

**UNIVERSIDAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**



**IMPACTO DEL MANTENIMIENTO AUTÓNOMO**  
**EN LA EFICIENCIA GENERAL DE UNA LÍNEA DE**  
**PRODUCCIÓN DE LAVAVAJILLAS**

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN**

Para optar el grado de bachiller en Ingeniería Industrial

**AUTOR**

Francisco José Vargas Quevedo (CÓDIGO: 201510121)

**ASESOR**

Fernando Pérez Lizano (ORCID: 0000-0003-1697-7337)

Lima – Perú

2020

*Dedicatoria:*

A mi familia, que me dio todo el apoyo incondicional y enseñanzas durante mi etapa universitaria para que pueda formarme como un Ingeniero Industrial completo.

A mi enamorada Brunella, quien estuvo a mi lado en mis años de carrera y me apoyó en los momentos más difíciles.

A mi querido tío Pepe, que en paz descanse. Sus sabios consejos marcaron mi desarrollo personal y académico, y me enseñaron a ver la vida desde una perspectiva distinta.

A mis compañeros de trabajo, quienes fueron los que me enseñaron y guiaron en desarrollar esta metodología, y me hicieron sentir como en casa desde el primer día de trabajo.

*Agradecimientos:*

Quiero agradecer a mi asesor Fernando Pérez quien con su conocimiento y apoyo me orientó a través de cada una de las etapas de este proyecto para alcanzar los resultados que buscaba.

Agradecimiento especial a Luis de las Casas por haberme orientado en mis estudios universitarios y haber sido pieza clave al tomar la decisión de estudiar esta excelente carrera

# TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
<b>RESUMEN</b> .....	<b>11</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>12</b>
<b>CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>13</b>
<b>CÁPITULO 2: MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>21</b>
2.1 Sector de Productos de Limpieza y de Tocador en el Perú .....	21
2.2 Mantenimiento Productivo Total (TPM).....	23
2.2.1 Origen.....	24
2.2.2 Objetivos .....	25
2.2.3 Ocho Pilares del TPM .....	27
2.3 Eficiencia General de los Equipos (OEE) .....	28
2.3.1 Métrica y las Seis Grandes Pérdidas .....	29
2.3.2 Componentes en la Eficiencia de los Equipos.....	32
2.4 Mantenimiento Autónomo (AM) .....	35
2.4.1 Definición.....	36
2.4.2 Los Siete Pasos del Mantenimiento Autónomo .....	38
2.4.3 Paso 1: Limpieza Inicial.....	40
2.4.4 Paso 2: Eliminación de Fuentes de Contaminación y Lugares de Difícil Acceso.....	40
2.4.5 Paso 3: Estándares de Limpieza, Inspección y Lubricación.....	41
2.4.6 Factores de Éxito y Barreras de Implementación.....	42
2.4.7 Implementación en Plantas de Producción (Casos de Estudio).....	44
<b>CAPÍTULO 3: DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA</b> .....	<b>48</b>
3.1 Materiales SRL.....	48
3.2 Clientes Principales .....	49
3.3 Organización General.....	50
3.4 Descripción de Producto .....	52
3.5 Descripción de Procesos.....	53
3.5.1 Capacidad Productiva.....	54
3.5.2 Indicadores de Gestión .....	54
3.5.3 Etapas de Producción .....	55
3.5.4 Estructura de la Línea de Producción.....	59
3.6 Diagnóstico de Eficiencia y Sistemas Críticos.....	61

<b>CAPÍTULO 4: METODOLOGÍA</b> .....	<b>67</b>
4.1 Alcance y Diseño de la Investigación .....	68
4.2 Variables de Interés e Hipótesis Planteadas .....	69
4.3 Modelo y Descripción del Método de Intervención .....	72
4.4 Recolección de Datos .....	78
4.5 Métodos de Análisis .....	80
4.5.1 Prueba para comparación de dos medias muestrales.....	81
4.5.2 Pruebas para comparación de dos varianzas muestrales .....	81
4.5.3 ANOVA de un solo factor.....	82
4.5.4 Análisis Descriptivo de Fallas.....	82
4.6 Limitaciones .....	83
<b>CAPÍTULO 5: RESULTADOS</b> .....	<b>85</b>
5.1 Diagnóstico Inicial .....	85
5.2 Programa Básico de Mantenimiento Autónomo .....	88
5.3 Pruebas Estadísticas .....	99
5.3.1 Limpieza de Datos.....	99
5.3.2 Análisis de Eficiencia General .....	100
5.3.3 Análisis del Plan Maestro de Producción.....	103
5.4 Diagnóstico Final .....	106
<b>CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES</b> .....	<b>111</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>114</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>120</b>

# ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1.1 - Resultados de la operación de lavavajillas de marzo a agosto del 2019.	18
Tabla 1.2 - Resultados de costos de producción de L2 de marzo a agosto del 2019.	19
Tabla 2.1 - Relación entre TPM, Mantenimiento Productivo y Mantenimiento Preventivo.	26
Tabla 2.2 - Definición y beneficios de los ocho pilares del TPM.	28
Tabla 2.3 - Relación entre los componentes del OEE y las seis grandes pérdidas.	30
Tabla 2.4 - Las seis grandes pérdidas en la producción.	31
Tabla 2.5 - Los siete pasos del Mantenimiento Autónomo.	39
Tabla 2.6 - Barreras y limitaciones en un programa de Mantenimiento Autónomo.	43
Tabla 2.7 - Casos de Estudio: Implementación de Programas de TPM y Mantenimiento Autónomo en Empresas de Manufactura.	46
Tabla 3.1 - Códigos de productos lavavajillas en Materiales SRL.	52
Tabla 3.2 - Capacidades productivas por código en Envase.	54
Tabla 3.3 - Medidas más relevantes del Scorecard de la operación de lavavajillas.	56
Tabla 3.4 - Estructura de personal estándar L2.	61
Tabla 3.5 - Distribución de tiempos en L2 de octubre a marzo del año fiscal 19/20.	64
Tabla 3.6 - Sistemas críticos por tiempo de línea parada de octubre a marzo del año fiscal 19/20.	66
Tabla 4.1 - Volúmenes de producción de lavavajillas en el primer trimestre del año 2020.	69
Tabla 4.2 - Definiciones conceptuales para las variables de salida de la investigación.	70
Tabla 4.3 - Definiciones conceptuales para las variables de entrada de la investigación.	71
Tabla 4.4 - Hipótesis secundarias planteadas para la investigación.	72
Tabla 5.1 - Resultados acumulados de producción de mayo del 2020 en L2.	87
Tabla 5.2 - Modos de fallas críticos de mayo del 2020 en L2.	88

Tabla 5.3	- Descripción de defectos con prioridad A e impacto en factores de Eficiencia General.	90
Tabla 5.4	- Defectos críticos antes y después de su solución.	92
Tabla 5.5	- Equipos antes y después de las limpiezas y solución de defectos.	94
Tabla 5.6	- Centerline de presiones de llenado para cada código de producto.	95
Tabla 5.7	- Impactos en la Eficiencia General en el periodo de análisis de la Tesis.	100
Tabla 5.8	- Resultado de Prueba F de Fisher para la Eficiencia General.	102
Tabla 5.9	- Resultado de Prueba de Welch para la Eficiencia General.	102
Tabla 5.10	- Resultado del Análisis de Poder para la Eficiencia General.	103
Tabla 5.11	- Resultado de Prueba F de Fisher para el Plan Maestro de Producción.	105
Tabla 5.12	- Resultado de Prueba t de Student para el Plan Maestro de Producción.	105
Tabla 5.13	- Resultado del Análisis de Poder para el Plan Maestro de Producción.	106
Tabla 5.14	- Resultados acumulados de producción de junio del 2020 en L2.	108
Tabla 5.15	- Comparación de modos de falla críticos de mayo con respecto a junio del 2020 en L2.	110

# ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.1 - Resultados de Eficiencia General de L2 mensuales de marzo a setiembre del 2019.	14
Figura 1.2 - Pérdida no planeada mensual de Eficiencia General en L2 de marzo a setiembre del 2019.	15
Figura 1.3 - Diagrama de Causa-Efecto – Pérdida de Eficiencia General.	16
Figura 2.1 - PBI del sector manufactura (general y no primaria) del 2015 al 2018.	21
Figura 2.2 - IPI para los productos de tocador y limpieza de agosto del 2018 a agosto del 2019.	22
Figura 2.3 - Modelo de ocho pilares del TPM (en inglés).	27
Figura 2.4 - Modelo de OEE.	33
Figura 2.5 - Cálculo del OEE (modelo de tiempo).	34
Figura 2.6 - Clasificación y asignación de tareas de mantenimiento según departamento.	37
Figura 2.7 - Factores de éxito en un programa de Mantenimiento Autónomo (en inglés).	45
Figura 3.1 - Requerimientos de producción de pasta de lavavajillas en el año fiscal 19/20.	48
Figura 3.2 - Evolución de las ventas de lavavajillas en el T4 y T1 del año fiscal 19/20.	49
Figura 3.3 - Participación de Lavadín en los clientes principales en el T4 y T1 del año fiscal 19/20	50
Figura 3.4 - Estructura organizacional de Materiales SRL.	51
Figura 3.5 - Estructura organizacional de la gerencia de producción.	51
Figura 3.6 - Producto Lavadín Limón.	52
Figura 3.7 - Vista de planta de la empresa Materiales SRL en el Cercado de Lima.	53
Figura 3.8 - Diagrama de operaciones del proceso de elaboración de pasta de lavavajillas.	57
Figura 3.9 - Diagrama de operaciones del proceso de envasado en L2.	58
Figura 3.10 - Distribución de planta de L2 y estructura de personal 3PL.	60
Figura 3.11 - Resultados de Eficiencia General en L2 de octubre a marzo del año fiscal 19/20.	62



Figura 3.12	- Componentes de la Eficiencia General en L2 de octubre a marzo del año fiscal 19/20.	63
Figura 3.13	- Pareto por tiempo de línea parada de octubre a marzo del año fiscal 19/20.	65
Figura 4.1	- Estructura de actividades del método de intervención.	73
Figura 4.2	- Estructura jerárquica de los equipos de trabajo.	78
Figura 4.3	- Modelo general del método de intervención.	79
Figura 5.1	- Resultados de Eficiencia General diaria de mayo del 2020 en L2.	86
Figura 5.2	- Pareto por tiempo de línea parada de mayo del 2020 en L2.	87
Figura 5.3	- Reunión diaria haciendo uso del tablero RTT en junio.	89
Figura 5.4	- Cronograma semanal de limpieza (RLS) para L2.	93
Figura 5.5	- Tablero de resultados de Eficiencia General diaria en Envase.	97
Figura 5.6	- Tablero de resultados de Volumen de Producción diario en Envase.	98
Figura 5.7	- Diagrama de cajas de Eficiencia General antes y después de la intervención.	101
Figura 5.8	- Diagrama de cajas del Plan Maestro de Producción antes y después de la intervención.	104
Figura 5.9	- Resultados de Eficiencia General diaria de junio del 2020 en L2.	107
Figura 5.10	- Resultados de Eficiencia General diaria de julio del 2020 en L2.	107
Figura 5.11	- Pareto comparativo por tiempo de línea parada de mayo y junio del 2020 en L2.	109

## ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1 - Resultados de MPS en mayo del 2020 para L2 (antes del programa).	121
Anexo 2 - Resultados de MPS en junio y julio del 2020 para L2 (después del programa).	122
Anexo 3 - Secciones importantes del Tablero RTT (resultados y sistemas de gestión diario).	123
Anexo 4 - Sistema de Defectos (formato de reporte de defectos en Excel) – Parte 1	124
Anexo 5 - Sistema de Defectos (formato de reporte de defectos en Excel) – Parte 2	125
Anexo 6 - Estándar de Limpieza – RLS	126
Anexo 7 - Estándar de Limpieza, Inspección y Lubricación (CIL) para el Lado A – Parte 1	127
Anexo 8 - Estándar de Limpieza, Inspección y Lubricación (CIL) para el Lado A – Parte 2	128
Anexo 9 - Estándar de Limpieza, Inspección y Lubricación (CIL) para el Lado A – Parte 3	129
Anexo 10 - Gráficas de normalidad para la Eficiencia General en R.	130
Anexo 11 - Gráficas de normalidad para el Plan Maestro de Producción en R.	131
Anexo 12 - Resultados de pruebas de normalidad Shapiro-Wilk para la Eficiencia General y el Plan Maestro de Producción en R.	132

## **RESUMEN**

El propósito de este trabajo de investigación es examinar el impacto que puede generar la implementación de un programa básico de Mantenimiento Autónomo en la Eficiencia Global de una línea de producción. El estudio es desarrollado en una operación de manufactura de lavavajillas y el alcance se reduce a una línea de producción que absorbe el 90% del requerimiento total de producción. En el último año, han ocurrido constantes fallas en los equipos y se han observado paros menores que han reducido la disponibilidad y limitado el rendimiento de la línea, generando bajos niveles de eficiencia. Se ha planteado como estrategia para incrementar este indicador el restablecimiento de las condiciones básicas de los equipos a través de la ejecución de los tres primeros pasos del Mantenimiento Autónomo. Los resultados de esta investigación demostraron que es factible en el corto plazo incrementar la Eficiencia General (+1.8%) y reducir su variación (-3.1%) con tan solo enfocar el programa de Mantenimiento Autónomo en dos actividades fundamentales: (1) identificación y solución de defectos, y (2) limpiezas profundas en los equipos críticos. La cantidad de paros en la línea se redujeron en 30% en tan solo un mes de implementación, dejando como conclusión la efectividad y el impacto significativo que tiene esta metodología en la Eficiencia General de un sistema productivo. Esta investigación presenta un caso de estudio en el que se busca implementar el Mantenimiento Autónomo en una operación subcontratada. Los resultados y el método aplicado podrán servir como punto de partida y reflexión para gerentes/practicantes de una variante interesante de la metodología.

### **PALABRAS CLAVES:**

Eficiencia Global, Mantenimiento Autónomo, TPM, operación de manufactura de lavavajillas, personal subcontratado.

## **ABSTRACT**

# **IMPACT OF AUTONOMOUS MAINTENANCE ON THE GENERAL EFFICIENCY OF A DISHWASHER PRODUCTION LINE**

The purpose of this research is to analyze the impact of a basic Autonomous Maintenance program in the Overall Efficiency of a production line. The study is developed in a dishwasher manufacturing operation and the scope is reduced only to a production line that absorbs 90% of the total production requirement. In the last year, constant equipment failures and minor stops have been observed, and these non-planned events have had a negative impact on availability and limited the line performance, generating low levels of efficiency. To restore basic conditions of equipment and improve this indicator, it has been proposed as the best strategy, the execution of the first three steps of Autonomous Maintenance. The results of this research showed that it is feasible in the short term to increase Overall Efficiency (+1.8%) and reduce its variation (-3.1%) by just focusing the program on two fundamental activities: (1) identification and troubleshooting of equipment abnormalities, and (2) deep cleaning of critical equipment. The number of stoppages on the line were reduced by 30% in just one month of implementation, leaving as a conclusion the effectiveness and the significant impact that this methodology has on the Overall Efficiency of a production system. For last, this research presents a case study that seeks to implement Autonomous Maintenance in an outsourced operation. The results and the method applied may serve as a starting point and a guide for manager/practitioners of and interesting variant of the methodology.

### **KEYWORDS:**

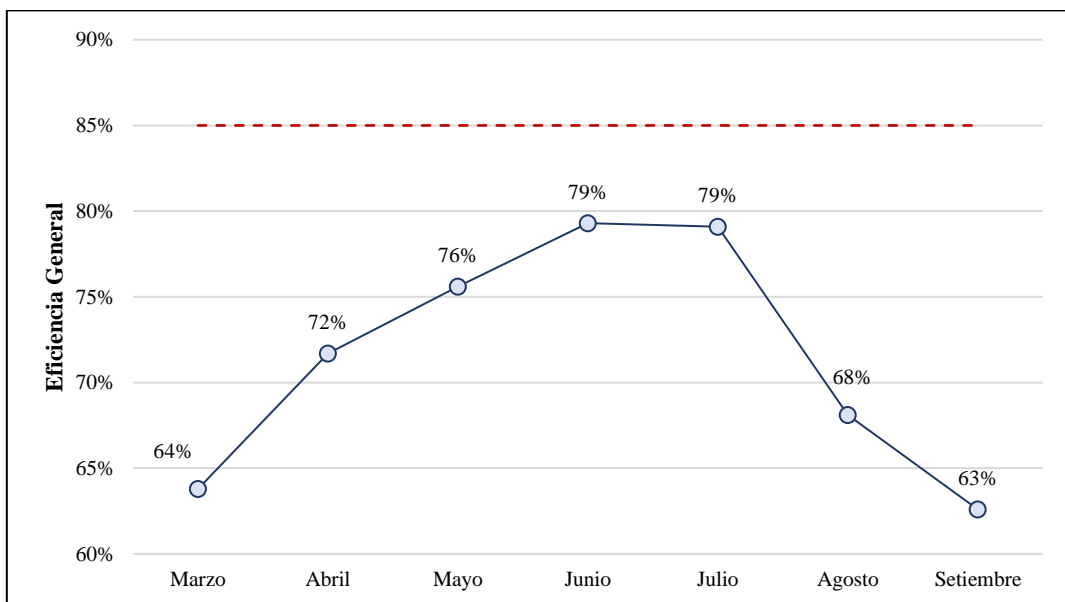
Overall Efficiency, Autonomous Maintenance, TPM, dishwasher manufacturing operation, outsourced personnel.

# CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

Materiales SRL es una empresa transnacional situada en Lima (Perú), dedicada a la fabricación y venta de bienes de consumo masivo para el cuidado de la persona y el hogar. Está bien posicionada en el mercado peruano en sus diferentes categorías de producto y opera hace más de 30 años en la capital, con una excelencia operativa y proporcionando un alto nivel de servicio hacia el cliente a nivel nacional. Las operaciones de esta empresa se pueden dividir en dos grandes secciones: la gestión de un centro de distribución y una planta de producción. La primera de ellas se encarga del manejo, almacenamiento y despacho de todo el portafolio de productos que se maneja en el Perú, ya sean importados o producidos localmente. Por el otro lado, la planta de fabricación consta de sólo dos áreas de producción: la de lavavajillas en pasta y la de maquilado de pañales. Ambos tipos de producto se producen y comercializan solo a nivel nacional. Finalmente, para comprender cómo es la gestión de la empresa a nivel interno, es muy importante mencionar que ambas operaciones se tercerizan por un proveedor logístico que brinda servicios de mano de obra dentro de las instalaciones de la empresa. No obstante, los roles críticos de las operaciones como: planeadores de mantenimiento, líderes de línea, montacarguistas y entre otras funciones claves, sí se manejan por personal propio de Materiales SRL. El alcance de esta investigación se ha delimitado al área de producción de lavavajillas en pasta. La segunda línea de producción (L2) y el área de trabajo en donde está ubicada (Envase), serán ambas el objeto de estudio de esta Tesis. En el capítulo 3, se dará mayor detalle de la organización, especialmente de la operación de lavavajillas en pasta para tener una mayor comprensión de ella.

La producción de lavavajillas en Materiales SRL empezó sus operaciones en el año 1996 y desde ese entonces personal tercerizado y propio de la empresa son quienes se encargan de su manufactura. En la actualidad, el producto estrella es *Lavadín Limón* y tiene diferentes formatos de producción que varían en gramaje. La mezcla del producto se elabora en la subárea denominada: Proceso; mientras que el envasado de la pasta se realiza en: Envase. Esta última, cuenta con dos líneas de envasado: la Línea 1 (L1) y la Línea 2 (L2). La segunda de ellas absorbe aproximadamente el 90% del volumen de producción mensual de este producto y en ella se envasan seis de los siete formatos que

maneja la operación. En el primer trimestre del año 2019, en el mes de marzo, ocurrió una transición significativa en la operación: se cambió de proveedor de servicio de personal (3PL) después de 10 años. El traslape de información, procedimientos y conocimiento de la operación ha sido un proceso largo que hasta el día de hoy continua. Los resultados de la operación acordados como estrategia del negocio (eficiencia de las líneas y cumplimiento de los planes de producción) todavía no se alcanzan de una forma sostenible en el tiempo; al igual que el incumplimiento de los estándares de operación, y de la limpieza de los equipos y el área de trabajo. Los resultados de Eficiencia General de L2, durante el segundo y tercer trimestre del año 2019, se muestran en la **Figura 1.1**:



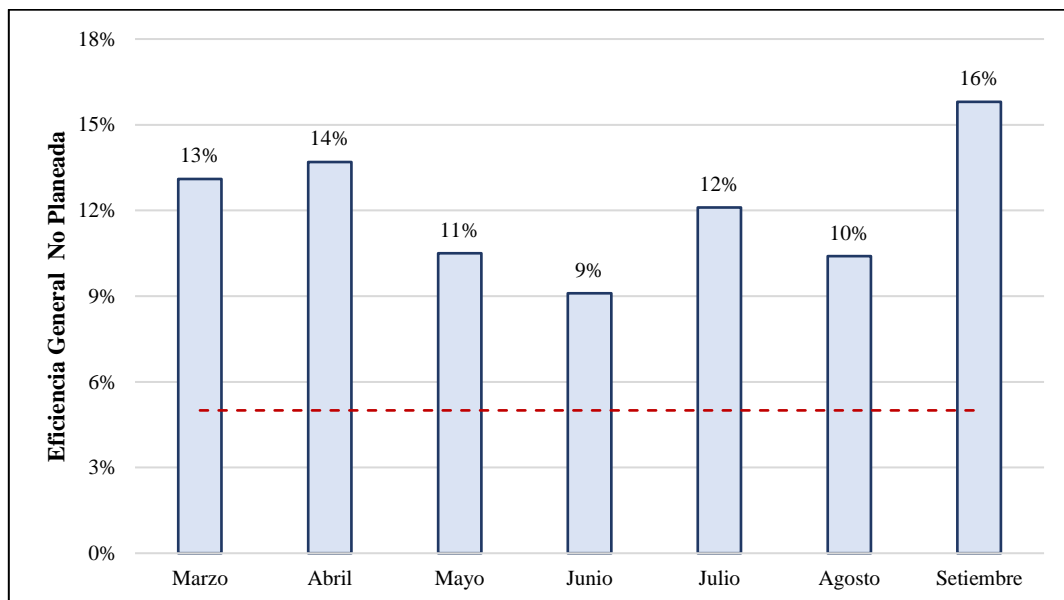
**Figura 1.1** Resultados de Eficiencia General de L2 mensuales de marzo a setiembre del 2019.

Fuente: Elaboración propia.

*Nota: el objetivo de 85% es una política global de la empresa en todas sus plantas de manufactura. Este valor está alineado con el valor de OEE de clases mundial definido por Seiichi Nakajima en su libro "Introducción al TPM" [1].*

Esta medida es un equivalente al modelo de Eficiencia General de los Equipos conocido como el *OEE* (siglas en inglés de *Overall Equipment Effectiveness*). Esta es una métrica muy conocida y es extensamente utilizada por las industrias de manufactura para medir la efectividad e identificar el porcentaje del tiempo de fabricación que es realmente productivo. El OEE se encarga de medir y categorizar las pérdidas asociadas a la

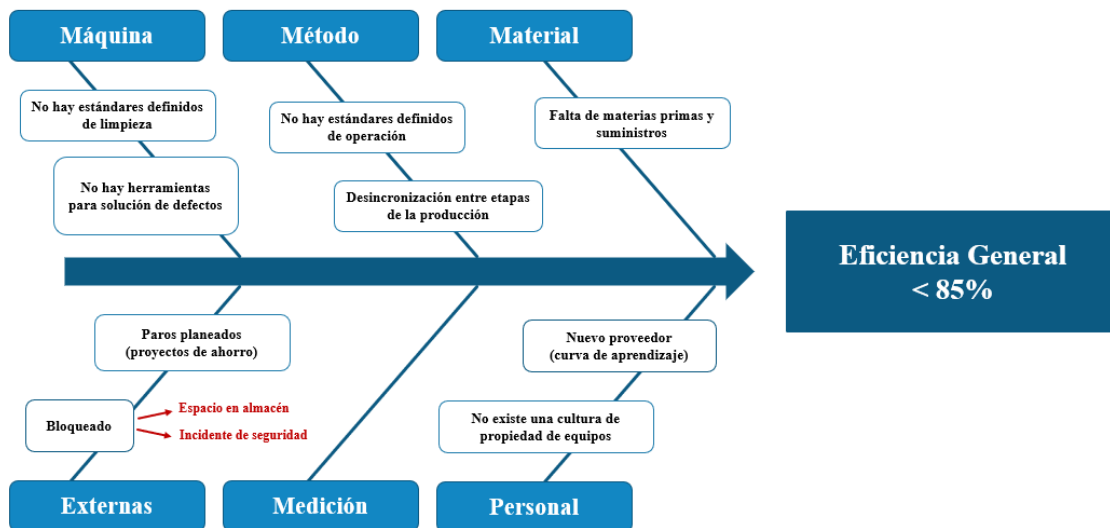
producción en tres componentes: Disponibilidad, Rendimiento y Calidad. Tener un OEE del 100% significa que el proceso está entregando sólo producto conforme (calidad), lo más rápido posible (rendimiento) y sin tiempos de inactividad (disponibilidad) [2]. Su medición permite encontrar y resolver de forma sistémica las áreas de oportunidad en un proceso de producción, ya que permite identificar las pérdidas de forma independiente, evaluar el progreso de las acciones tomadas e incrementar la efectividad de los equipos de fabricación. Este modelo es una herramienta y pieza fundamental para la implementación de las metodologías de mejora continua dentro de una operación [3]. Uno de los contextos en donde más se utiliza esta métrica es en el de Mantenimiento Productivo Total o *TPM* (siglas en inglés de *Total Productive Maintenance*). Este programa consiste en un conjunto de principios y buenas prácticas enfocadas en optimizar el rendimiento de una operación al mejorar la forma en cómo se mantienen los equipos de trabajo [4]. Lo que busca un programa de TPM es alcanzar un estado en el cual los equipos puedan trabajar de forma perfecta todo el tiempo y sin ningún incidente de seguridad, eliminando las seis grandes pérdidas asociadas a la producción [5].



**Figura 1.2** Pérdida no planeada mensual de Eficiencia General en L2 de marzo a setiembre del 2019.

Fuente: Elaboración propia.

Los paros no planeados en términos de cantidad y tiempo son muy elevados en L2. La eficiencia perdida debido a esta categoría de paros es en promedio un 12% al mes. El comportamiento de esta variable ha sido muy inestable durante los meses posteriores a la transición, como se muestra en la **Figura 1.2**. Al comparar los niveles de pérdida de eficiencia objetivos con los reales, la brecha es muy grande. Existen una variedad de motivos que limitan la capacidad de la línea; sin embargo, se encontró en un previo análisis que la gran mayoría de paradas y pérdidas en la producción se deben a problemas por máquina, método, personal y factores externos a la operación (falta de espacio de almacenamiento y pruebas por proyectos de ahorro). La **Figura 1.3** muestra un diagrama de Causa-Efecto (o Ishikawa) referente al análisis.



**Figura 1.3** Diagrama de Causa-Efecto: Pérdida de Eficiencia General. Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con el diagrama, se da a entender que el factor Disponibilidad es uno de los que mayor impacto tiene sobre la eficiencia de la Línea 2. El tiempo total en el que la línea ha estado inoperativa por falta de materias primas y suministros, y factores externos ha sido muy alto. En acumulado, entre los meses de julio y agosto, la línea ha estado inoperativa un total de 167 horas equivalentes a 21 turnos de producción aproximadamente (7 días). Estos paros han sido de tipo planeados y no planeados, y se han debido a los siguientes motivos: pruebas por proyectos de ahorro (95 horas); falta de



materia prima y suministros (9 horas); falta de espacio de almacenamiento (48 horas) en el centro distribución y un incidente de seguridad (16 horas). No obstante, a pesar del impacto negativo en la eficiencia, este tipo de pérdidas son casos puntuales. Las categorías de problemas que ocurren con mayor frecuencia son en los siguientes tres ámbitos: máquina, método y personal. Es en estos tipos de paros se deben enfocar los recursos y esfuerzos para eliminar las pérdidas crónicas en la producción sistémicamente.

Como se mencionó anteriormente, el nuevo proveedor se encuentra en un proceso de curva de aprendizaje. Es un hecho que en los estándares de operación, limpieza e inspección de los equipos hay una gran área de oportunidad; y es ahí, en donde entra a tallar la metodología del Mantenimiento Autónomo o *AM* (siglas en inglés de *Autonomous Maintenance*), uno de los ocho pilares de TPM. El Mantenimiento Autónomo, más que un programa de mantenimiento es una filosofía y forma de trabajar dentro de las áreas de operación. Lo que se busca con él es que los equipos trabajen a cero defectos y sin ninguna intervención externa. Esta metodología consiste en siete pasos y se enfoca en dos cosas: desarrollar a los operarios en habilidades básicas de mantenimiento y eliminar el deterioro forzado de los equipos. Los operarios deben desarrollar su habilidad en identificar anormalidades; ejecutar tareas correctivas ante una de ellas; conocer y mantener los equipos en condiciones básicas y sostener su funcionamiento de acuerdo con esos estándares [6]. En otras palabras, uno de los objetivos de esta metodología es generar una cultura o mentalidad de propiedad de los equipos en sus trabajadores. Solo de esta manera, ellos serán capaces de descubrir las verdaderas causas de los problemas y tomar medidas para prevenirlas. Los operarios deben desarrollar la capacidad del equipo para que este funcione durante su vida natural o de diseño; y deben entender que las averías en los equipos ocurren por deterioración forzada de los mismos.

