando en no solo lo bien que uno se lleva con los compañeros de trabajo, sino qué tan eficiente se puede ser en el trabajo [92, 93]. Del mismo modo, el entrenamiento de trabajo en equipo y liderazgo mejora la productividad de los trabajadores [94] satisfacción de los trabajadores [95, 96] y mejora del desempeño organizacional [97].

Es conveniente señalar que estos programas se dictaron siguiendo la secuencia establecida, debido a que cada curso sirvió como base para trabajar el próximo. Por ejemplo, la inteligencia emocional ayudó a que los trabajadores desarrollen rápidamente el trabajo en equipo y éste a su vez permitió que se formen líderes que conozcan a su equipo.

Por otro lado, aprovechando las relaciones que tiene la empresa con SENATI (Servicio Nacional de Adiestramiento en Trabajo Industrial), se solicitó que esta organización sea la encargada de dictar los programas y entregar los certificados correspondientes. Estas capacitaciones tuvieron una duración de 5-6 horas y fueron quincenales, cada programa tuvo una duración de 2 meses.

#### **4.2.3.3. Habilidades técnicas**

Los principales conocimientos a enseñar con respecto a habilidades técnicas son los estándares LILA. Asimismo, como parte del pilar de E&E se entrenó a los operarios para que tengan las siguientes habilidades:

- Cambiar formatos de vasos de yogurt.
- Calibración de succionador de vasos.
- Calibración de succionador de sobrecopas.
- Calibración de sacador de vasos.
- Conocimiento de panel de control, controles e interfaces.
- Desmontaje de máquina de envasado.
- Programación, limpieza y calibración de fechadoras.
- Centrado de sello de aluminio.

Es importante señalar que se consideraron estos temas debido a que son las principales causas de paradas en los equipos. Por otro lado, estos temas fueron dictados en su mayoría por el maquinista con mayor experiencia en conjunto con técnicos de mantenimiento. Con estos entrenamientos se esperó tener operarios multihabilidades que puedan poner en funcionamiento las máquinas envasadoras.

Por otro lado, estos entrenamientos se dictaron cuando finalizaron los talleres de habilidades blandas, se llevaron a cabo semanalmente durante 3 semanas.

### **4.3. Método de recolección de datos**

Dado que el objetivo principal de la tesis es mejorar el OEE en las líneas piloto, es importante tener un sistema de recolección de datos que permita obtener información sobre los factores que afectan la disponibilidad, rendimiento y calidad del OEE (paradas, unidades producidas).

La primera alternativa para obtener la información fue usar el registro automático de paradas de las máquinas de envasado. Sin embargo, este sistema está averiado y no registra todas las paradas, solo registra las que son introducidas por el maquinista de yogurt o cereal. Bajo esta premisa, se diseñó un formato que pueda ser llenado por los maquinistas obteniendo la mayor cantidad de información como sea posible. Los Anexos 9 y 10 presentan el formato de recolección de datos. Este formato está compuesto por 9 partes, estas son explicadas en el Anexo 11.

### **4.4. Métodos de análisis de datos**

#### **4.4.1. T-Student**

Para este estudio se considera conveniente usar la herramienta estadística T-Student, debido a que se comparará 2 medias en el tiempo (OEE antes y después de la intervención). A raíz de este análisis, se realizará la misma prueba entre los factores de OEE (Disponibilidad, Rendimiento y Calidad).

#### **4.4.2. Mann-Whitney**

Se considera también usar la herramienta no paramétrica Mann-Whitney ya que es probable que los datos no tengan una distribución normal o desviación estándar (DE) similar.

#### **4.4.3. Análisis de paradas**

También, comparará los principales factores que afectan al índice de disponibilidad debido a que este factor es el más afectado en el OEE para la empresa Ternerito. Las causas que afectan factores rendimiento y calidad serán analizadas si la prueba T-Student demuestra que hay una variación significativa.

## Capítulo 5 – Resultados

En esta sección se mostrará los resultados obtenidos antes y después de la intervención en las líneas de envasado Nano 2 y Nano 3. Asimismo, se relacionará las acciones realizadas en la intervención y su impacto en el OEE. Posteriormente, se comparará los factores de disponibilidad, rendimiento y calidad para determinar cuál mejoró o empeoró. Finalmente, se analizará las principales paradas relacionadas a fallas de máquinas para validar si hubo alguna reducción de tiempos promedios.

### 5.1. Línea base y resultado general

La línea base del OEE para las líneas Nano 2 y Nano 3 es de 63.9% (DE: 4.2%) y 50.9% (DE: 2.2%) respectivamente, tomando como referencia el promedio de los meses 08/16 – 04/17. Es importante mencionar que, la línea Nano 3 presentaba una caída sostenido de OEE en los últimos meses. La Figura 5.1 evidencia el decrecimiento de OEE en la línea Nano 3 y la variabilidad en la línea Nano 2.

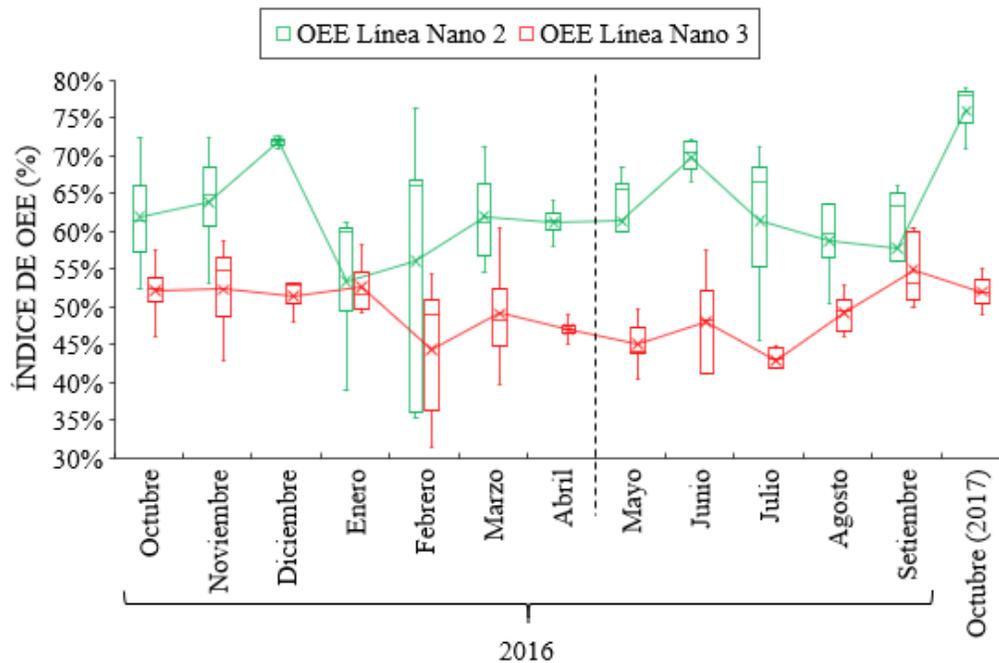


Figura 5.1. Resultados en términos de OEE en líneas Nano 2 y Nano 3.

Después de la intervención realizada, se observó que la variación de OEE en la línea Nano 2 aumentó considerablemente: OEE promedio: 62.5%, DE: 7.5%. Mientras la línea Nano 3 presentó un OEE promedio de 45.7%, DE: 4.2%. Por otro lado, se observa una importante tendencia de incremento en OEE en la línea Nano 3, alcanzando su valor más alto (60%) en los últimos 12 meses. Más adelante, se analizará estadísticamente si el OEE varió en alguna proporción antes y después de la intervención.

## **5.2. OEE durante intervención**

Anteriormente, la Figura 5.1 mostró los resultados obtenidos en cada mes, en esta gráfica se evidencia ligeros cambios en el OEE. No obstante, analizando la información semanalmente (Figura 5.2), se puede observar algunas tendencias como es el caso de la línea Nano 2, en la cual el OEE disminuyó hasta llegar a 44% durante las semanas 29-35. Asimismo, la línea Nano 3 presentó una tendencia general de aumento con descensos escalonados en todo el periodo de intervención.

Existe una variedad de causas por las que el OEE puede descender en las líneas de producción, éstas pueden estar relacionadas a un mal funcionamiento de las máquinas, mala coordinación de producción, falta de insumos e incluso insumos defectuosos. Cuando se inició este trabajo se analizó la situación actual y se determinó que el principal factor que afecta el OEE fue la disponibilidad, ocasionada por las paradas de máquina. No obstante, durante el tiempo de intervención se observó problemas relacionados a defectos en los insumos (vasos con paredes frágiles, vasos con diferente diámetro, cucharas con diferente distancia, entre otros) que no se presentaban antes de la intervención y que afectaron la disponibilidad y rendimiento<sup>3</sup>. La Tabla 5.1 explica las causas específicas por las que el OEE decreció en algunas semanas.

En el caso de los eventos relacionados a falta de repuestos, se planteará como trabajo a futuro analizar este problema y tomar acciones. Como medida a corto plazo, se definió

---

<sup>3</sup> Obtenido del reporte semanal de indicadores de producción.

reuniones semanales con la jefatura de logística y mantenimiento para definir nuevos niveles de stock mínimo según la necesidad de la planta.

Tabla 5.1. Registro de eventos importantes durante la intervención.

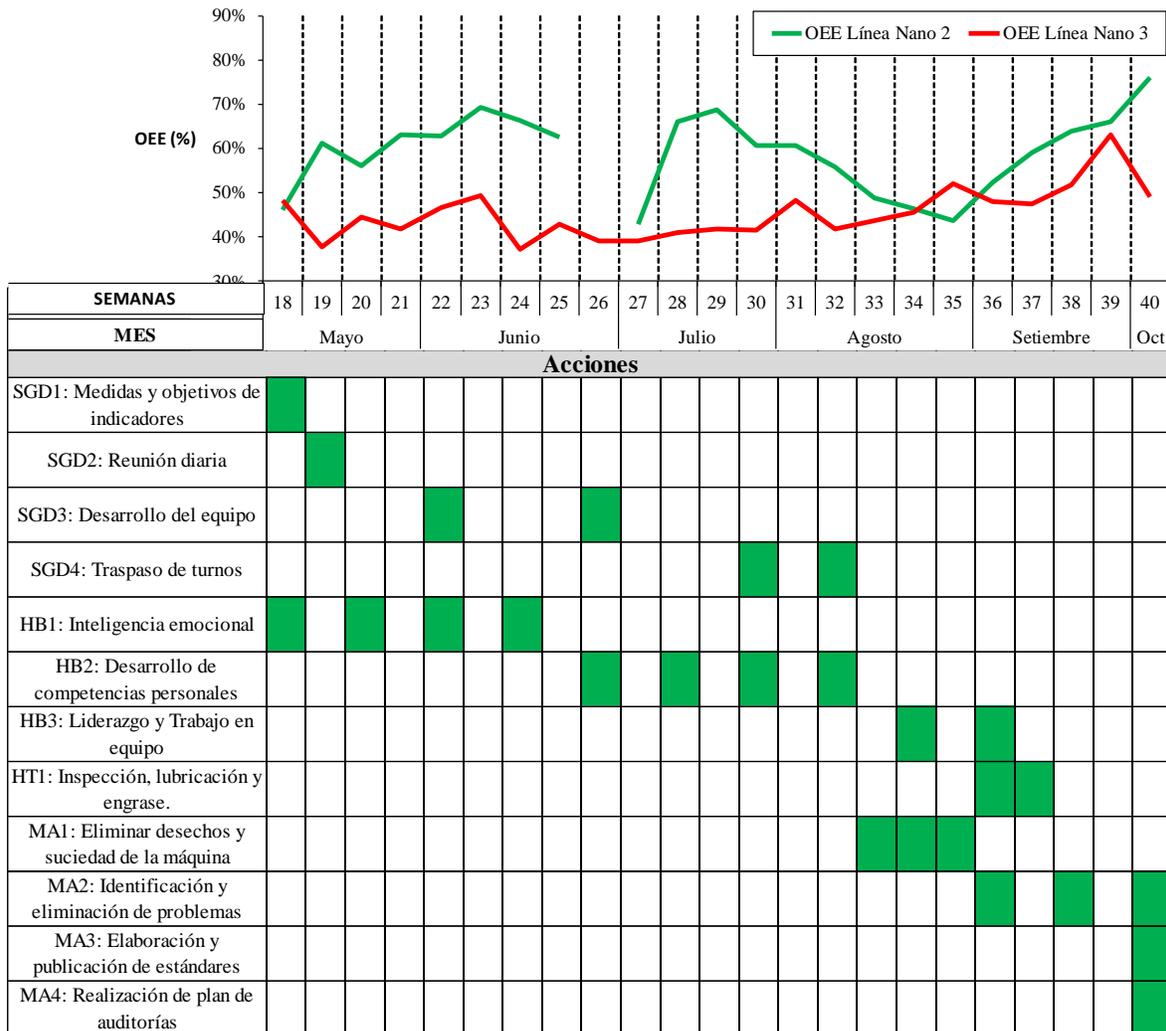
Línea	Semana	Comentarios	Horas estimadas	Factor afectado		
				D	R	C
Nano 2	27-32	Paradas constantes por succionador de vasos debido a defectos de vasos con paredes frágiles (6h), se realiza reclamo a proveedor. Además, se registró paradas por fallas de selladores, no se tiene stock de repuesto y se debe importar de Argentina (espera de 2 meses).	7	6	1	
	33	Mala coordinación por parte de jefatura de producción, se mandó a personal no capacitado a realizar lavado de máquina. Como consecuencia, partículas de agua dañaron el sistema electrónico de máquina ocasionando una parada de 2 turnos (16h).	16	16		
	35	Problemas de sellado, no se tuvo disponibilidad de repuestos. Además, se recibieron cucharitas defectuosas (El espacio entre cada cucharita es diferente y causa paradas debido a que la cuchilla no corta correctamente).	5	4	1	
	40	Por orden de la Gerencia de Calidad, se hará CIP obligatorio cada 24 horas desde la semana 40 en adelante. Anteriormente, se producía hasta 36h sin realizar CIP.	3	3		
Nano 3	24	Falla inusual en el presellador de vasos. Paradas de aproximadamente 3 horas en cada turno durante 2 días (mañana y tarde).	12	12		
	32	Paradas de aproximadamente 8 horas por defectos de vasos con válvula activada. Se realiza reclamo a proveedor.	8	7.5	0.4	0.1
	34	En la mañana del día 25/08 se programó que un ayudante de producción haga realice limpieza a los selladores de cereal, al momento de ajustar los aros selladores no se hizo de la manera correcta, esto produjo que la maquina fallara (6h) al día siguiente.	6	6		
	35	Se recibieron cucharitas defectuosas (El espacio entre cada cucharita es diferente y causa paradas debido a que la cuchilla no corta correctamente). Además, se registra vasos con base frágil lo que ocasiona paradas de máquina (densidad del plástico menor a lo normal) de 2 horas/día en promedio.	12	11	1	
	40	Parada prolongada debido a falta de stock de vasos (calidad realiza muestreo) (5h) Además, importante parada debido a falla de selladores de cereal y no se cuenta con repuestos, se manda a rectificar. Asimismo, por orden de la Gerencia de Calidad, se hará CIP obligatorio cada 24 horas desde la semana 40 en adelante. Anteriormente, se producía hasta 36h sin realizar CIP.	8	8		
Total			77	73.5	3.4	0.1
(%)			(100%)	(95.5%)	(4.4%)	(0.1%)

D: Disponibilidad, R: Rendimiento, C: Calidad.