Los grupos de interés con respecto a la implementación de un programa de Mantenimiento Autónomo son tres: los clientes, el proveedor de servicios de personal (3PL) y el área de finanzas. Para el primer grupo de interés, el nivel de servicio es una medida muy valorada. Durante los meses de transición, el *CFR* (siglas en inglés de *Case Fill Rate*) se ha mantenido en promedio en un 96.6% en comparación con su objetivo de 98.5%, el cual es un resultado desfavorable de cara a los clientes. Al no alcanzar los niveles de eficiencia con los que se planea la producción, se genera un impacto negativo

cuantificado en mayores ventas perdidas y número de clientes insatisfechos. El segundo grupo está que se alcancen los niveles de eficiencia definidos en el acuerdo contractual. Asimismo, ellos deben entregar la cantidad de cajas que se programó en el plan de producción. Ambas variables se encuentran en promedio por debajo de sus objetivos desde que el proveedor empezó a operar en las instalaciones de Materiales SRL. La Eficiencia General ha sido de 73% en promedio en comparación con su objetivo de 85%; mientras que, el *MPS* (siglas en inglés de *Master Production Schedule*), haciendo referencia al cumplimiento de los planes de producción, ha resultado en un 88.7% en comparación con su objetivo de 90%. La evolución de estas medidas a lo largo de del año 2019 pueden visualizarse en la **Tabla 1.1**. La implementación de un programa de Mantenimiento Autónomo enfocado en las principales pérdidas crónicas permitirá mejorar el estándar de trabajo del proveedor, en términos de cultura y manejo de los equipos; y de esta forma, se podrá alcanzar los niveles de producción deseados utilizando los recursos disponibles de una manera óptima. Por último, para el tercer grupo de interés es esencial producir al más bajo costo. La tarifa por el servicio brindado de este nuevo proveedor es menor en un 10% en comparación con el anterior; esta fue la razón por la que se dio la transición. Sin embargo, debido a que no se están alcanzando los volúmenes de producción en el tiempo planificado se incurre en un sobre costo por horas extra que en promedio equivalen a S/ 6,630 al mes. El comportamiento negativo de estas medidas a lo largo del 2019 puede visualizarse en la **Tabla 1.2**.

	Objetivo	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Promedio
<b>EG</b>	85.0%	63.8%	71.7%	75.6%	79.3%	79.1%	68.1%	<b>72.9%</b>
<b>MPS</b>	90.0%	85.0%	80.0%	94.7%	90.3%	93.0%	89.0%	<b>88.7%</b>
<b>CFR</b>	98.5%	97.8%	91.8%	95.6%	96.0%	99.8%	98.6%	<b>96.6%</b>
<b>Leyenda:</b>		<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 20px; height: 10px; background-color: #90EE90; margin-right: 5px;"></div> Dentro de Objetivo         </div> <div style="display: flex; align-items: center; margin-top: 5px;"> <div style="width: 20px; height: 10px; background-color: #FFB6C1; margin-right: 5px;"></div> Fuera de Objetivo         </div>						

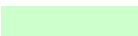
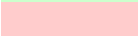
**Tabla 1.1** Resultados de la operación de lavavajillas de marzo a agosto del 2019.

Fuente: Elaboración propia.

En conclusión, implementar un programa de Mantenimiento Autónomo permitirá dos cosas que le agregarán valor a la compañía:

1. Incrementar el *throughput* (EG y Costo de Producción).
2. Mejorar el nivel de servicio (*CFR* y *MPS*).

El sostenimiento de estas variables dentro de los niveles objetivos permitiría reducir los turnos de producción, lo cual tendrá un efecto positivo en los costos de producción. Con tan solo llevar los niveles de eficiencia a un rango de 80-90%, se puede reducir los turnos de producción en un 11-22%, equivalente a 3-6 días. Esta mejora en términos monetarios equivale a un estimado de S/ 195,000 anuales como ahorros en costos de producción. En el mejor de los casos, manteniendo una eficiencia por encima del 90%, los ahorros generados pueden llegar a superar los S/ 250,000 anuales. Asimismo, los costos del área de mantenimiento se verán reducidos, ya que uno de los principales objetivos de la metodología es reducir el mantenimiento correctivo y liberar a los técnicos del área para enfocarse en más mantenimientos preventivos y de mayor complejidad [7].

	Objetivo	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Promedio	Acumulado
<b>Costo de Servicio 3PL</b>	S/ 93,179	94,191	103,217	95,748	105,406	107,114	93,179	99,809	598,854
<b>Costo de Horas Extra</b>	S/ -	1,012	10,038	2,569	12,227	13,935	-	6,630	39,781
	<b>Porcentaje</b>	1%	10%	3%	12%	13%	0%	6%	7%
<b>Legenda:</b>		 Dentro de Objetivo  Fuera de Objetivo							

**Tabla 1.2** Resultados de costos de producción de L2 de marzo a agosto del 2019.

Fuente: Elaboración propia.

De este modo, el presente trabajo de investigación tiene como objetivo general el implementar un programa básico de Mantenimiento Autónomo en el área de Envase de la operación de lavavajillas con el fin de incrementar la eficiencia general de L2 a niveles por encima de 80% y mantener este resultado sostenible en el tiempo. Para lograrlo, se

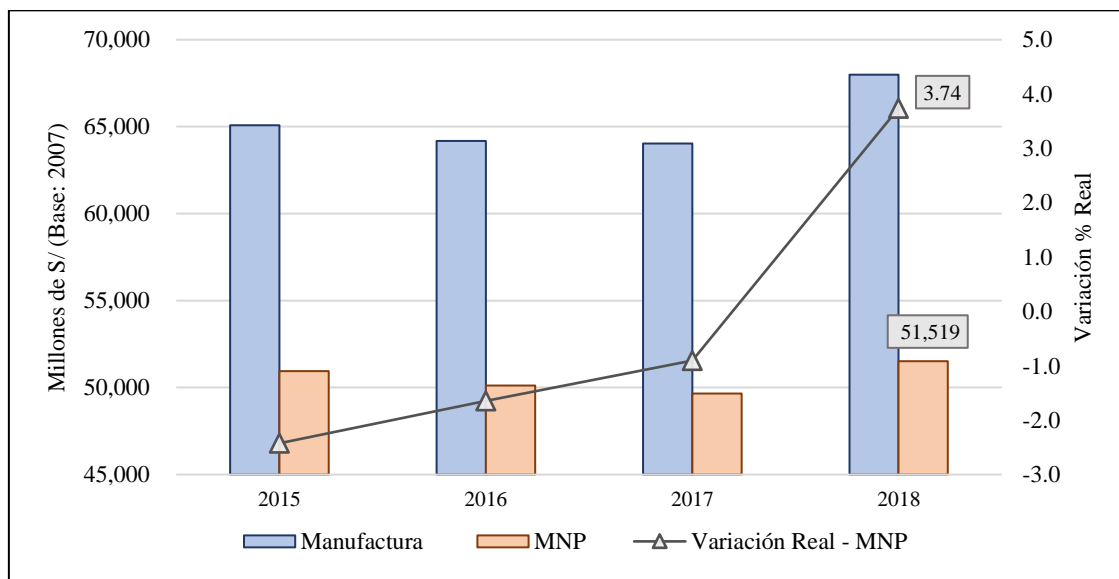
planteó cuatro objetivos específicos, cada uno asociado a un ámbito relevante para la empresa: rendimiento, estándar de trabajo, servicio y costos de producción.

- Identificar y reducir las pérdidas crónicas en la producción mediante el reporte y solución de defectos de condiciones básicas.
- Generar estándares de condiciones básicas de los equipos y cumplir con su ejecución dentro del área de trabajo.
- Mantener el cumplimiento del plan de producción estable y dentro del objetivo.
- Reducir el costo de producción unitario generado por el servicio de personal 3PL

## CÁPITULO 2: MARCO TEÓRICO

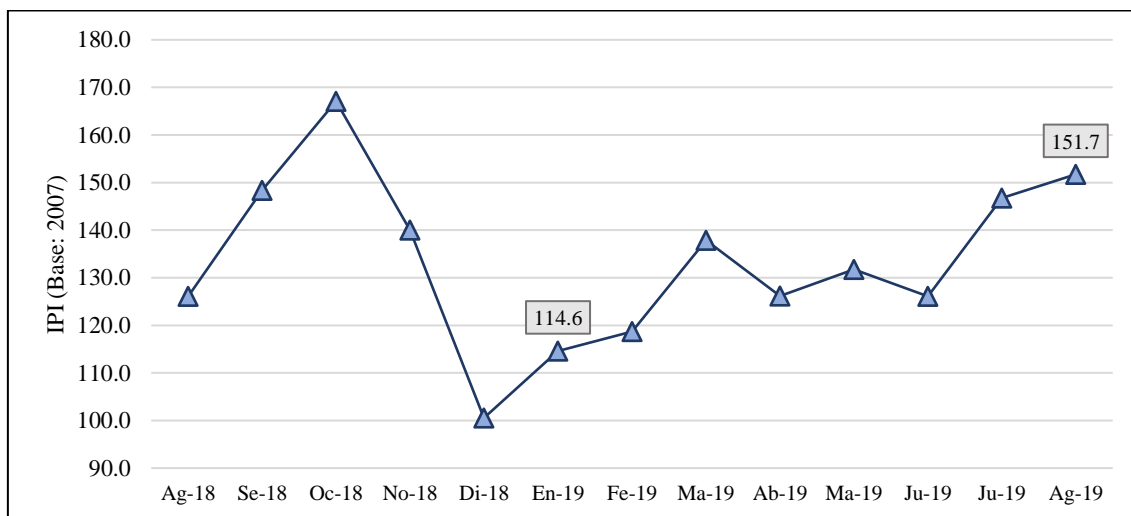
### 2.1 Sector de Productos de Limpieza y de Tocador en el Perú

Dentro de la Economía peruana, existen diversos sectores productivos que contribuyen en mayor o menor proporción al crecimiento del país. En términos porcentuales, el sector de Manufactura representa un 13% del PBI nacional, siendo el segundo más grande de la Economía (detrás del sector Minería e Hidrocarburos) [8]. Este se divide en dos: manufactura primaria y no primaria. La planta de producción de lavavajillas en Materiales SRL, se encuentra dentro de este sector en la división no primaria. La industria a la que pertenece es la de Químicos, ya que para la fabricación de Lavadín Limón se requiere grandes cantidades de insumos de este tipo. En el 2018, el sector Manufactura evolucionó de manera positiva; y un gran participante de ese cambio fue el aumento de la producción de bienes de consumo (manufactura no primaria) a comienzos del año [9]. La **Figura 2.1** muestra en términos monetarios y porcentuales la evolución que ha tenido este sector y su división no primaria en los últimos 4 años.



**Figura 2.1** PBI del sector manufactura (general y no primaria) del 2015 al 2018 [10].

La industria Química ha tenido un crecimiento constante en los últimos 18 meses. Las empresas fabricantes de productos de limpieza y de tocador han tenido un gran desempeño y como consecuencia los niveles de producción incrementaron. La **Figura 2.2** representa la evolución mensual del Índice de Producción Industrial para esta clase de productos desde agosto del año 2018. Se puede notar que desde el mes de enero el IPI ha mostrado una tendencia positiva e incrementó en 37.1%.



**Figura 2.2** IPI para los productos de tocador y limpieza de agosto del 2018 a agosto del 2019 [10].

Este tipo de tendencias positivas dan a entender que existe la gran necesidad de esta industria por seguir creciendo. La demanda interna de este grupo de productos está en crecimiento y las empresas de este sector tienen un gran potencial por aprovechar. En promedio, 71.6% ha sido la tasa de utilización de la capacidad instalada de esta clase de productos hasta el mes de agosto en el 2019, según cifras del BCRP [10].

Los productos de lavavajillas en el Perú se dividen en dos tipos de formatos: lavavajillas líquidas y lavavajillas en pasta. En comparación con los mercados internacionales, en el Perú, los consumidores prefieren utilizar el formato en pasta. Para ellos, adquirir sus productos en los canales tradicionales es más cómodo y barato; en comparación con los canales modernos, a pesar de que esta afirmación no sea del todo cierta. Hoy en día, esta opinión mayoritaria ha hecho que esta forma de consumismo sea parte de la cultura tradicional peruana [11]. No obstante, estudios recientes revelan que

los productos líquidos están creciendo en popularidad. Con respecto a la competencia, cada vez hay más empresas participantes en el mercado. Las grandes cadenas de supermercados como Wong, Metro y Tottus están introduciendo sus propias marcas. A comienzos del 2019, Alicorp compró Intradevco (propietaria de la marca Sapolio) por US\$ 490.5 millones, apuntando a alcanzar el 50% de participación del mercado [12]. Sin embargo, según *Euromonitor International*, la empresa Materiales SRL con su producto Lavadin Limón, se mantiene como líder del mercado en ventas con un 48% de participación. En Latinoamérica y en el resto del mundo, el proceso de producción de lavavajillas en pasta ya no es un proceso común. Las tendencias operativas han migrado completamente a un producto de formato líquido, por lo que la literatura y referentes con respecto a la producción de formato en pasta es muy escasa. En el capítulo 3, se detallará el proceso de fabricación que maneja Materiales SRL para la producción de Lavadin Limón y se hará la comparación con el proceso de producción de formato líquido, los cuáles son similares en términos macros.

## **2.2 Mantenimiento Productivo Total (TPM)**

El Mantenimiento Productivo Total o más conocido como TPM es un programa de trabajo basado en mantenimiento productivo realizado por todos los empleados a través de actividades en pequeños grupos. Esa es la definición que Seiichi Nakajima y el Instituto Japonés de Ingenieros de Plantas (JIPM) le dieron en el año 1971 a esta potente metodología que busca eliminar las averías de equipos y los defectos dentro de una operación de manufactura. De acuerdo con Nakajima, cuando los defectos y las averías son eliminados, las velocidades de producción de los equipos se mejoran, los costos de producción se reducen, el inventario se minimiza y la productividad del personal se incrementa [13]. La palabra “*Total*” hace referencia a tres principales características que conforman el concepto fundamental del TPM. Estas son las siguientes:

1. Eficacia Total: alcanzar un nivel de operación económico y rentable con el modelo de PQCDMS (Productividad, Calidad, Costos, Entrega, Seguridad y Moral).

2. Mantenimiento Total: contar con un sistema de mantenimiento enfocado en prevención y mejora de la mantenibilidad. Equipos “libres de mantenimiento” a través de incorporar la confiabilidad y mantenibilidad de equipos.
3. Participación Total: colaboración activa de todos los empleados a través de actividades en pequeños grupos, lo cual incluye la implantación de un programa de Mantenimiento Autónomo.

Es en esta última característica en donde radica la distinción del TPM de los demás sistemas de mantenimiento. Los operadores se hacen cargo del mantenimiento básico de su equipo; para así mantener sus máquinas en buen estado de funcionamiento y desarrollar habilidades para detectar problemas antes de que ocasionen averías [14].

### **2.2.1 Origen**

Para comprender cómo es que surgió esta metodología es necesario regresar a los años cincuenta. Japón, al final de la guerra, quedó devastado en términos de infraestructura industrial. Pioneros y líderes japoneses empezaron a adoptar técnicas de gestión americanas de control y monitoreo de la calidad (conceptos introducidos por el Dr. Edward Deming), y las adecuaron a sus necesidades.

En el año 1951, se introdujo el Mantenimiento Preventivo en Japón. Este concepto fue tomado de los Estados Unidos y consistía en mantener los equipos en condiciones saludables para prevenir fallas antes de que ocurran, a través de actividades de mantenimiento e inspecciones diarias. Nippon Denso, empresa proveedora de componentes para Toyota, fue la primera en adoptar este sistema. Con el pasar de los años, la automatización ganó mayor participación; el número de equipos y maquinarias incrementó; al igual que el personal de mantenimiento; y esto se volvió un sobre costo para el área. Lo que se hizo para dar solución a este problema fue transferir la responsabilidad de las actividades básicas de mantenimiento a los operarios de las líneas de producción, liberando de carga de trabajo al personal de mantenimiento. De esta forma, ellos podían enfocarse en actividades de mayor complejidad y más mantenimientos preventivos; mientras que el personal operativo se encargaba de mejorar la fiabilidad y mantenibilidad de los equipos. Esta decisión fue tomada por la gerencia de Nippon Denso



y así fue como nació el Mantenimiento Productivo, que tiene como objetivos principales incrementar la efectividad y alcanzar los costos de ciclos de vida útil óptimos de los equipos [15]. Finalmente, en los años setenta, el Mantenimiento Productivo Total dio fruto cuando Nippon Denso implantó como filosofía de trabajo el Mantenimiento Autónomo y un total compromiso por estándares altos de calidad y cero pérdidas dentro de la organización.

Una organización que desea alcanzar una manufactura de clase mundial requiere tener sistemas de mantenimiento efectivos y eficientes [16]. TPM es una estrategia organizacional que proporciona las herramientas para mejorar el desempeño de las actividades de mantenimiento e incrementar la eficiencia de los equipos. Originalmente, este programa fue introducido como un conjunto de prácticas para mejorar el desempeño de los equipos. Luego, con el tiempo se convirtió en un esfuerzo integral centrado en el equipo para mejorar la productividad, con un enfoque de mejora continua y la participación total de los empleados. Según la Sociedad de Ingenieros de Manufactura, TPM es un proceso estructurado de mejora continua con foco en los equipos que busca optimizar la efectividad identificando y eliminando las pérdidas de eficiencia en la producción a través de la participación en pequeños grupos conformados por los empleados en todos los niveles de la jerarquía operativa [17].

### 2.2.2 Objetivos

Un programa de TPM busca cambiar la filosofía de trabajo de los empleados dentro de una organización. Este programa tiene como objetivo integrar a la organización para poder reconocer, liberar y utilizar su propio potencial y habilidades. Durante muchos años, las plantas de manufactura han tenido la mentalidad de que el área de producción y mantenimiento deben trabajar por separado. La famosa frase de *“tu operas y yo mantengo”* es la mentalidad que TPM busca eliminar. Es una iniciativa que resalta la importancia de dos cosas: personas con actitud y mentalidad de poder hacer las cosas y de mejorar continuamente, y personal de producción y mantenimiento trabajando en equipo para el beneficio mutuo [18]. La **Tabla 2.1** muestra la relación que hay entre los diferentes tipos de Mantenimiento presentado por Nakajima.

	Mantenimiento Productivo Total	Mantenimiento Productivo	Mantenimiento Preventivo
Eficiencia Económica -Mantenimiento preventivo rentable	X	X	X
Sistema de Mantenimiento -Prevencción del mantenimiento -Mantenimiento preventivo -Mejora de la mantenibilidad	X	X	
Mantenimiento Autónomo -Realizado por operarios (actividades en pequeños grupos)	X		

**Tabla 2.1** Relación entre TPM, Mantenimiento Productivo y Mantenimiento Preventivo [14].

Los tres objetivos principales del TPM son alcanzar cero averías, cero defectos y cero accidentes de seguridad. Sin embargo, Nakajima y el JIPM, definieron cinco metas específicas relacionadas cada una a un ámbito diferente. Estas son las siguientes: maximizar la efectividad de los equipos; crear y sostener un sistema de mantenimiento productivo para la vida útil de los equipos; implicar a todas las áreas que juegan un rol en el planeamiento, diseño, utilización y mantenimiento de los equipos; comprometer activamente a todos los empleados de la organización y promover el TPM a través de la gestión de la motivación. En conclusión, los objetivos del TPM convergen en tres principales componentes: optimizar la efectividad de los equipos para maximizar el throughput, el mantenimiento autónomo ejecutado por operarios y actividades en grupos pequeños lideradas por la empresa, en todos los niveles de la organización. En esencia, el TPM tiene un enfoque de alto compromiso por parte de todos los empleados que busca incrementar la producción, al mismo tiempo que, la moral y la satisfacción laboral.

### 2.2.3 Ocho Pilares del TPM

El modelo de TPM está conformado por ocho pilares teniendo como base fundamental las 5S. Esta metodología japonesa es fundamental porque sin ella el programa estaría funcionando bajo un ambiente de desorganización, falta de disciplina e ineficiencia. Los problemas no pueden ser identificados cuando el área de trabajo no está ordenada, e identificar los problemas es el primero paso para mejorar. Las 5S es un programa basado en cinco actividades esenciales: (1) Clasificación-*Seiri*, (2) Orden-*Seiton*, (3) Limpieza-*Seiso*, (4) Estandarización-*Seiketsu* y (5) Disciplina-*Shitsuke*.

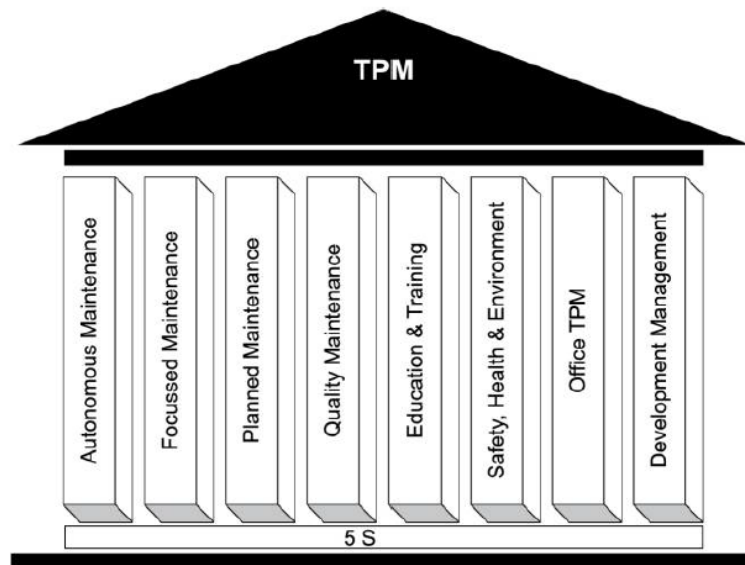


Figura 2.3 Modelo de ocho pilares del TPM (en inglés) [20].

Es un programa que ayuda a crear un área de trabajo ordenada, organizada y limpia haciéndola más productiva y segura. Este es un concepto sencillo que solo requiere el conocimiento de la herramienta y un compromiso alto por parte de los empleados. Además, su implementación ayudará a fomentar la disciplina, el trabajo en equipo, y el sentido de propiedad de los equipos y áreas de trabajo [19]. A continuación, la **Tabla 2.2** muestra un resumen de los ochos pilares del TPM y sus beneficios:

<b>Pilar</b>	<b>Descripción</b>	<b>Beneficios</b>
Mantenimiento Autónomo ( <i>Jishu Hozen</i> )	Entregar la responsabilidad a los operarios de equipos de llevar a cabo las actividades básicas de mantenimiento.	Prevención del deterioro forzado de los equipos (confiabilidad).  Operarios tienen un mayor sentido de pertenencia de los equipos.
Mejora Enfocada ( <i>Kobetsu Kaizen</i> )	Equipos multifuncionales enfocados en eliminar los desperdicios (Muda) a través de actividades de mejora.	Mejora de las habilidades de solución de problemas de los trabajadores.
Mantenimiento Planeado	Establecer un sistema de mantenimiento preventivo para alcanzar el ciclo de vida útil de los equipos.	Reducción de costos de mantenimiento a través de la mejora en la confiabilidad y mantenibilidad de los equipos.
Mantenimiento de Calidad ( <i>Hinsbitsu Hozen</i> )	Procedimientos para controlar las condiciones de los equipos y sus componentes, que tienen impacto negativo en la calidad del producto.	Reducción de los defectos y costos de calidad en la producción.
Gestión Temprana de los Equipos	Sistema que permite diseñar y desarrollar equipos o productos con los aprendizajes de actividades de TPM previas.	Equipos cumplen con las necesidades del área productiva y facilitan las actividades de mantenimiento.
Educación y Entrenamiento	Establecer capacitaciones para reducir la brecha de conocimiento concernientes a actividades de TPM.	Mejora en las habilidades y desempeño del personal en actividades operativas y de mantenimiento de los equipos.
TPM Administrativo	Trasladar los principios de TPM a las áreas de soporte (administrativas) dentro de la organización.	Eliminación de ineficiencias dentro de los procesos administrativos.  Comprensión de los beneficios de TPM.
Seguridad, Salud y Medio Ambiente	Proveer un ambiente ideal de cero accidentes y riesgos potenciales.	Prevención de accidentes e incidentes.  Eliminación de condiciones inseguras.

**Tabla 2.2** Definición y beneficios de los ocho pilares del TPM [20].

## 2.3 Eficiencia General de los Equipos (OEE)

Al implementar un programa de TPM, surge la necesidad de crear una medida que refleje todas las pérdidas que afectan la capacidad de los equipos para producir productos dentro de especificación. Fue así como Seiichi Nakajima en el año 1989 definió por

primera vez el término Eficiencia General de los Equipos o más conocido como OEE en su libro *“Introduction to TPM: Total Productive Maintenance”*. La relación con TPM es que la efectividad de la implementación de este programa puede ser medido a través de este indicador, ya que uno de los objetivos primordiales de TPM es maximizar la efectividad de los equipos [21]. Según Ljungberg, en el año 1990 el fabricante de autos Volvo Gent logró incrementar en 20% el OEE (de 66-69% a niveles de 86%-90%) después de haber implementado TPM. [22].

### 2.3.1 Métrica y las Seis Grandes Pérdidas

El OEE permite cuantificar el desempeño de un equipo o sistema de producción en comparación con su capacidad de diseño, en periodos en donde ha sido programado para producir. Esta última parte es muy importante, ya que da a conocer el punto de partida de su medición. Este permite medir que tan efectivo es un equipo para producir, teniendo en cuenta que el equipo solo es efectivo si este está disponible para producir cuando se le requiere, trabajando a una velocidad ideal y entregando productos que cumplan con las especificaciones de calidad [23]. Partiendo de la premisa anterior, se puede concluir que esta métrica divide el desempeño general de los equipos en tres componentes principales: Disponibilidad, Rendimiento y Calidad.

En el largo plazo, es imposible para un sistema de producción alcanzar una efectividad del 100%, ya que siempre habrá pérdidas (mantenimientos, ajustes, entre otros paros). Las pautas descritas por Nakajima indican que un OEE de clase mundial es de 85%. Esto implica producir el 90% del tiempo disponible, a una velocidad del 95% y teniendo el 99% de productos dentro de especificación [13]. No obstante, Kenneth señala que una buena práctica para definir los objetivos del OEE es basarse en los requerimientos comerciales para cada sistema de producción [23].

Una de las metas más importantes del OEE es identificar y reducir las Seis Grandes Pérdidas [13]. Estas básicamente son las causas más comunes de pérdida de eficiencia dentro de una empresa de Manufactura y se dividen en tres categorías al igual que el OEE: pérdidas de Disponibilidad, Rendimiento y Calidad. La **Tabla 2.3** muestra

las tres categorías y desglosa los seis tipos de pérdidas correspondientes a cada una de ellas. Asimismo, la **Tabla 2.4** las describe y muestra ejemplos para cada una de ellas.

<b>Pérdida de Disponibilidad</b>	<b>Pérdida de Rendimiento</b>	<b>Pérdida de Calidad</b>
Averías y fallas de equipos. Preparación y ajustes.	Inactividad y paros menores. Velocidad reducida.	Defectos de calidad y reprocesos. Rechazos de puesta en marcha.

**Tabla 2.3** Relación entre los componentes del OEE y las seis grandes pérdidas [23].

En la literatura y estudios recientes, el modelo del OEE toma en cuenta los Paros Planeados como una séptima pérdida correspondiente al componente de Disponibilidad. Añadir este elemento al modelo tiene como objetivo capturar todo tipo de pérdida que puede ser mejorada operacionalmente [23]. Los refrigerios y periodos de mantenimiento regulares entran a tallar en este segmento.

Son muchas las opiniones y evidencias referentes al impacto que tienen este tipo de pérdidas en el OEE, por lo que es muy importante entender cada una de ellas. Nakajima asegura que las pérdidas de velocidad reducida son mayores en líneas automáticas de empaclado y ensamblado [13]. Por otro lado, Ericsson y Dahlén, establecen que cerca del 80% del tiempo de inactividad medido se deben a averías y fallas de los equipos [24]. La Tabla 2.4 muestra una breve descripción de cada una de las Seis Grandes Pérdidas y proporciona un par de ejemplos prácticos para cada una de ellas. La efectividad general de los equipos es usualmente medida en términos de las Seis Grandes Pérdidas, por lo que el modelo de OEE está construido a partir de ellas. La **Figura 2.4** representa la estructura y el desglose de los componentes generales de este modelo.

El OEE es generalmente expresado como un porcentaje y se calcula multiplicando cada uno de sus tres componentes:

$$\text{OEE} = \text{Disponibilidad} \times \text{Rendimiento} \times \text{Calidad}$$

<b>Pérdida</b>	<b>Descripción</b>	<b>Ejemplo</b>
Averías	Pérdidas ocasionadas por fallas en los equipos o paros no planeados por otros factores. Generalmente se consideran los paros que duran 10 o más minutos.	El equipo que se encarga de colocar la codificación en los productos sufrió una avería. Este paro duró 45 minutos. La línea estuvo parada 60 minutos porque no suministraban materiales.
Preparación y Ajustes	Pérdidas producidas al acondicionar y ajustar los equipos de producción para atender los requerimientos de un nuevo producto.	Para la producción de un nuevo producto es necesario cambiar el pistón de la llenadora y abastecer con nuevos materiales de embalaje Realizar este trabajo demora 20 minutos.
Inactividad y Paros Menores	Ocurren cuando la producción se interrumpe por un malfuncionamiento temporal o cuando la máquina está inactiva. Se consideran los paros que duran menos de 10 minutos.	Ciertas unidades de producto están obstruyendo la parte superior de una rampa, causando inactividad y pequeños atoros en la línea de producción. Un sensor de proximidad detecto un producto fuera de especificación y paró el equipo.
Velocidad Reducida	Se refieren a las diferencias entre la velocidad diseñada para el equipo y la velocidad real operativa.	Un componente del equipo está deteriorado, lo que obliga al operario tener que trabajar a 60 unidades/min en vez de 70 unidades/min (ideal).
Defectos de Calidad y Reproceso	Son pérdidas de producto y reproceso que se deben realizar por el mal funcionamiento de los equipos de producción. Existen los defectos crónicos y esporádicos	Un sensor de peso en una línea de producción detecta envases vacíos y los rechaza a través de un brazo mecánico. El 1.5% de la producción de los turnos son unidades defectuosas.
Arranques de Producción	Son pérdidas de rendimiento que se ocasionan durante las fases iniciales de producción, desde la puesta en marcha de la máquina hasta su estabilización.	Al arrancar la producción, los operarios se demoraron 20 minutos en estabilizar la dosificación del producto y se retiraron varias unidades de la línea para ser reprocesadas.

**Tabla 2.4** Las seis grandes pérdidas en la producción [14].

Cada componente consta de una ecuación que contiene diferentes variables relacionadas a sus tipos de pérdida. Al simplificar las ecuaciones, nace una nueva y más sencilla manera de calcular este indicador denominado como “*OEE de Alto Nivel*” (o en inglés *High-Level OEE*) [23]. La fórmula es la siguiente:

$$\text{OEE} = \text{Producción Neta}/(\text{Tiempo Programado} \times \text{Velocidad Ideal})$$

Esta manera de calcular el OEE es muy directa, por lo que proporciona una mayor facilidad para su monitoreo. No obstante, este método no resalta en dónde se encuentran las pérdidas y no permite su identificación para la mejora continua [23]. Ambas formas de calcular el OEE deben dar el mismo resultado si son medidas correctamente. La **Figura 2.5** representa una estructura del OEE en términos de tiempo y el impacto que tiene cada una de las Siete Grandes Pérdidas en su resultado.

### 2.3.2 Componentes en la Eficiencia de los Equipos

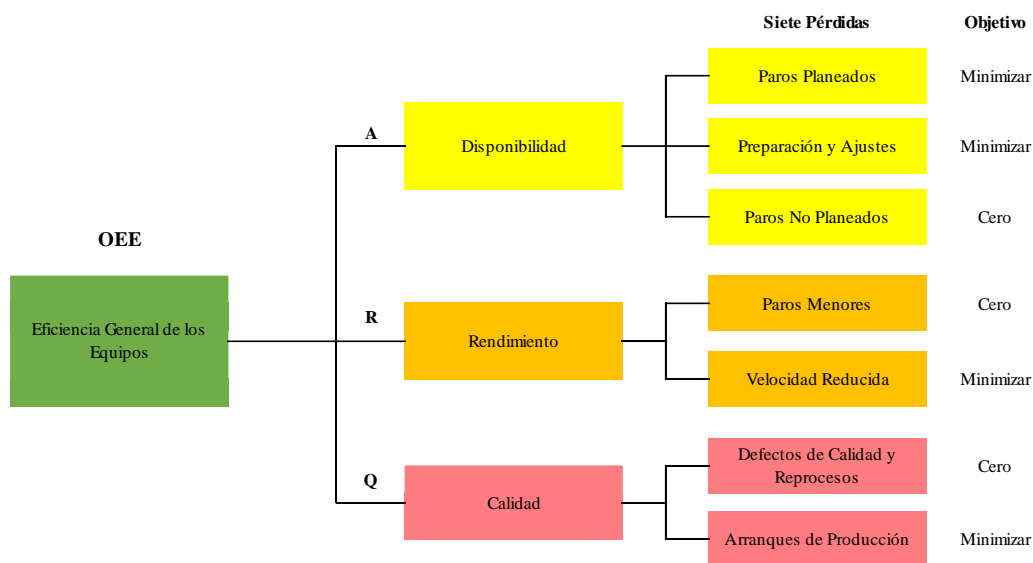
Antiguamente, la eficiencia de las líneas de producción se medía solamente a partir del factor Disponibilidad (tiempos de inactividad). Sin embargo, esta regla cambió con el tiempo ya que las industrias empezaron a darse cuenta de que el factor tiempo no era el único componente que impactaba la salida de los procesos. Para un turno de producción de 100 horas, no es lo mismo tener un paro de 10 horas seguidas a tener 10 paros de una hora cada uno. Al final, en la mayoría de los casos, los volúmenes de producción en ambos escenarios no son iguales y esto es debido a los diferentes tipos de pérdida que impactan en la capacidad instalada de los equipos [23]. Es por esta razón que el OEE es una métrica íntegra y de clase mundial. La inclusión de sus tres componentes permite combinar los factores de tiempo, velocidad y calidad de los equipos para tener un índice de eficiencia que abarque por completo las pérdidas en la producción y permita medir cómo estos factores incrementan el valor agregado en una organización [13].

La Disponibilidad es la porción del OEE que representa el porcentaje del tiempo programado en el que el equipo está disponible para operar. La métrica de Disponibilidad es una medida netamente del tiempo de actividad que ha sido diseñada para excluir los efectos de Rendimiento y Calidad de los equipos, además de los eventos de inactividad programados [25]. La forma cómo se calcula este indicador es la siguiente:

$$\text{Disponibilidad} = \text{Tiempo Disponible}/\text{Tiempo Programado}$$



En este caso, el Tiempo Disponible se obtiene sustrayendo del Tiempo Total o Programado todos los tiempos de inactividad registrados que impacten la operatividad del equipo. Esta sumatoria de tiempos abarca los tiempos de inactividad planeados, la preparación y ajuste de los equipos, y los tiempos de inactividad no planeados registrados.



**Figura 2.4.** Modelo de OEE [23].

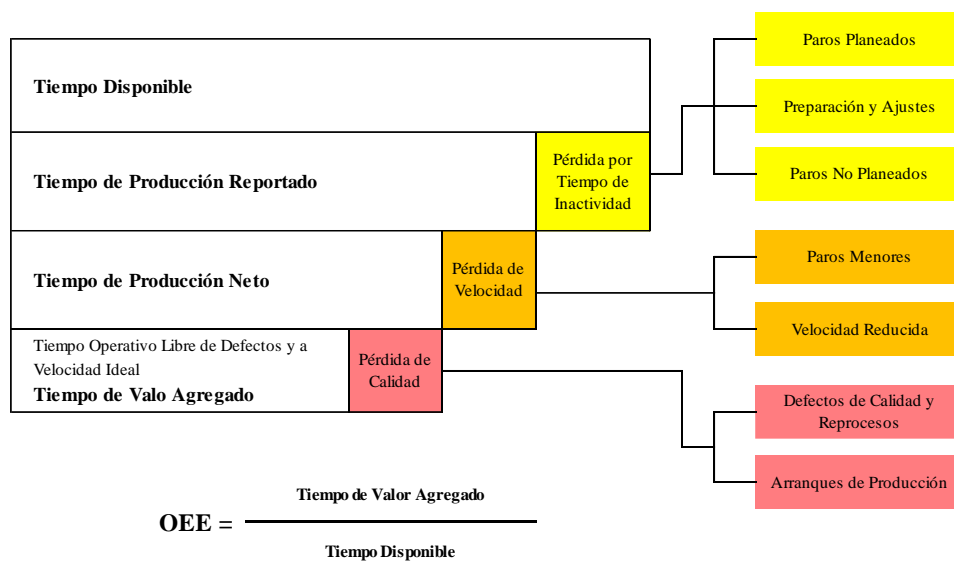
El Rendimiento es el producto de dos ecuaciones: la velocidad de operación y la tasa de operación neta. El primer elemento representa la velocidad a la que el equipo opera como porcentaje de la velocidad de diseño; mientras que el segundo elemento, incorpora el sostenimiento de una velocidad dada durante un periodo de tiempo determinado [13]. Esta métrica ha sido diseñada para excluir los efectos de Calidad y Disponibilidad de los equipos. La forma cómo se calcula este indicador es la siguiente:

$$\text{Rendimiento} = \text{Velocidad de Operación} \times \text{Tasa de Operación Neta}$$

$$\text{Velocidad de Operación} = \text{Tiempo de Ciclo Teórico} / \text{Tiempo de Ciclo Actual}$$

**Tasa de Operación Neta** = (Cantidad Procesada × Tiempo de Ciclo Actual)/Tiempo Disponible

La razón de que este componente esté dividido en dos partes es para que tenga la capacidad de medir ambas pérdidas relacionadas al Rendimiento: velocidad reducida y paros menores (generalmente son pasadas por alto debido a la dificultad de sus registros).



**Figura 2.5** Cálculo del OEE (modelo de tiempo) [23].

Por último, la Calidad es la porción del OEE que representa las unidades producidas dentro de especificación como porcentaje del total de unidades producidas. La métrica de Calidad es una medida netamente del rendimiento del proceso que ha sido diseñada para excluir los efectos de Disponibilidad y Rendimiento de los equipos [24]. La forma cómo se calcula este indicador es la siguiente:

$$\text{Calidad} = \text{Unidades Buenas}/\text{Cantidad Procesada}$$

Hoy en día, muchas organizaciones, especialmente del sector Manufactura, sobrellevan sus operaciones día a día con problemas respecto a reparaciones y

mantenimiento de sus equipos. Esto se debe a que no cuentan con sistemas o métodos que permitan medir el desempeño de sus líneas de producción y proporcionen soluciones a los problemas identificados. Es por esto por lo que la selección de una herramienta de medición confiable y adecuada es muy importante para que las compañías alcancen sus metas y objetivos de negocio [26]. El OEE es una medida de clase mundial que permite determinar la efectividad de los equipos y superar sus problemas en el camino, impulsando la mejora continua. Como conclusión, para lograr una alta eficacia en los equipos de producción es un requisito alcanzar altos niveles en cada uno de sus componentes [14].

## **2.4 Mantenimiento Autónomo (AM)**

El Mantenimiento Autónomo es un componente único y diferencial dentro de un programa de TPM [14]. El mantenimiento realizado por los operadores del equipo y las actividades en pequeños grupos de trabajo generan una ventaja competitiva al incrementar la efectividad de los equipos. Este pilar es uno de los más distintivos y se puede decir que, en conjunto con las 5S, son la base fundamental para la implementación de un programa de TPM. Mantener una producción eficiente depende prácticamente de dos áreas: producción y mantenimiento. Durante muchos años, las empresas han venido trabajando con estos dos departamentos de forma separada. Por un lado, el personal de mantenimiento se ha acostumbrado a una actitud pasiva de *“solo cuando requieran nuestro trabajo, iremos”*; mientras que, por el otro, el de producción solicita grandes cantidades de reparaciones que en muchas de las veces el área de mantenimiento no tiene la capacidad para responder. Ambos extremos son malos y si no logran comprender las distintas perspectivas de cada uno, será imposible alcanzar las mejores condiciones de los equipos y el óptimo desempeño de las líneas de producción [13].

Para que una operación de manufactura sea exitosa ambas áreas deben trabajar de la mano y apoyarse mutuamente, y el Mantenimiento Autónomo trata de eso. Una filosofía de trabajo en donde es responsabilidad de los operadores de producción realizar las actividades básicas y rutinarias de mantenimiento como: limpiezas, inspecciones y lubricaciones de los equipos; para prevenir el deterioro forzado de los mismos y

mantenerlos en condiciones básicas. Con el tiempo, esto permite a los operarios ganar experiencia y conocimiento en relación con la operación y diagnóstico de sus equipos, por lo que se convierten en la primera línea de defensa ante eventos de inactividad no planeados en los equipos de producción [27]. En esencia, esta metodología lo que hace es eliminar el paradigma de los roles de cada departamento con respecto a las actividades que deberían ejecutar cada uno. Con este enfoque, la responsabilidad de mantener los equipos es de ambos departamentos. La figura 2.6. muestra un esquema en donde se aprecia las diferentes actividades de mantenimiento y se explica el alcance que debería tener cada departamento con respecto a cada una de ellas según un programa de Mantenimiento Autónomo. Al haber clasificado y asignado las tareas de mantenimiento a cada departamento, el personal de mantenimiento es liberado, y puede centrar sus esfuerzos y tiempos en actividades especializadas que requieran de una mayor habilidad técnica [14].

### **2.4.1 Definición**

El Mantenimiento Autónomo no tiene una sola definición. Según Miranda y da Silva, la intención de un programa de Mantenimiento Autónomo es desarrollar un conjunto de habilidades en los operarios para que dominen con facilidad sus equipos, tengan la capacidad de detectar anomalías rápidamente y sugerir mejoras para eliminar estas pérdidas [28]. Por otra parte, Wanderlande y Ferrerira señalan que el Mantenimiento Autónomo es un proceso de capacitación por el que pasan los operarios, con el objetivo de empoderarlos y hacer que promuevan, dentro de su lugar de trabajo, cambios que garanticen una mayor efectividad [29].

Este proceso busca generar un sentimiento de propiedad por parte de los operarios, cambiando la percepción común de “*yo fabrico, tú reparas*”, por la de “*yo mismo me encargo de mi equipo*”. En conclusión, para poder definir o describir qué es el Mantenimiento Autónomo debemos entender que este parte de dos conceptos principales:

1. El operario se hace cargo de su propio equipo.
2. El operario debe entender y comprender el funcionamiento de su equipo.

Son ellos quienes son los responsables de mantener las condiciones básicas de sus equipos, realizando inspecciones rutinarias y detectando anomalías antes de que se vuelvan problemas reales. La **Figura 2.6** muestra la clasificación y asignación de tareas de mantenimiento por departamento según lo indica el Mantenimiento Productivo Total.

Tipo de Tarea	Actividad Específica			Área Responsable		
	Prevención del Deterioro	Medición del Deterioro	Restauración de Equipo	Producción	Mantenimiento	
Mantenimiento Preventivo	Operación Normal	Operación Correcta		X		
		Montaje/Ajustes		X		
	Mantenimiento Diario	Limpieza		X		
		Lubricación		X		
		Ajuste de Pernos y Tuercas		X		
		Inspección de Deterioro y Condiciones de Uso		X		
			Servicio Menor	X		
	Mantenimiento Periódico		Pruebas Periódicas		X	X
			Inspección Periódica			X
				Servicio Periódico		X
Mantenimiento Predictivo		Pruebas de Tendencia			X	
			Servicio No Periódico		X	
Mantenimiento Correctivo	Confiability	Fortalecimiento		X	X	
		Reducción de Carga		X	X	
		Mejora de Precisión		X	X	
	Mantenibilidad		Desarrollo Técnicas de Monitoreo de Condiciones		X	X
			Mejorar Procedimiento			X
				Mejorar Procedimiento		X
				Mejorar Calidad de Servicio		X

**Figura 2.6** Clasificación y asignación de tareas de mantenimiento según departamento [14].

## 2.4.2 Los Siete Pasos del Mantenimiento Autónomo

Un programa de Mantenimiento Autónomo consta de siete pasos que deben ser implementados de manera progresiva, completa y, siendo en todo momento, soportado por un equipo de liderazgo. Generalmente, estos pasos se agrupan y luego se dividen en fases para facilitar y organizar el proceso de implementación [27]. Un plan de desarrollo siempre empieza con la planificación o “*Preparación*”, el cual en este caso es conocido como el paso cero. Este paso preparatorio es muy importante para definir la dirección y sentar las bases de la implementación del programa. Asimismo, para mantener motivados a los empleados, darles un panorama sobre en qué consiste el programa y hacerles entender el por qué es necesario para la compañía emprender este viaje con ellos [6]. **La Tabla 2.5** muestra cuáles son los siete pasos que se deben seguir en un plan de desarrollo de Mantenimiento Autónomo y en qué consiste cada uno de manera breve.

Fase	Paso	Nombre	Descripción
0	0	Preparación	Proceso de reflexión y aprendizaje en el cual los operarios empiezan a comprender la importancia y necesidad de TPM para eliminar la deterioración forzada de los equipos, y que esto es la causa principal de sus problemas.
1	1	Limpieza Inicial	El objetivo principal es realizar una limpieza de los equipos de adentro hacia afuera, con la mentalidad de “ <i>limpiar para inspeccionar</i> ”. Eliminar la suciedad y el polvo de los cuerpos principales de los equipos para así exponer los defectos y problemas ocultos en ellos.
	2	Eliminación de Fuentes de Contaminación y Lugares de Difícil Acceso	Consiste en detectar y reducir las fuentes de contaminación y los lugares inaccesibles, que dificultan la limpieza y el acceso a áreas críticas. El objetivo es reducir los tiempos de limpieza y mejorar los lugares inaccesibles para facilitar las tareas de mantenimiento.
	3	Elaboración de Estándares de Limpieza, Inspección y Lubricación	Elaborar estándares provisionales para facilitar las tareas de limpieza, lubricación e inspección de los equipos, y sostener su ejecución con tiempos y esfuerzos mínimos.

2	4	Inspección General	Entrenamiento de los operadores en conocimiento de las funciones básicas de sus equipos y procedimientos de inspección, para que puedan realizar acciones correctivas e inspecciones comprensivas a sus equipos.
	5	Inspección Autónoma	Consiste en unificar los estándares de limpieza, inspección y lubricación, y el conocimiento adquirido en los pasos anteriores para la formulación de estándares generales y definitivos que permitan un mantenimiento efectivo y eficiente.
3	6	Estandarización	Desarrollar un sistema comprensivo de limpieza y mejora continua en donde el rol del operador ya no es solo cubrir y atacar los problemas de los equipos, sino de toda el área de trabajo, para alcanzar los cero defectos y la excelencia operativa.
	7	Mantenimiento Autónomo Total	El objetivo primordial es mantener y seguir mejorando el sistema desarrollado a lo largo de todo el programa, implementando políticas y objetivos de negocio, y ejecutando análisis de datos y mejoras como parte rutinaria del trabajo.

**Tabla 2.5** Los siete pasos del Mantenimiento Autónomo [13].

Como bien se observa en el cuadro, estos pasos se pueden agrupar en tres fases. Cada una de las fases abarca diferentes actividades y metas de desarrollo, y se basan en un entendimiento completo y la práctica de los pasos anteriores. Durante la Fase 1 las condiciones básicas del equipo son alcanzadas y se establece un sistema para mantenerlas en el tiempo. En la Fase 2 los operadores se educan en la ejecución de inspecciones generales de los equipos y empiezan a realizar estas actividades por su propia cuenta. Es durante esta etapa que los operarios incrementan sus capacidades, y se vuelven competentes para realizar inspecciones inteligentes y realizar mejoras enfocadas. Por último, en la Fase 3, el programa de Mantenimiento Autónomo se termina por estandarizar y autogestionarse. Es aquí donde los operadores asumen las responsabilidades de las actividades de mantenimiento y mejora [14].

### **2.4.3 Paso 1: Limpieza Inicial**

*“Limpiar es Inspeccionar”* es el concepto clave en este primer paso del programa. Esta frase da a entender que no solo es cuestión de mantener limpios los cuerpos principales de los equipos, sino más bien el proceso de limpieza expone una gran cantidad de oportunidades de mejora con respecto a la restauración de las condiciones básicas de los equipos. Tal como lo indica la palabra, “Limpiar” significa remover la suciedad, el polvo, restos de aceite y otros tipos de materia extraña que se adhieren a los equipos y componentes [14]. Uno debe utilizar sus cinco sentidos para detectar defectos y anomalías ocultos, como: exceso de vibración, calor y ruido; y si no es así, este paso pierde todo sentido. Los objetivos principales de este paso son tres: mantener los equipos limpios, detectar defectos ocultos a través de la limpieza minuciosa y restaurarlos, y desarrollar el interés y el sentido de propiedad de los operarios por sus equipos [13]. El operario es el ejecutor de esta actividad; sin embargo, durante una etapa temprana de implementación, estas tareas deben ser soportadas y supervisadas por los demás miembros del equipo (personal de mantenimiento, líderes de equipo, ingenieros de proceso, entre otros). Con el tiempo, el operador ganará habilidades y conocimientos para realizar esta actividad por su propia cuenta [30]. Los puntos clave para la implementación de este paso son los siguientes: (1) entrenamiento básico y práctico de los operadores para llevar a cabo este proceso; (2) creación de un plan de limpieza como punto de partida; (3) retiro de todos los objetos innecesarios del área de trabajo; (4) realizar la Limpieza Inicial con los cinco sentidos; y por último, (5) identificar y lidiar con las fuentes de contaminación, que una vez encontradas, sigan ensuciando los equipos.

### **2.4.4 Paso 2: Eliminación de Fuentes de Contaminación y Lugares de Difícil Acceso**

Después de haber realizado una limpieza escrupulosa, el proceso de identificar las fuentes de contaminación y los efectos que estas tienen sobre los equipos y la calidad del producto se vuelve más fácil. Mientras más difícil haya sido para el operador realizar la Limpieza Inicial, mayor será su deseo por querer mantener sus equipos limpios, y en efecto, reducir los tiempos de limpieza [13]. Hay dos conceptos importantes en este paso:



identificar las fuentes de contaminación y proveer soluciones para eliminarlas o controlarlas; e identificar las áreas inaccesibles para mejorar los métodos de trabajo. De esta forma, los tiempos de limpieza, inspección y lubricación pueden ser optimizados [30]. Es muy importante que los operarios tengan la capacidad de identificar las fuentes y documentar las causas raíz, para que en conjunto con el personal de mantenimiento se pueda atacar de manera directa los problemas. El verdadero sentido de esta actividad es permitir a los operadores mejorar las condiciones de sus equipos por ellos mismos, y darles la confianza y soporte necesario para que puedan asumir mejoras cada vez más avanzadas.

### **2.4.5 Paso 3: Estándares de Limpieza, Inspección y Lubricación**

Con la experiencia ganada en esta etapa del programa, el propósito principal de este paso es que los operadores sostengan el nivel de limpieza de los equipos, y las mejoras para combatir con las fuentes de contaminación y los lugares de difícil acceso que se alcanzaron en los Pasos 1 y 2 respectivamente. Es aquí donde nace la necesidad para ellos de generar estándares de limpieza, inspección y lubricación provisionales que sean fáciles de seguir, y mejoren la confiabilidad y mantenibilidad de los equipos. En otras palabras, el crear estándares para mantener las condiciones básicas de los equipos se vuelve un requerimiento. En muchas organizaciones, la pregunta de: “¿por qué los operadores no siguen los estándares?”, es muy común entre supervisores. Nakajima responde a esta pregunta señalando que el mayor obstáculo es que las personas que fijan los estándares no son las mismas que los tiene que seguir [14]. Los estándares deben ser fijados por las personas que los tendrán que seguir, o sea, los operadores mismos deben generarlos. Se requiere el apoyo de los demás miembros del equipo autónomo para:

1. Explicar con claridad la importancia de seguir el estándar.
2. Capacitar y desarrollar las habilidades para la fijación de estándares utilizando las 5W y 1H (quién, qué, dónde, cuándo, por qué y cómo).
3. Solicitar y entregar la responsabilidad a los operadores de fijar los estándares.

Es importante mencionar que una de las metas de la elaboración de estándares es definir tiempos objetivos para su ejecución. En caso estos no sean alcanzados, los demás

miembros deberán cooperar para simplificar y mejorar los procedimientos. A través de todo este proceso, todos los miembros del equipo autónomo comprenderán el verdadero significado del trabajo cooperativo [13]. Con este paso, la Fase 1, la cual está enfocada en la creación de un sistema para sostener las condiciones básicas de los equipos, se da por culminada. Esta sección deja con la experiencia y motivación al equipo para continuar enriqueciéndose de conocimiento, y levantar y estandarizar los estándares de trabajo apuntando a ser una operación autónoma.

#### **2.4.6 Factores de Éxito y Barreras de Implementación**

Durante el desarrollo de un programa, ya sea de mantenimiento o de cualquier otra área, siempre el equipo a cargo de la implementación se encontrará con factores críticos que propicien su desarrollo y otros que lo limiten. Este tipo de facilitadores y restricciones han sido investigados por varios autores en diferentes contextos de implementaciones de TPM en donde el Mantenimiento Autónomo ha tenido un papel fundamental. Se sabe que la implementación de TPM en las organizaciones no es una tarea fácil. El número de casos de éxito es considerado relativamente bajo, en comparación con los casos de fracaso [20]. Según Crawford, algunos de los problemas más significativos durante la implementación de este tipo de programas son: la resistencia cultural al cambio; implementación parcial del programa; expectativas muy altas; falta de entrenamientos y capacitaciones; y la falta de comunicación a través de los diferentes niveles de la organización [31]. Mc Adam y Daffner señalan la dificultad de la implementación de esta metodología en un ambiente sindicalista, el cual es un escenario común para muchas plantas de manufactura. La gran mayoría de operarios no quieren responsabilidades adicionales, ya que se encuentran felices con su situación actual. Por el otro lado, los operadores más experimentados disfrutan sentirse indispensables y piensan que el Mantenimiento Autónomo amenaza su seguridad laboral [32]. A continuación, la **Tabla 2.6** presenta una lista de las diferentes barreras y limitaciones presentes durante la etapa de implementación que conllevan al fracaso del programa.

Autor	Barrera/Limitación
Ahuja y Khamba [20]	Deficiencias en los mecanismos de recompensas y reconocimientos en la organización.
	Subestimación de la importancia del conocimiento y la educación.
	Una estructura de organización que no provee el apoyo necesario para la ejecución y gestión de las actividades.
	Poca sinergia entre los departamentos de mantenimiento y producción.
Bakerjian, Wick, Benedict, Veilleux y Drozda [33]	Falta de conocimiento de la metodología y apoyo administrativo.
	No permitir el tiempo suficiente para la evolución del programa y logro de los resultados.
	Falta de educación y entrenamiento suficiente.
Davis [34]	Falta de compromiso por parte de la alta dirección de la compañía.
	Falta de un plan estructurado para la ejecución del programa.
	Resistencia al cambio por parte de los operadores.
	Falta de educación y entrenamiento para los que se suponen que liderarán y proveerán soporte en la ejecución de las actividades.
Lawrence [35]	La organización es incapaz de cambiar su cultura.
Rodrigues y Hatakeyama [36]	Falta de tiempo para las actividades de Mantenimiento Autónomo.
	Operadores manejando más de un equipo al mismo tiempo.
	Implementación acelerada del programa, omitiendo pasos importantes.
	Desconocimiento de los operadores de la evolución del programa y los resultados alcanzados.
	Falta de monitoreo y evaluación del progreso del programa.

**Tabla 2.6** Barreras y limitaciones en un programa de Mantenimiento Autónomo.

Fuente: Elaboración propia.

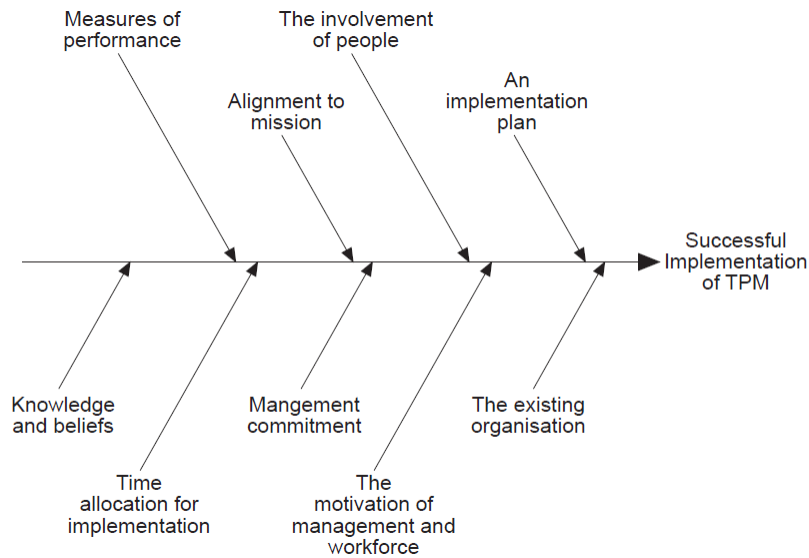
En muchos de los casos, las afirmaciones detalladas en la literatura se repiten por diversos autores, por lo que esta tabla solo resalta los más destacados para evitar redundancias. En base a esta información, se puede concluir que las limitaciones que presenta la implementación de este tipo de programas convergen en tres categorías:

1. Gestión del Cambio y Cultura de la Organización
2. Plan Estratégico y Estructura de Programa
3. Educación y Entrenamiento del Personal

Así como hay varios factores que influyen en que un programa de Mantenimiento Autónomo fracase, también lo hay para el éxito de uno. En un estudio que se realizó en el Reino Unido, en una planta de manufactura de productos industriales, se observó que el éxito de un programa de TPM se mantuvo gracias al compromiso y la comunicación de la alta dirección mediante boletines semanales, y tableros en donde se media el progreso del programa y se colocaban imágenes de la situación de los equipos antes y después de las mejoras; todo esto con el fin de motivar e incrementar la moral de los involucrados en el programa [37]. Hutchins menciona que en todas las organizaciones en donde los programas han tenido éxito, se realizaron esfuerzos considerables para reconocer a los equipos, y demostrar a la organización el compromiso y buen trabajo que realizaron [38]. La **Figura 2.7** muestra un diagrama de Causa-Efecto de la implementación exitosa un programa de TPM. Este modelo genérico de nueve factores claves fue elaborado por Bamber tras haber realizado una investigación de empresas de manufactura que tuvieron éxito en la implementación de este tipo de programas en el Reino Unido.

#### **2.4.7 Implementación en Plantas de Producción (Casos de Estudio)**

El TPM es una metodología que se ha implementado en muchas empresas a nivel mundial, obteniendo como resultados no solo mejoras en la efectividad y eficiencia de los equipos, sino también en diferentes áreas de la organización [20]. Tener en cuenta escenarios en donde se hayan desarrollado este tipo de programas es de suma relevancia, ya que sirven como puntos de referencia para el desarrollo de esta investigación. Asimismo, las herramientas y estrategias utilizadas en las implementaciones; las barreras o factores de éxito que tuvieron un impacto durante sus ejecuciones y los resultados obtenidos son información valiosa.



**Figura 2.7** Factores de éxito en un programa de Mantenimiento Autónomo (en inglés) [46].

La **Tabla 2.7** presenta una comparación de siete casos de estudio de diferentes países en donde se implementaron programas de Mantenimiento Autónomo en conjunto con otros pilares de TPM.