Por otro lado, se cree conveniente mostrar la variación de OEE con respecto a las actividades que corresponden a este trabajo para determinar cuáles fueron las que ayudaron a cumplir el objetivo. En la Figura 5.2, se puede observar que desde el inicio de la intervención el OEE ha variado aleatoriamente en la línea Nano 2, por lo cual se asume que los talleres en habilidades blandas aún no tienen un impacto significativo en esta línea, además, es probable que los constantes problemas por insumos defectuosos no permitan ver los efectos de los talleres de habilidades blandas y sistema de gestión diario. En el caso de la línea Nano 3, se observa un crecimiento escalonado desde las semanas 18-35, no obstante, no se podría atribuir directamente a los talleres de habilidades blandas.

Adicionalmente, durante la semana 35 se observa un cambio de tendencia que está directamente relacionada con las actividades de mantenimiento autónomo ya que a partir de tal semana las paradas no programadas reducen consistentemente. Según los resultados, si bien los talleres de habilidades blandas no tienen una relación directa con los cambios en el OEE, estos sirvieron en gran medida a que los operarios se comprometan con el sistema y se adapten rápidamente a las actividades de mantenimiento autónomo.

Resulta importante señalar que, como se mencionó en la metodología, las reuniones diarias tomarían 30 minutos diarios y participaría toda la línea de producción (maquinistas, abastecedores, encajadores, etc.). Se dio de esta manera durante las semanas 18-34, y se destinó entre 2-3 horas semanales para las reuniones diarias en cada línea (30 minutos x 5 días). Durante todo ese periodo se trabajó en empoderar a los maquinistas de yogurt para que puedan tomar el liderazgo de sus líneas en cada turno, después de 4 meses se logró el nivel de liderazgo necesario para que todos los trabajadores reporten a los maquinistas de yogurt y ellos sean sus representantes en las reuniones diarias. Con el objetivo de no disminuir el OEE de las líneas, a partir de la semana 38, se cambió el sistema de reuniones diarias: solo participaría el maquinista de yogurt, éste sería el responsable de comunicar las necesidades de su línea y comunicar sobre todos los acuerdos, con este nuevo sistema las reuniones diarias se dieron en simultáneo, mientras las máquinas no dejaban de producir con la ayuda de un maquinista volante.



LEYENDA
SGD: Sistema de gestión diario.
HB: Habilidades blandas.
HT: Habilidades técnicas.
MA: Mantennimiento autónomo.

Figura 5.2. OEE vs metodología de intervención (Los cuadros verdes representan la semana que se realizó la acción).

Como parte del estudio, se analizó la distribución de los valores de OEE antes y después de la intervención, en el caso de la línea Nano 2, el OEE presentó una mayor dispersión antes de la intervención (Figura 5.2). Del mismo modo la línea Nano 3, presentó

una reducción en la dispersión de los datos (Figura 5.3). Además, a largos rasgos el OEE descendió en ambas líneas, las causas generales fueron explicadas en la Tabla 5.1.

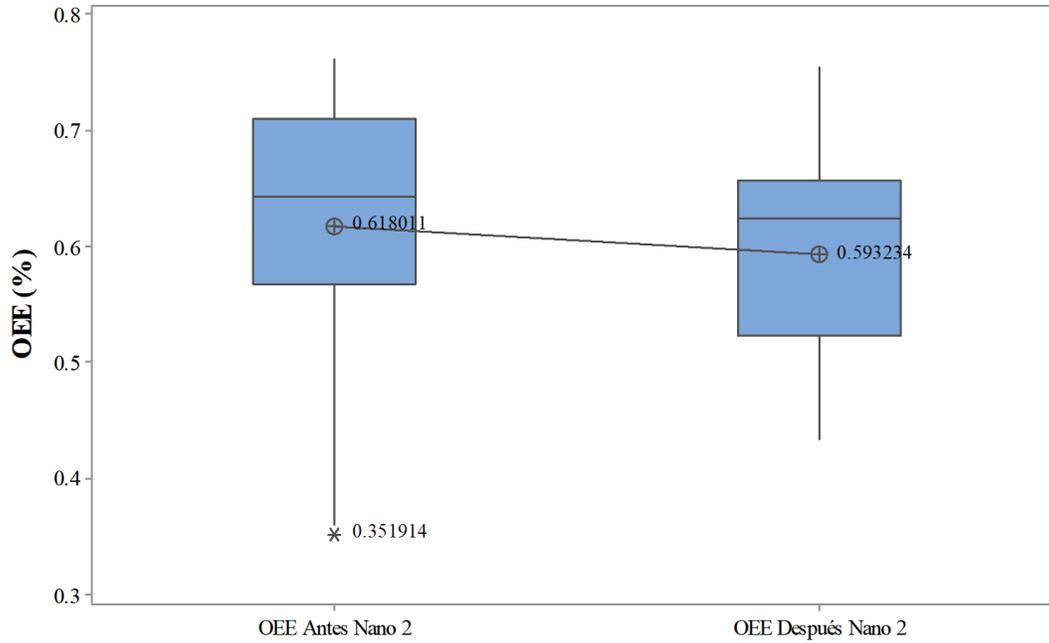


Figura 5.3. Diagrama de cajas de OEE Semanal en línea Nano 2.

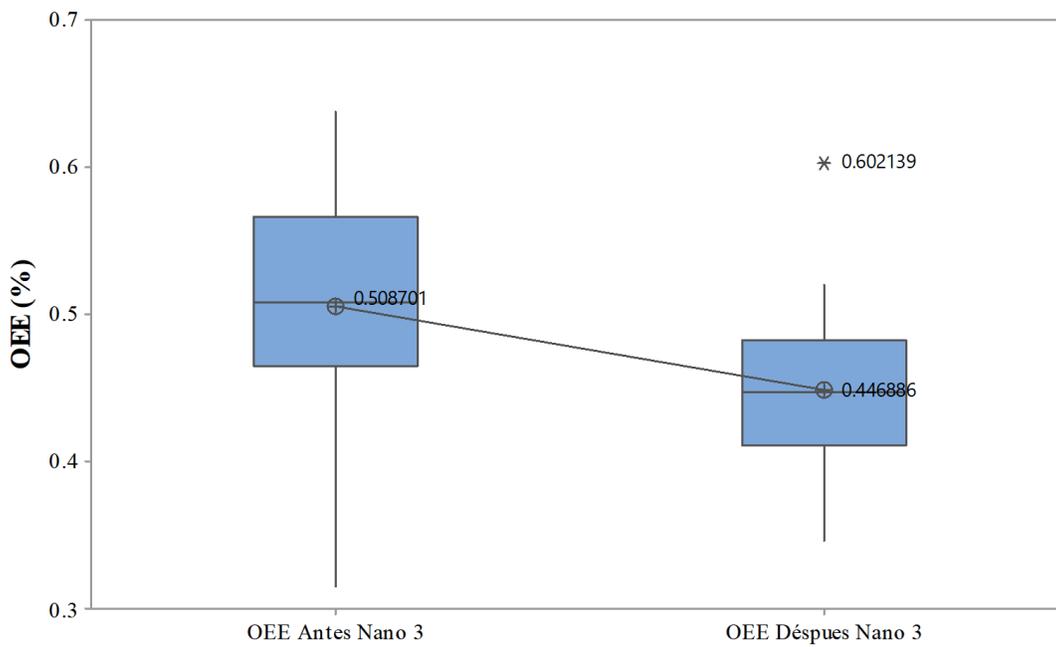


Figura 5.4. Diagrama de cajas de OEE Semanal en línea Nano 3.

Además, se realizó la prueba T-Student para contrastar los resultados antes y después de la intervención. Se llevaron a cabo las pruebas de normalidad Anderson-Darling y test de varianzas Bonett para las muestras, cuyos resultados son mostrados en el Anexo 9 (Todas las muestras con P-Value < 0.05 para Anderson-Darling y > 0.05 para Bonett).

Considerando las pruebas mencionadas anteriormente, se procedió a realizar la prueba T-Student, tomando como hipótesis los siguientes enunciados:

$$H_0: \overline{OEE} \text{ Después} - \overline{OEE} \text{ Antes} \leq 0 \quad (3)$$

$$H_a: \overline{OEE} \text{ Después} - \overline{OEE} \text{ Antes} > 0 \quad (4)$$

Teniendo en cuenta nivel de significancia de 5%, se obtuvo un P-Value de 0.800 y 0.998 para las líneas Nano 2 y Nano 3 respectivamente. Según los valores hallados, no existe suficiente evidencia estadística para aprobar la hipótesis alternativa, por lo cual se acepta la hipótesis nula. Si bien las pruebas estadísticas no determinan un incremento en los resultados, se analizará cada factor del OEE para validar si existe alguna variación en un nivel más profundo.

### 5.3. Comparación entre índices de OEE

#### 5.3.1. Disponibilidad

El factor disponibilidad se ha comportado de una manera similar en ambas líneas: En la línea Nano 2 se ha mantenido oscilando el valor promedio mensual de 77.4%, DE: 4.4%. Después de la intervención se reportó un descenso del OEE hasta 70.1% en promedio mensual, DE: 5.5%. En el caso de la línea Nano 3, empezó con un promedio mensual de 65.9%, DE: 3.7% y al finalizar la intervención se obtuvo 56.9% (mensual), DE: 2.0%. A pesar que los promedios muestran una reducción en este factor, en la Figura 5.10 se puede apreciar que el factor disponibilidad empieza a incrementar desde el mes de agosto en la línea Nano 2 (Semana 35).

Como se mencionó anteriormente, la calidad de la materia prima (vasos y cucharitas) afectó directamente el OEE. Es así que, un lote de vasos defectuosos tomó en promedio 1 hora en cada turno para ser revisado. Además, existe la posibilidad que no se detecten todos los vasos defectuosos y cada vaso que no fue detectado entre a la máquina y se eleve el número de microparadas y también el rendimiento se vea afectado.

Por otro lado, según la programación de capacitaciones del plan de implementación, éstas tuvieron lugar una vez por semana con una duración de 6 horas, reduciendo el OEE en 25 puntos el primer día de la semana en ambas líneas, esto tuvo lugar desde la semana 18 hasta la 36. Antes de la intervención, estas horas se dedicaban a producción, por lo que ésta es una causa por la cual el OEE disminuyó durante la intervención. Al momento de analizar las paradas ocasionadas por falla de máquina se podría decidir si se tuvo algún impacto real con la intervención, esto será analizado más adelante.

Como parte del análisis, se realizó el diagrama de cajas para comparar los promedios de Disponibilidad antes y después de la intervención. Las Figuras 5.5 y 5.6 muestran la disminución de Disponibilidad en ambas líneas, y el aumento de dispersión en la línea Nano 2 y la reducción de dispersión en la línea Nano 1.

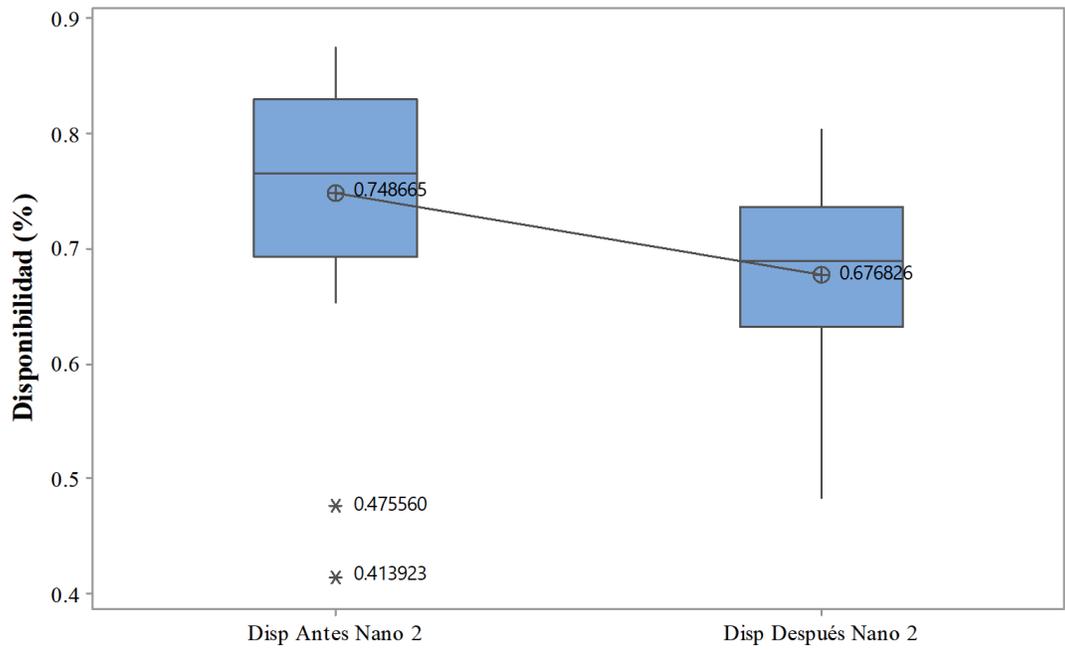


Figura 5.5. Diagrama de cajas de Disponibilidad Semanal en línea Nano 2.