Autor	Rubro	País	Enfoque/Herramientas	Variación % en OEE
Workineh y Iyengar [39]	Alimentos (Producción de Malta)	Etiopía	2 pilares de TPM (ME y MA) <u>Nivel 1:</u> crear conciencia y cultura. <u>Nivel 2:</u> comprensión de equipos. <u>Nivel 3:</u> causas de defectos inducidos por los equipos. <u>Nivel 4:</u> inspecciones, reparaciones y mantenimientos diarios.	+14%
Gupta y Garg [40]	Automotriz	India	3 pilares de TPM (ME, MA y E&E) Selección de equipos pilotos para la implementación de TPM y se sentó la base de 5S para la creación de estándares. Se implementó las fichas Kaizen para las mejoras en las máquinas.	+12%

Hedge, Mahesh y Doss [41]	Equipos CNC	India	2 pilares de TPM (ME y MA) Implementación de 5S en la celda de trabajo para reducir los tiempos de configuración y ajustes. Se crearon equipos de Mantenimiento Autónomo y se aplicó el Paso 1.	+29%
Vijayakumar y Gajendran [42]	Inyección de Plástico	India	2 pilares de TPM (ME y MA) Creación de estándares y clasificación de los defectos por máquinas, partiendo de la implementación de 5S en el área de trabajo.	+20%
Tsang y Chan [43]	Mecanizado	China	<u>Fase Piloto</u> : planificación y preparación, campañas de educación y entrenamiento y la implementación de MA (Paso 1, 2, 3 y 4). <u>Fase Consolidación</u> : ampliación a todas las unidades de producción. <u>Fase Madurez</u> : implementación de los pilares de gestión temprana de los equipos y de mantenimiento planeado. Continuación del programa de MA (Paso 5, 6 y 7).	No se especifica.
Raut y Raut [44]	Automotriz	India	4 pilares de TPM (MA, ME, MP y E&E) Selección de máquina piloto, aplicar las 5S en la celda de trabajo de implementación paso a paso de cada pilar. Creación de estándares, mejoradas enfocadas y análisis de causa raíz.	+44%
Guariente, Antonioli, Ferreira, Pereira y Silva [45]	Automotriz	Portugal	1 pilar de TPM (AM). Implementación de 5S en el área de trabajo en conjunto con la utilización de herramientas de gestión visual para la detección de anomalías y ejecución de inspecciones efectivas.	+8%

**Cuadro 2.7** Casos de Estudio: Implementación de Programas de TPM y Mantenimiento Autónomo en Empresas de Manufactura. Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con los casos de estudio, la industria Automotriz es un sector en donde este tipo de programas se desarrollan con bastante frecuencia. Esto es lógico debido a la gran cantidad de máquinas y equipos que se utilizan para el ensamblaje y fabricación de autos. Los resultados reflejan un impacto positivo significativo en el OEE. En promedio, un 22% fue el incremento que se obtuvo en la efectividad de los equipos. En la gran mayoría

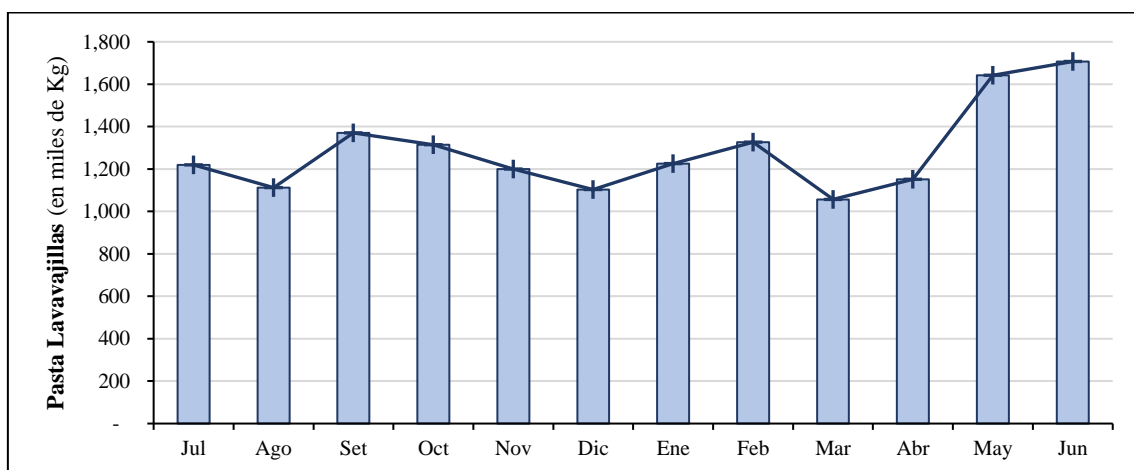
de los casos, la disponibilidad fue el factor que más se vio afectado positivamente. En la planta de Malta, se logró un incremento del 9% en este indicador, equivalente a 58 horas de producción ganadas [39]. Por el otro lado, en términos de dinero, un incremento de 29% en el OEE en una empresa Automotriz resultó en 150,000 dólares de ahorros anuales aproximadamente [41]. Como se puede observar, al implementar un programa de TPM, no necesariamente todos los pilares son tomados en cuenta. A pesar de que los ocho pilares son fundamentales para el éxito de un programa de TPM, las estrategias de implementación pueden variar, y el énfasis que se le da a cada pilar se presenta con enfoques diferentes [46].

## CAPÍTULO 3: DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

Materiales SRL es una empresa transnacional situada en Lima (Perú), dedicada a la fabricación y venta de bienes de consumo masivo para el cuidado de la persona y el hogar. Sus operaciones iniciaron hace más de treinta años en la capital y siempre ha sido reconocida como una empresa con excelencia operativa y alto nivel de servicio.

### 3.1 Materiales SRL

Materiales SRL tiene dos tipos de operaciones: (1) la gestión de un centro de distribución y (2) una planta de producción. La empresa cuenta con una cadena de suministro centralizada en un centro de distribución que se encarga de recibir y despachar las importaciones para asegurar la disponibilidad de productos en el mercado con el fin de satisfacer las necesidades de cada uno de los peruanos. A nivel productivo, la empresa solo cuenta con una unidad de negocio, que es la operación de Lavavajillas. Esta inició sus operaciones en el año 1996 y es la única de las tres unidades de negocio que inicialmente existían (Detergentes, Pañales y Lavavajillas) que permanece en la actualidad.



**Figura 3.1** Requerimientos de producción de pasta de lavavajillas en el año fiscal 19/20.

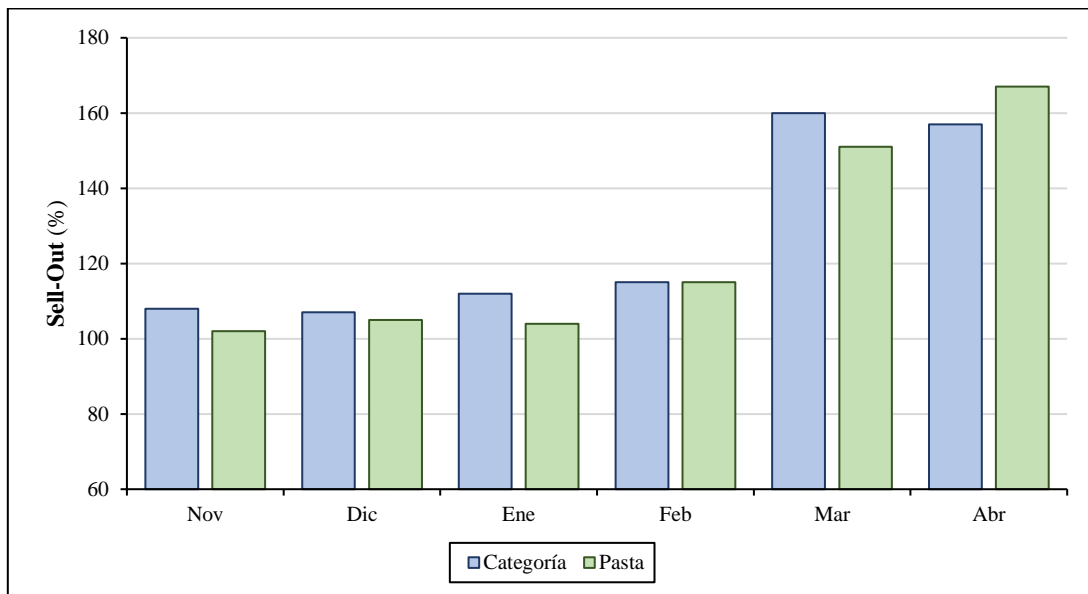
Fuente: Elaboración propia.



El nivel de producción para este sector ha ido incrementando paulatinamente con el pasar de los años según cifras del BCR [10]. La **Figura 3.1** muestra los volúmenes de producción alcanzados en los últimos 12 meses, proyectando el nivel esperado para el mes de junio del 2020. Se puede observar una estacionalidad marcada y que los picos de venta se dan en el segundo trimestre del año, generando también los picos de producción.

### 3.2 Clientes Principales

Materiales SRL es líder en el mercado de lavavajillas en pasta con su marca estrella *Lavadín*. En el año 2019 la categoría alcanzó una participación de mercado del 51.6% logrando sostener su posición ante nuevos competidores según cifras de Nielsen.

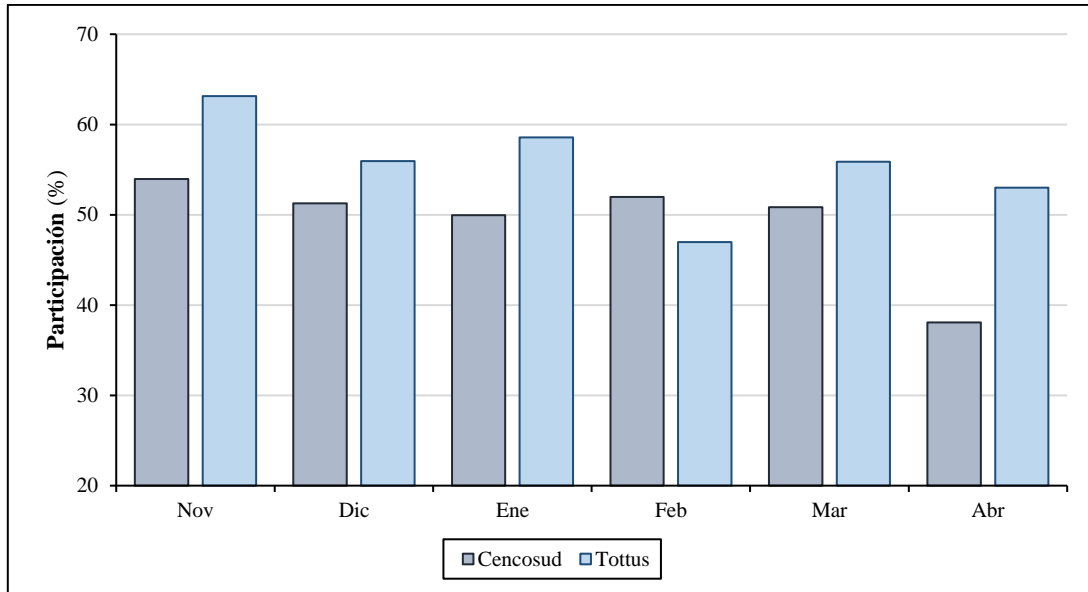


**Figura 3.2** Evolución de las ventas de lavavajillas en el T4 y T1 del año fiscal 19/20.

Fuente: Elaboración propia.

Dentro de la cartera de clientes de la empresa, los dos principales compradores son: Cencosud (Paulmann) y Tottus (Falabella). Ambas empresas chilenas suman en conjunto más del 50% de las ventas de la compañía. La figura 3.3 muestra en porcentaje

cuánta participación del mercado tiene la marca en los establecimientos de estos clientes. Se puede observar que el porcentaje está por encima del 50% en promedio para ambas empresas, pero la tendencia ha sido negativa desde noviembre del 2019. No obstante, al mirar la **Figura 3.2** se puede apreciar que en términos globales la tendencia de ventas es positiva, lo cual corrobora el crecimiento y el buen desempeño del negocio últimamente.



**Figura 3.3** Participación de Lavadín en los clientes principales en el T4 y T1 del año fiscal 19/20.

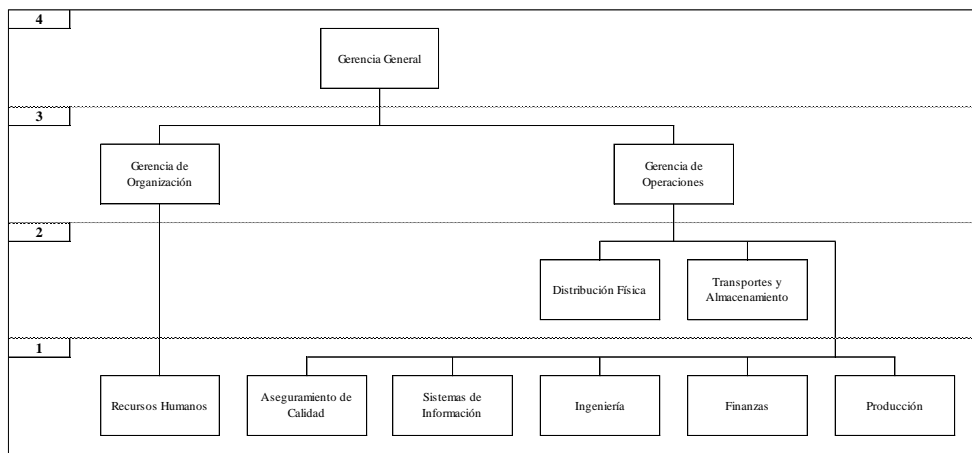
Fuente: Elaboración propia.

### 3.3 Organización General

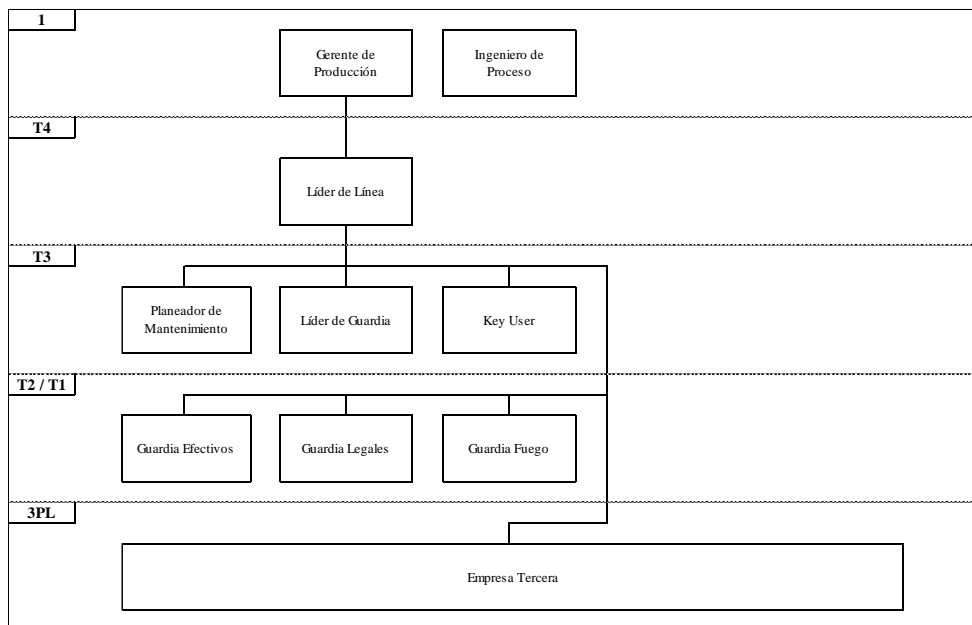
La estructura organizacional de Materiales SRL está compuesta por cuatro niveles que son mostrados en la **Figura 3.4** de manera general. El nivel más alto es la Gerencia General (4to nivel) a cargo del Gerente de Planta. Las áreas de soporte y el departamento de producción representan el nivel más bajo (1er nivel). Por otro lado, las operaciones de distribución, transporte y almacenamiento (2do nivel) están en un nivel jerárquico por encima debido a que las tres juntas forman el núcleo del negocio.

La implementación del programa de Mantenimiento Autónomo está a cargo de la gerencia de producción. Esta área está liderada por el Gerente de Operaciones del área y

un Ingeniero de Proceso que soporta los sistemas de trabajo y los proyectos dentro de la operación. Por debajo de ellos se encuentran los niveles técnicos, que también son cuatro, y además el personal de la empresa tercera. Es importante mencionar que el 3PL es una empresa aparte que tiene sus propios sistemas y niveles organizacionales. Esta última estructura organizacional se puede apreciar en la **Figura 3.5**. La conexión entre Materiales SRL y esta empresa es contractual, a través de un acuerdo de nivel de servicio o SLA (siglas en inglés de *Service Level Agreement*).



**Figura 3.4** Estructura organizacional de Materiales SRL. Fuente: Elaboración propia.



**Figura 3.5** Estructura organizacional de la gerencia de producción. Fuente: Elaboración propia.

### 3.4 Descripción de Producto

La familia de productos de lavavajillas cuenta con ocho códigos (SKU's) que son producidos en el área de Envase. La diferencia entre cada uno de ellos es principalmente por el contenido neto del producto (en gramos) y los materiales de empaque utilizados para su producción. La **Tabla 3.1** muestra cuáles son los códigos que se manejan y en que líneas son producidos cada uno de ellos:

Línea	Código	Contenido Neto	Descripción
L1	80335125	120g	Lavadin Refill Limon 120GRX24IT
L2	80314135	170g	Lavadin Limon BB 170GRX24IT
	80324136	300g	Lavadin Limon BB 300GRX24IT
	80335124	520g	Lavadin Limon 520GRX12IT (Intermedio)
	80335199	520g	Lavadin Limon 520GRX12IT
	80324138	800g	Lavadin Limon BB 800GRX12IT
	80349683	900g	Lavadin Limon 900GRX12IT
	80314141	1000g	Lavadin Limon BB 1KGX12IT

**Tabla 3.1** Códigos de productos lavavajillas en Materiales SRL. Fuente: Elaboración propia.



**Figura 3.6** Producto Lavadín Limón. Fuente: Elaboración propia.

Lavadín Limón 800G es el código que mayor porcentaje representa de la producción, es decir el que más se vende. La **Figura 3.6** toma como ejemplo este código y muestra las partes que componen el producto terminado. Cada uno de los códigos que se producen en la Línea 2 están compuestos por estas tres partes. En la Línea 1, el código de 120g no cuenta con tapa ni esponja, pero es cubierto por un film de plástico que los reemplaza.

Cada cambio de código involucra un cambio de formato y configuraciones en los equipos de la Línea 2 que demoran en promedio entre 20-25 minutos en realizarse. Este tiempo involucrado es conocido como el de *Set-Up* e impacta también a la Eficiencia General, sin embargo, esta pérdida de eficiencia está categorizada como planeada.

### 3.5 Descripción de Procesos

El proceso productivo de *Lavadín Limón* está conformado por dos etapas secuenciales: (1) el proceso de fabricación del lavavajillas y (2) el proceso de envasado de esta. La elaboración de la pasta se realiza en el área de Proceso (o también conocido por su nombre en inglés *Making*), mientras que la pasta se envasa en las líneas de producción que se encuentran en el área de Envase (o también conocido por su nombre en inglés *Packing*). En la **Figura 3.7** se puede apreciar una vista de planta de toda la empresa y resaltado en color rojo la planta de producción de lavavajillas en donde se ubican estas dos áreas.



**Figura 3.7** Vista de planta de la empresa Materiales SRL en el Cercado de Lima.

Fuente: Elaboración propia.

El alcance de la presente Tesis abarca únicamente la segunda etapa productiva porque es en ese punto en donde la eficiencia se mide. Debido a esto, es que describirán los procesos que se llevan a cabo en Envase. No obstante, también se considera importante mencionar cómo es el proceso de elaboración del lavavajillas de manera breve para que el lector tenga conocimiento de ello.

### 3.5.1 Capacidad Productiva

El área de Envase tiene una capacidad instalada de alrededor de 2,580-2,660 toneladas de pasta por mes. Sin embargo, al considerar el programa de producción normal (6/7 y 4/7 días por semana para L2 y L1 respectivamente) y el factor de utilización objetivo (85% para L2 y 80% L1) de las líneas de producción la capacidad productiva se reduce a 1,400-1500 toneladas de pasta mensuales. La **Tabla 3.2** muestra las tasas de producción en unidades y kilogramos de pasta por horas para cada uno de los códigos:

Línea	SKU	Capacidad	
		unid/horas	kg/horas
L1	120	5,400	648
L2	170	8,400	1,428
	300	7,800	2,340
	520	4,800	2,496
	800	4,800	3,840
	900	4,800	4,320
	1000	3,600	3,600

**Tabla 3.2** Capacidades productivas por código en Envase. Fuente: Elaboración propia.

### 3.5.2 Indicadores de Gestión

En la compañía todos los meses se lleva a cabo una sesión de PDCA (*Plan, Do, Check, Act*) a cargo del Gerente General y el Gerente de Operaciones para la revisión de los resultados mensuales obtenidos por la planta de producción con la intención de

analizar las pérdidas y tomar las decisiones a corto/mediano plazo para mejorar los resultados. La operación de lavavajillas cuenta con un *Scorecard* o tablero de resultados en donde mensualmente cada dueño de su variable es responsable de actualizar el resultado obtenido y realizar un análisis correspondiente en caso este indicador haya estado fuera de objetivo. En la actualidad, el tablero está compuesto por seis pilares: (1) producción, (2) calidad, (3) costos, (4) servicio, (5) seguridad y (6) moral; los cuales están basados en el famoso modelo de PQCDSM de TPM [14]. La **Tabla 3.3** muestra las medidas más relevantes acompañadas de sus valores objetivos y fórmulas para su obtención. La Eficiencia General (EG) y el porcentaje de cumplimiento del plan de producción (MPS) son de los indicadores más importantes para sus respectivos pilares y son ambas variables de interés para la presente Tesis.

### 3.5.3 Etapas de Producción

Materiales SRL utiliza una fórmula de un total de nueve materias primas para la fabricación del lavavajillas. De esos nueve materiales, dos son sólidos, que se encargan de darle la consistencia grumosa y la dureza característica a la pasta; cinco de ellos son líquidos, que generan la reacción química para crear el agente tensoactivo que da la propiedad distintiva de los productos lavavajillas para remover la suciedad y grasas de las superficies; y los dos restantes son aditivos, para proporcionar al producto final los atributos de olor y color a limón. La mezcla de todos estos componentes ocurre en dos batidoras de acero inoxidable de 600 kilogramos de capacidad. Asimismo, este es un proceso que depende mucho de la secuencia y el tiempo de adición de los materiales en los diferentes momentos de elaboración para que la pasta obtenga las propiedades y atributos que el cliente busca. La **Figura 3.8** muestra un diagrama de las tres principales etapas que abarca la fabricación de *Lavadín Limón*: (1) el neutralizado, que es en donde ocurre la reacción química que forma el agente tensoactivo; (2) el mezclado, que es donde la sustancia líquida se torna en una pasta y agarra consistencia y estabilidad; y (3) la transferencia de pasta para alimentar a los dos tanques de almacenamiento que hay en Envase (uno para cada línea de producción) por medio de un sistema de tuberías y bombas de desplazamiento positivo. Por último, es importante mencionar que un lote de producción equivale a 400 kilogramos de pasta y el tiempo de ciclo para fabricarlo es de

aproximadamente siete minutos. Por ejemplo, para el código de 800G que es el que mayor rotación tiene, en un turno de producción de doce horas se fabrican entre 90-95 lotes.

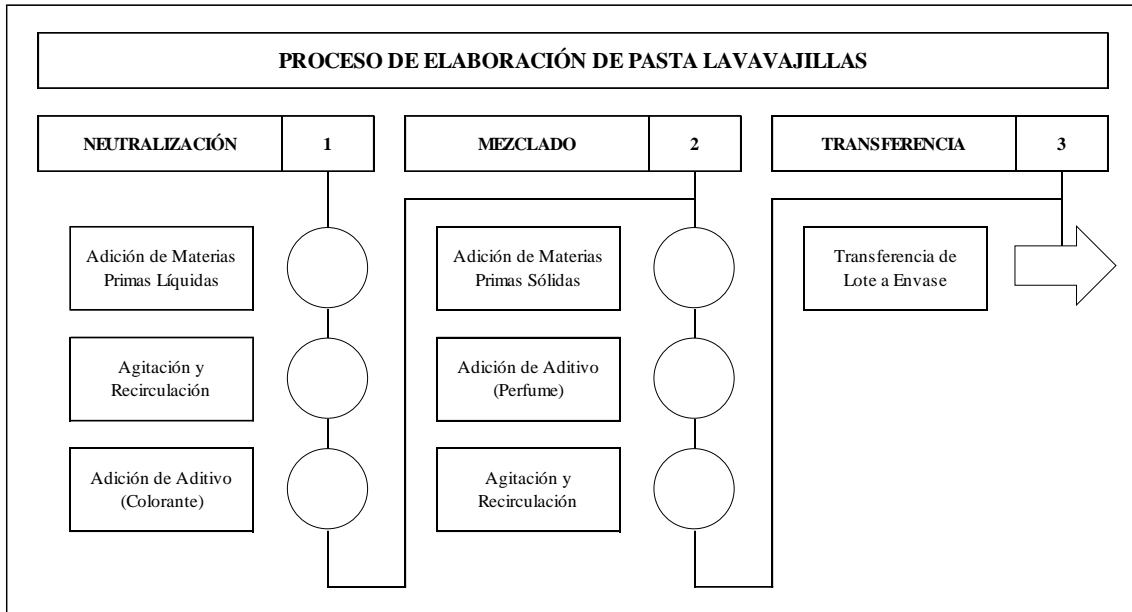
Pilar	Medida	Objetivo	Fórmula
P	EG	$\geq 85\%$	Producción Neta / (Tiempo Programado x Velocidad Objetivo)
	EGP	$\leq 10\%$	Tiempo de Paros Planeados / Tiempo Programado
	EGNP	$\leq 5\%$	Tiempo de Paros No Planeados / Tiempo Programado
	% Plan de Mantenimiento	$\geq 90\%$	Tareas de Mnt. Realizadas / Tareas de Mnt. Programadas
Q	Incidentes	0	Incidentes de Calidad
	Quejas	0	Quejas de Clientes + Quejas Consumidores
C	UM	$\geq 99\%$	$1 - (\text{Pérdida o Ganancia de Mat.} / \text{Utilización Total de Mat.})$
	M&R	S/ 15,000	Gasto por actividades de Mantenimiento
	3PL	S/ 90,000	Gasto por servicio de 3PL en Envase
	ST	$< 9\%$	Horas Extras / Horas Normales
D	MPS	$\geq 90\%$	POs dentro del 90% / POs Planeadas
	VP	$\geq \text{PO}$	Kg. de Pasta Producidos
	CFR	$\geq 99\%$	CS Entregadas / CS Solicitadas
S	TIR	$\leq 0.35$	Incidentes de Seg. (últimos 12 meses) / # de Trabajadores
	SOC	$\geq 95\%$	Comport. Reportados Positivos / Comport. Totales Reportados
	% Defectos	$\geq 95\%$	Defectos Solucionados / Defectos Reportados
M	Matriz de Habilidades	$\geq 95\%$	Entrenamientos Realizados / Entrenamientos Totales

**Tabla 3.3** Medidas más relevantes del Scorecard de la operación de Lavavajillas.  
Fuente: Elaboración propia.

Por el otro lado, en Envase se cuenta con dos líneas de producción: Línea 1 (L1) y Línea 2 (L2). Esta última abarca el 90% del nivel de producción mensual, produce siete de los ocho códigos de producto terminado que se manejan en la operación y es una línea con mayor nivel de automatización que L1. Dado que el objeto de estudio es L2, en esta sección se detallará información correspondiente a esta línea de producción, más no L1. Cuando se envía producto a Envase para que este sea consumido por la L2, antes se almacena en un tanque buffer de 1,200 kilogramos de capacidad. La pasta es mezclada en él por medio de un agitador vertical y tuberías de recirculación con la intención de homogenizar el producto y reducir la variación en la consistencia (densidad) entre lotes. El consumo de pasta depende del contenido neto del código que se esté corriendo en el momento, mientras este sea mayor, el consumo de pasta también lo será y el porcentaje de utilización de las batidoras incrementará. Es muy importante mencionar que la línea



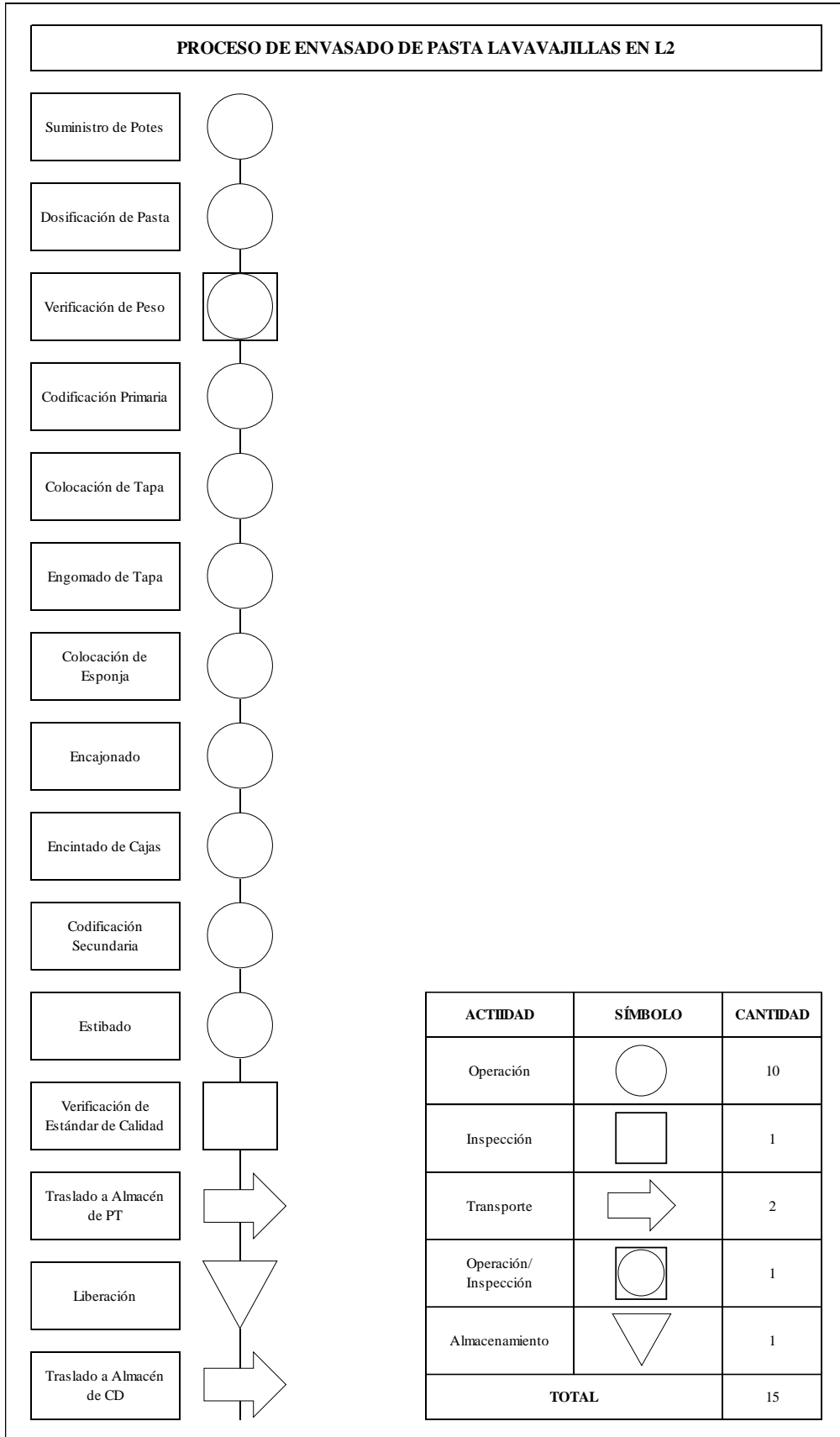
cuenta con dos llenadoras (A y B) que se encargan de dosificar la pasta en los envases para así empezar el flujo de producción del lavavajillas. En la primera mitad de la línea, la producción está dividida por llenadora. Esto quiere decir que habrá producto terminado que fue dosificado por la llenadora A y otro por la llenadora B. Sin embargo, luego ambas producciones convergen en una sola faja de transporte para las operaciones posteriores.