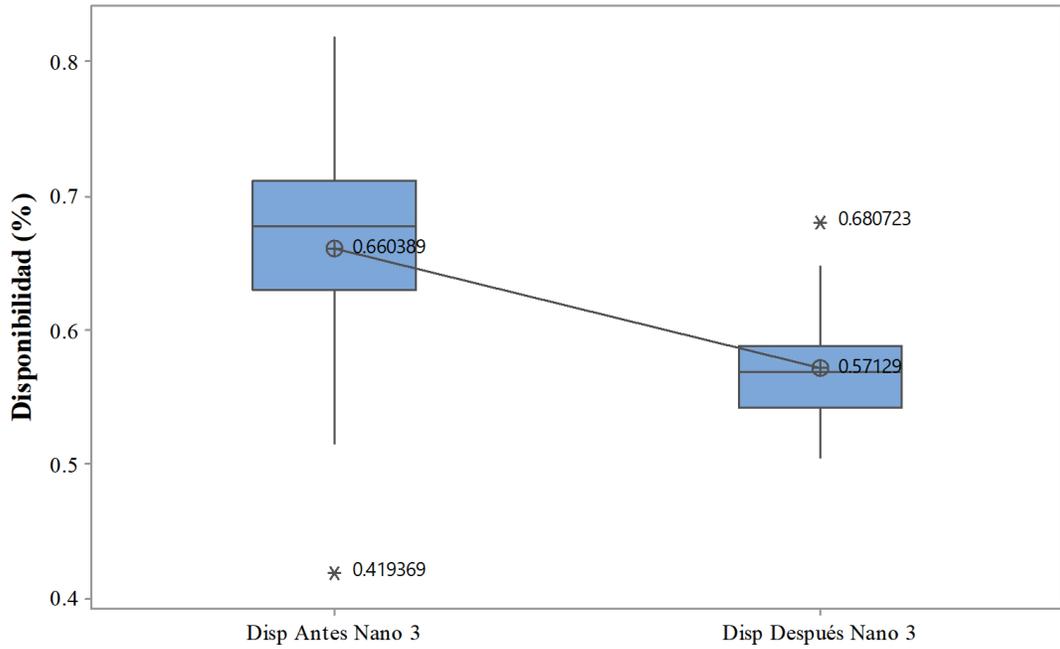


Figura 5.6. Diagrama de cajas de Disponibilidad Semanal en línea Nano 3.

Adicionalmente, se realizaron las pruebas estadísticas para determinar el uso de la herramienta T-Student (Anexo 10), resultando éstas conformes. Se procedió a realizar la prueba T-Student, tomando como hipótesis los siguientes enunciados:

$$H_o: \overline{\text{Disponibilidad Después}} - \overline{\text{Disponibilidad Antes}} \leq 0 \quad (5)$$

$$H_a: \overline{\text{Disponibilidad Después}} - \overline{\text{Disponibilidad Antes}} > 0 \quad (6)$$

Teniendo en cuenta nivel de significancia de 5%, se obtuvo un P-Value de 0.994 y 1.000 para las líneas Nano 2 y Nano 3 respectivamente. Según los valores hallados, no existe suficiente evidencia estadística para aprobar la hipótesis alternativa, por lo cual se acepta la hipótesis nula. Como se mencionó anteriormente, ocurrieron una serie de causas (tiempo de capacitación, insumos defectuosos, error de programación/coordiación, nuevas directrices de producción, entre otros) que afectaron este factor y en consecuencia el OEE. Sin embargo, se determinará la eficacia de la intervención cuando se analice el factor rendimiento y el ranking de paradas de máquina.

#### **5.3.1.1. Escenario alterno**

Como se mencionó anteriormente, específicamente las capacitaciones y los factores externos (insumos defectuosos) fueron 2 condiciones que afectaron directamente la disponibilidad en ambas líneas. Es así que, la disponibilidad real en la línea Nano 2 en promedio después de la intervención fue 70.1%, no obstante, sin considerar el tiempo de capacitaciones y paradas por insumos defectuosos, se obtiene un valor promedio de 72.0%. En el caso de la línea Nano 3, el % de disponibilidad real es de 56.9%, mientras en la simulación se halló un valor de 60.6%. Considerando la exclusión de estos eventos, el OEE promedio después de la intervención pasaría de ser 62.5% a 66.0% para la línea Nano 2 y de 45.7% a 48.5% para la línea Nano 3. Las Figura 5.7 muestra la variación de disponibilidad durante la intervención.

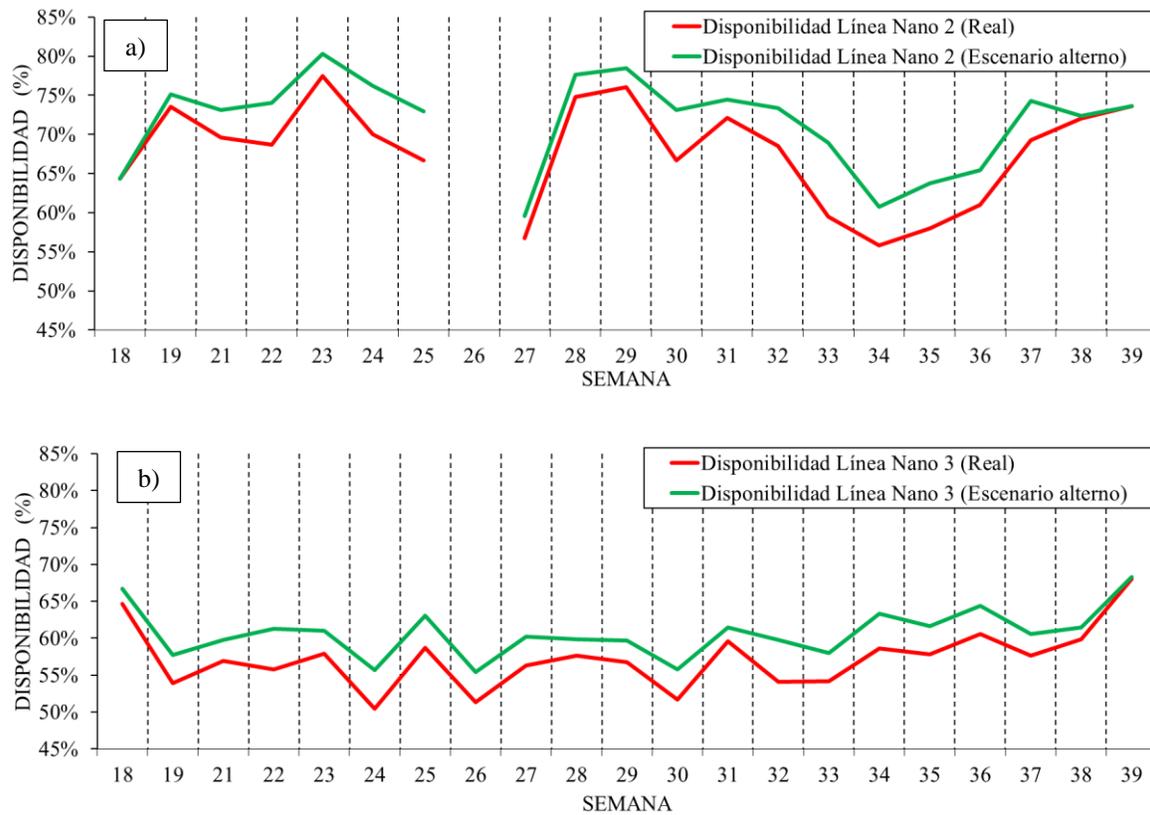


Figura 5.7. Comparación de disponibilidad Real vs Simulación, Línea Nano 2 (a) y Línea Nano 3 (b).

También, se realizó la prueba T-Student para validar estos resultados, previamente se aplicó el test de normalidad y comparación de varianzas (Anexo 11). Se definieron las siguientes hipótesis:

$$H_0: \overline{\text{Disponibilidad Simulada}} - \overline{\text{Disponibilidad Después}} \leq 0 \quad (7)$$

$$H_a: \overline{\text{Disponibilidad Simulada}} - \overline{\text{Disponibilidad Después}} > 0 \quad (8)$$

Teniendo en cuenta nivel de significancia de 5%, se obtuvo un P-Value de 0.035 para en el caso de la línea Nano 2 y 0.001 para la línea Nano 3, por lo cual se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa, concluyendo que existe suficiente evidencia estadística para afirmar que hubo variación en ambos escenarios, por lo tanto, los factores externos impidieron que se mejore en mayor proporción la disponibilidad.

Adicionalmente, se consideró hacer la evaluación si existe alguna variación positiva entre el OEE simulado y el OEE antes de la intervención, se definieron las siguientes hipótesis:

$$H_0: \overline{OEE} \text{ Simulado} - \overline{OEE} \text{ Antes} \leq 0 \quad (9)$$

$$H_a: \overline{OEE} \text{ Simulado} - \overline{OEE} \text{ Antes} > 0 \quad (10)$$

Teniendo en cuenta nivel de significancia de 5%, se obtuvo un P-Value de 0.689 para en el caso de la línea Nano 2 y 0.002 para la línea Nano 3, por lo cual se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa para la línea Nano 3, concluyendo que existe suficiente evidencia estadística para afirmar que hubo variación positiva en una línea. En conclusión, sin considerar los factores externos, el OEE hubiese mejorado sustancialmente en la línea Nano 3.

### 5.3.2. Rendimiento

Si bien los defectos en la materia prima es un factor que disminuye el factor rendimiento por el incremento de microparadas, existen otros tipos de microparadas que afectan el OEE (atracones, ajustes correctivos, entre otros). Según los resultados obtenidos, la inspección y lubricación de los componentes ayudó a reducir los problemas relacionados a atracones de sacadores de vasos, parada por falta de lubricación en la faja transportadora, entre otros debido a que la falta de éstos hacía que las máquinas paren. Las Figuras 5.8 y 5.9 muestran la variación de rendimiento promedio semanal en las líneas en estudio, se puede observar que ambas líneas aumentaron sustancialmente su rendimiento. Asimismo, la línea Nano 2 disminuyó la variabilidad en este factor, caso contrario a la línea Nano 3.

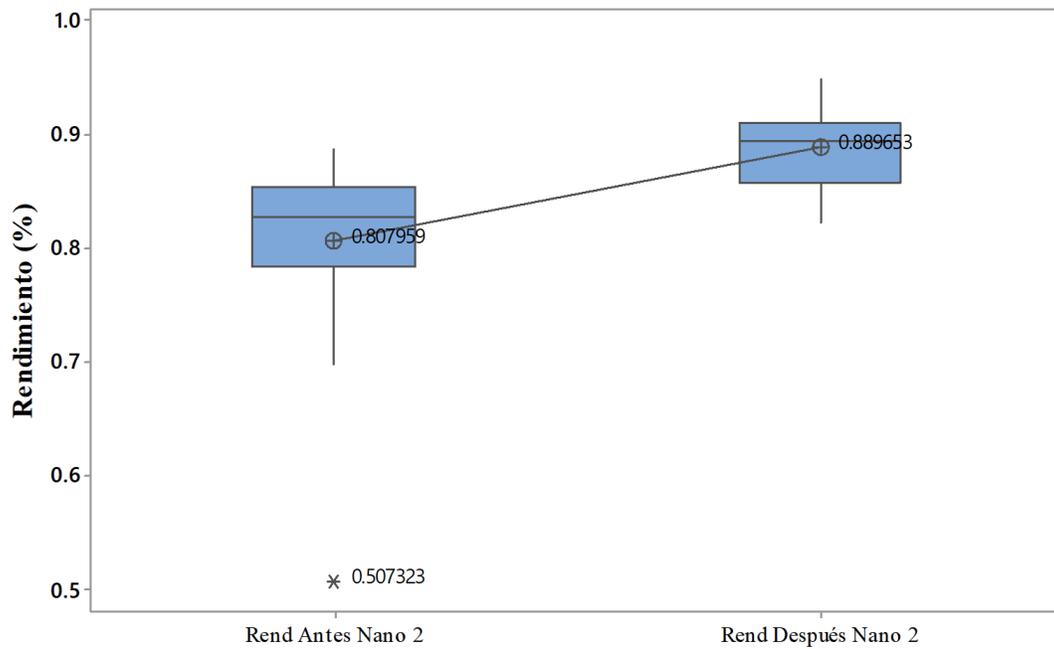


Figura 5.8. Diagrama de cajas de Rendimiento Semanal en línea Nano 2.

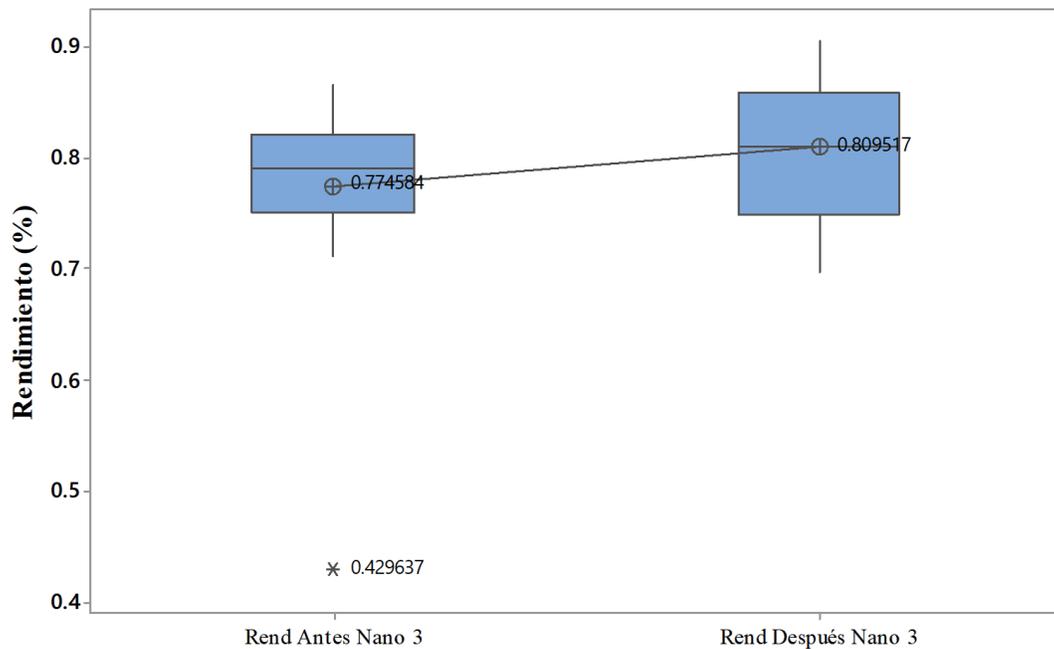


Figura 5.9. Diagrama de cajas de Rendimiento Semanal en línea Nano 3.

Con respecto al factor rendimiento, en el caso de la línea Nano 2, éste ha venido cayendo antes de la intervención (Figura 5.10), una vez iniciada la intervención, se ve que

este factor tiende a incrementar en los meses posteriores (mayo - octubre). Asimismo, antes de realizar la intervención, el rendimiento variaba con un valor promedio mensual de 82.7% y DE: 3.1%. No obstante, después de la intervención, el valor promedio mensual ascendió a 89.2% y DE: 2.8%. Por otro lado, el rendimiento de la línea Nano 3 presentó la misma tendencia que la línea Nano 2, (se encontraba en descenso e incrementó después de la intervención) antes de la intervención presentó un valor promedio mensual de 77.4% y DE: 4.7%, al finalizar la intervención se obtuvo un valor promedio mensual de 80.7% y DE: 5.2%. El Anexo 12 muestra las pruebas realizadas previas a la realización de la prueba T-Student.

Considerando las pruebas mencionadas anteriormente (Bonett y Anderson-Darling), se procedió a realizar la prueba T-Student, tomando como hipótesis los siguientes enunciados:

$$H_0: \overline{\text{Rendimiento Después}} - \overline{\text{Rendimiento Antes}} \leq 0 \quad (11)$$

$$H_a: \overline{\text{Rendimiento Después}} - \overline{\text{Rendimiento Antes}} > E \quad (12)$$

Teniendo en cuenta nivel de significancia de 5%, se realizó la prueba para distintos valores de diferencia ( $E^4 = 0, 5, 10, 15, 20$ ), los P-Value obtenidos son mostrados en la Tabla 5.2:

Tabla 5.2. P-Value obtenido para distintos valores E (Factor Rendimiento).

Grupos de muestra	Valores E				
	0	5	10	15	20
$\overline{\text{Rend. Antes/Después}}$ (Semanal Línea Nano 2)	0.001	0.044	0.875	1.000	1.000
$\overline{\text{Rend. Antes/Después}}$ (Semanal Línea Nano 3)	0.048	0.766	0.999	1.000	1.000

Según los valores hallados, existe suficiente evidencia estadística para aprobar la hipótesis alternativa, por lo cual se concluye que sí hubo una mejora en el factor rendimiento

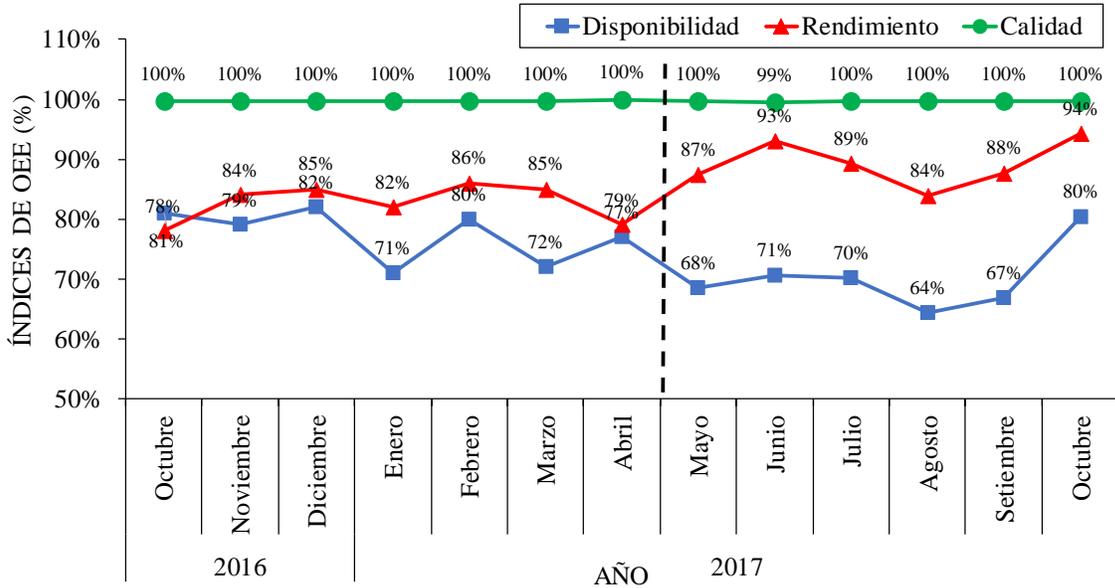
<sup>4</sup> Se define la variable E como la diferencia de medias de OEE antes y después de la intervención.

en ambas líneas. Es así que, estadísticamente, la línea Nano 2 aumentó 5.2 puntos, P-value: 0.05, mientras la línea Nano 3 aumentó 0.2 puntos, P-value: 0.05.

Según los resultados, la Nano 2 mejoró en el factor rendimiento en mayor proporción a la línea Nano 3, una de las posibles causas es que la línea Nano 2 no recibió insumos defectuosos en la misma proporción que la línea Nano 3 (vasos con válvula activada). Esto se debe a que la presentación de producto que envasa la línea Nano 2 no requiere el sistema valvulado, caso contrario a la presentación de vasos valvulados de la línea Nano 3, cuyo diseño representó un problema constante que atrasa la producción e impacta los indicadores.

**5.3.3. Calidad**

Como se mencionó en capítulos anteriores, se conoce que el factor calidad es casi constante en ambas líneas (99.5%-100.0%). Esto se debe a los controles e inspecciones constantes por el personal de encajado. Asimismo, es importante señalar que los modos de defecto están relacionados a mal fechado, sellado débil y empaque de cereal sin cucharita.



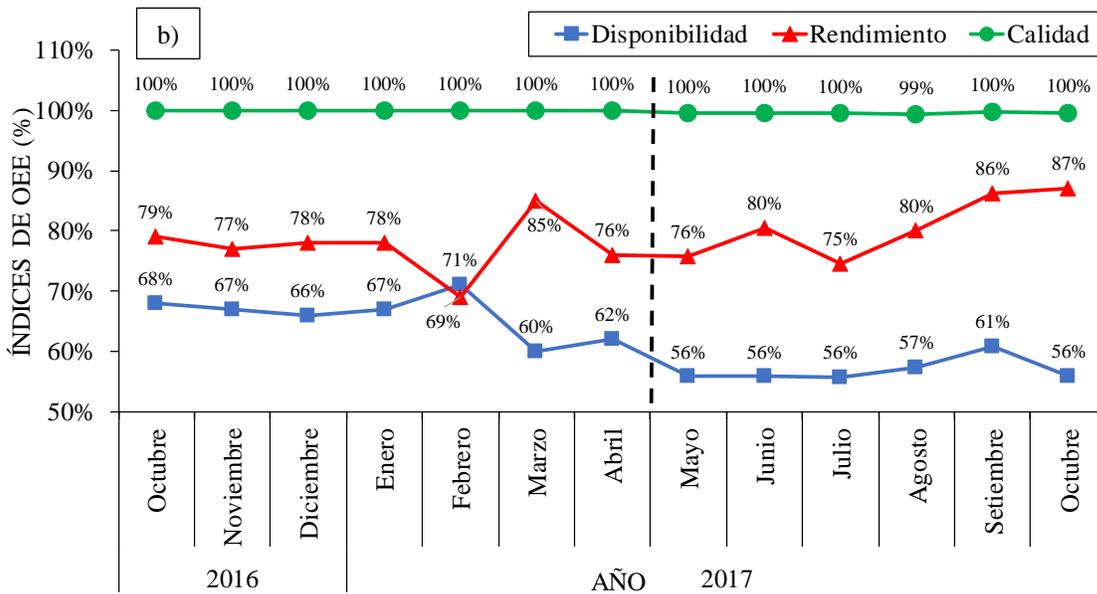


Figura 5.10. Factores Disponibilidad, Rendimiento y Calidad durante los meses octubre 2016 y octubre 2017, línea Nano 2 (a) y línea Nano 3 (b).

#### 5.4. Cantidad y causas de paradas antes y después de intervención

Hasta el momento, se analizó el OEE y sus indicadores, obteniendo incrementos en el rendimiento y descensos en la disponibilidad. Asimismo, en secciones anteriores se mostraron las causas semanales con un enfoque de paradas ocasionadas por fallas de máquina, obviando las paradas programadas (limpiezas, capacitaciones, refrigerio, mantenimiento autónomo, entre otros). Con el fin de observar variaciones a este nivel, se examinó la distribución de tiempo entre horas de producción y no producción (paradas programadas y no programadas), mostrando resultados en la Figura 5.11. Se puede observar que la proporción de producción incrementó en ambas líneas, lográndose reducir las horas de fallas en máquina significativamente, mientras las horas de paradas programadas aumentó en 0.7 y 4.1 puntos porcentuales en las líneas Nano 2 y Nano 3 respectivamente. Como se mencionó anteriormente, este aumento guarda relación con los tiempos por capacitación que no existía en la línea base. También, por los eventos explicados en la Tabla 5.1.

Por otro lado, se realizó el análisis estadístico Mann-Whitney ya que se cuenta con un reducido tamaño de muestra y los datos no presentan distribución normal. Considerando un nivel de significancia de 5%, se definieron las siguientes hipótesis:

$$H_0: \overline{\text{Horas de parada Después}} - \overline{\text{Horas de parada Antes}} = 0 \quad (13)$$

$$H_a: \overline{\text{Horas de parada Después}} - \overline{\text{Horas de parada Antes}} \neq 0 \quad (14)$$

La Tabla 5.3 muestra los resultados obtenidos:

Tabla 5.3. Comparación de distribución de tiempos entre la línea base y después de intervención (Nano 2 y Nano 3)

	Promedio Oct 2016 – Abr 2017	Promedio May 2017 – Oct 2017	P-value
<b>Línea Nano 2</b>			
Horas de producción (%)	212.9 (66.4)	276.4 (68.9)	0.256
Horas de no producción (%)	107.9 (33.6)	125.9 (31.1)	0.745
Horas de paradas programadas (%)	83.6 (26.1)	107.7 (26.8)	0.144
Horas de fallas en máquina (%)	24.3 (7.5)	18.2 (4.5)	0.035
Total	320.8	528.3	
<b>Línea Nano 3</b>			
Horas de producción (%)	210.8 (55.4)	506.3 (57.7)	0.051
Horas de no producción (%)	169.7 (44.6)	212.8 (42.3)	0.034
Horas de paradas programadas (%)	102.9 (27.0)	160.9 (31.8)	0.023
Horas de fallas en máquina (%)	66.8 (17.6)	52.0 (10.3)	0.034
Total	380.5	719.1	

Según los resultados obtenidos, existe suficiente evidencia estadística para aprobar la hipótesis alternativa, por lo cual se afirma que hubo una variación en las horas de fallas en máquina de ambas líneas. Asimismo, en el caso de la línea Nano 2, si bien se ve variación en los promedios, las horas de producción y las horas de no producción (horas de paradas programadas) no presentan variación significativa estadísticamente. Caso contrario, la línea Nano 3 presentó suficiente evidencia estadística de que existe variación en la

distribución de tiempos entre la línea base y los resultados. La Figura 5.11 presenta la variación de tiempos en ambas líneas.

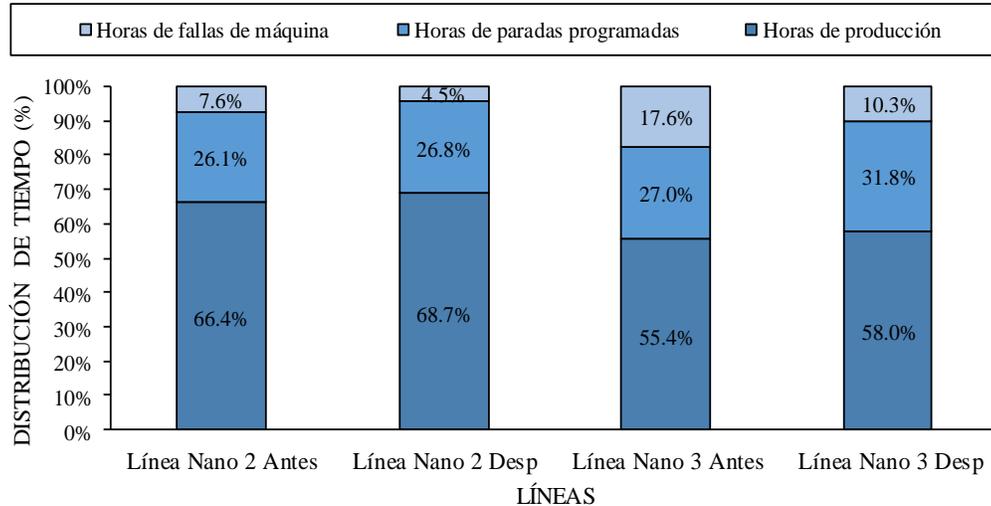


Figura 5.11. Variación de distribución de tiempos en líneas Nano 2 y Nano 3 (Antes y después de intervención).