**Figura 3.8** Diagrama de operaciones del proceso de elaboración de pasta de lavavajillas.  
Fuente: Elaboración propia.

La línea de producción está dividida en nueve sistemas para poder facilitar el análisis de pérdidas e identificar los diferentes modos de fallas crónicas y esporádicos. Esta categorización es importante ya que permite dar forma a una estructura de defectos por equipos para poder implementar el Paso 1 del programa de Mantenimiento Autónomo.

- |                          |              |
|--------------------------|--------------|
| 1. Dosificación de Potes | 7. Encintado |
| 2. Dosificación de Pasta | 8. Engomado  |
| 3. Transporte de Potes   | 9. Estibado  |
| 4. Transporte de Pasta   |              |
| 5. Control               |              |
| 6. Codificación de Potes |              |



**Figura 3.9** Diagrama de operaciones del proceso de envasado en L2. Fuente: Elaboración propia.

La **Figura 3.9** muestra que el proceso de envasado consta de quince operaciones de las cuales doce se realizan netamente en la línea de producción. Las tres operaciones restantes están vinculadas a la liberación, almacenamiento y despacho del producto terminado. No es un proceso complejo en términos de máquinas y equipos, pero si requiere de bastantes actividades manuales como se puede observar. Por este motivo tener una estructura de roles y puestos de trabajo por operador con sus respectivas calificaciones para ejercer las actividades de manera conforme es clave para el flujo continuo de la producción.

### **3.5.4 Estructura de la Línea de Producción**

El personal a cargo de la producción en las líneas de Envase es tercerizado por una empresa proveedora de servicios de personal técnico y operador. En comparación con el área de Proceso en donde el personal es propio de Materiales SRL. No obstante, esto no quiere decir que cada área trabaje de forma independiente. La colaboración entre ambas áreas para permitir el flujo continuo de la producción y la solución de los problemas es fundamental para alcanzar dicho el objetivo mutuo de maximizar la producción. La estructura de personal para L2 está conformada por diez personas en cada guardia. El Encargado de Línea es la persona responsable y líder de la producción en su jornada. Está a cargo de velar por la seguridad, calidad y la operación de los equipos. Es el operador con más experiencia y conocimiento en habilidades técnicas y se encarga de realizar los registros diarios de producción, las inspecciones de calidad y los mantenimientos correctivos básicos que los equipos requieran durante el turno. El Soporte de Línea es la persona que soporta al técnico con la operación de la llenadora A (generalmente cada uno se encarga de operar una llenadora) y asume las responsabilidades cuando este está ausente. El resto de las personas en la estructura son operadores que están al mismo nivel que el Soporte de Línea, pero en comparación cumplen una rotación y se dedican a hacer las actividades específicas de cada puesto de trabajo. Es importante mencionar que todo operador independientemente del puesto en el que esté se encarga de alertar al Encargado o Soporte de Línea en caso haya algún defecto de calidad.

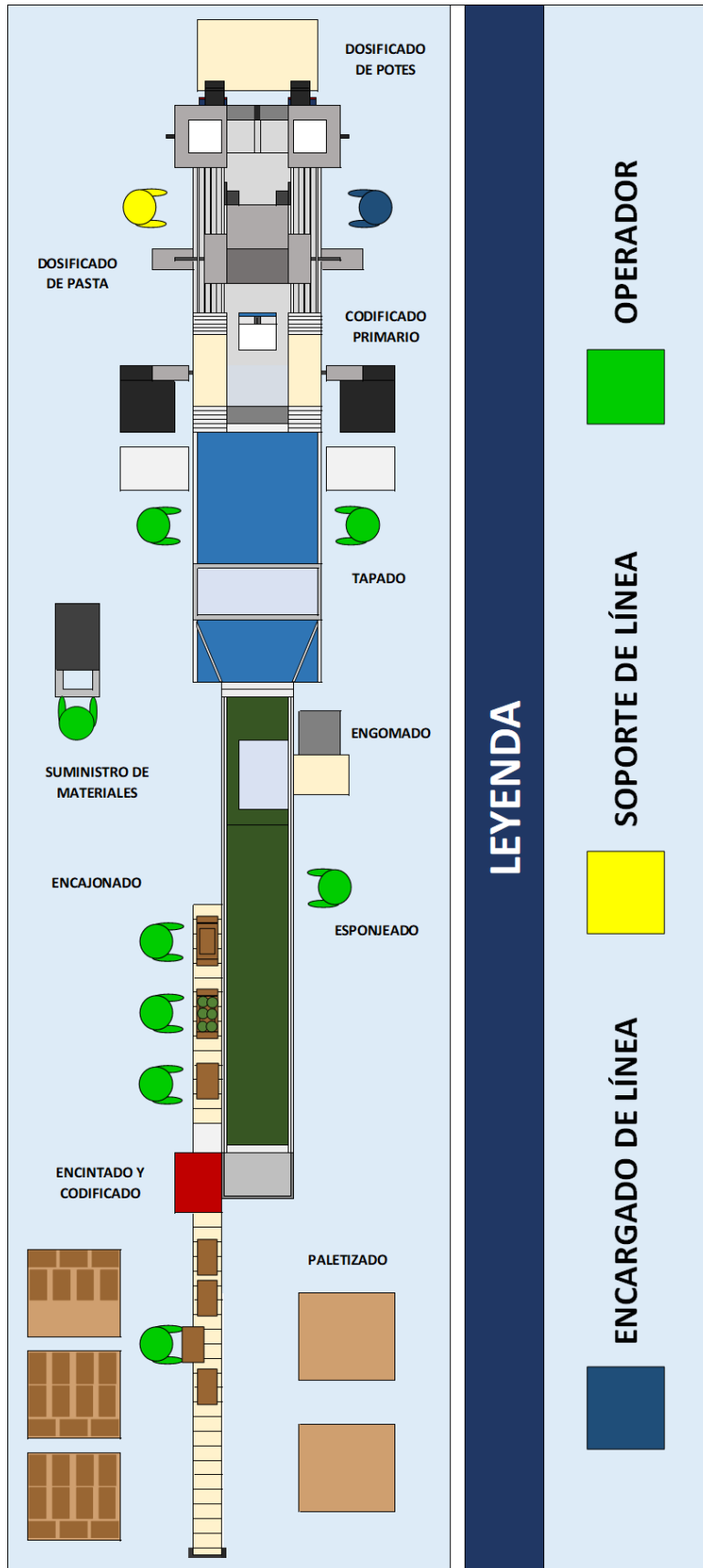


Figura 3.10 Distribución de planta de L2 y estructura de personal 3PL. Fuente: Elaboración propia.

La **Tabla 3.4** presenta la estructura de personal estándar de L2 con los respectivos roles y puestos de trabajo y la **Figura 3.10** muestra la distribución de planta de L2 con la ubicación de cada integrante.

N°	Rol	Puesto
1	Técnico	Encargado de Línea
2	Operador	Soporte de Línea
3	Operador	Tapador
4	Operador	Tapador
5	Operador	Esponjeador
6	Operador	Encajonador
7	Operador	Encajonador
8	Operador	Encajonador
9	Operador	Estibador
10	Operador	Suministrador

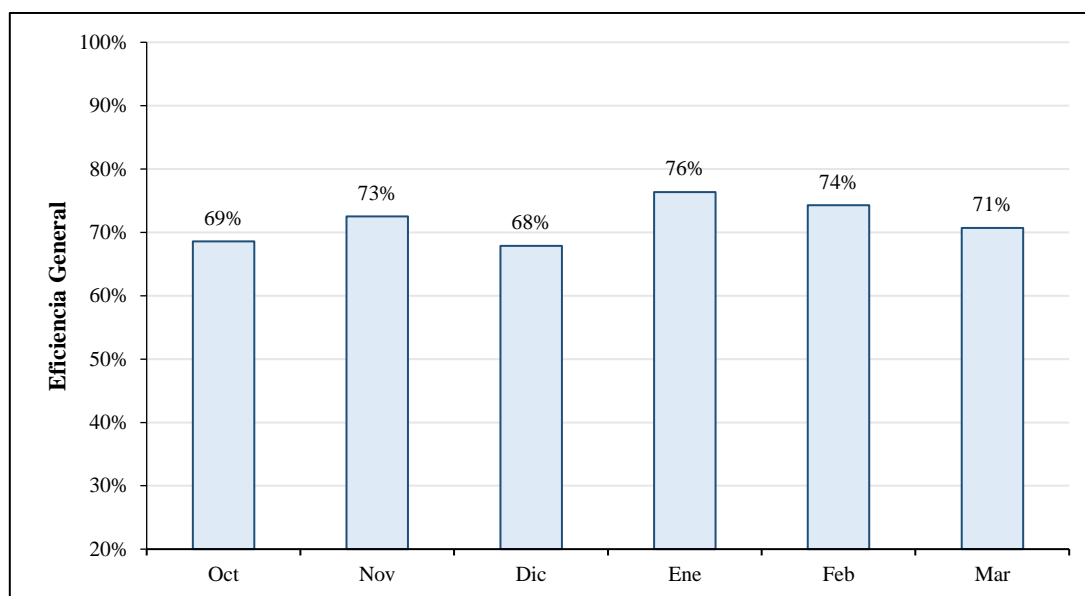
**Tabla 3.4** Estructura de personal estándar L2. Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, el programa de producción de L2 normal es de 48 horas semanales que son trabajadas por tres turnos de ocho horas al día durante los primeros seis días de la semana, es decir de lunes a sábado. Los tres turnos de producción se dividen de la siguiente manera: mañana (T1 – 7:00am-03:00pm), tarde (T2: 03:00pm-11:00pm) y noche (T3: 11:00pm-07:00am). Sin embargo, cuando el negocio lo requiere debido a factores interno/externos, la operación tiene la flexibilidad para cambiar el programa de producción a dos turnos de doce horas al día para cumplir con la jornada laboral semanal.

### 3.6 Diagnóstico de Eficiencia y Sistemas Críticos

En esta sección se presentará un diagnóstico general del desempeño que ha tenido la línea de producción L2 en los últimos meses en términos de eficiencia productiva. La **Figura 3.11** muestra los resultados de Eficiencia General para esta línea desde el mes de octubre hasta marzo del año fiscal 19/20. Al analizar esta gráfica, rápidamente se puede

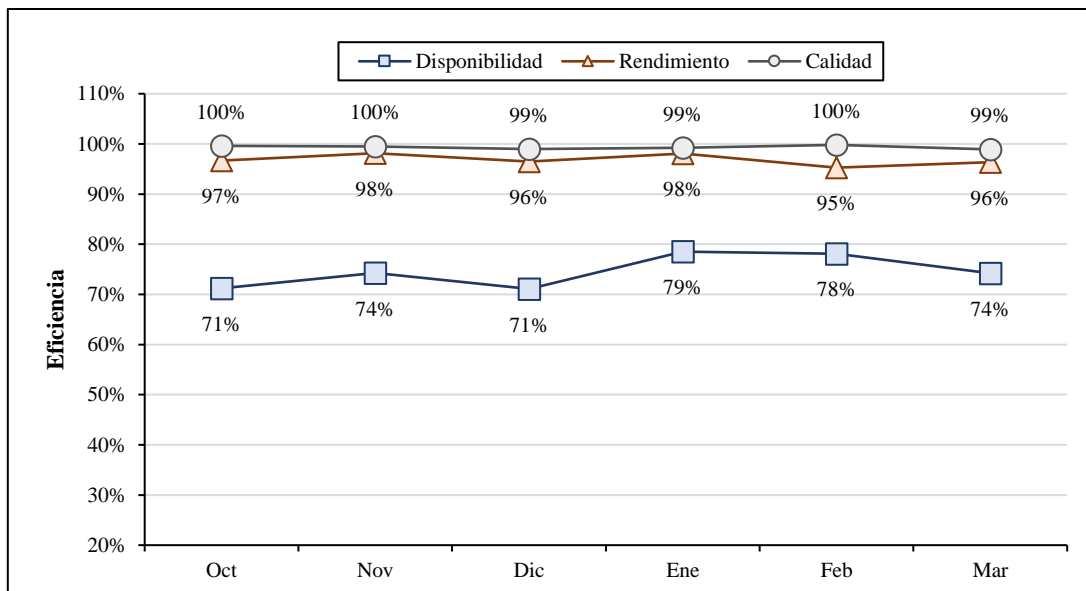
observar que los resultados no han superado el 80% en ninguno de los meses y el resultado promedio es de aproximadamente 72%. Entre este valor y el objetivo del negocio hay una brecha de 13%, la cual es muy alta. Asimismo, se puede mirar que es un resultado que no es estable en el tiempo y no hay tendencia alguna para la variable, algunos meses esta puede incrementar como también disminuir, haciendo impredecible su resultado. Es importante mencionar que los resultados mostrados en la siguiente figura tienen también impactos debido a factores no operacionales y externos: validaciones/pruebas por proyectos de ahorro (4to trimestre del 2019) y crisis por la pandemia del Covid-19 (marzo del 2020). Sin embargo, a pesar de todos esos impactos, la Eficiencia General de L2 está aún por debajo del 80% y no cumple con las expectativas de la empresa de reducir costos.



**Figura 3.11** Resultados de Eficiencia General en L2 de octubre a marzo del año fiscal 19/20.  
Fuente: Elaboración propia.

La **Figura 3.12** ha desagregado los resultados de Eficiencia General en sus diferentes factores: Disponibilidad, Rendimiento y Calidad. Se puede observar que el más crítico es la Disponibilidad que ha tenido un desempeño promedio de 75% aproximadamente. Este componente es el más propenso a verse afectado por factores extra operacionales, ya sean eventos planeados o no planeados. En el caso del factor de Rendimiento, este tiene un rango de variación mensual de 5%, en donde el resultado más

alto alcanzado fue de 98.1% en el mes de noviembre. Es importante mencionar que para el caso de la presente Tesis solamente se está considerando como componente del Rendimiento a la Tasa de Operación Neta o pérdida por paros menores [13]. La pérdida de velocidad reducida mencionada en el Capítulo 2 (Marco Teórico) se está asumiendo como nula, ya que la medición de la eficiencia en la empresa es en base a una velocidad objetivo (planeada) y no la de diseño (ideal). Esta velocidad objetivo es la que está validada por las áreas de Producción, Calidad y Mantenimiento, para que la línea corra de manera continua, sin esfuerzos ergonómicos y con lo mínimo de defectos. Finalmente, el factor de Calidad es muy alto y prácticamente constante ya que solo varía entre 99% y 100%. Existen inspecciones de calidad continuamente en la línea a cargo del personal del área de Calidad de Materiales SRL y también de la empresa tercera con el objetivo de controlar y minimizar la cantidad de defectos de calidad. El fallo de calidad más frecuente es cuando el contenido neto del producto está por debajo del límite inferior definido en la carta operacional. La pasta de esos productos defectuosos es reprocesada para un consumo posterior. Al comparar la cantidad de pasta reprocesada con la producción neta, esta es minúscula en valor relativo, siendo la mayoría de las veces menor al 1%. Es por esta razón que este factor no será relevante para el estudio que abarcará la Tesis.



**Figura 3.12** Componentes de la Eficiencia General en L2 de octubre a marzo del año fiscal 19/20.

Fuente: Elaboración propia.

Por el otro lado, observando el factor de Disponibilidad más de cerca, este se puede descomponer en pérdidas por eventos planeados y no planeados. La **Tabla 3.5** muestra la distribución de los tiempos de producción con respecto a los programados durante los meses de octubre a marzo del año fiscal 19/20. La línea de producción L2 opera en promedio 576-624 horas (equivalentes a 24-26 días calendarios) mensuales aproximadamente en condiciones de operación normal. Este tiempo se da generalmente cuando no hay excesiva demanda y con el nivel de producción alcanzado durante el mes se cumplen los requerimientos del mercado. En el año 2020, se trabajó en promedio 504 horas (21 días). La baja utilización fue debido a dos factores: la absorción del volumen de producción para la fabricación del código de 120g como proyecto de ahorro (no se está considerando este tiempo programado en la tabla) durante los meses de enero y febrero, y por la reducción de capacidad durante la pandemia de Covid-19 en marzo.

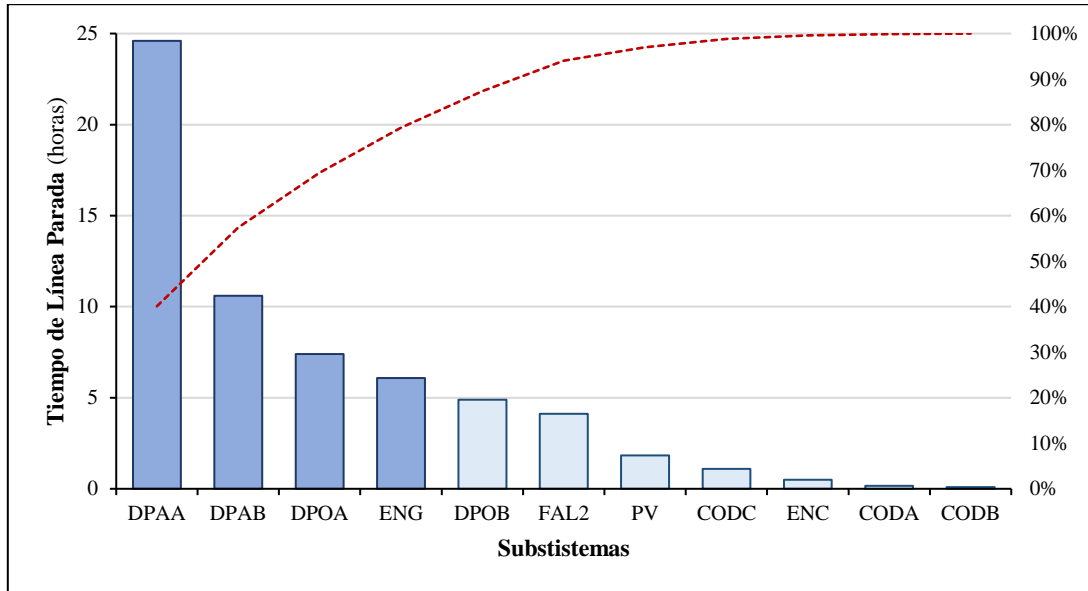
<b>Línea 2</b>	<b>2019</b>			<b>2020</b>		
	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
<b>Hrs. Programadas</b>	624	556	513	512	536	464
<b>Hrs. Producidas</b>	446.5 (71%)	412.9 (74%)	364.7 (71%)	402.0 (79%)	418.8 (78%)	334.2 (74%)
<b>Hrs. de Línea Parada</b>	179.5 (29%)	143.1 (26%)	148.3 (29%)	110.0 (21%)	117.2 (22%)	119.8 (26%)
Planeado	138.8 (22%)	102.6 (18%)	101.1 (20%)	82.0 (16%)	86.8 (16%)	69.9 (15%)
No Planeado	40.7 (7%)	40.5 (7%)	47.2 (9%)	28.0 (5%)	30.4 (6%)	49.9 (11%)

**Tabla 3.5** Distribución de tiempos en L2 de octubre a marzo del año fiscal 19/20. Fuente: Elaboración propia.

Durante estos seis meses de análisis, se produjo aproximadamente 400 horas mensuales en donde el mes que mejor resultado de disponibilidad tuvo fue enero con 79%. La línea estuvo inoperativa cuando estuvo programada para correr 135 horas en promedio, siendo casi el 70% de ese tiempo pérdida de producción planeada y el complemento, no planeada. Es importante detallar que en la categoría de paros planeados se contemplan las siguientes actividades: mantenimientos planeados, cambios de códigos, refrigerios, arranques/cierres de semana, limpiezas de los equipos, pruebas/validaciones



por proyectos, entre otros. En el caso de los eventos no planeados, estos generalmente ocurren por la pérdida de funcionamiento de los equipos (o fallas).



**Figura 3.13** Pareto por tiempo de línea parada de octubre a marzo del año fiscal 19/20. Fuente: Elaboración propia.

La **Figura 3.13** muestra el diagrama de Pareto de la pérdida no planeada acumulada en los últimos seis meses categorizada por subsistemas. El subsistema DPAA (Dosificador de Pasta Lado A) es el que mayor porcentaje representa, casi el 40% del total. Por el otro lado, la **Tabla 3.6** muestra la misma distribución, pero separada por los dos últimos trimestres del año fiscal 19/20. Se puede observar rápidamente que en donde ocurre la mayor cantidad de fallas (o paros menores) es los dosificadores de pasta, razón por la cual son los equipos críticos de L2.

Subsistema	T4 19'	Subsistema	T1 20'
	Tiempo de Línea Parada (Horas)		Tiempo de Línea Parada (Horas)
Dosificado de Pasta A	14.5	Dosificado de Pasta A	10.7
Dosificado de Pasta B	5.3	Dosificado de Pasta B	4.8

Engomadora	4.8	Dosificador de Potes A	3.3
Dosificador de Potes B	4.4	Panel View	1.8
Dosificador de Potes A	4.1	Engomadora	1.3
Fajas L2	3.3	Fajas L2	0.9
Codificadora de Cajas	1.1	Dosificador de Potes B	0.5

**Tabla 3.6** Sistemas críticos por tiempo de línea parada de octubre a marzo del año fiscal 19/20.

Fuente: Elaboración propia.

## CAPÍTULO 4: METODOLOGÍA

Este capítulo consiste en detallar a fondo la metodología que se seguirá para el desarrollo de la investigación. Como se mencionó en la Introducción (Capítulo 1), este estudio trata de incrementar y sostener la Eficiencia General de una línea de producción de lavavajillas, mediante la implementación de un programa básico de Mantenimiento Autónomo, uno de los pilares fundamentales del TPM. Elaborar un sistema para llevar y mantener en condiciones básicas los equipos/sistemas críticos a través de la ejecución de los tres primeros pasos del Mantenimiento Autónomo es en lo que consiste este proceso. Este sistema está orientado en desarrollar la capacidad de los operadores en prevenir el deterioro forzado de los equipos y busca formar un equipo de operación efectivo (cero pérdidas y defectos) y eficiente (mínimo esfuerzo) [6]. No obstante, el verdadero reto de esta Tesis radica en cómo aterrizar esta metodología en una operación tercerizada. Las líneas de producción en las instalaciones de Materiales SRL son operadas por una empresa 3PL y no por los propios empleados de la compañía. Los resultados de esta investigación y la estrategia aplicada podrán servir como punto de partida y reflexión para los gerentes/practicantes de una variante interesante de la metodología original. Con la implementación de este programa se busca incrementar el *throughput* ( $PR > 80\%$ ), mejorar el nivel de servicio ( $MPS > 95\%$ ) y el estándar de operación, con el objetivo de reducir los costos de producción.

Esta sección está estructurada principalmente en cuatro partes. Al inicio, se detallará el alcance y el diseño de la investigación (1). Luego, se definirá el objeto de estudio y cuáles son las variables de interés que intervienen en el proceso; al igual que se plantearán las hipótesis que buscan responder al problema de investigación (2). También se describirá el diseño general del método de intervención y los pasos a seguir para su realización (3). Por último, se hablará sobre el método de recolección de datos y las herramientas de análisis que se usarán para examinar estos (4).

## 4.1 Alcance y Diseño de la Investigación

Debido a que la metodología del Mantenimiento Autónomo se basa en implementar escalonadamente un programa de mejora y observar el comportamiento de la Eficiencia General del sistema productivo antes y después de la intervención; la presente investigación abarca dos tipos de alcances: descriptivo y correlacional [47].

En la primera parte de la metodología el alcance es de carácter descriptivo, ya que busca diagnosticar una situación actual de la Eficiencia General y demás variables de interés. Es en este punto en donde se busca describir el escenario real en el que se encuentra la línea de producción de lavavajillas en términos de volúmenes de producción, tiempos de indisponibilidad, equipos críticos y otras variables. En la segunda parte, el alcance pasa a ser de la categoría correlacional. Una vez intervenida la línea de producción con el programa de Mantenimiento Autónomo, se busca analizar y cuantificar el impacto que tuvieron las actividades de intervención en las variables previamente mencionadas. La idea es buscar relaciones entre las medidas de entrada (paros menores, cumplimiento de estándares, entre otros) y de salida (eficiencia, costos de horas extras, entre otros) para conocer el grado de asociación que existe entre ellas en una situación en particular. Este último punto es muy importante, ya que no es lo correcto correlacionar variables en contextos diferentes. Por ejemplo, no es válido analizar el *throughput* de las líneas de producción en Materiales SRL en los dos primeros meses del año 2020 con el de los dos siguientes meses del mismo año (coyuntura del Covid-19). A pesar de ser las mismas líneas de producción, las condiciones y los lineamientos de operación en el primer caso son muy diferentes a la del segundo (segregación de personal, distanciamiento mínimo, distribución del área de trabajo y otras condiciones no normales).

La presente investigación es de tipo no experimental, ya que no requiere la manipulación intencional de una o más variables independientes para ver los posibles efectos sobre otras variables. Tiene una dimensión temporal y los datos se recolectan en diferentes momentos en el tiempo (antes y después de la intervención), por lo que se clasifica como un diseño de tipo longitudinal. El estudio es de tipo práctico y busca observar la evolución en la Eficiencia General luego de haber reestablecido las condiciones básicas de los equipos en los sistemas productivos; al igual que determinar

el efecto que tuvo este programa en otras variables de interés. En otras palabras, recolectar datos a través del tiempo en puntos o periodos para luego poder inferir respecto a los cambios que se presenten [47].

## 4.2 Variables de Interés e Hipótesis Planteadas

Para iniciar un programa de Mantenimiento Autónomo desde cero se debe primero definir un equipo o sistema productivo piloto en el cual se va a enfocar el análisis. La Línea 2 del área de Envase ubicada en la operación de lavavajillas de la empresa Materiales SRL será el objeto de estudio de esta investigación. En ella se fabrica cerca del 90% del volumen mensual de producción y cuenta con un mayor nivel de automatización que el resto de las líneas productivas. La **Tabla 4.1** muestra un resumen de los volúmenes de producción obtenidos desde que inicio el año 2020 en ambas líneas.

Línea	Formato	Producción de Pasta de Lavavajillas (miles de Kgs)				
		Enero	Febrero	Marzo	Acumulado	Porcentaje
L1	120G	50.4	101.4	104.1	255.9	7.3%
L2	170G	164.9	137.9	103.9	406.8	92.7%
	300G	132.3	218.1	133.5	483.9	
	520G	29.2	8.5	39.9	77.7	
	800G	551.3	573.6	441.4	1,566.3	
	900G	182.5	173.5	158.4	514.4	
	1000G	41.3	91.2	73.1	205.6	
<b>Total</b>		1,151.9	1,304.2	1,054.4	3,510.6	100.0%

**Tabla 4.1** Volúmenes de producción de lavavajillas en el primer trimestre del año 2020.

Fuente: Elaboración propia.

La variable primordial por medir en esta investigación es la Eficiencia General o también conocida como OEE. Esta medida cuantifica que tan eficiente está siendo utilizado un sistema productivo en comparación con su capacidad ideal en periodos en donde ha sido programado para producir [25]. Es importante mencionar que, para el caso

de Tesis, no se está considerando el componente de velocidad reducida dentro del cálculo de Eficiencia General. Se está asumiendo que no hay velocidad reducida ya que para medir la Eficiencia General en Materiales SRL se hace la comparación con la velocidad objetivo y no la ideal (o de diseño). Para efectos de simplicidad en el cálculo se utilizará la siguiente fórmula para su medición:

$$EG = \frac{\text{Producción Neta}}{\text{Tiempo Programado} \times \text{Velocidad Objetivo}}$$

Sin embargo, para uno poder identificar las pérdidas en la producción, el OEE se calcula multiplicando tres factores: tasa operativa (disponibilidad), tasa de rendimiento y tasa de calidad [ 13].

$$EG = \text{Disponibilidad} \times \text{Rendimiento} \times \text{Calidad}$$

Así como la Eficiencia General y sus índices son las principales variables de salida (dependientes) en esta investigación; también hay otras que son relevantes para el estudio como: el plan maestro de producción y el estándar de operación. Por el otro lado, las variables de entradas (independientes) también forman una parte importante del trabajo y algunas de ellas son: los paros no planeados, el cumplimiento de estándares, defectos reportados y las velocidades de producción. Las definiciones de variables, tanto de entrada y de salida, se muestran en los siguientes cuadros:

<b>Variable de Salida</b>	<b>Unidad</b>	<b>Definición Conceptual</b>
Eficiencia General	%	Qué tan eficiente está siendo utilizada una línea de producción en comparación con su capacidad objetivo en periodos en donde ha sido programada para producir.
Plan Maestro de Producción*	%	Nivel de cumplimiento con respecto al plan de producción en términos de cantidades producidas.

**Tabla 4.2** Definiciones conceptuales para las variables de salida de la investigación.

Fuente: Elaboración propia.

Es importante mencionar que no se debe descartar que en el momento de la implementación es posible que se encuentren otras variables independientes que no habían sido consideradas y podrán ser sometidas a análisis. En el cuadro no se hace mención acerca de los índices de la Eficiencia General debido a que en el Capítulo 2 (Marco Teórico) se profundizó en sus definiciones y cómo calcularlos.

Variable de Entrada	Unidad	Definición Conceptual
Turno de Producción	-	Horario programado de producción. Generalmente se manejan tres turnos por día, pero esto puede variar de acuerdo con la necesidad del negocio.
Paros No Planeados	#	Número de eventos no planeados que restan disponibilidad a la línea de producción.
Tiempo No Planeado	minutos	Duración acumulada de todos los paros no planeados en un periodo de producción.
Formato de Producto	-	Código o descripción del producto (SKU) que se está fabricando.
Equipo Autónomo	-	Equipo del turno de producción conformado por personal de operación encargado de la ejecución del programa de Mantenimiento Autónomo.
Capacidad	unidades/minuto	Velocidad a la que se está corriendo la línea de producción.

**Tabla 4.3** Definiciones conceptuales para las variables de entrada de la investigación.

Fuente: Elaboración propia

De la teoría se sabe que una de las metas de un programa de Mantenimiento Productivo Total es maximizar la efectividad de los equipos dentro de una empresa. Es por esta razón que, en la presente Tesis, la hipótesis principal de investigación es la siguiente:

**H<sub>1</sub> : La Eficiencia General de la línea de producción L2 será mayor que la actual luego de haber implementado un programa básico de Mantenimiento Autónomo.**

Debido al gran número de medidas de entrada y salida que se muestran en la **Tabla 4.2** y **Tabla 4.3** se pueden formular las siguientes hipótesis que permitirán nutrir más la investigación:

<b>Hipótesis Secundarias de Investigación</b>	
H <sub>2</sub>	La Disponibilidad de la línea de producción L2 será mayor que la actual luego de haber implementado un programa básico de Mantenimiento Autónomo.
H <sub>3</sub>	El Rendimiento por formato de producto de la línea de producción L2 será mayor que el actual luego de haber implementado un programa básico de Mantenimiento Autónomo.
H <sub>4</sub>	El MPS de la línea de producción L2 será mayor que el actual luego de haber implementado un programa básico de Mantenimiento Autónomo.