Una vez analizada la distribución de tiempos, se procedió a revisar las paradas específicas en cada línea de producción, con el objetivo de determinar si a este nivel existen mejoras. Es así que, en ambas líneas se observó reducciones en las 10 mayores paradas identificadas en la línea base: 8 de las 10 paradas presentaron mejora, mientras 2 aumentaron el tiempo de paradas mensual en ambas líneas.

Por otro lado, se decidió analizar los datos mensualmente, debido a que en algunas semanas no se presentan todas fallas y el número de muestras mensual es similar a los datos semanales. Además, en algunas ocasiones, una falla tiene una frecuencia mensual, pero cuando ocurre afecta en varias horas la producción.

En este caso, las variables no presentaron distribución normal, y el número de muestras es reducido, por lo que se optó por usar la prueba estadística no paramétrica Mann-Whitney, considerando un nivel de significancia de 5%, se definieron las siguientes hipótesis:

$$H_0: \overline{\text{Horas de fallas Después}} - \overline{\text{Horas de falla Antes}} = 0 \quad (15)$$

$$H_a: \overline{\text{Horas de fallas Después}} - \overline{\text{Horas de falla Antes}} \neq 0 \quad (16)$$

Las Tablas 5.4 y 5.5 muestran los resultados obtenidos:

Tabla 5.4. Comparación de tiempos de paradas antes y después de intervención en Línea Nano 2.

Fallas (Línea Nano 2)	Horas promedio de paradas al mes (Antes de intervención)	Horas promedio de paradas al mes (Después de intervención)	Variación	P-Value
Falla dosificador de yogurt	4.9	1.0	<b>-3.9</b>	1.000
Falla colocador de cuchara/tapa	2.9	2.3	<b>-0.6</b>	0.050
Falla fechadora	2.5	1.7	<b>-0.8</b>	0.134
Falla cuchilla cereal no corta/no cae	2.3	0.3	<b>-2.1</b>	0.037
Falla colocador de sobrecopas	2.3	0.2	<b>-2.1</b>	1.000
Falla presellado/sellado de vaso	2.0	4.6	2.6	0.043
Falla sacador de yogurt de salida a faja	1.5	1.4	<b>-0.1</b>	0.020
Falla temperatura de sellado	1.0	1.1	0.1	1.000
Falla selladora de cereal	0.9	0.7	<b>-0.2</b>	0.048
Falla encintadora de cajas	0.8	0.4	<b>-0.4</b>	0.030

En el caso de la línea Nano 2, el 60% de las paradas más importantes relacionadas a falla de máquina tienen el sustento estadístico para afirmar que existe variación, siendo el 50% relacionadas a reducción en el tiempo de paradas de equipos. Asimismo, las paradas Falla presellado/sellado de vaso y Falla temperatura de sellado fueron las que incrementaron, siendo significativa la primera. Esta variación guarda estrecha relación con el problema de

los insumos, ya que los vasos con paredes frágiles se deforman en el sellado. Además, es importante mencionar que, en el mes de agosto, el departamento de mantenimiento presentó una nueva propuesta de resistencia para los selladores con un nuevo proveedor, por lo que se incurrió en horas de parada mientras se realizaban las modificaciones a las resistencias y los selladores. Este evento ocasionó que el promedio de todos los meses en estudio incrementara. No obstante, en el mes de octubre se observó un promedio de 0.4 horas de paradas relacionadas a fallas en el sellado/presellado, por lo que se espera que esta mejora se mantenga en los próximos meses.

Por otro lado, si bien las paradas Falla dosificador de yogurt y Falla colocador de sobrecopas fueron reducidas, el P-Value es mayor a 0.05. En el caso de la Falla de dosificador de yogurt, se debe a que en octubre de 2016 se registró una parada de 9.5 horas, evento que no se volvió a repetir hasta mayo de 2017, alcanzando un valor de 1 hora. Mientras la Falla de colocador de sobrecopas, presentó valores similares antes y después de la intervención.

Tabla 5.5. Comparación de tiempos de paradas antes y después de intervención en Línea Nano 3.

Fallas (Línea Nano 3)	Horas promedio de paradas al mes (Antes de intervención)	Horas promedio de paradas al mes (Después de intervención)	Variación	P-Value
Falla selladora de cereal	7.3	6.9	<b>-0.4</b>	0.626
Falla presellado/sellado de vaso	7.0	4.7	<b>-2.2</b>	0.035
Falla cuchilla cereal no corta/no cae	6.4	5.1	<b>-1.3</b>	0.027
Falla succionador de vaso /sobrecopa	4.3	5.1	0.8	0.830
Falla sacador de yogurt salida a faja	4.0	4.1	0.1	1.000
Falla fechadora	3.0	2.5	<b>-0.5</b>	0.045
Falla levantador de cereal	2.7	2.4	<b>-0.4</b>	1.000

Falla colocador de sobrecopas	1.7	0.6	<b>-1.1</b>	0.018
Falla transferidor de cereal	1.3	1.2	<b>-0.1</b>	0.035
Falla encintadora de cajas	0.9	0.8	<b>-0.1</b>	0.299

Por su parte, la línea Nano 3 presentó el 50% de variación con respecto a las fallas relacionadas a máquinas más importante, siendo todas reducciones en los tiempos de paradas. Asimismo, la parada Falla succionador de vaso /sobrecopa y Falla sacador de yogurt salida a faja incrementaron el tiempo promedio, siendo ninguna estadísticamente significativa. Si bien no existe sustento estadístico, es importante señalar que, la falla del succionador de vasos está directamente relacionada con los defectos “vasos con válvula activada”, ya que cuando el succionador intenta atrapar el vaso, la base del vaso se encuentra invertida y el succionador se atasca, obligando a realizar una calibración posterior. Estas paradas incrementaron en los meses julio-setiembre de 2017, cuando se empezó a tener problemas con la materia prima.

Adicionalmente, las paradas Falla selladora cereal y Falla encintadora de cajas presentan P-Value mayores a 0.05. Para el primero, se debe a que en agosto de 2016 se tuvo 13.1 horas de parada por esta causa, mientras los demás meses posteriores a la intervención mantenían valores entre 2.9 y 4.7 horas. En el caso de la falla de encintadora de cajas, la línea base y los valores posteriores se mantienen similares.

## Capítulo 6 – Conclusiones

1. Según los resultados mostrados, no existe evidencia estadística para afirmar que hubo variación en el OEE en ninguna línea. No obstante, es importante señalar que las causas guardan una estrecha relación a factores externos a esta implementación, como es el caso de defectos en los insumos y horas de capacitación. Por otro lado, con respecto al factor disponibilidad, presentó un ligero descenso en ambas líneas (Línea Nano 2: de 82.7% a 89.2%, Línea Nano 3: de 77.4% a 80.7%). En la intervención se incluyó la capacitación del personal para implementar TPM, estas intervenciones impactaron el factor disponibilidad debido a que antes no se contaba con este tipo de paradas programadas. Por su parte el rendimiento aumentó en consistentemente en ambas líneas (Línea Nano 2: de 77.4% a 70.1%, Línea Nano 3: de 65.9% a 56.9%)., siendo esto evidencia de las actividades realizadas por el pilar de mantenimiento autónomo. El factor calidad no presentó variaciones considerables entre la línea base y la post-intervención.
2. Por otro lado, en este estudio la disponibilidad descendió en ambas líneas. No obstante, se comprobó estadísticamente que el tiempo de paradas acumulado en el mes descendió

notoriamente en ambas líneas (Línea Nano 2: de 7.5% a 4.5%, Línea Nano 3: de 17.6% a 10.3%), siendo consecuencia de las actividades, estándares y auditorías relacionadas al pilar de mantenimiento autónomo.

3. Si bien no se alcanzó el objetivo propuesto (mejorar el OEE), la prueba realizada con un escenario alternativo evidenció estadísticamente que hubiese existido un incremento de la disponibilidad en ambas líneas (sin considerar capacitaciones programadas ni paradas relacionadas a insumos defectuosos, la Línea Nano 2 de 70.1% a 72.0% y la Línea Nano 3 de 56.9% a 60.6%). En consecuencia, existe evidencia estadística para afirmar que el OEE hubiese mejorado en la Línea Nano 3 (45.7% a 48.5%), mientras la Línea Nano 2 se hubiese mantenido (62.5% a 66%).
4. En esta intervención se consideró implementar los pilares de mantenimiento autónomo y educación y entrenamiento. Según los resultados en términos de reducción de tiempo total de paradas, se podría concluir que el pilar de mantenimiento autónomo jugó un rol importante para mejorar el OEE. Por su parte, no se evidenció que el pilar de educación y entrenamiento guarde relación directa con el OEE. Sin embargo, este pilar permitió que las actividades de mantenimiento autónomo sean rápidamente asimiladas por los trabajadores.
5. Desde la revisión del estado del arte se identificó los factores de éxito en la implementación de TPM. Entre ellos, se detectó que los importantes por su recurrencia son los siguientes: Implementación de equipos de trabajo, enfoque total al mantenimiento, involucramiento de operarios, capacitación constante, apoyo de la gerencia, creación de indicadores de desempeño, desarrollo de un plan de implementación.

## Bibliografía

- [1] R. Oliverson, «Reliability: The competitive advantage,» de *International Maintenance Excellence*, Toronto, 2006.
- [2] L. Rodrigues, «Influence of Overall Equipmen Effectiveness on Print Quality, Delivery and Cost: A System Dynamics Approach,» *International Journal of Applied Engineering Research*, vol. 11, n° 8, pp. 5889-5898, 2016.
- [3] B. Buchmeister, D. Friscic y I. Palcic, «Bullwhip effect study in a constrained supply chain,» *Procedia Engineering*, vol. 69, pp. 63-71, 2014.
- [4] Y. Takahashi y T. Osada, TPM/MPT: Mantenimiento Productivo Total, Sao Paulo: IMAN, 2010.
- [5] M. Stamm, T. Neitzert y D. Singh, «TQM, TPM, TOC, lean and six sigma - Evolution of manufacturing methodologies under the paradigm shift from Taylorism/Fordism to Toyotism,» Auckland University of Technology, New Zealand, 2009.
- [6] S. Nakajima, «TPM Development Program,» Productivity Press, Cambridge, 1989.
- [7] K.-Y. Jeong y D. Phillips, «Operational efficiency and effectiveness measurement,» *International Journal of Operations & Production Management*, vol. 21, n° 11, pp. 1404-1416, 2001.
- [8] S. Huang, J. Dismukes, J. Shi y Q. Su, «Manufacturing system modeling for productivity improvement,» *Journal of Manufacturing Systems*, vol. 21, n° 4, pp. 249-260, 2002.
- [9] Z. Juric, A. Sanchez y A. Goti, «Money-based overall equipment effectiveness,» *Hydrocarbon Processing*, vol. 85, n° 5, pp. 43-45, 2006.
- [10] K. Shirose, «Equipment Effectiveness, Chronic Losses, and Other TPM Improvement Concepts in TPM Development Program: Implementing Total Productive Maintenance,» Productivity Press, Portland, 1989.
- [11] H. Rajput y P. Jayaswal, «A Total Productive Maintenance (TPM) approach to improve overall equipment efficiency,» *International Journal of Modern Engineering Research*, vol. 2, n° 6, pp. 4383-4386, 2012.
- [12] T. Suzuki, «TPM in Process Industries,» Productivity Press Inc., Portland., 1994.
- [13] J. Calvo y V. Lago, «Importancia del mantenimiento productivo total en la automatización de procesos,» *Técnica Industrial*, Agosto 2004. [En línea]. Available:

<http://www.tecnicaindustrial.es/TIFrontal/a-1609-importancia-mantenimiento-productivo-total-automatizacion-procesos.aspx>. [Último acceso: 4 Febrero 2018].

- [14] S. Krar, «Manufacturing Automation - The importance of maintenance,» [En línea]. Available: <https://www.automationmag.com/images/stories/LWTech-files/94%20Intelligent%20Systems.pdf>. [Último acceso: 6 Junio 2017].
- [15] T. Wireman, «World Class Maintenance Management,» Industrial Press Inc., New York, 1990.
- [16] A. Teland, «Preventive Maintenance,» de *Proceedings of the National Conference on Maintenance and Condition Monitoring*, Vijayakumar, 1998.
- [17] Grupo Electrónica, «Mantenimiento preventivo y predictivo,» 2018. [En línea]. Available: <http://www.grupoelectrotecnica.com/es/servicios/mantenimiento-preventivo-y-predictivo>. [Último acceso: 18 Abril 2017].
- [18] Emerson Process Management, «PlantWeb University,» 2002. [En línea]. Available: [http://www2.emersonprocess.com/siteadmincenter/PM%20Central%20Web%20Documents/BuSch-maintenance\\_101es.pdf](http://www2.emersonprocess.com/siteadmincenter/PM%20Central%20Web%20Documents/BuSch-maintenance_101es.pdf). [Último acceso: 2 Junio 2017].
- [19] Organización y Desarrollo Empresarial, «Mantenimiento,» *Mantenimiento proactivo*, Octubre 2004.
- [20] J. Moubray, *Reliability-centered maintenance*, New York: Industrial Press Inc., 1997.
- [21] Instituto Renovetec de Ingeniería del Mantenimiento, «Qué es RCM3,» 2016. [En línea]. Available: <http://rcm3.org/que-es-rcm>. [Último acceso: 19 Mayo 2017].
- [22] Legadoil, «IndustryTech Magazine,» Marzo 2015. [En línea]. Available: [http://www.industrytech-ec.com/tomos/tomo28/INDUSTRYTECH\\_28.pdf](http://www.industrytech-ec.com/tomos/tomo28/INDUSTRYTECH_28.pdf). [Último acceso: 14 Abril 2017].
- [23] Y. Wakaru, *TPM For every operator*, Portland: Productivity press, 1988.
- [24] B. Bhadury, «Management of productivity through TPM,» *Productivity*, vol. 41, n° 2, pp. 240-251, 2000.
- [25] J. Roberts, «TPM Mantenimiento productivo total, su definición e historia,» Departamento de tecnología ingeniería industrial Texas A&M University, 2013. [En línea]. Available: <http://www.mantenimientoplanificado.com/tpm>. [Último acceso: 15 Abril 2017].
- [26] R. Moore, «Combining TPM and reliability-focused maintenance,» *Plant Engineering*, vol. 51, n° 6, pp. 88-90, 1997.