**Tabla 4.4** Hipótesis secundarias planteadas para la investigación. Fuente: Elaboración propia.

El no haber planteado hipótesis para todas las variables de interés definidas en la **Tabla 4.4.** es porque de todas formas estas medidas serán parte del análisis descriptivo e inferencial que se realizará antes y después de la intervención. Estas hipótesis secundarias, al igual que la principal, serán puestas a prueba en un periodo de corto plazo en donde la unidad de medición será en términos de turnos de producción (periodos de producción de 12 horas) debido a las restricciones de tiempo y coyunturales.

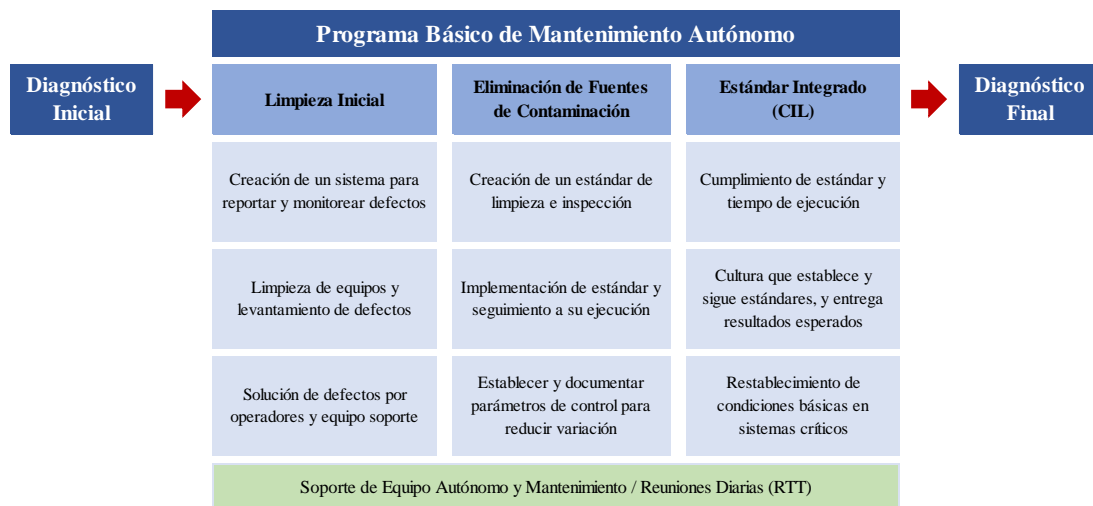
### **4.3 Modelo y Descripción del Método de Intervención**

En el Marco Teórico (Capítulo 2), se indagó y explicó acerca de uno de los pilares fundamentales del TPM: el Mantenimiento Autónomo, también conocido en japones como *Jishu Hozen*. De manera de resumen, esta es una filosofía de trabajo en las plantas de manufactura que busca empoderar a los operadores de los equipos de manera que ellos puedan mantenerlos operando a cero defectos para maximizar la eficiencia. Esta forma de trabajo está enfocada en crear una cultura de operación en la que los operadores sean dueños y responsables de los equipos productivos. Dar a entender la importancia de mantener los equipos en condiciones básicas y cuáles son sus beneficios es clave para la



gestión del cambio. Por último, este programa busca crear una sinergia entre el área de Mantenimiento y Producción, aprovechando los recursos de mantenimiento para las tareas correctivas que realmente necesitan de su soporte y dar responsabilidad a los operadores para la ejecución de las actividades básicas. De esta manera, se libera a los encargados de mantenimiento y se fomenta las actividades en pequeños grupos de trabajo entre operadores y técnicos. La metodología en su totalidad consiste en siete pasos, de los cuales los tres primeros tienen el mismo objetivo: llevar a condiciones básicas los equipos de producción y mantenerlos operando así. Partiendo de este argumento y también tomando en consideración las limitaciones de recursos y tiempo para la implementación, se tomó la decisión de delimitar el alcance del programa a los tres primeros pasos del *Jishu Hozen*:

1. Limpieza Inicial
2. Eliminación de Fuentes de Contaminación y Áreas de Difícil Acceso
3. Estándares de Limpieza, Inspección y Lubricación



**Figura 4.1** Estructura de actividades del método de intervención. Fuente: Elaboración propia.

La idea de trabajar en estos tres primeros pasos (Fase 1) es establecer un sistema para llevar los equipos a condiciones básicas y sostenerlas en el tiempo; desarrollar las habilidades de los operadores en identificar y solucionar defectos; y crear una cultura de

propiedad de los equipos no solo en los operadores, sino en todo el equipo de producción. En conclusión, el método de intervención para la presente Tesis corresponderá a actividades relacionadas a los tres primeros pasos del Mantenimiento Autónomo. La **Figura 4.1** muestra un esquema resumen del flujo de las actividades que se realizarán para implementar el programa básico de Mantenimiento Autónomo. Como se puede observar, el flujo general del método de intervención consiste en los siguientes tres puntos: (1) realizar un diagnóstico inicial en la línea de producción para entender cuál es la línea base en términos de Eficiencia General. Luego, (2) aterrizar la implementación en los tres pasos de la Fase 1 para reestablecer las condiciones básicas de los sistemas críticos de la línea de producción. Por último, (3) realizar una evaluación final de la Eficiencia General para determinar si efectivamente la metodología utilizada fue la correcta y trajo resultados; esta parte incluye la síntesis de conclusiones y recomendaciones acerca de los resultados obtenidos. Es de suma importancia mencionar que la implementación del programa será soportada por un Equipo Autónomo conformado por empleados que tienen conocimiento teórico y práctico en la metodología. Este equipo se encargará de llevar a cabo las reuniones diarias de revisión de resultados llamadas RTT (siglas en inglés de *Run to Target*), en la cual mediante un tablero se estará monitoreando las medidas de proceso, los resultados obtenidos y las ayudas necesarias para la operación. A continuación, al ya haber explicado de manera general la metodología a seguir, se describirá y justificará a detalle cada uno de los pasos para aterrizarla en el área de trabajo:

### **1. Diagnóstico Inicial:**

Consiste en realizar una evaluación y análisis de la situación actual de la línea de envasado en términos de efectividad de producción. El objetivo de realizar este análisis es simple: establecer un punto de partida para poder comparar los resultados posteriores y medir la efectividad del programa de Mantenimiento Autónomo. De este análisis, se espera obtener los descriptivos más importantes de las variables y gráficos que ilustren comparaciones; comportamientos y tendencias en el tiempo; y relaciones entre las mismas. El entregable primordial en esta etapa es determinar valores puntuales que representen una línea base para las diferentes variables que serán analizadas más adelante.

## **2. Limpieza Inicial:**

El primer paso del Mantenimiento Autónomo se adaptó de manera que pueda ejecutarse rápidamente sin perder el foco que es: identificar y solucionar defectos. En esta etapa se plantea crear un sistema que permita a los operadores y miembros de la operación reportar defectos con la intención de que estos sean priorizados y solucionados. La priorización se da en base a qué tanto este defecto impacta o podría impactar en la producción si no se le da solución inmediata. Estos son categorizados como: A, B y C; siendo A la categoría de mayor criticidad. Luego de tener un sistema en donde se podrán reportar los defectos y hacer el seguimiento correspondiente a su solución, la idea es ir separando sesiones en las que los operadores, en conjunto con el equipo autónomo, puedan dedicar tiempo a limpiar los equipos e identificar defectos. No necesariamente son en estas sesiones en donde se reportarán todos los defectos, sino más bien la idea es que estas sirvan de experiencia para que luego los operadores sean quienes mantengan vivo el sistema en el día a día. Los entregables para este paso del programa son dos: (1) contar con un sistema de reporte de defectos en el área de Envase y (2) haber generado un listado de defectos categorizado con su priorización correspondiente y porcentaje de defectos solucionados.

## **3. Eliminación de Fuentes de Contaminación:**

El segundo paso del Mantenimiento Autónomo se delimitó a la creación e implementación de un estándar de operación con el objetivo de mantener vivo el sistema de defectos y al mismo tiempo reducir las fuentes de contaminación para que la línea de producción esté siempre trabajando en condiciones básicas. Como primera actividad, se elaborará un estándar de limpieza e inspección para los sistemas críticos. Este será creado en conjunto con los operadores quienes son los que día a día están operando los equipos y conocen cuáles son los puntos críticos que se deben monitorear y con qué frecuencia, para que la línea pueda correr sin problemas. Asimismo, también se tendrá *input* del equipo autónomo para poder validar la información brindada por los operadores. La idea es que este estándar se vaya actualizando y precisando a medida pase el tiempo para que, en la siguiente etapa del programa, se cuente con un estándar efectivo e integrado. Como

segunda actividad, se establecerá y documentará algunos parámetros de control para reducir la variación entre guardias con el fin de estandarizar los procesos que se llevan a cabo. Estas medidas de control son conocidas también como CL (siglas en inglés de *Centerline*). Este paso del programa tiene dos entregables: (1) tener un estándar de limpieza e inspección para los sistemas críticos de la línea, y (2) haber establecido cuáles serán los parámetros que se estarán monitoreando durante las corridas de producción.

#### **4. Estándar Integrado (CIL):**

El tercer paso del Mantenimiento Autónomo prácticamente consistirá en continuar y mejorar la ejecución de los dos pasos anteriores. Sin embargo, es muy importante que en esta etapa se cuente con un estándar integrado de limpieza, inspección y lubricación que permita mantener la línea de producción en todo momento en condiciones básicas. A la par, se buscará crear una cultura de producción que no solo cumpla estándares, sino que entregue los resultados esperados por el negocio. Para poder concretar este último punto, se creará un sistema que permita dar visibilidad al personal operativo acerca de los resultados que están obteniendo. Por ejemplo, la guardia A obtuvo una Eficiencia General de 82% en promedio y logró un MPS de 100% durante los últimos tres días, en comparación con las demás guardias que estuvieron por debajo del objetivo. El fin de esto es mantener motivados y alineados con los objetivos del negocio al personal operativo, al igual que forjar una cultura de competencia entre las distintas guardias que operan en Envase. Los entregables para este paso del programa son: (1) desarrollar e implementar el sistema de resultados por lo menos con los Encargados de Línea de cada guardia, para que ellos sean los responsables de transmitir a sus equipos el desempeño que han venido teniendo como grupo de trabajo; y (2) establecer un estándar CIL (siglas en inglés de *Clean, Inspection and Lub*) de limpieza, inspección y lubricación.

#### **5. Diagnóstico Final:**

Al igual que el Diagnóstico Inicial, este consiste en realizar una evaluación y análisis en términos de efectividad de producción, pero esta vez de la situación posterior al programa de Mantenimiento Autónomo. El objetivo de realizar este análisis es

comparar los resultados iniciales con los posteriores al método de intervención para ver si es que ha habido algún impacto significativo en las variables. En otras palabras, aquí es donde se responderá a la hipótesis principal y secundarias de investigación. Este análisis tendrá una parte descriptiva y otra inferencial, para que a partir de ambas podamos obtener conclusiones de la efectividad del método de intervención. Las herramientas estadísticas que se utilizarán para realizar el análisis se mencionan en el punto 4.5 de este capítulo. El entregable primordial en esta etapa es determinar si efectivamente la Eficiencia General incrementó luego de haber ejecutado el programa básico de Mantenimiento Autónomo.

El modelo jerárquico de los grupos de trabajo que se formarán para gestionar el programa será de tres niveles (este se puede observar en la **Figura 4.2**):

1. Guardias (3PL)
2. Equipo Autónomo (Materiales SRL y 3PL)
3. Equipo de Liderazgo del Departamento (Materiales SRL)

Las Guardias se encargarán de ejecutar las actividades del programa y serán los responsables de poner en condiciones básicas los equipos a través de las actividades pertenecientes a cada paso para entregar los resultados esperados de producción. El Equipo Autónomo se encargará de estructurar y gestionar el programa dentro del área. Los miembros de este equipo dispondrán de su capacidad técnica y conocimiento de la metodología, y se encargarán de realizar el seguimiento a la ejecución del programa y dar el soporte necesario en caso se requiera. Asimismo, es la parte encargada de comunicar el progreso del programa y los resultados a las guardias. Finalmente, el Equipo de Liderazgo del Departamento se encargará de dar el apoyo necesario en términos de habilitación de presupuesto, trámites administrativos, y alinear las metas del programa con los objetivos del negocio [14]. El objetivo de este enfoque es para que Materiales SRL tenga personal con experiencia que sea promotor de la ejecución del programa y se pueda tener un mejor seguimiento. La **Figura 4.3** representa el modelo general del método de intervención que se propone para el desarrollo del programa.

Un punto fundamental en esta metodología son las reuniones diarias de RTT. Tener un horario y una agenda establecida para llevar a cabo estas reuniones es la base para la gestión y la ejecución efectiva de cualquier programa de Mejora Continua. Estas

son sesiones diarias que tienen el objetivo de hacer seguimiento a los diferentes sistemas que hay en el área de producción para entregar los resultados esperados. Su herramienta principal es el Tablero de Actividad que permite monitorear los sistemas y sus variables para dar visibilidad del desempeño a todo el equipo. Asimismo, este tablero permite hacer un control sobre los planes de acción que se abren para solucionar problemas, y los temas principales que son tratados en la reunión son los siguientes: seguridad, calidad, producción, servicio y mantenimiento.

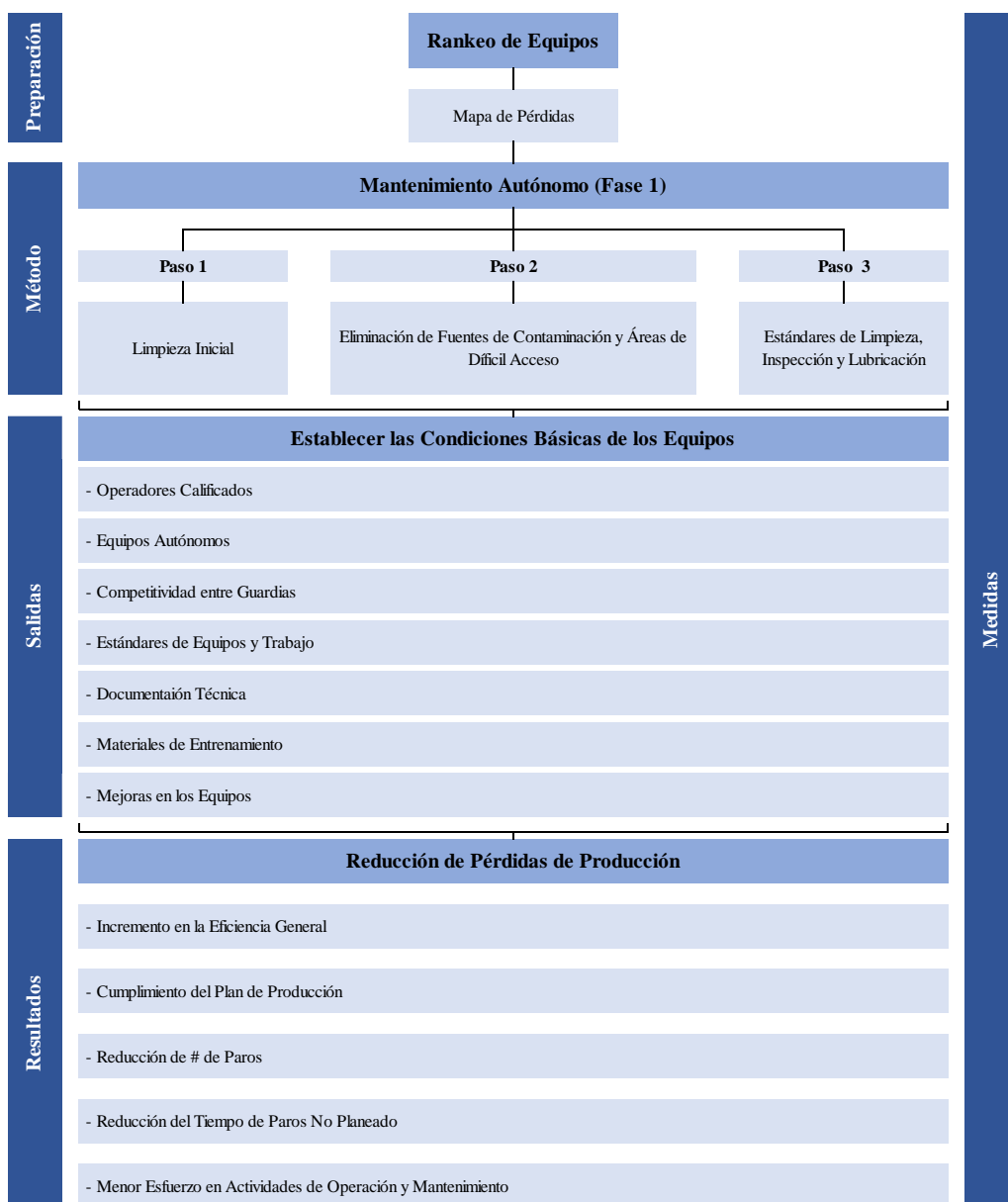


**Figura 4.2** Estructura jerárquica de los equipos de trabajo. Fuente: Elaboración propia.

## 4.4 Recolección de Datos

Debido a que la hipótesis principal de la investigación busca probar un incremento en la Eficiencia General, es de suma importancia tener un método de recolección de datos que permita registrar y consolidar la información relevante para el análisis. Por ejemplo, las siguientes variables a medir: unidades procesadas, tiempo programado de producción, tiempo y número de paros de la línea, velocidades de producción, formato de producto (SKU); son información valiosa para poder analizar la efectividad del programa que se desea implementar. Anteriormente, la operación de lavavajillas contaba con un sistema

de medición de datos automatizado. Este programa permitía la recolección de información de manera precisa y mostraba los resultados de producción en tiempo real. Hoy en día, la empresa ya no cuenta con esta tecnología por lo que la recolección de este tipo de información es de forma manual mediante una hoja de cálculo en Excel. Esta permite a los técnicos de las líneas de producción recabar la mayor cantidad de información posible con respecto a los paros en términos de tiempo y ocurrencia, al igual que medir otro tipo de variables relevantes.



**Figura 4.3** Modelo general del método de intervención. Fuente: Elaboración propia.

Para el diseño de esta plantilla se utilizó el enfoque FMEA (siglas en inglés de *Failure Mode and Effect Analysis*) Modificado mencionada en el libro *RCA: Improving Performance for Bottom Line Results*. En una pestaña se colocan los datos correspondientes de producción para determinar la Eficiencia General del periodo; luego, en otra pestaña, se delimita la línea de producción en diferentes subsistemas y se lista los modos de fallas para asignar los tiempos de indisponibilidad y los números de paros que le corresponden a cada uno. Esta segunda pestaña es utilizada para poder determinar en qué equipos de la línea de producción se encuentran las pérdidas. Robert Latino sugiere que para analizar el impacto que tienen las fallas en los sistemas productivos se debe modificar el proceso tradicional del FMEA y observar los datos históricos de los eventos, en comparación del método tradicional, que incluye la probabilidad de ocurrencia [48].

Es muy importante sincerar la información y tratar de que esta sea lo más precisa posible para poder enfocar los esfuerzos y recursos en los verdaderos problemas. Para ello, se debe entrenar a los operadores y sus supervisores en el llenado correcto de la plantilla, ya que ellos son los que están en el día a día con la información latente a su alrededor. Validar de vez en cuando uno mismo el llenado correcto y la asignación de las pérdidas en esta plantilla también es sustancial para corroborar que la información sea fidedigna.

## **4.5 Métodos de Análisis**

Partiendo del diseño de investigación, el análisis de los datos que se llevará a cabo se centrará más que nada en comparar estadísticamente la Eficiencia General en dos momentos específicos: la situación actual (antes del programa) y la futura (después del programa). Esta es una de las maneras de determinar si el programa básico de Mantenimiento Autónomo fue efectivo o no. Por el otro lado, también se llevará a cabo análisis estadístico descriptivo e inferencial de las variables de interés para encontrar tendencias y posibles relaciones significativas entre ellas. Todos estos resultados y hallazgos cuantitativos servirán como *inputs* para poder sacar conclusiones generalizables



al igual que definir políticas y recomendaciones para el uso de la empresa. Para el análisis de resultados se utilizarán principalmente tres softwares: MS Excel, RStudio y Minitab.

#### **4.5.1 Prueba para comparación de dos medias muestrales**

Se utilizará la prueba t de Student de dos muestras para comparar dos grupos independientes entre sí de manera significativa respecto a sus medias [53].

La investigación cuenta con cuatro variables dependientes que serán sometidas a este tipo de prueba para analizar si la diferencia entre ambas medias es significativa. Se busca comparar los resultados en las condiciones de trabajo antes y después del programa de Mantenimiento Autónomo. Las variables que serán puestas a prueba son: la Eficiencia General, el Plan Maestro de Producción, la Disponibilidad y el Rendimiento (para ciertos códigos de productos). Es sugerible que el tamaño de muestra para realizar la prueba estadística sea del mismo tamaño para ambos grupos. Una de las ventajas de esta herramienta es la robustez con respecto al tamaño de muestra utilizado, con 20 observaciones por lo menos se esperan muy buenos resultados. Sin embargo, si las distribuciones de los grupos son muy sesgadas o contienen valores atípicos es preferible usar muestras más grandes [49].

En el caso de que los datos a analizar no cumplan con la condición de normalidad o de homocedasticidad (varianza constante) se procederá a realizar las pruebas no paramétricas de Mann-Whitney-Wilcoxon y prueba t de Welch respectivamente [50].

#### **4.5.2 Pruebas para comparación de dos varianzas muestrales**

Se utilizará la prueba F de Fisher para comparar dos grupos entre sí de manera significativa con respecto a sus varianzas.

La investigación cuenta con dos variables dependientes que serán sometidas a esta prueba para analizar si las varianzas son iguales o diferente antes y después del programa de Mantenimiento Autónomo. Este tipo de prueba nos permitirá comprender si el programa ha sido efectivo en dar una mayor estabilidad a la variable de interés. Las

variables que serán puestas a prueba son: la Eficiencia General y el Plan Maestro de Producción.

En el caso de que los datos a analizar no cumplan con las condiciones de normalidad, se procederá a realizar la prueba de Levene que es menos sensible a las desviaciones de normalidad en los datos. Como otra alternativa, se puede realizar la prueba no paramétrica de Fligner-Killeen Test que es más robusta a este sesgo [51].

### **4.5.3 ANOVA de un solo factor**

Se utilizará esta herramienta para determinar el efecto que tiene un factor sobre la media de una variable continua. Esta es la técnica más comúnmente utilizada para comparar las medias de dos o más grupos de datos. Se utiliza generalmente cuando se tiene una variable categórica y una continua para poder hacer las comparaciones entre grupos [52].

La investigación cuenta con tres variables categóricas independientes que podrán ser utilizadas para formar grupos de datos en combinación con la Eficiencia General. Estas variables categóricas son las siguientes: los turnos de producción, los códigos de productos y las guardias. El análisis de varianza se separará en dos partes: antes y después de la intervención, con la intención de observar si el programa ha tenido impacto en los diferentes grupos. Es importante mencionar que, debido a la limitación de análisis en el corto plazo, el tamaño de muestra se verá reducido al dividirlo en las diferentes categorías en el análisis de varianzas, por lo que solo se realizará esta prueba con las variables categóricas que descriptivamente muestren una diferencia.

### **4.5.4 Análisis Descriptivo de Fallas**

Se realizará un diagnóstico descriptivo de las variables de interés, al igual que de las fallas crónicas de la línea de producción. El propósito de este estudio es poder categorizar cuáles son las fallas más críticas en términos de tiempo y frecuencia para generar conclusiones y planes de acción sobre ellos.

## 4.6 Limitaciones

Para la realización de la presente Tesis se han presentado algunas restricciones coyunturales que han limitado el alcance del proyecto. Es importante mencionar cuáles son estas limitaciones y qué impacto han generado en el desarrollo del estudio. A continuación, se muestran las tres limitaciones más importantes que la pandemia del Covid-19 impuso durante la implementación:

### 1. Análisis en el Corto Plazo:

El diagnóstico inicial para definir la línea base en términos de eficiencia productiva no se puede realizar con datos históricos, ya que las condiciones de operación en el pasado son completamente diferentes a las condiciones de operación durante el estado de emergencia. Políticas de segregación y de distanciamiento social dentro del área productiva, y de la empresa en general, obligó a que el análisis sea de la presente Tesis sea en el corto plazo. Esto implica que los tamaños de muestra para realizar las pruebas estadísticas serán reducidos y el análisis comparativo descriptivo tomará un rol fundamental en el análisis de resultados. La operación en marzo y abril del 2020 fue atípica por los constantes problemas que el virus trajo consigo, e incluir los resultados de dichos meses en el análisis sería un sesgo para determinar la situación actual de la línea de producción. Para realizar el análisis del escenario antes de la implementación del programa de Mantenimiento Autónomo se utilizarán los datos de mayo del 2020, ya que fue un mes en donde los impactos por el Covid-19 se redujeron y la producción se estabilizó.

### 2. Restricción de Capacidad:

Los mandatos que el Gobierno Peruano decretó con respecto al aislamiento social obligatorio exigieron que la estructura de personal y los horarios de producción varíen. Las disponibilidades de las líneas de producción se vieron afectadas por los protocolos y

las políticas locales y propias de la empresa. Los paros planeados incrementaron para poder desinfectar las líneas en los cambios de turnos, e inclusive los paros no planeados también, debido a despliegues organizacionales y actividades para salvaguardar la seguridad de los empleados. Todos estos cambios redujeron la capacidad de producción, que finalmente impactaron a la Eficiencia General. Por otra parte, debido al incremento de la demanda y la falta de capacidad productiva, desde el inicio de la pandemia se activaron turnos adicionales (horas extras) para poder llegar a los volúmenes de producción y poder satisfacer los requerimientos del mercado. Esta activación trajo un impacto significativo en los costos de producción que se debió al incremento en la facturación del 3PL y los costos de sobre tiempo por parte de Materiales SRL.

### **3. Limitación de Recursos:**

Debido a la coyuntura, las necesidades del negocio, las prioridades de los empleados y el presupuesto operativo cambiaron. La disponibilidad de recursos para efectuar el programa de Mantenimiento Autónomo se vio reducida a un pequeño grupo de personas y poco tiempo para llevar a cabo las actividades. Asimismo, el personal contratista para la solución de defectos y mantenimientos correctivos se vio limitado debido a las restricciones de circulación decretadas por el Gobierno Nacional. Es por esta razón que el alcance de la Tesis se ha delimitado a solamente los sistemas críticos o que representan la mayor cantidad de pérdidas de producción para la operación de lavavajillas, además de haber seleccionado, simplificado y adaptado las actividades más importantes de cada uno de los tres pasos del programa general de Mantenimiento Autónomo.

## CAPÍTULO 5: RESULTADOS

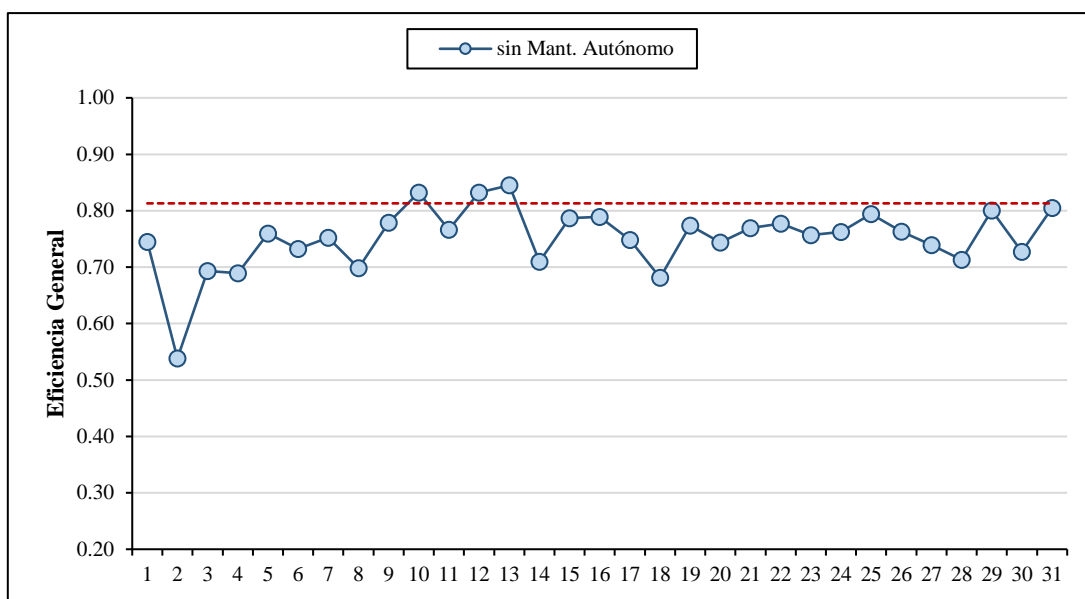
Este capítulo consiste en mostrar los resultados obtenidos tras haber implementado el programa básico de Mantenimiento Autónomo, al igual que explicar y dejar como evidencia lo realizado durante cada paso de la metodología. Por otra parte, se busca también mostrar los resultados y el análisis de las pruebas estadísticas mencionadas anteriormente para validar la efectividad del programa. La estructura del capítulo es la siguiente: (1) diagnóstico inicial de L2 en términos de efectividad de producción para definir la línea base con la cual comparar los resultados luego de la implementación; (2) detalle y evidencias de la ejecución de los pasos del programa para mostrar los procesos que se llevaron a cabo durante la implementación; (3) análisis descriptivo y resultados de las pruebas estadísticas para validar la efectividad del programa; y finalmente, (4) diagnóstico final de L2 para realizar la comparación con la línea base y observar si hubo reducción de las pérdidas que habían antes del programa.