- [27] S. Nakajima, «Introduction to Total Productive Maintenance (TPM),» Productivity Press, Portland, 1988.
- [28] B. Maggard y D. Rhyne, «Total productive maintenance: a timely integration of production and maintenance,» *Production and Inventory Management Journal*, vol. 33, n° 4, pp. 6-10, 1992.
- [29] P. Wilmott, «Total quality with teeth,» *The TQM Magazine*, vol. 6, n° 4, pp. 48-50, 1994.
- [30] C. Chowdhury, «NITIE and HINDALCO give a new dimension to TPM,» *Udyog Pragati*, vol. 22, n° 1, pp. 5-11, 1995.
- [31] C. Robinson y A. Ginder, «Implementing TPM: The North American Experience,» Productivity Press, Portland, 1995.
- [32] C. Voss, «Alternative paradigms for manufacturing strategy,» *International Journal of Operations & Production Management*, vol. 15, n° 4, pp. 5-16, 1995.
- [33] C. Voss, «Paradigms of manufacturing strategy re-visited,» *International Journal of Operations & Production Management*, vol. 25, n° 12, pp. 1223-1227, 2005.
- [34] J. Patterson, W. Kennedy y L. Fredenball, «Total productive maintenance is not for this company,» *Production and Inventory Management Journal*, vol. 36, n° 2, pp. 61-64, 1995.
- [35] K. Sekine y K. Arai, «TPM for the lean Factory-Innovative Methods and Worksheets for Equipment Management,» Productivity Press, Portland, 1998.
- [36] J. Lawrence, «Use mathematical modeling to give your TPM implementation effort an extra boost,» *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, vol. 5, n° 1, pp. 62-69, 1999.
- [37] J. Dwyer, «More than a maintenance technique,» *Works Management*, vol. 52, n° 9, pp. 15-16, 1999.
- [38] T. Dossenbach, «Implementing total productive maintenance,» *Wood and wood products*, vol. 111, n° 2, pp. 29-32, 2006.
- [39] R. Wal y D. Lynn, «Total productive maintenance in a South African pulp and paper company: a case study,» *The TQM Magazine*, vol. 14, n° 6, pp. 359-366, 2002.
- [40] W. Chaneski, «Total productive maintenance - an effective technique,» *Modern Machine Shop*, vol. 75, n° 2, pp. 46-48, 2002.
- [41] I. Ahuja, T. Singh, M. Sushil y A. Wadood, «Total productive maintenance implementation at Tata Steel for achieving core competitiveness,» *Productivity*, vol. 45, n° 3, pp. 422-426, 2004.

- [42] C. Witt, «TPM: The foundation of lean,» *Material Handling Management*, vol. 61, n° 8, pp. 42-45, 2006.
- [43] D. Tripathi, «Influence of experience and collaboration on effectiveness of wuality management practices: the case of Indian manufacturing,» *International Journal of Productivity and Performance Management*, vol. 54, n° 1, pp. 23-33, 200.
- [44] G. Bohoris, C. Vamvalis, W. Tracey y I. K., «TPM implementation in Land-Rover with the assitance of a CMMS,» *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, vol. 1, n° 4, pp. 3-16, 1995.
- [45] I. Ahuja y J. Khamba, «An evaluation of TPM implementation initiatives in an Indian manufacturing enterprise,» *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, vol. 13, n° 4, pp. 338-352, 2007.
- [46] W. Windle, «TPM: more alphabet soup or a useful plant improvenment concept?,» *Plant Engineering*, vol. 47, n° 2, pp. 62-63, 1993.
- [47] T. Carannante, «TPM Implementation - UK foundry industry,» *The Froundryman Supplement*, vol. 88, n° 11, pp. 1-34, 1995.
- [48] K. Shirose, TPM Team Guide, Portland: Productivity Press, 1995.
- [49] M. Jones, «What is autonomous maintenance?,» *Asset Management & Maintenance Journal*, vol. 28, n° 5, p. 6, 2015.
- [50] J. Venkatesh, «An introduction to total productive maintenance (TPM),» *The plant maintenance center*, pp. 3-20, 2007.
- [51] Tetra Pak, «Mejora enfocada - Visión general,» Lima, 2012.
- [52] P. Acharya y M. Bhatt, «A brief literature review on Total Productive Maintenance,» *International Journal of Advance Engineering and Research Development*, vol. 1, 2014.
- [53] H. Samuel, P. John, J. Shi y S. Qi, «Manufacturing system modeling for productivity improvement,» *Journal of Manufacturing Systems*, vol. 21, n° 4, pp. 249-260, 2002.
- [54] O. Ljungberg, «Measurement of overall equipment effectiveness as a basis of TPM activities,» *International Journal of Operations and Production Management*, vol. 18, n° 5, pp. 495-507, 1998.
- [55] P. Jonsson y M. Lesshammar, «Evaluation and improvement of manufacturing performance measurement systems - The role of OEE,» *International Journal of Operations and Production Management*, vol. 19, pp. 55-78, 1999.

- [56] R. Gupta, J. Sonwalkar y A. Chitale, «Overall equipment effectiveness through total productive maintenance,» *Prestige Journal of Management and Research*, vol. 5, n° 1, pp. 61-72, 2001.
- [57] D. Isik, «Operational Excellence Society,» 2 Diciembre 2013. [En línea]. Available: <https://opexsociety.org/body-of-knowledge/maintenance-that-adds-value-to-operational-excellence-implementation-of-tpm-in-20-steps-for-non-japanese-manufacturers/>. [Último acceso: 21 Agosto 2018].
- [58] S. Bellstedt, «Putting your TPM plan into action: a step-by-step guide,» 1 Junio 2018. [En línea]. Available: <https://www.fixsoftware.com/blog/putting-your-tpm-plan-into-action-a-step-by-step-guide/>. [Último acceso: 15 Setiembre 2018].
- [59] J. Marín-García y R. Martínez, «Barreras y facilitadores de la implantación del TPM,» *OmniaScience*, vol. 9, n° 3, pp. 823-853, 2013.
- [60] I. Ahuja y J. Khamba, «Justification of Total Productive Maintenance Initiatives in Indian Manufacturing Industry for Achieving Core Competitiveness,» *Journal of Manufacturing Technology Management*, vol. 19, n° 5, pp. 645-669, 2008.
- [61] F. Cooke, «Implementing TPM in Plant Maintenance: Some Organisational Barriers,» *International Journal of Quality & Reliability Management*, vol. 17, n° 9, pp. 1003-1016, 2000.
- [62] E. León, «Identificación de aspectos organizacionales para la eficaz implementación del mantenimiento productivo total,» Universidad de los Andes, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería de Sistemas, 2004.
- [63] F. Chan, H. Lau, R. Ip, H. Chan y S. Kong, «Implementation of Total Productive Maintenance: A case study,» *International Journal of Maintenance*, vol. 95, n° 1, pp. 71-94, 2005.
- [64] A. Guzman, «Mantenimiento Productivo Total: El enlace perdido en la confiabilidad de sistemas,» ASIDE-CETYS Universidad, Tijuana, 2001.
- [65] L. Swanson, «An empirical study of the relationship between production technology and maintenance management,» *International Journal of Production Economics*, vol. 53, n° 2, pp. 191-207, 1997.
- [66] R. McAdam y A. Duffner, «Implementation of total productive maintenance in support of an established total quality programme,» *Total Quality Management & Business Excellence*, vol. 7, n° 6, pp. 613-630, 1996.
- [67] H. Yamashina, «Challenge to world-class manufacturing,» *International Journal of Quality and Reliability Management*, vol. 17, n° 2, pp. 132-143, 2000.

- [68] P. Groote, «Maintenance performance analysis: a practical approach,» *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, vol. 1, n° 2, pp. 4-24, 1995.
- [69] G. Leblanc, «Tapping the true potential of TPM: are you maximizing the value of your plan's program?,» *Plant Engineering*, vol. 49, n° 10, pp. 143-148, 1995.
- [70] A. Raouf y M. Ben-Daya, «Total maintenance management: a systematic approach,» *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, vol. 1, n° 1, pp. 6-14, 1995.
- [71] B. Al-Najjar, «Total quality maintenance: an approach for continuous reduction in costs of quality products,» *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, vol. 2, n° 3, pp. 4-20, 1996.
- [72] D. Hutchins, «Introducing TPM,» *Manufacturing Engineer*, vol. 77, n° 1, pp. 34-37, 1998.
- [73] M. Rodrigues y K. Hatakeyama, «Analysis of the fall of TPM in companies,» *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 179, n° 1-3, pp. 276-279, 2006.
- [74] L. Fredendall, J. Patterson, W. Kennedy y T. Griffin, «Maintenance modeling, it's strategic impact,» *Journal of Managerial Issues*, vol. 9, n° 4, pp. 440-453, 1997.
- [75] P. Jonsson, «The status of maintenance management in Swedish manufacturing firms,» *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, vol. 3, n° 4, pp. 233-258, 1997.
- [76] R. Davis y P. Willmott, «Total Productive Maintenance,» Alden Press, Oxford, 1999.
- [77] R. Davis, «Making TPM a part of factory life,» *Works Management*, vol. 49, n° 7, pp. 16-17, 1996.
- [78] C. Bamber, J. Sharp y M. Hides, «Factors affecting successful implementation of total productive maintenance: a UK manufacturing case study perspective,» *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, vol. 5, n° 3, pp. 162-181, 1999.
- [79] K. McKone y R. Schroeder, «Total Productive Maintenance: A contextual view,» *Journal of Operations Management*, vol. 17, pp. 123-144, 1999.
- [80] K. Park y S. Han, «Total Productive Maintenance: Impact on competitiveness and a framework for successful implementation,» *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing*, vol. 11, n° 4, pp. 321-338, 2001.
- [81] I. Ahuja y J. Khamba, «Strategies and success factors for overcoming challenges in TPM implementation in Indian manufacturing industry,» *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, vol. 14, n° 2, pp. 123-147, 2008.
- [82] A. Gupta y R. Garg, «OEE improvement by TPM implementation: a case study,» *Engineering and Applied Sciences Research*, vol. 1, n° 1, pp. 115-124, 2012.

- [83] A. Tsang y P. Chan, «TPM implementation in China: a case study,» *International Journal of Quality & Reliability Management*, vol. 17, n° 2, pp. 144-157, 2000.
- [84] R. Singh, A. Gohil, D. Shah y S. Desai, «Total productive maintenance (TPM) implementation in a machine shop: A case study,» *Procedia Engineering*, vol. 51, pp. 592-599, 2013.
- [85] W. Wakjira y M. Ajit Pal Singh, «Total productive maintenance: A case study in manufacturing industry,» *Global Journal of Research In Engineering*, vol. 12, p. 1, 2012.
- [86] P. Tsarouhas, «Implementation of total productive maintenance in food industry: a case study,» *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, vol. 13, n° 1, pp. 5-18, 2007.
- [87] M. Jasiulewicz-Kaczmarek y M. Piechowski, «Practical aspects of OEE in automotive company- Case study,» *International Conference on Management Science and Management Innovation*, pp. 213-218, 2016.
- [88] A. Jain, R. Bhatti, H. Deep y K. Sharma, «Implementation of TPM for enhancing OEE of small scale industry,» *International Journal of IT, Engineering and Applied Sciences Research*, vol. 1, 2012.
- [89] P. Muchiri y L. Pintelon, «Performance measurement using overall equipment effectiveness (OEE): Literature review and practical application discussion,» *International Journal of Production Research*, vol. 43, n° 13, pp. 1-45, 2008.
- [90] J. U. Retamozo Mansilla, «Propuesta de optimización del proceso de pintado de bobinas de acero de la empresa Precor aplicando TPM,» Universidad Privada de Ciencias Aplicadas, Lima, 2016.
- [91] A. M. Huachaca Trillo, «Aplicación del TPM en el área de maestranza para mejorar la productividad de las máquinas en la empresa CIPSA,» Universidad Cesar Vallejo, Lima, 2017.
- [92] P. Marreros y J. L., « Distribución de planta para mejorar la eficiencia global de los equipos, Area de habilitado de productos: Empresa SIDERURGICA del Perú SAA,» Universidad Cesar Vallejo, Chimbote, 2017.
- [93] U. Zavaleta y L. Eriken, «Aplicación del TPM para Mejorar la productividad en la línea de Producción de Spools de la empresa FIMA SA,» Universidad Cesar Vallejo, Lima, 2017.
- [94] J. Aponte Antonio, «Propuesta de un plan de mejora continua,» Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima, 2017.
- [95] M. A. García Fernández, «Implementación de un plan de gestión de mantenimiento preventivo basado en TPM para aumentar la confiabilidad en las máquinas de la empresa comercial molinera San Luis S.A.C.,» Universidad San Martín de Porres, Lima, 2018.

- [96] P. R. Medina Núñez, «APLICACIÓN DE UN MANTENIMIENTO PREVENTIVO COMO BASE DEL TPM PARA MEJORAR LA PRODUCTIVIDAD EN EL ÁREA DE PEINADOS DE ALGODÓN DE LA EMPRESA FILASUR S.A.,» Universidad Cesar Vallejo, Lima, 2017.
- [97] Laive S.A., «106va Memoria Anual,» 2016. [En línea]. Available: <http://www.smv.gob.pe/ConsultasP8/temp/Memoria%202016.pdf>. [Último acceso: 13 Junio 2017].
- [98] F. R. Sacristán, *Mantenimiento total de la producción (TPM): proceso de implantación y desarrollo*, Madrid: Fundación Confemetal, 2001.
- [99] B.-D. M, Duffuaa y S, «Maintenance and Quality: The Missing Link,» *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, vol. 1, pp. 20-26, 1995.
- [100] M. Eti, S. Ogaji y P. S.D., «Development and implementation of preventive-maintenance practices in Nigerian industries,» *Applied Energy*, vol. 83, pp. 1163-1179, 2006.
- [101] R. Kumar, D. Kumar y P. Kumar, «Manufacturing excellence through TPM implementation: a practical analysis,» *Industrial Management & Data Systems*, vol. 106, n° 2, pp. 256-280, 2006.
- [102] E. W. Clyde, «TPM: The Foundation Of Lean,» *Material Handling Management*, 1 Agosto 2006. [En línea]. Available: [http://www.mhlnews.com/facilities-management/mhm\\_imp\\_5031](http://www.mhlnews.com/facilities-management/mhm_imp_5031). [Último acceso: 4 Agosto 2017].
- [103] C. Rice, «A quantitative study of emotional intelligence and its impact on team performance,» Unpublished master's thesis, Pepperdine University, Malibu, 1999.
- [104] P. N. Lopes, D. Grewal, J. Kadis, M. Gall y P. Salovey, «Evidence that emotional intelligence is related to job performance and effects attitudes at work,» *Psicothema*, n° 18, 2006.
- [105] B. H. Hamilton, J. A. Nickerson y H. Owan, «Team incentives and worker heterogeneity: an empirical analysis of the impact of teams on productivity and participation,» *Journal of Political Economy*, vol. 111, n° 3, pp. 465-497, 2003.
- [106] R. Batt, «Who benefits from teams? Comparing workers, supervisors and managers,» *Industrial Relations*, vol. 43, n° 1, pp. 183-212, 2004.
- [107] E. Appelbaum, «Worker participation in diverse settings - does the form affect the outcome, and if so, who benefits?,» *British Journal of Industrial Relations*, vol. 33, n° 3, pp. 353-378, 1995.
- [108] J. Benders, F. Huijgen y U. Pekruhl, «Measuring group work; findings and lessons from a European survey,» *New Technology, Work and Employment*, vol. 16, n° 3, pp. 204-217, 2001.

## Anexos

Anexo 1. Distribución de clientes según provincias.

Provincias			
1	Lima	23	Chucuito
2	Trujillo	24	Talara
3	Arequipa	25	Barranca
4	Chiclayo	26	Chanchamayo
5	Callao	27	Leoncio Prado
6	Piura	28	Sullana
7	Huancayo	29	Puno
8	Cusco	30	Paita
9	Huaura	31	Chepén
10	Ica	32	Cutervo
11	San Martín	33	Huaral
12	Maynas	34	Cañete
13	Santa	35	Mariscal Nieto
14	San Román	36	Lambayeque
15	Tacna	37	Abancay
16	Huaraz	38	Pasco
17	Huamanga	39	Jaén
18	Cajamarca	40	Rioja
19	Chincha	41	Ilo
20	Coronel Portillo	42	Tambopata
21	Huánuco	43	S/Prov.
22	Pisco		

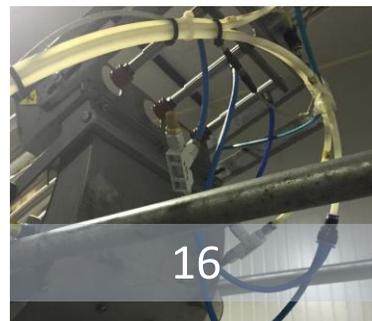
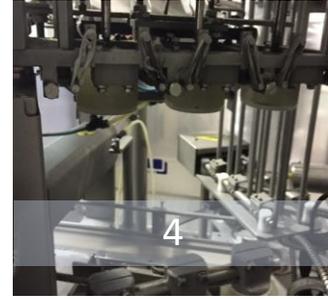
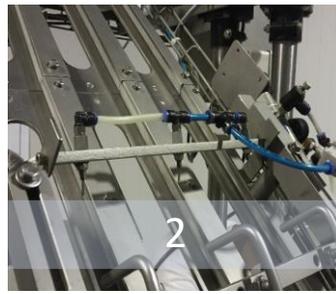
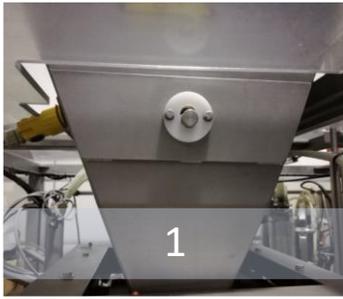
Anexo 2. Estructura de tablero de reuniones diarias.

<b>Reunión diaria (Nano 2 y 3)</b>					
<b>Tiempo</b>	<b>Problema</b>	<b>Problema</b>	<b>Responsable</b>	<b>Fecha inicio</b>	<b>Fecha fin</b>
<b>Corto plazo (&lt;7 días)</b>					
<b>Mediano plazo (&gt;7 días)</b>					
<b>Largo plazo (&gt;21 días)</b>					

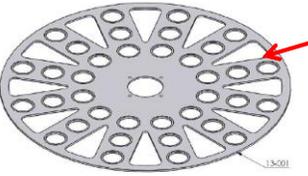
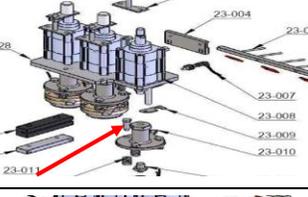
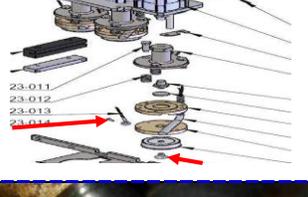
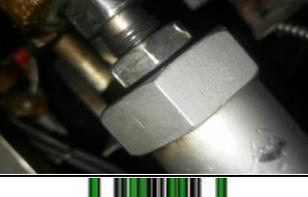
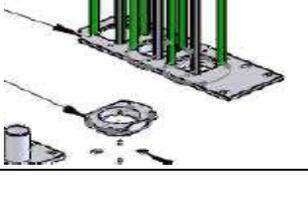
Anexo 3. Problemas hallados en intervenciones de máquinas. Se describe el problema y la acción correctiva.

Nro	Descripción del problema	Tipo de Problema	Prioridad	Avance / Solución	Responsables
1	Bocina desgastada del eje removedor de tolva de cereal.	Pieza rota	Baja	Revisar - Cada 3 meses	Julio - Percy
2	Fuga de aire en un codo en la bajada de cereal (Carril).	Fuga de aire	Media	Revisar	Julio - Percy
3	Fuga de Yogurt de transmisor de dosificado y engranaje.	Dificultad para limpiar	Alta	Revisar	Andrés - Orlando
4	Resortes rotos en el encajador de cereal.	Pieza rota	Media	Cambiar ligas por resortes	Andrés - Orlando
5	Se encuentra fechadora de la línea en contacto con el suelo y por ende con el agua que usan para el lavado de máquina, exponiéndolo a salpicaduras.	Otros	Media	Crear programa de mantenimiento	Robert - Oscar
6	Se observa gotas de aceite en los silenciadores que están ubicados dentro de la caja de pase de acero inoxidable en la parte superior de la máquina (Tablero neumático).	Fuga de aceite	Media	Revisar	Andrés - Orlando
7	Se encuentra conector de sensor anulado con Nro. de cable E26, Este sensor iba hacia el motor de cucharas.	Piezas obsoletas	Baja	Retirar	Andrés - Orlando
8	Manguera de aire anulada, viene desde el tablero neumático y empalma con otra manguera que es para limpiar el plato.	Piezas obsoletas	Baja	Evaluar utilidad, de no ser útil eliminar	Andrés - Orlando
9	Diferentes ventosas de succión de sobrecopa.	Otros	Media	Uniformizar	Andrés - Orlando
10	Luz de alarma rota e inoperativa encima de tablero de cereales.	Pieza rota	Baja	Reparar y señalizar la luz (Prohibido objetos)	Julio - Natalia
12	Desfogue incompleto.	Dificultad para limpiar	Baja	Adaptar tubería	Andrés - Orlando
13	Desgaste de rodillos de cucharita.	Pieza rota	Baja	Reemplazar	Andrés - Orlando
14	Manguera de aire inadecuada.	Faltan piezas/Herramientas	Media	Colocar pistola de aire	Oscar - Natalia
15	Falla constante de brazo de salida de vaso.	Restablecimiento mecánico	Media	Esperar cambio de vasos	-
16	Falla constante de succionador de cereal hacia trasferidor tiene un solo cilindro no tiene medidor de vacío.	Otros (No tiene fuerza al succionar los cereales)	Media	Revisar	Andrés - Orlando

Anexo 4. Problemas hallados en intervenciones de máquinas (Fotos referenciales).



Anexo 5. Estándar de limpieza, inspección, lubricación y ajuste.

ESTÁNDAR LILA (Limpieza, Inspección, Lubricación y Ajuste)				FRECUENCIA		CADA TURNO				
DEFECTO	FOTO	ACCIÓN PREVENTIVA	RESPONSABLE	FECHAS REALIZADAS (Especificar hora)						
				LUN	MAR	MIÉ	JUE	VIE	SÁB	DOM
Falla de succionador de vaso y sobrecopa ocasionado por vibración.		Se deben lubricar los patines que está debajo del disco giratorio, esto con la finalidad de que el plato al giratorio no vibre por la fricción (Lubricante siliconado).	Maquinista de yogurt.							
Posible caída de tuerca en cereal.		Se debe mantener ajustada las tuercas del colocador de cucharitas ya que en una posible caída puede caer en el cereal.	Maquinista de cereal.							
Paradas ocasionadas por falla de selladores de cereales.		Asegurarse que el perno que sujeta la plancha retensora de cereal debe estar siempre ajustado.	Maquinista de cereal.							
Paradas ocasionadas por falla de selladores de cereales.		Asegurarse que perno bulón que sujeta base de las resistencias debe estar siempre ajustado.	Maquinista de cereal.							
Paradas ocasionadas por falla de selladores de cereales.		Asegurarse que los pernos que sujetan el sellador de borce deben estar siempre ajustados.	Maquinista de cereal.							
Paradas ocasionadas por falla de selladores de cereales.		Asegurarse que perno regulador de altura del sellador esté siempre ajustado.	Maquinista de cereal.							
Paradas ocasionadas por falla de succionador de sobrecopas y transferidor de sobrecopas.		Lubricar las uñas que retienen las copas que se deslizan hacia el tobogán.	Maquinista de yogurt.							

Anexo 6. Formato de auditorías de mantenimiento autónomo.

**MANTENIMIENTO DIARIO**

MAQUINA	
SEMANA	
RESPONSABLE	

**OPERADOR**  
**O1** Juan  
**O2** Pedro  
**O3** José

**SUPERVISOR**  
**S1** Sansón  
**S2** Moisés  
**S3** Judas

**SUPERVISOR**  
 Casillero marcar con : **X**  
 t: Tiempo (minutos) es llenado por el OPERADOR

N°	COMPONENTE DE MÁQUINA	ESTADO DE MÁQUINA (1)	ESTANDAR DE LIMPIEZA (2)			LUNES					MARTES					MIÉRCOLES					JUEVES					VIERNES					SÁBADO											
			L	I	A	OPERADOR					SUPERVISOR					OPERADOR					SUPERVISOR					OPERADOR					SUPERVISOR											
						O1 t(min)	O2 t(min)	O3 t(min)	S1	S2	S3	S4	S5	O1 t(min)	O2 t(min)	O3 t(min)	S1	S2	S3	S4	S5	O1 t(min)	O2 t(min)	O3 t(min)	S1	S2	S3	S4	S5	O1 t(min)	O2 t(min)	O3 t(min)	S1	S2	S3	S4	S5	O1 t(min)	O2 t(min)	O3 t(min)	S1	S2
1	Patines de plato giratorio.		X	X																																						
2	Tuerca de colocador de cuchara.		X		X																																					
3	Perno sujetador de selladores de cereal.		X	X																																						
4	Perno bulón de resistencias.		X		X																																					
5	Perno sujetador de sellador de bronce.		X	X																																						
6	Perno regulador de altura de sellador.		X	X																																						
7	Casetera de uñas.		X	X																																						

<b>OBSERVACIONES DEL OPERADOR:</b>	<b>OBSERVACIONES DEL SUPERVISOR:</b>
LUNES:	LUNES:
LUNES:	LUNES:
MARTES	MARTES
MARTES	MARTES
MIÉRCOLES	MIÉRCOLES
MIÉRCOLES	MIÉRCOLES
JUEVES	JUEVES
JUEVES	JUEVES
VIERNES	VIERNES
VIERNES	VIERNES
SABADO	SABADO
SABADO	SABADO

**LEYENDA (1) ESTADO DE MÁQUINA**

- Producción
- Parada antes de CIP

**LEYENDA (2) ESTANDAR DE LIMPIEZA**

- L Limpieza (primera L)
- I Inspección
- L Lubricación (segunda L)
- A Ajuste o apriete

**IMPORTANTE**

OPERADOR, ejecuta todas las actividades según corresponda (ver LEYENDA 1)  
 SUPERVISOR , audita algunas o todas las actividades que realiza el Operador