### 5.1 Diagnóstico Inicial

Antes de empezar, es muy importante mencionar que el análisis de la efectividad del programa de Mantenimiento Autónomo será en el corto plazo debido a las limitaciones señaladas en el capítulo 3. Como se mencionó anteriormente, no es válido realizar comparaciones de un antes y un después cuando las condiciones de operación han cambiado totalmente. Partiendo de esta premisa, para realizar el diagnóstico inicial de L2 se tomó como base los resultados solamente de mayo del 2020. Este periodo se seleccionó debido a que fue un mes más estable que los anteriores (marzo y abril) en donde se observó menos impactos en términos de Eficiencia General y cumplimiento con el Plan Maestro de Producción por factores externos dados por la coyuntura.

La Eficiencia General diaria para L2 en el mes de mayo resultó en un promedio de 75.0% con una desviación de 5.8%. Estos resultados demuestran la gran brecha que hay en esta variable con su objetivo de negocio que es 85%, y también su inestabilidad teniendo una alta dispersión entre días. La **Figura 5.1** muestra el comportamiento de esta variable y los días críticos en donde la medida se vio golpeada en gran proporción.

Muchos de estos impactos se deben a factores externos tales como: falta de suministro de materiales, fallas en el proceso de elaboración de pasta, pruebas y validaciones de nuevos materiales de empaque, cambios de último minuto en el plan de producción, entre otros. Todas estas pérdidas impactan en gran medida a la Eficiencia General, por lo que más adelante antes de realizar las pruebas estadísticas se procederá a hacer una limpieza de datos que permita eliminar este sesgo y centrar el análisis a las pérdidas crónicas de L2.



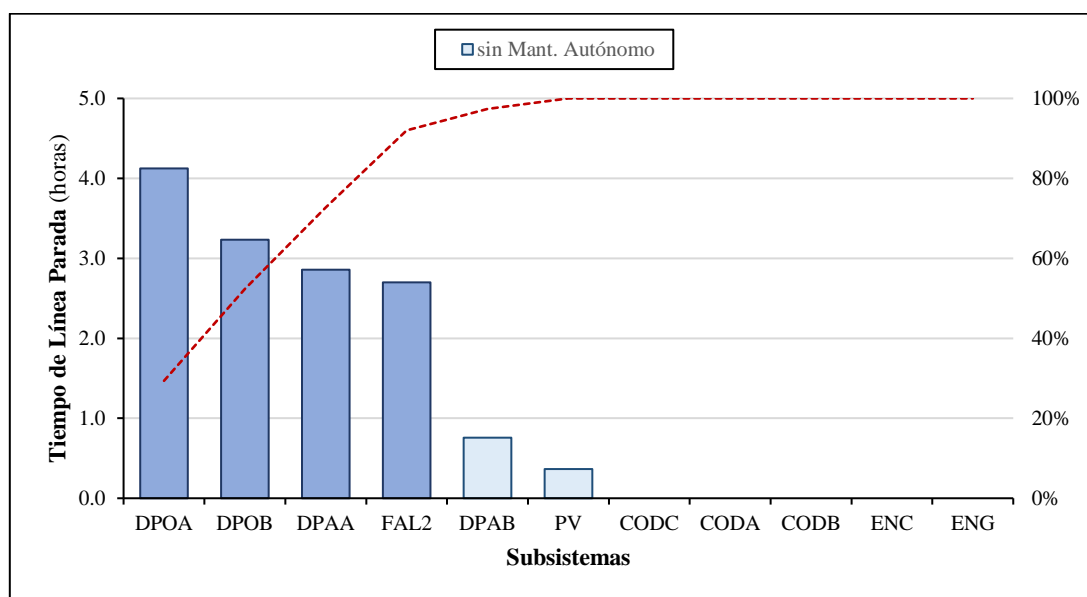
**Figura 5.1** Resultados de Eficiencia General diaria de mayo del 2020 en L2. Fuente: Elaboración propia.

En Materiales SRL no se mide el resultado de Eficiencia General como un promedio, sino más bien, se mide el resultado acumulado durante un periodo determinado de tiempo. En la **Tabla 5.1** se muestran los resultados acumulados obtenidos durante el mes de mayo para las principales variables de interés de la Tesis. Se puede observar de la tabla que la Eficiencia General es 74.8% y la cantidad de paros en L2 es excesivamente alto, equivalente a 16 paros por día en promedio. El cumplimiento del MPS está por encima del objetivo de 90% lo cual es un buen indicador; sin embargo, al analizar las variaciones diarias de esta medida nos podemos dar cuenta que es inestable en el tiempo teniendo una desviación de 6.3% y un rango de dispersión de 30% (anexo 1).

Medida	Resultado
	Mayo
EG	74.8%
D	76.4%
R	98.0%
MPS	95.7%
Paros	498

**Tabla 5.1** Resultados acumulados de producción de mayo del 2020 en L2. Fuente: Elaboración propia.

Para entender las pérdidas crónicas de L2, se realizó un diagrama de Pareto por tiempos de línea parada en horas que se muestra en la **Figura 5.2**. Este diagrama expone los diferentes sistemas/equipos que se maneja en L2 y lo categoriza de acuerdo con el impacto que estos han generado en términos de pérdida de disponibilidad por eventos no planeados. Se puede observar que ambos sistemas dosificadores de potes A y B, y el sistema dosificador de pasta A son los que mayor impacto han tenido en la Eficiencia General, representando aproximadamente el 72% de la pérdida total en L2 (10.2 horas de producción perdida). Asimismo, el sistema de fajas también es una pérdida grande (2.7 horas de producción perdida) que está casi igualando al impacto que el dosificador de pasta A genera.



**Figura 5.2** Pareto por tiempo de línea parada de mayo del 2020 en L2. Fuente: Elaboración propia.

Una vez conocidos cuáles son los sistemas/equipos que más impactan en la Eficiencia General, se realizó un Pareto 2do nivel en el que se analizó los modos de fallas más críticos en cada sistema. La **Tabla 5.2** muestra seis modos de fallas que conjuntamente representan el 95% (13.4 horas de producción perdida) de la pérdida de disponibilidad total por eventos no planeados sucedidos en la línea de producción.

<b>Sistema</b>	<b>Modo de Falla</b>	<b>Tiempo de Línea Parada (Horas)</b>	<b>Frecuencia (# de Paros)</b>	<b>Proporción del Total</b>
Dosificador de Potes	Regulación de Rodillo Sinfín	5.0	138	36%
Dosificador de Potes	Atoro de Pote en Rodillos	2.4	141	17%
Fajas	Derrame de Pasta en Fajas	2.3	39	16%
Dosificador de Pasta	Falla de Pistón Retenedor	1.5	47	10%
Dosificador de Potes	Derrame por Pote Volteado	1.3	56	10%
Dosificador de Pasta	Atoros por Empaques Gastados	0.9	5	6%
<b>Total</b>		<b>13.4</b>	<b>426</b>	<b>95%</b>

**Tabla 5.2** – Modos de fallas críticos de mayo del 2020 en L2. Fuente: Elaboración propia.

*\*Nota: para analizar los modos de fallas se juntaron los sistemas de cada lado (A y B) en uno solo con el fin de entender el impacto general que el modo de falla representa.*

## **5.2 Programa Básico de Mantenimiento Autónomo**

En esta parte se describirá las actividades realizadas dentro del programa de Mantenimiento Autónomo y los resultados obtenidos como entregables.

### **Paso 0: Implementación de Tablero de Operaciones (RTT):**

Como un paso previo a la implementación del programa básico de Mantenimiento Autónomo se diseñó e implementó un tablero de operaciones con el propósito de que



diariamente se actualice y el equipo de liderazgo de la operación mediante reuniones diarias con los supervisores 3PL, pueda hacer seguimiento a los resultados y medidas de proceso. Definir planes de acción, dar soporte a la operación con sus requerimientos y solucionar los problemas del día a día como equipo son algunos de los objetivos de las reuniones diarias. Este tablero se diseñó en el mes de febrero y se implementó en marzo del 2020 en el taller de Mantenimiento. Sin embargo, debido a la pandemia, desde la segunda mitad de marzo hasta fines de mayo, las reuniones diarias RTT se cancelaron. A partir del mes junio se empezó a dar uso de este tablero (**Figura 5.3**) y las reuniones diarias se activaron nuevamente dando como inicio al programa básico de Mantenimiento Autónomo. Algunas de las secciones más importantes del tablero RTT se pueden ver en el anexo 3.



**Figura 5.3** Reunión diaria haciendo uso del tablero RTT en junio. Fuente: Elaboración propia.

### **Paso 1: Levantamiento y Solución de Defectos:**

Como primer paso del programa, y yendo de acuerdo con la metodología de Mantenimiento Autónomo (Paso 1: Limpieza Inicial), se definió realizar un levantamiento de defectos en el área de Envase enfocado en L2. De este taller práctico se obtuvo una lista de 81 defectos en total, de los cuales 9 (11%) resultaron ser defectos críticos con prioridad A; 54 (67%), defectos con prioridad B; y 18 (22%), defectos con prioridad C. La descripción de los defectos de prioridad A y el impacto que tiene cada uno en los factores se muestra en la **Tabla 5.3** a continuación.

ID	Equipo	Componente	Descripción	P	Eficiencia General		
					D	R	C
HC-0001	Dosificador de Pasta 2A	Manguera	Manguera se encuentra rasgada.	A	X		
HC-0010	Dosificador de Pasta 2B	Componentes Eléctricos	No hay sensor de pote volteado.	A	X	X	
HC-0041	Engomadora	Sistema Neumático	Fuga de aire de la válvula engomadora.	A	X		
HC-0054	Dosificador de Pasta 2A	Válvula de 3 Vías	Base de válvula con arandela.	A	X		
HC-0055	Dosificador de Pasta 2A	Válvula de 3 Vías	Base de pistón de válvula con arandela.	A	X		
HC-0056	Dosificador de Pasta 2A	Válvula de 3 Vías	Desgaste en acople-eje en válvula de 3 vías.	A	X		X
HC-0057	Dosificador de Pasta 2A	Componentes Eléctricos	No hay sensor de pote volteado.	A	X	X	
HC-0096	Dosificador de Pasta 2A	Retenedor de Potes	Pistón tiene fuga de aire.	A		X	
HC-0097	Faja Encajonado	-	Desnivel de la base metálica en la unión entre fajas de encajonado.	A	X		


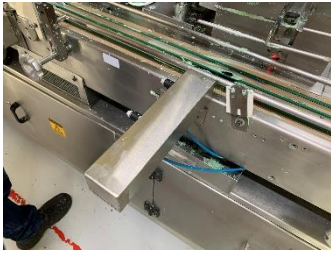


**Tabla 5.3** Descripción de defectos con prioridad A e impacto en factores de Eficiencia General.

Fuente: Elaboración propia.

En este tipo de actividades es muy importante la priorización. La cantidad de defectos que uno puede encontrar en una línea de producción es muy grande, por lo que

es clave categorizarlos de acuerdo con un criterio para enfocar los recursos y esfuerzos. Esta actividad no es de una sola vez; más bien se debe repetir cada cierto tiempo (por no decir todos los días) para que la lista de defectos reportados vaya aumentando y a la par la solución de estos. Para ello se creó un sistema que permita reportar defectos y hacerles seguimiento mediante un formato en Excel (anexo 4 y 5). La **Tabla 5.4** muestra las imágenes de algunos de los defectos críticos antes y después de su solución.

Defecto	Antes	Después
Manguera se encuentra rasgada		
Desnivel de la base metálica en la unión entre fajas de encajonado		

<p>Pistón tiene fuga de aire y no cuenta con guarda de seguridad</p>		
<p>No hay sensor de pote volteado</p>		

**Tabla 5.4** Defectos críticos antes y después de su solución. Fuente: Elaboración propia.

**Paso 2: Estándares de Limpieza, Inspección y Operación:**

Como segundo paso del programa, y yendo de acuerdo con la metodología de Mantenimiento Autónomo (Paso 2: Eliminación de Fuentes de Contaminación), se tomó la decisión de planear paros programados semanales para las limpiezas de los equipos críticos que dan continuidad a la producción. A este tipo de paros se le llama RLS (siglas en inglés de *Run Line to Standard*) y consiste en un paro de 30-60 minutos aproximadamente en donde el personal de la línea se encarga de limpiar los equipos y eliminar la contaminación acumulada natural del proceso de producción. Asimismo, es un paro que debe aprovecharse para realizar los cambios de componentes necesarios que permitan que la producción continúe sin problemas. Para realizar un RLS efectivo, se diseñó un estándar de limpieza que detalla las actividades de ejecución, las personas responsables, las herramientas necesarias y los tiempos objetivos para cada una de las tareas. El estándar RLS se puede visualizar en el anexo 6 y la **Figura 5.4** muestra el cronograma de RLS para L2. Como se puede observar, la limpieza se realiza dos veces



por semana, los martes y viernes, justo después del cambio de guardia con la intención de aprovechar los cambios de código en caso el plan de producción lo indique. Este paro programado tiene un impacto en la Disponibilidad; sin embargo, es sumamente necesario para evitar las pérdidas de producción por eventos no planeados y fallas de equipos ocasionadas por contaminación acumulada y obstrucción de tuberías. Por otra parte, es un paro que promueve el mantener limpio los equipos de la línea y empieza a crear una cultura en el personal de sentirse dueños de sus equipos.

Turno	Hora	L	M	M	J	V	S	D		
1	07:00	PROD	RLS	PROD	PROD	RLS	PROD	PROD		
	08:00		PROD			PROD			PROD	PROD
	09:00									
	10:00									
	11:00									
	12:00	ALM	ALM	ALM	ALM	ALM	ALM			
	13:00	PROD	PROD	PROD	PROD	PROD	PROD	PROD		
	14:00									
	15:00									
	16:00									
	17:00									
18:00										



  

Leyenda:					
RLS	Limpieza	PROD	Producción		
ALM	Almuerzo				Línea Parada
					Línea Corriendo

Figura 5.4 Cronograma semanal de limpieza (RLS) para L2. Fuente: Elaboración propia.

Equipo	Antes	Después
FRL		



<p>Mangueras Neumáticas (1)</p>		
<p>Mangueras Neumáticas (2)</p>		
<p>Tanque Buffer</p>		

**Tabla 5.5** Equipos antes y después de las limpiezas y solución de defectos. Fuente: Elaboración propia.

Durante la ejecución del Paso 2, en los meses de junio y julio, se realizaron varias pruebas/validaciones relacionadas a proyectos de ahorro teniendo un impacto en la Disponibilidad de L2. No obstante, se supo aprovechar los tiempos muertos y se realizó

la limpieza de las tuberías de transferencia y recirculación, y el interior del Tanque Buffer. Asimismo, se cambiaron todas las mangueras del sistema neumático ya que la mayoría se encontraban muy deterioradas, y se le hizo un mantenimiento rápido al FRL que consistió en limpiarlo, cambiarle el aceite e inspeccionar sus partes. Estas actividades de limpieza y solución de defectos se pueden evidenciar en la *Tabla 5.5* líneas arriba.

Por último, se analizó qué parámetros de operación podrían definirse como CL y la presión de llenado del sistema dosificador de pasta resultó en ser uno de ellos. Durante el proceso existió mucha dificultad en la determinación de estos rangos de operación, ya que la variabilidad en la consistencia del producto entre lotes de producción de Proceso es muy alta\*. A veces se transfieren lotes muy viscosos que, para poder dosificar el producto, se debe incrementar la presión. En el caso contrario, en donde los lotes son menos viscosos, se debe disminuir la presión porque empieza a haber salpicadura y se contaminan los equipos y el producto terminado. A pesar de ello, mediante la observación directa, entrevistas con el personal a cargo de operar las llenadoras, y el conocimiento técnico y la experiencia del equipo Autónomo se logró definir un rango de operación aceptable para cada código de producto que se puede visualizar en la **Tabla 5.6**.

SKU	Centerline (en PSI)		
	LS	Objetivo	LI
170G	11.0	12.5	14.0
300G	11.0	12.5	14.0
520G	12.0	13.5	15.0
800G	13.0	14.5	16.0
900G	13.0	14.5	16.0
1000G	13.0	14.5	16.0

**Tabla 5.6** – Centerline de presiones de llenado para cada código de producto. Fuente: Elaboración propia.

*\*Nota: estudiar la relación entre la densidad de la pasta y el efecto que esta tiene sobre la presión de llenado está fuera del alcance esta Tesis.*

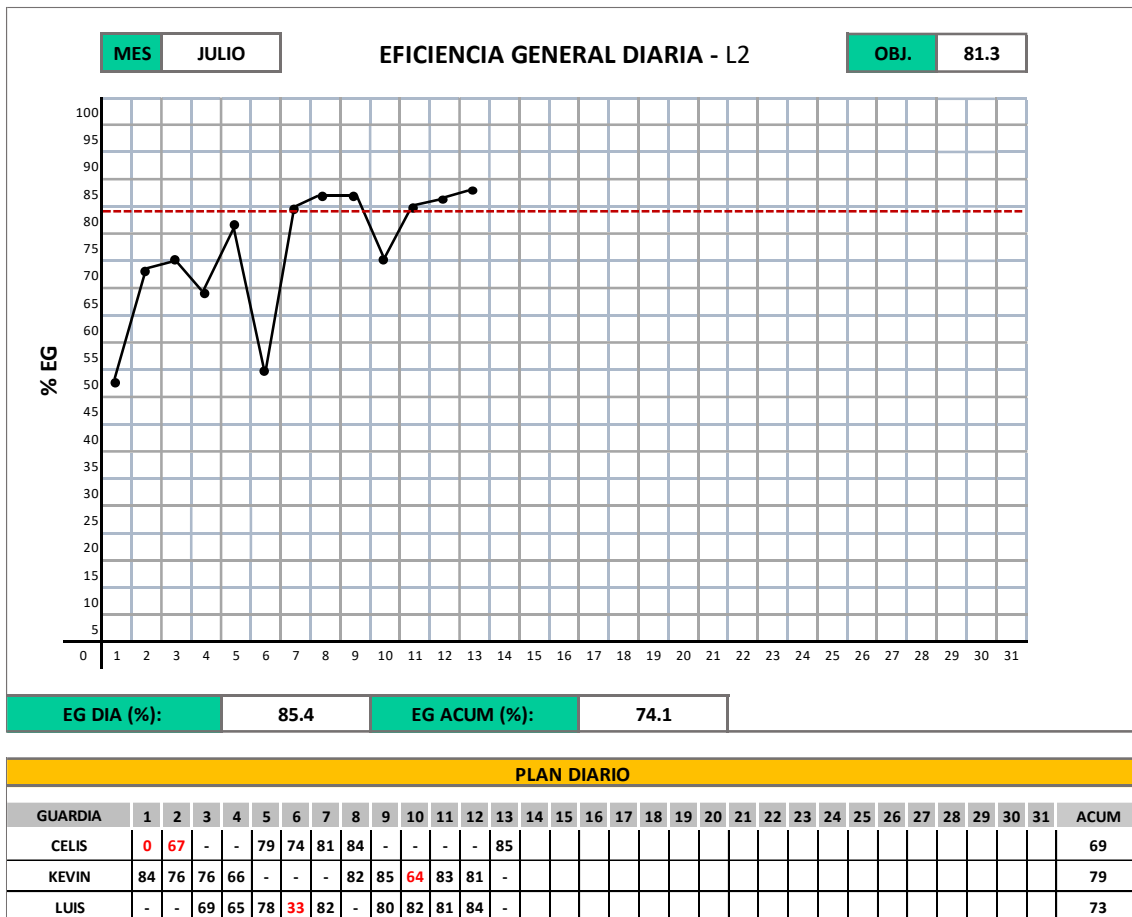
### **Paso 3: Cultura Enfocada en Resultados:**

Como tercer paso del programa, y yendo de acuerdo con la metodología de Mantenimiento Autónomo (Paso 3: Estándares de Limpieza, Inspección y Lubricación), se diseñó un estándar CIL tentativo para mantener en condiciones básicas los tres sistemas más críticos: (1) Dosificador de Pasta, (2) Dosificador de Potes y (3) Transporte de Potes. Este consiste en un cronograma que contiene diferentes puntos de limpieza, inspección y lubricación de los equipos que conforman dichos sistemas. En él se detalla cómo deben lucir los equipos en términos de limpieza, tornillería, controles visuales y otros aspectos que proporcionen la funcionalidad y condición básica del equipo. El estándar lo desarrolló el equipo Autónomo tomando en consideración los comentarios y observaciones de los tres Encargados de Línea. Lamentablemente, el estándar CIL no se pudo implementar dado la falta de tiempo y recursos para ejecutar las actividades en sus tiempos y frecuencias definidas. El incremento de la demanda y las limitaciones de capacidad y recursos por el Covid-19 impidieron al personal ejecutar dichas tareas durante las corridas de producción. Se comprobó que es un requisito fundamental para el éxito del programa en el Paso 3 que la gerencia proporcione los recursos y el tiempo necesario al personal para el cumplimiento del estándar CIL. Esta limitante hizo aprovechar los tiempos muertos durante las paradas programadas para limpiar, inspeccionar y lubricar los equipos defectuosos que se registraron en la lista de defectos o fueron mencionados en la reunión de RTT como prioridad. El estándar CIL para estos tres sistemas del Lado A se puede observar en el anexo 7, 8 y 9.

Por otra parte, durante este proceso se diseñó un tablero de resultados con el fin de dar visibilidad del desempeño, tanto acumulado como diario, que ha tenido cada una de las guardias durante sus turnos de producción. El objetivo de este tablero es forjar una cultura comprometida con los resultados y crear un sentido de competencia entre las guardias para alcanzar los resultados esperados por el negocio. En conjunto con el equipo de liderazgo de la empresa 3PL y el equipo Autónomo se definieron cuatro pilares de los cuales se escogerían algunas medidas importantes que estarían incluidas en el tablero. Estos cuatro pilares son: (1) Producción, (2) Calidad, (3) Entrega y (4) Seguridad. Dentro del pilar de Producción la variable principal es la Eficiencia General; mientras que, en el pilar de Entrega, el volumen de producción medido en MSUs (siglas en inglés de *Measure Statistic Unit*). Esta iniciativa no se pudo implementar físicamente en Envase como se

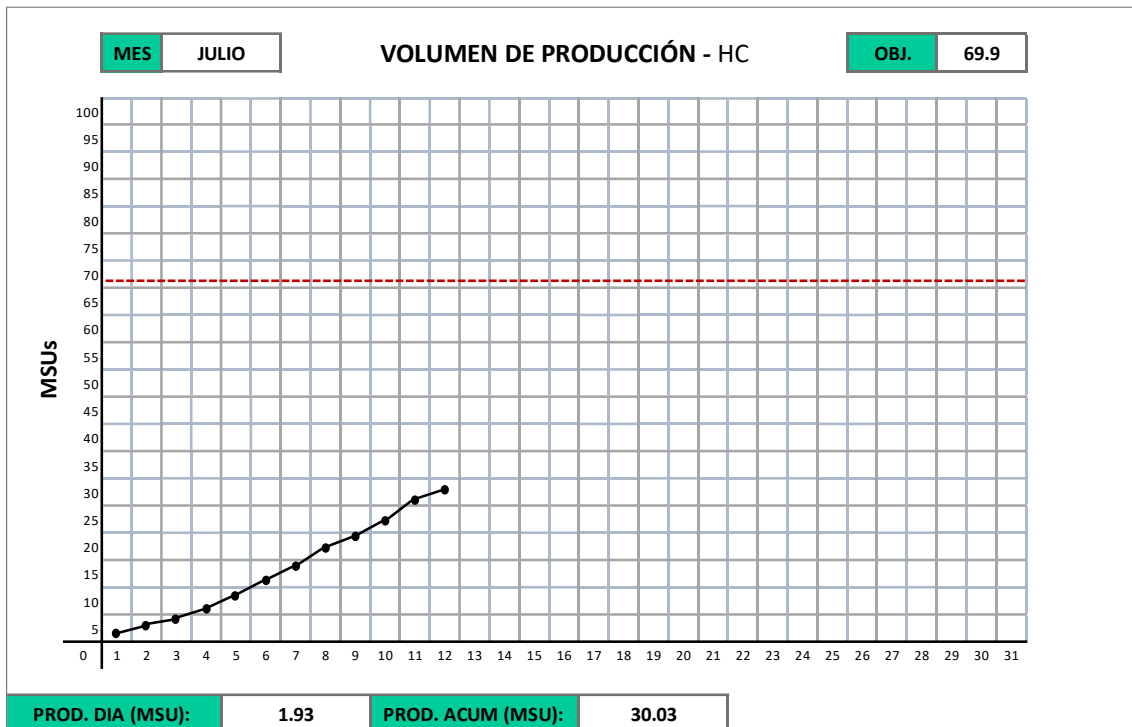


hubiese querido por limitaciones de tiempo; sin embargo, se empezó a manejar de manera interna a través de las reuniones de RTT. La **Figura 5.5** y **Figura 5.6** muestran dos ejemplos del seguimiento del desempeño que obtuvo la operación hasta el 13 de julio del 2020 en términos de Eficiencia General y volumen de producción mediante los tableros que se elaboraron como parte del Paso 3. La propuesta inicial en la metodología era que estos tableros sean colocados en la misma área operativa y cada operador pueda estar al tanto del desempeño que obtuvo su equipo en los turnos de producción anteriores. Según Rensis Likert, se deben establecer metas y una dirección participativa que permita al empleado tener una motivación por la cual perseverar y estimule su confianza [55].



**Figura 5.5** Tablero de resultados de Eficiencia General diaria en Envase. Fuente: Elaboración propia.

*\*Nota: los resultados mostrados en el tablero están considerando las pérdidas de eficiencia programadas debido a las iniciativas de ahorro. Los valores en rojo representan los resultados de los días que se dieron dichas validaciones.*



**Figura 5.6** Tablero de resultados de Volumen de Producción diario en Envase.

Fuente: Elaboración propia.

*\*Nota: un MSU es equivalente a 24,000 Kg de pasta de lavavajillas. Es una unidad equivalente para medir de manera agregada la producción.*

Para consolidar el vínculo y compromiso del personal operador con el negocio se creó un grupo de trabajo virtual en el cual se mantenía la comunicación constante entre el equipo Autónomo y los líderes de cada guardia (Encargado y Soporte de Línea) con el propósito de comprometer a todos con la solución de los problemas en la operación y mantener al tanto de los resultados al equipo completo. En este chat generalmente se realizaban anuncios acerca de los inconvenientes del turno en términos de fallas de equipo y proceso; necesidad de mantenimientos correctivos y planeados; alertas de calidad e incidentes de seguridad; cambios en el plan de producción y entre otros puntos más. La creación de este medio de comunicación fue un punto fundamental durante la ejecución del Paso 3 del programa, ya que facilitó la colaboración y el trabajo en equipo entre ambas empresas.

## 5.3 Pruebas Estadísticas

Como punto de partida para el análisis estadístico de los resultados, se debe mencionar que la unidad muestral es un periodo de producción de 12 horas en el que se haya corrido solamente un código de producto (misma orden de producción). Esto con el fin de tener valores comparables entre sí, ya que no es lo mismo medir la Eficiencia General u otra variable en un periodo de 4 horas que uno de 12 debido a la proporción en los impactos.

### 5.3.1 Limpieza de Datos

La recolección de los datos se realizó desde el 1 de mayo hasta el 8 de julio y se llegó a obtener un tamaño de muestra de 152 observaciones ( $n = 152$ ). En ella había varias observaciones que tenían un tiempo programado de producción diferentes a 12 horas, razón por la cual se filtraron los datos a solamente aquellos turnos que sí fueron programados para producir esa cantidad de horas. Una vez filtrada la muestra, esta se redujo a 95 observaciones ( $n = 95$ ). Por último, es importante mencionar, que tanto antes de la intervención como después, se observaron caídas en la Eficiencia General debido a factores externos que están fuera del alcance de la presente Tesis. La **Tabla 5.7** muestra un resumen de las causas de estos eventos y las pérdidas de eficiencia relacionadas. Estos eventos también fueron retirados del análisis para evitar sesgos en los resultados, reduciendo el tamaño de muestra a 78 observaciones ( $n = 78$ ).