---

## **DESARROLLO DE LA INTELIGENCIA EMOCIONAL**

---

### **INTRODUCCIÓN**

---

#### **CAPITULO I: LA INTELIGENCIA EMOCIONAL**

1. ¿QUÉ ES LA INTELIGENCIA EMOCIONAL?
  2. ¿QUÉ QUIEREN DECIR ESTOS PROCESOS?
  3. COMPONENTES DE LA INTELIGENCIA EMOCIONAL
  4. IMPORTANCIA DE LA INTELIGENCIA EMOCIONAL EN EL ENTORNO LABORAL
  5. ÁREAS DE TRABAJO DE LA INTELIGENCIA EMOCIONAL
- 

#### **CAPITULO II: CONOCIMIENTO DE SÍ MISMO**

1. ¿QUIÉN SOY?
    - 1.1. LA VENTANA DE JOHARI
    - 1.2. PUNTOS CIEGOS
    - 1.3. LA VENTANA DE JOHARI
  2. CONCIENCIA EMOCIONAL
- 

#### **CAPITULO III: AUTOCONTROL EMOCIONAL**

1. EL ESTRÉS
    - 1.1. ¿QUÉ ENTENDEMOS POR ESTRÉS?
    - 1.2. LAS ETAPAS DEL ESTRÉS
    - 1.3. ¿CÓMO NOS AFECTA FÍSICAMENTE EL ESTRÉS?
    - 1.4. AFRONTANDO EL ESTRÉS
    - 1.5. RECURSOS PARA PREVENIR EL ESTRÉS LABORAL
    - 1.6. CÓMO MODIFICAR LA TENDENCIA AL ESTRÉS
  2. MANEJO DE EMOCIONES NEGATIVAS
    - 2.1. CUANDO ESTÁS MOLESTO
    - 2.2. LOS MENSAJES “YO”
    - 2.3. ¿QUÉ HACER CUANDO ESTÁS MOLESTO O ENOJADO?
- 

#### **CAPITULO IV: MOTIVACIÓN**

1. LA MOTIVACIÓN
    - 1.1. EL ESTADO DE FLUJO
    - 1.2. APTITUDES MOTIVACIONALES
    - 1.3. AFÁN DE TRIUNFO
    - 1.4. COMPROMISO
    - 1.5. INICIATIVA Y OPTIMISMO
  2. PASOS PARA LA AUTOMOTIVACIÓN
  3. PASOS PARA MOTIVAR A LOS DEMÁS
- 

#### **CAPITULO V: EMPATÍA**

1. APTITUDES LABORALES QUE SE BASAN EN LA EMPATÍA
  2. LA EMPATÍA
  3. PONERSE EN LOS ZAPATOS DEL OTRO
  4. LA EMPATÍA COMIENZA POR UNO MISMO
  5. LA EXPRESIÓN FACIAL
  6. PERFIL DE LAS PERSONAS CON APTITUDES EMPÁTICAS
  7. LA ATENCIÓN AL USUARIO
  8. LA COMUNICACIÓN
  9. LAS NECESIDADES HUMANAS
- 

#### **CAPITULO VI: HABILIDADES SOCIALES**

1. LAS RELACIONES SOCIALES
  2. LAS HABILIDADES SOCIALES
- 

#### **CAPITULO VII: LA ORGANIZACIÓN EMOCIONALMENTE INTELIGENTE**

1. EVALUANDO LA ORGANIZACIÓN
  2. BENEFICIOS DE LA INTELIGENCIA EMOCIONAL
  3. CARACTERÍSTICA DE LA ORGANIZACIÓN EMOCIONALMENTE INTELIGENTE
  4. SÍNTOMAS DE UNA ORGANIZACIÓN CON BAJA INTELIGENCIA EMOCIONAL
  5. LA NUEVA ÉTICA DEL EQUIPO
-

---

---

**TALLER DE LIDERAZGO Y TRABAJO EN EQUIPO**

---

---

**INTRODUCCIÓN**

---

**CAPITULO I: CONCEPTOS Y PARADIGMAS**

1. LIDERAZGO
  2. ¿QUIÉN ES LIDER?
  3. FUNCIONES DEL LÍDER
  4. TIPOS DE LÍDER
  5. LÍDER VS JEFE
  6. CARACTERÍSTICAS PERSONALES DE UN LÍDER POSITIVO
  7. AUTO PROFECÍA
    - 7.1. EL EFECTO PIGMALIÓN
- 

**CAPITULO II: AUTOCONOCIMIENTO Y AUTOESTIMA**

1. CONOCIMIENTO DE SÍ MISMO
    - 1.1. ESTRATEGIAS PARA EL AUTOCONOCIMIENTO
    - 1.2. IMAGEN PERSONAL
    - 1.3. LA VENTANA DE JOHARI
    - 1.4. ¿QUÉ ES SER AUTÉNTICO?
    - 1.5. LAS MÁSCARAS
  2. ¿QUÉ ES LA AUTOESTIMA
    - 2.1. COMPONENTES DE LA AUTOESTIMA
    - 2.2. LAS RAÍCES DE LA AUTOESTIMA
    - 2.3. TIPOS DE AUTOESTIMA
    - 2.4. IMPORTANCIA DE LA AUTOESTIMA POSITIVA
    - 2.5. CULTIVANDO UNA AUTOESTIMA POSITIVA
    - 2.6. INMADUREZ EMOCIONAL
- 

**CAPITULO III: HABILIDADES SOCIALES**

1. CONCEPTOS BÁSICOS
    - 1.1. COMUNICACIÓN
    - 1.2. HABILIDADES SOCIALES
  2. TÉCNICAS DE HABILIDADES SOCIALES
    - 2.1. ESTILOS DE COMUNICACIÓN
    - 2.2. CONDUCTAS PARALINGÜÍSTICAS
    - 2.3. CONDUCTAS NO VERBALES
    - 2.4. HACER CRÍTICAS
    - 2.5. RECIBIR CRÍTICAS
  3. ESTRATEGIAS DE EXPOSICIÓN EN SITUACIONES SOCIALES
  4. ESTRATEGIAS PARA HACER MAS EFICACES LAS RESPUESTAS ASERTIVAS
  5. VENTAJAS DE UN COMPORTAMIENTO ASERTIVO
- 

**CAPITULO IV: TRABAJO EN EQUIPO- SOLUCIÓN DE PROBLEMAS**

1. TRABAJO EN GRUPO
  2. TRABAJO EN EQUIPO
  3. CARACTERÍSTICAS DE UN EQUIPO
  4. COMO OPTIMIZAR EL TRABAJO EN EQUIPO
  5. FUNCIONALIDAD, EFECTIVIDAD Y LOGROS DEL EQUIPO
  6. PARÁBOLA DE LA CARPINTERÍA
  7. OTRAS CONSIDERACIONES PARA TRABAJAR EN EQUIPO
    - 7.5. ACTITUDES
    - 7.6. VALORES
      - 7.2.1 SOLIDARIDAD
      - 7.2.2. COOPERACIÓN
      - 7.2.3. COHESIÓN
  8. SOLUCIÓN DE PROBLEMAS
    - 8.1. DEFINICIÓN
    - 8.2. PASOS PARA RESOLVER UN PROBLEMA
  9. ANIMODOS
-

Anexo 9. Formato de cálculo de OEE (Parte 1). Se señalan las áreas A-D.

FICHA DE PRODUCCION (CÁLCULO OEE) - NANO 3													
<b>A</b> Máquina: _____ Operador: _____ Fecha: _____ Turno: 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/>		7:0	8:0	9:0	10:0	11:0	12:0	13:0	14:0	15:0			
		15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00			
		23:00	24:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00			
		1er turno → 2do turno → 3er turno →											
<b>LOTE - DESCRIPCIÓN</b>													
<b>B</b>	<b>D</b>											TOTAL	
												SUMA	=A
<b>C</b>	<b>PARADAS</b>												
	P1 SET-UP (CIP, LIMPIEZA, HISOPADO)												
	P2 Limpieza de área												
	P3 Espera de producto												
	P4 Falla selladora cereal												
	P5 Falta personal												
	P6 Falla presellado de vasos												
	P7 Falla succionador de vaso												
	P8 Falla transferidor de cereal												
	P9 Falla succionador de sobrecopa												
	P10 Falla sacador de vasos												
	P11 Capacitación / Examen Medico												
	P12 Falla fechadora												
	P13 Falla cuchilla (no corta)												
	P14 Falla colocador de cuchara / tapa												
	P15 Falla sacador de yogurt salida a faja												
	P16 Refrigerio												
												SUMA	=B
												SUMA	=A+B

Anexo 10. Formato de cálculo de OEE (Parte 2). Se señalan las áreas E-I.

### FICHA DE PRODUCCION (CÁLCULO OEE) - NANO 3

**LEYENDA DE DEFECTOS** ➔

- 2. Tapa aluminio descentrada
- 5. Fecha borrosa
- 8. Bajo peso cereal mezclado

- 3. Sello débil
- 6. Sin cucharita
- 9. Tapa aluminio arrugada

- 4. Sin fecha
- 7. Bajo peso yogurt
- 10. Producto

Tempo de ciclo (MP) **0.0094**

**TP: Total Piezas**

**MP: Minuto/Pieza**

\* No cuentan las piezas defectuosas por inicio de producción (regulación)

LOTE	DESCRIPCIÓN	1. PIEZAS BUENAS	TP												PIEZAS BUENAS + MALAS	Tiempo productivo "min" (a)	TP x MP	
			2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Tiempo de producción esperado "min"			MP	
		=C											=D		=E			

**DISPONIBILIDAD** ➔  $\frac{\text{Tiempo productivo Total (A)}}{\text{Tiempo total de Uso (A+B)}} = \frac{\boxed{\phantom{000}}}{\boxed{\phantom{000}}} = \boxed{\phantom{000}}$

**RENDIMIENTO** ➔  $\frac{\text{Tiempo de producción esperado (E)}}{\text{Tiempo productivo total (A)}} = \frac{\boxed{\phantom{000}}}{\boxed{\phantom{000}}} = \boxed{\phantom{000}}$

**CALIDAD** ➔  $\frac{\text{Total piezas buenas (C)}}{\text{Total de piezas producidas (D)}} = \frac{\boxed{\phantom{000}}}{\boxed{\phantom{000}}} = \boxed{\phantom{000}}$

} **OEE** ➔  $\boxed{\phantom{000}}$

**Observaciones:**

---



---



---

Anexo 11. Explicación de componentes de formato (Cálculo de OEE).

Componente	Explicación
A	Comprende información relacionada al nombre de máquina, nombre de operador, fecha y turno de trabajo. En la línea Nano 3, se trabaja 3 turnos de 8 horas, en la línea Nano 2, se trabaja 2 turnos de 12 horas.
B	Se especifica el tipo de producto a fabricar (Mix con hojuelas, mix con chocolate, mix con bolitas de colores, etc.)
C	Se realizó una reunión con los 5 maquinistas de yogurt y cereal de las líneas Nano, se determinaron las 16 paradas más frecuentes y se considera espacio libre para 4 paradas no frecuentes.
D	En el campo D, el maquinista debe pintar los casilleros conforme al avance del turno, se registra el tiempo de producción y tiempo de paradas para ser sumado. Este sistema de registro de paradas es rápido y sencillo, los maquinistas mostraron alta aceptación frente al nuevo formato.
E	Este campo se determina del mismo modo que el campo C, aplicado a defectos de producción.
F	En el campo F se muestra información sobre el tiempo de ciclo, este valor servirá para que el maquinista calcule el rendimiento (Tasa de producción teórica vs tasa de producción real).
G	Aquí se registra el número de unidades defectuosas por cada lote, y se calcula la tasa de producción ideal.
H	En este campo se muestra el resumen de los componentes y cálculo del OEE, en cada casillero se especifica que operaciones se deben efectuar y las letras que intervienen.
I	Finalmente, aquí el maquinista es libre de comentar observaciones relacionadas a la máquina, a sus compañeros u oportunidades de mejora.

Anexo 12. Estudios para determinar aplicación de herramienta T-Student considerando OEE semanal.

Grupos de muestra	Test de normalidad (Anderson-Darling) P- Value	Test de varianzas (Bonett) P-Value	Media
OEE Semanal Nano 2 (Antes)	0.007	0.363	0.61
OEE Semanal Nano 2 (Después)	0.043		0.59
OEE Semanal Nano 3 (Antes)	0.003	0.331	0.50
OEE Semanal Nano 3 (Después)	0.024		0.44

Anexo 13. Estudios para determinar aplicación de herramienta T-Student considerando disponibilidad semanal.

Grupos de muestra	Test de normalidad (Anderson-Darling) P- Value	Test de varianzas (Bonett) P-Value	Media
Disp. Semanal Nano 2 (Antes)	0.034	0.654	0.74
Disp. Semanal Nano 2 (Después)	0.048		0.68
Disp. Semanal Nano 3 (Antes)	0.015	0.314	0.66
Disp. Semanal Nano 3 (Después)	0.033		0.57

Anexo 14. Estudios para determinar aplicación de herramienta T-Student considerando disponibilidad simulada semanal.

Grupos de muestra	Test de normalidad (Anderson-Darling) P- Value	Test de varianzas (Bonett) P-Value	Media
Disp. Semanal Nano 2 (Después)	0.048	0.282	0.68
Disp. Semanal Nano 2 (Simul.)	0.024		0.72
Disp. Semanal Nano 3 (Después)	0.033	0.424	0.57
Disp. Semanal Nano 3 (Simul.)	0.049		0.61

Anexo 15. Estudios para determinar aplicación de herramienta T-Student considerando rendimiento semanal.

Grupos de muestra	Test de normalidad (Anderson-Darling) P- Value	Test de varianzas (Bonett) P-Value	Media
Rend. Semanal Nano 2 (Antes)	0.021	0.654	0.82
Rend. Semanal Nano 2 (Después)	0.038		0.89
Rend. Semanal Nano 3 (Antes)	0.017	0.804	0.77
Rend. Semanal Nano 3 (Después)	0.008		0.80