MA	Fecha	Descripción del Evento	Pérdida (en horas)	Eficiencia General		
				D	R	C
No	14-May	Dificultades en el reinicio de las operaciones luego del cierre y desinfección inmediata de la operación de lavavajillas tras haber detectado un posible contagio entre los empleados.	2.8	X		
No	18-May	Recirculación y purga de producto por el sistema de transferencia debido a producto fuera de especificación. La viscosidad de la pasta impidió que esta pueda ser bombeada hacia las llenadoras.	3.0	X		X

No	22-May	Debido a la falta de abastecimiento de los proveedores de material de empaque se tuvo que iniciar una validación urgente con materiales de otros proveedores para evitar romper stock.	1.5	X		
No	04-Jun	Falla de la válvula de 3 vías debido a un mal maquinado del acople del eje luego del paro de mantenimiento planeado. Se tuvo que colocar una arandela momentánea para ajustar y seguir la producción.	3.9	X		
Sí	08-Jun	Falta de suministro de agua para la elaboración de la pasta. Se vació el tanque y la bomba subterránea estaba inoperativa. Se tuvo que activar camiones cisterna durante un periodo de 3 semanas.	6.8	X		
Sí	15-Jun	Constantes atoros en la bomba de transferencia de pasta en Proceso (etapa anterior). Esto obligó a L2 a tener que trabajar a una velocidad menor al objetivo por un periodo prolongado de tiempo.	0.9		X	
Sí	19-Jun	Falla eléctrica en la Faja Modular de L2. Se contactó al planeador de mantenimiento y en conjunto con el supervisor técnico del 3PL se verificaron las conexiones eléctricas del PLC.	3.7	X		
Sí	24-Jun	Constante contaminación de los equipos y riesgo de producto con bajo peso debido al ingreso de aire en los vasos de llenado (soplado). Problemas en la calidad del aire del sistema neumático.	1.3		X	X
Sí	26-Jun	Falta de suministro de agua para la elaboración de la pasta. Se vació el tanque antes del tiempo previsto y el camión cisterna todavía no había llegado a la planta para el abastecimiento de agua.	2.3	X		
Sí	02-Jul	Parada programada debido a una iniciativa de ahorro. Se realizaron varias pruebas para validar la reducción de las dimensiones del material de empaque (corrugados) en los diferentes códigos.	2.5	X		
Sí	03-Jul	Alerta de calidad por materiales extraños en los potes, se demoró el arranque del turno porque se procedió a limpiar los ventiladores. También hubo un despliegue organizacional que paró la producción.	1.0	X		X
Sí	04-Jul	Constante contaminación de los equipos y riesgo de producto con bajo peso debido al ingreso de aire en los vasos de llenado (soplado). Se procedió a limpiar las tuberías de transferencia.	2.8	X	X	X

**Tabla 5.7** Impactos en la Eficiencia General en el periodo de análisis de la Tesis. Fuente: Elaboración propia.

### 5.3.2 Análisis de Eficiencia General

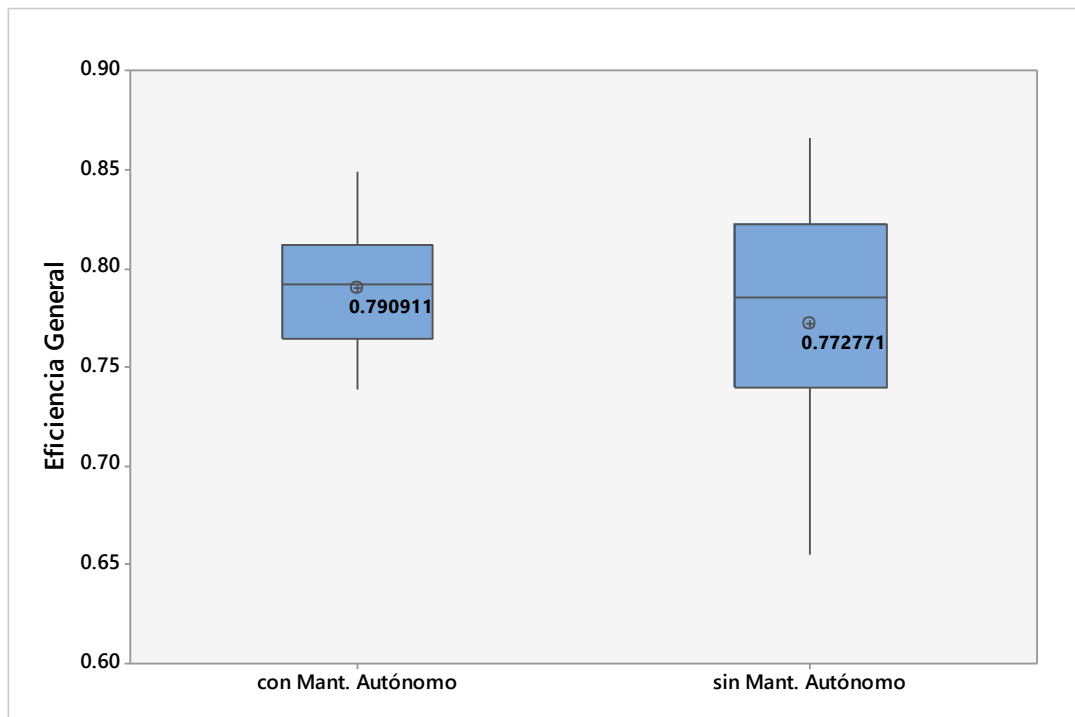
Para analizar el impacto del programa de Mantenimiento Autónomo en la Eficiencia General se graficó un diagrama de cajas para comparar las medias y dispersiones de las muestras obtenidas antes y después de la intervención ( $n_1 = 39$  y  $n_2 = 39$ ). De la **Figura 5.7** se puede concluir que descriptivamente sí hubo un impacto positivo en la Eficiencia General en términos de medias y varianzas. La Eficiencia General incrementó en 1.8% y la variabilidad se redujo en 3.1% en promedio aproximadamente. Sin embargo, para corroborar estos resultados estadísticamente se procedió a realizar dos

pruebas: (1) comparación de medias de dos muestras independientes y (2) comparación de varianzas de dos muestras independientes. Para ello, primero se llevó a cabo la prueba de Shapiro-Wilk para verificar la normalidad de los datos. Ambas muestras siguen una distribución normal y los resultados se pueden visualizar en el anexo 10 y 12. Al cumplirse este supuesto, se procedió a realizar una prueba F de Fisher para comparar las varianzas antes y después del programa planteándose las siguientes hipótesis:

$$H_0: \sigma_{EG \text{ con } MA}^2 = \sigma_{EG \text{ sin } MA}^2$$

$$H_1: \sigma_{EG \text{ con } MA}^2 \neq \sigma_{EG \text{ sin } MA}^2$$

Se realizó la prueba para un nivel de confianza de 95% ( $\alpha = 5\%$ ) y el p-valor resultó ser 0.00001 (**Tabla 5.8**). Este resultado indica que hay suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula y concluir que efectivamente luego de la implementación del programa la Eficiencia General disminuyó su variación.



**Figura 5.7** Diagrama de cajas de Eficiencia General antes y después de la intervención. Fuente: Elaboración propia.

Dado que el supuesto de igualdad de varianzas no se cumplió, se procedió a realizar una prueba de Welch para comparar las medias antes y después del programa planteándose las siguientes hipótesis:

$$H_0: \overline{EG}_{con MA} \leq \overline{EG}_{sin MA}$$

$$H_1: \overline{EG}_{con MA} > \overline{EG}_{sin MA}$$

Se realizó la prueba para un nivel de confianza de 95% ( $\alpha = 5\%$ ) y el p-valor resultó ser 0.03993 (**Tabla 5.9**). Este resultado indica que hay suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula y concluir que efectivamente luego de la implementación del programa la media de la Eficiencia General incrementó.

Prueba F de Fisher ( $\alpha = 0.05$ )						
Grupo	Varianza	G. de Libertad	F	P-Valor	Intervalo de Confianza	
					Lim. Inferior	Lim. Superior
sin Mant. Autónomo	0.0033	38	0.2182	0.0000	0.1144	0.4162
con Mant. Autónomo	0.0007	38				

**Tabla 5.8** Resultado de Prueba F de Fisher para la Eficiencia General. Fuente: Elaboración propia.

Prueba t de Welch ( $\alpha = 0.05$ )						
Grupo	Media	G. de Libertad	t	P-Valor	Intervalo de Confianza	
					Lim. Inferior	Lim. Superior
sin Mant. Autónomo	0.7728	53.832	1.7852	0.0399	0.0011	+ Inf
con Mant. Autónomo	0.7909					

**Tabla 5.9** Resultado de Prueba de Welch para la Eficiencia General. Fuente: Elaboración propia.

Por último, dado el reducido tamaño muestral y la alta variación en los datos se quiso saber cuántas observaciones serían necesarias para poder detectar una diferencia de 1% al comparar ambas medias. Para ello, se realizó un análisis de poder estadístico con un nivel de confianza y poder de prueba de 95% y 90% respectivamente [54]. El poder de prueba no es más que la probabilidad de rechazar la hipótesis nula cuando la hipótesis alternativa es verdadera; esto quiere decir que el complemento es la probabilidad de que se cometa el error de tipo II. Se corrió el análisis y resultó que aproximadamente se requerirían 525 observaciones (**Tabla 5.10**). Para alcanzar dicho tamaño de muestra se requeriría recolectar información de producción de casi 8 meses, siendo el doble de meses la cantidad para poder hacer la comparación de antes y después.

Análisis de Poder ( $\alpha = 0.05$ y $\beta = 0.10$ )			
Diferencia	Desviación	Efecto	Tamaño de Muestra
0.0100	0.0554	0.1804	526.8642

**Tabla 5.10** Resultado del Análisis de Poder para la Eficiencia General. Fuente: Elaboración propia.

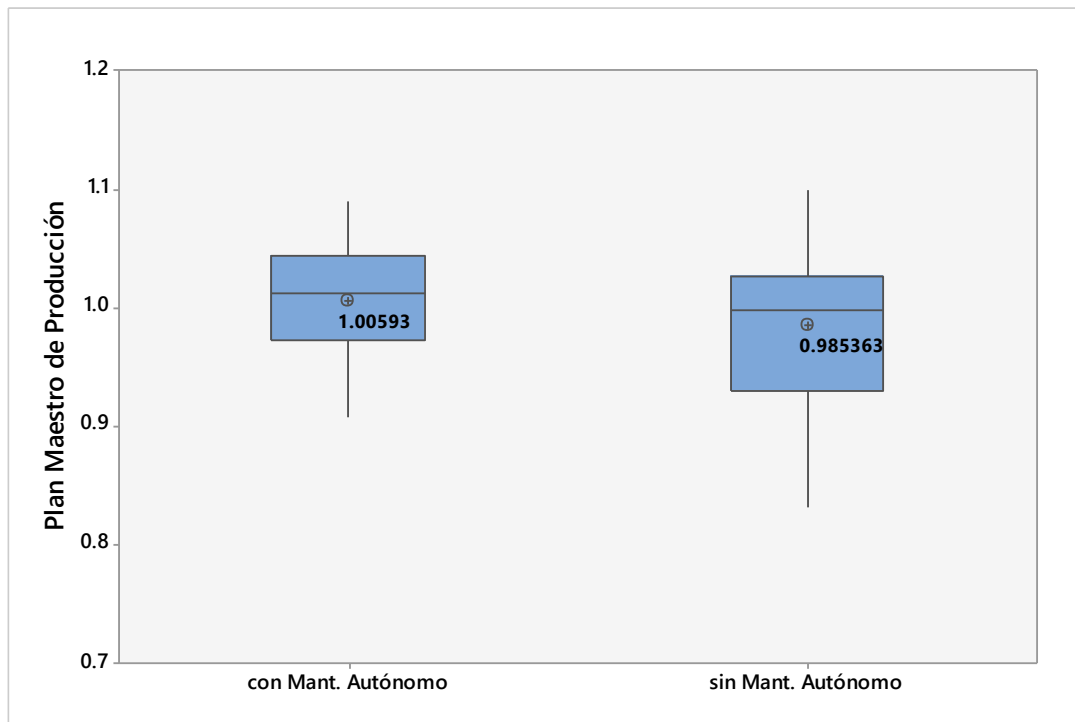
### 5.3.3 Análisis del Plan Maestro de Producción

Para analizar el impacto del programa de Mantenimiento Autónomo en el cumplimiento del Plan Maestro de Producción se graficó un diagrama de cajas para comparar las medias y dispersiones de ambos grupos ( $n_1 = 39$  y  $n_2 = 38$ ). De la **Figura 5.8** se puede concluir que descriptivamente sí hubo un impacto positivo en el cumplimiento del Plan Maestro de Producción en términos de medias y varianzas. El MPS incrementó en 2.0% y la variación en sus resultados se redujo en 1.1% en promedio aproximadamente. No obstante, para verificar que estos resultados sean significativos estadísticamente se procedió a realizar las mismas pruebas que en el análisis anterior. Se corroboró el supuesto de normalidad de los datos con una prueba de Shapiro-Wilk, la cual determinó que sí seguían una distribución normal (anexo 11 y 12). Dado que se cumplió ese supuesto, se procedió a realizar una prueba F de Fisher para comparar las varianzas antes y después del programa con el planteamiento de las siguientes hipótesis:

$$H_0: \sigma_{MPS \text{ con } MA}^2 = \sigma_{MPS \text{ sin } MA}^2$$

$$H_1: \sigma_{MPS \text{ con } MA}^2 \neq \sigma_{MPS \text{ sin } MA}^2$$

Se realizó la prueba para un nivel de confianza de 95% ( $\alpha = 5\%$ ) y el p-valor resultó ser 0.2209 (**Tabla 5.11**). Este resultado indica que no hay suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula, por ende, se concluye que luego de la implementación del programa la variación en el cumplimiento del Plan Maestro de Producción no fue significativamente diferente.



**Figura 5.8** Diagrama de cajas del Plan Maestro de Producción antes y después de la intervención.

Fuente: Elaboración propia.

Dado que el supuesto de igualdad de varianzas se cumplió, se procedió a realizar una prueba de t de Student para comparar las medias antes y después del programa con el planteamiento de las siguientes hipótesis:



$$H_0: \overline{MPS}_{con MA} \leq \overline{MPS}_{sin MA}$$

$$H_1: \overline{MPS}_{con MA} > \overline{MPS}_{sin MA}$$

Se realizó la prueba para un nivel de confianza de 95% ( $\alpha = 5\%$ ) y el p-valor resultó ser 0.0483 (**Tabla 5.12**). Este resultado indica que hay suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula y concluir que efectivamente luego de la implementación del programa la media del cumplimiento del Plan Maestro de Producción incrementó.

Prueba F de Fisher ( $\alpha = 0.05$ )						
Grupo	Varianza	G. de Libertad	F	P-Valor	Intervalo de Confianza	
					Lim. Inferior	Lim. Superior
sin Mant. Autónomo	0.0034	37	0.6683	0.2209	0.3484	1.2783
con Mant. Autónomo	0.0023	38				

**Tabla 5.11** Resultado de Prueba F de Fisher para el Plan Maestro de Producción. Fuente: Elaboración propia.

Prueba t de Student ( $\alpha = 0.05$ )						
Grupo	Media	G. de Libertad	t	P-Valor	Intervalo de Confianza	
					Lim. Inferior	Lim. Superior
sin Mant. Autónomo	0.9855	75	1.6823	0.0483	0.0002	+ Inf
con Mant. Autónomo	1.0059					

**Tabla 5.12** Resultado de Prueba t de Student para el Plan Maestro de Producción. Fuente: Elaboración propia.

Por último, dado el reducido tamaño muestral y la variación en los datos agrupados se quiso saber también cuántas observaciones serían necesarias para poder detectar una diferencia de 1% al comparar ambas medias. Se realizó un análisis de poder

para determinar el tamaño de muestra con nivel de confianza de 95% y poder de prueba de 90%. Se corrió el análisis y resultó en un tamaño de muestra de 712 observaciones (**Tabla 5.13**). Este resultado equivale a una recolección de datos de casi 12 meses de duración, siendo el doble para poder hacer la comparación de antes y después.

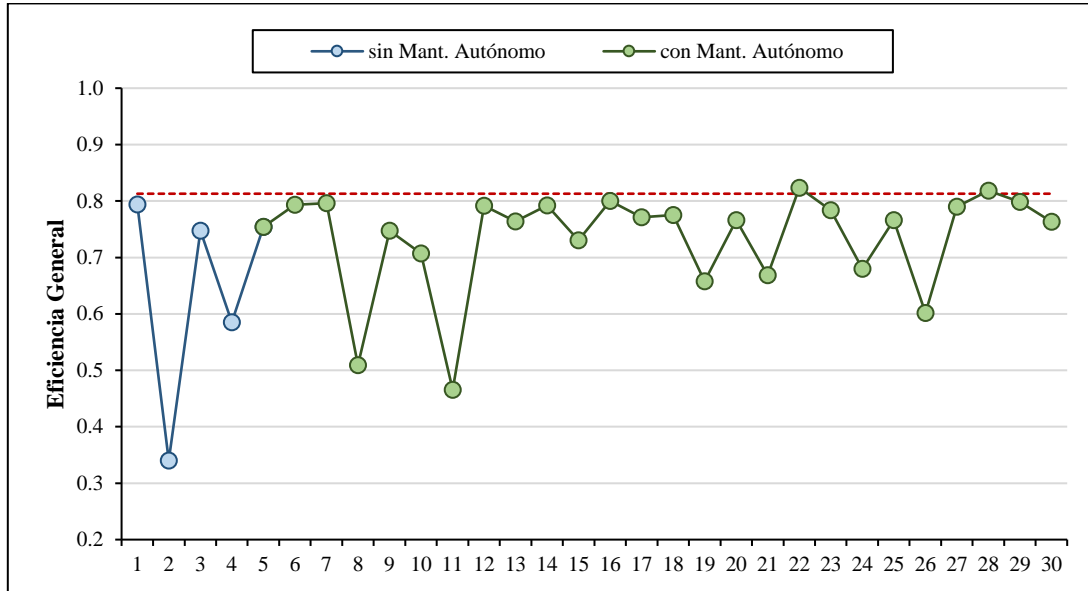
<b>Análisis de Poder (<math>\alpha = 0.05</math> y <math>\beta = 0.10</math>)</b>			
<b>Diferencia</b>	<b>Desviación</b>	<b>Efecto</b>	<b>Tamaño de Muestra</b>
0.0100	0.0644	0.1552	511.6723

**Tabla 5.13** Resultado del Análisis de Poder para el Plan Maestro de Producción. Fuente: Elaboración propia.

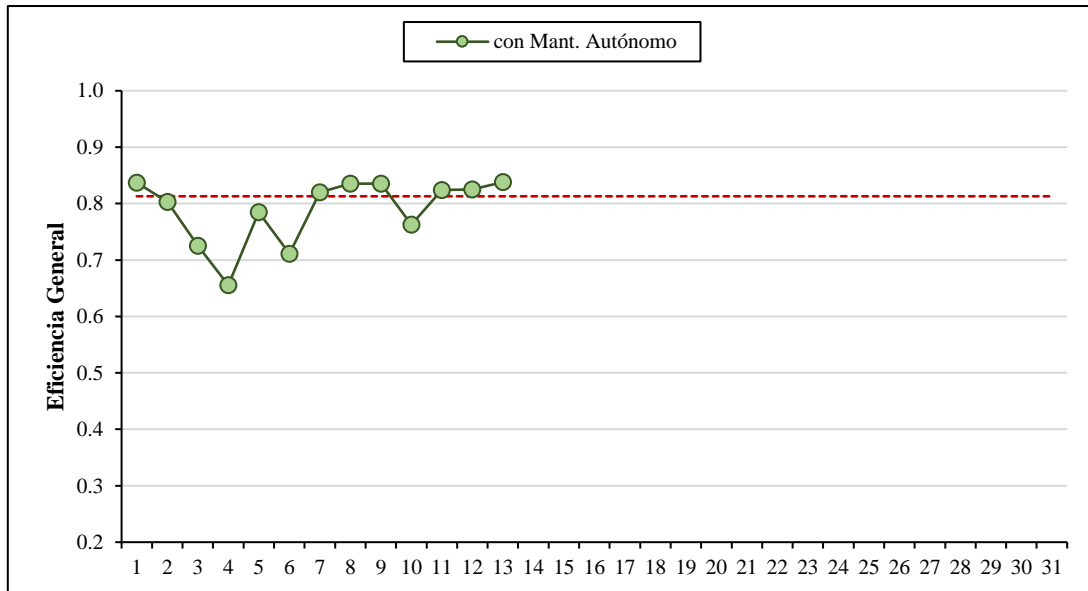
## 5.4 Diagnóstico Final

Para el diagnóstico final se tomaron los resultados de los meses de junio y parte de julio. La implementación del programa de Mantenimiento Autónomo empezó el 5 de junio y es a partir de ese día de donde se realizará el análisis. La Eficiencia General diaria de L2 en junio resultó en un promedio de 73.6% con una desviación de 9.0%. Al hacer la comparación con la situación antes de la implementación del programa, se puede notar a simple vista que la Eficiencia General ha empeorado en términos de resultado y estabilidad. Sin embargo, esto no es del todo cierto, ya que durante la implementación se dieron eventos esporádicos, tanto planeados como no planeados, que impactaron en la medida. Las fechas y comentarios acerca de estos sucesos se pueden rescatar en la **Tabla 5.7** en la sección anterior. Por otra parte, estos resultados también están considerando todos aquellos turnos de producción diferentes a 12 horas y en los que se corrieron más de un código de producto. Por ejemplo, el día 11 de junio la Eficiencia General estuvo por debajo de 50% porque se programó una parada de 8 horas para la instalación de una nueva faja de transporte de potes; el 21 de junio se arrancó la línea de producción luego de haber hecho un cierre parcial de operaciones por la festividad del día del padre impactando la Eficiencia General en 12.5% (1 hora de pérdida de producción); asimismo, el 8 y el 26 de junio se paró la producción por una falta de suministro de agua por casi 9 horas en total llevando la eficiencia a niveles por debajo de 60%. Al retirar del análisis todos estos eventos se puede observar en la **Figura 5.10** que la Eficiencia general se

comportó de manera más estable y casi el 47% de las veces se obtuvo una Eficiencia General por encima del 79% lo cual valida que el programa de Mantenimiento Autónomo fue efectivo en el corto plazo.



**Figura 5.9** Resultados de Eficiencia General diaria de junio del 2020 en L2. Fuente: Elaboración propia.



**Figura 5.10** Resultados de Eficiencia General diaria de julio del 2020 en L2. Fuente: Elaboración propia.

La **Figura 5.10** muestra los resultados de julio en donde se observa una mayor estabilidad. Al igual que en los meses pasados también se dieron eventos esporádicos que impactaron la eficiencia. Entre ellos los días 6 y 10 de julio se programaron validaciones debido a iniciativas de ahorro que restaron disponibilidad a la línea de producción. Retirando estas fechas del análisis se obtuvo una Eficiencia General promedio de 82.3% y una desviación estándar de 1.8%, resultados muy por encima de los escenarios anteriores y que corroboran que las actividades que se ejecutaron del programa fueron beneficiosas.

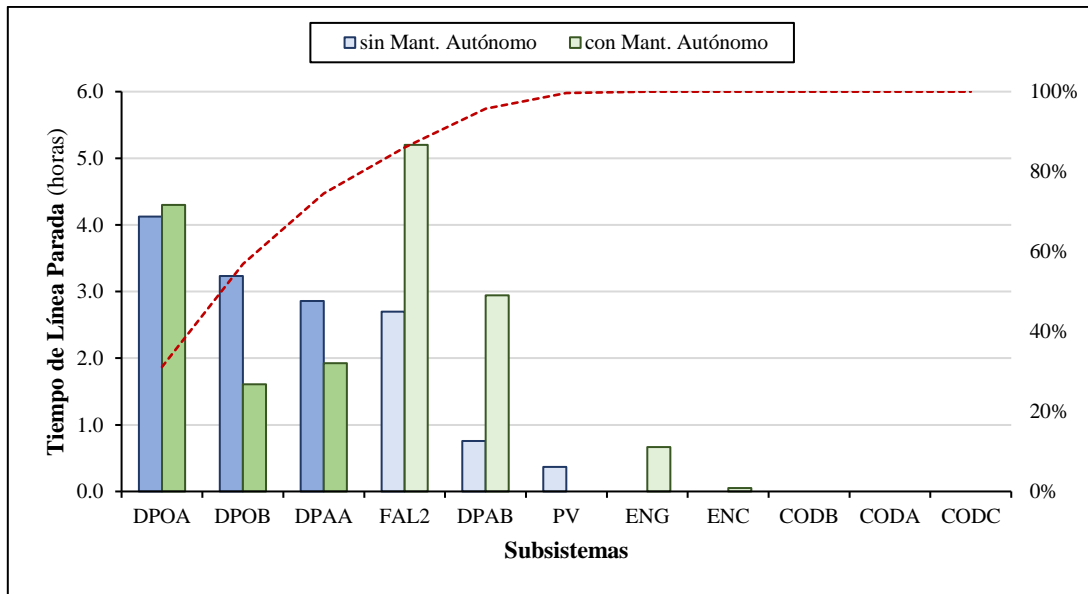
Los resultados acumulados de producción durante la implementación en junio se pueden observar en la **Tabla 5.14**. La Eficiencia General y sus componentes disminuyeron en magnitud con respecto a los resultados acumulados de mayo; sin embargo, estos números son engañosos ya que están considerando en el cálculo los impactos esporádicos que golpearon fuertemente a la producción. Por otra parte, uno de los indicadores más importante para medir la efectividad de las actividades de Mantenimiento Autónomo es el número de paros en la línea de producción. En junio esta medida disminuyó notablemente en un 30% en comparación al mes de mayo, validando nuevamente que el programa sí fue efectivo y logró reducir los toques del personal en los equipos.

Medida	Resultados	
	Junio	$\Delta$ %
EG	73.6%	-1.6%
D	75.5%	-1.2%
R	97.5%	-0.5%
MPS	96.1%	0.5%
Paros	349	-29.9%

**Tabla 5.14** Resultados acumulados de producción de junio del 2020 en L2. Fuente: Elaboración propia.

El diagrama de Pareto comparativo por tiempos de línea parada en horas entre mayo y junio, al igual que la comparación de los modos de falla más relevantes (Pareto de 2do nivel) se muestran en la **Figura 5.11** y **Tabla 5.15** respectivamente. Del diagrama se puede rescatar que hubo una disminución de la pérdida generada por los subsistemas:

Dosificador de Potes B en 50% y Dosificador de Pasta A en 33%, que eran dos de los tres subsistemas más críticos. No obstante, en términos generales, la pérdida acumulada total de L2 incrementó en 19% y se debió más que nada a los eventos fortuitos que impactaron la eficiencia en junio. Por ejemplo, el subsistema de Fajas L2, sufrió un impacto de 3.7 horas solo el día 19 de junio debido a la falla eléctrica de la faja modular. Si se restase este impacto en la pérdida generada, el subsistema hubiese disminuido su pérdida con respecto a mayo en un 44%. De la tabla de modos de falla se puede rescatar la reducción significativa que hubo en cinco de las seis pérdidas crónicas detectadas en mayo. La falla del pistón retenedor de potes se eliminó en su totalidad mientras que la pérdida por atoros de pote en rodillos disminuyó en 87%. El derrame de pasta por pote volteado también fue una pérdida que logró erradicarse y disminuyó en un 42% tras solucionar el defecto encontrado en el Paso 1 del programa a mitad de junio.



**Figura 5.11** Pareto comparativo por tiempo de línea parada de mayo y junio del 2020 en L2.

Fuente: Elaboración propia.

Estos resultados comparativos entre las pérdidas crónicas dan por validado nuevamente que el programa de Mantenimiento Autónomo fue efectivo en el corto plazo. Justamente fueron las actividades del Paso 1 y 2, que establecieron un foco en la solución de defectos de condiciones básicas y la reducción de las fuentes de contaminación mediante limpiezas programadas; y las del Paso 3,

que empoderaron y motivaron al personal dándoles visibilidad del desempeño y los resultados del negocio, las que permitieron dar estabilidad a la operación de lavavajillas e incrementar el *throughput* y servicio de Materiales SRL.

Sistema	Modo de Falla	Tiempo de Línea Parada (Horas)		Frecuencia (# de Paros)		Proporción del Total	
Dosificador de Potes	Regulación de Rodillo Sinfín	4.4	-13%	125	-9%	26%	-27%
Dosificador de Potes	Atoro de Pote en Rodillos	0.3	-87%	20	-86%	2%	-89%
Fajas	Derrame de Pasta en Fajas	2.0	-14%	27	-31%	12%	-28%
Dosificador de Pasta	Falla de Pistón Retenedor	-	-100%	-	-100%	0%	-100%
Dosificador de Potes	Derrame por Pote Volteado	0.8	-42%	24	-57%	5%	-51%
Dosificador de Pasta	Atoros por Empaques Gastados	0.9	5%	6	20%	6%	-12%
<b>Total</b>		<b>8.4</b>	<b>-37%</b>	<b>202</b>	<b>-53%</b>	<b>50%</b>	<b>-47%</b>

**Tabla 5.15** Comparación de modos de falla críticos de mayo con respecto a junio del 2020 en L2.

Fuente: Elaboración propia.

## CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES

Como parte final del estudio de investigación, se mostrarán un número de conclusiones que se lograron extraer del análisis de resultados y observaciones que hubo durante la implementación del programa de Mantenimiento Autónomo. Este capítulo busca sintetizar cuáles fueron los hallazgos más importantes de la investigación y a la par reflexionar acerca de las diferentes actividades que se ejecutaron durante la intervención.

1. Dado los resultados del análisis de la Eficiencia General, se puede concluir que el llevar a condiciones básicas los equipos de una línea de producción tiene un impacto significativo positivo en el rendimiento y la estabilidad de una operación de manufactura. El programa de Mantenimiento Autónomo logró incrementar la magnitud de esta medida en 1.8% y reducir su variación en 3.1% en el corto plazo.
2. Tras el análisis del Plan Maestro de Producción, se puede concluir que el llevar a condiciones básicas los equipos de una línea de producción tiene un impacto significativo positivo en el servicio de una operación de manufactura. El programa de Mantenimiento Autónomo logro incrementar en magnitud el porcentaje de cumplimiento del plan de producción en un 2.0%. No obstante, en el corto plazo, este programa no fue suficiente para estabilizar la medida ya que estadísticamente las variaciones son iguales antes y después de la implementación.
3. El incremento en la Eficiencia General que el programa de Mantenimiento Autónomo generó es equivalente a una ganancia de 13 horas efectivas mensuales de producción. Considerando este tiempo, la Línea 2 podría entregar 63,700 unidades adicionales, generando una oportunidad de ingreso adicional estimada de S/ 189,000 mensuales. Viendo el incremento desde el punto de vista de costos de producción, tan solo 1.8% de Eficiencia General adicional equivale a 36.7 toneladas de pasta de lavavajillas. Esta ganancia permite diluir los costos fijos del 3PL generando una reducción en el costo unitario de S/ 0.05. Proyectando este valor en términos mensuales, se obtendría un ahorro de aproximadamente S/ 2,650.

4. La brecha existente de Eficiencia General entre la situación antes y después de la implementación del programa es equivalente a 12 y 16 horas de producción que se pueden ahorrar para satisfacer una demanda de entre 1,200 y 1600 toneladas de pasta de lavavajillas. Esto quiere que en periodos en que la demanda sea alta, una ganancia de 1.8% de Eficiencia General permitirá completar el volumen de producción requerido en aproximadamente 16 horas menos que lo usual.
5. De acuerdo con el diagnóstico final, se puede afirmar que el programa de Mantenimiento Autónomo fue efectivo en reducir el número de paros de la Línea 2, ya que al hacer la comparación de escenarios se observó una reducción de casi el 30%. Esto es evidente al observar que las fallas críticas en el mes de junio se redujeron en 53%, logrando eliminar por completo la pérdida generada por el retenedor de potes del dosificador de pasta. Con esos resultados, se concluye que las actividades del Paso 1, 2 y 3 del Mantenimiento Autónomo son suficientes para evidenciar una reducción en los paros menores (tiempo de parada < 10 minutos) de un sistema productivo.
6. De lo observado, no es necesario implementar un programa de Mantenimiento Autónomo en su totalidad (Pasos del 1 a 7) para observar mejoras en la Eficiencia General. A partir de las actividades básicas de limpieza, inspección y lubricación de los equipos, un sistema productivo puede llevarse a condiciones básicas en el corto plazo y lograr la estabilidad de la producción. Las actividades fundamentales para el éxito de la primera Fase de un programa Mantenimiento Autónomo son tres: (1) entrenar en el reporte y solución de defectos de condiciones básicas al personal operativo; (2) crear una cultura motivada y enfocada en resultados dándoles visibilidad del desempeño y beneficio hacia el negocio que están alcanzando; y (3) tener un equipo capaz de liderar el desarrollo del programa en el área de trabajo con suficiente conocimiento de la metodología de manera teórica y práctica.
7. Tras la implementación, se puede concluir que la base sobre la que se construye un programa de Mantenimiento Autónomo son las reuniones diarias de operaciones. Contar con un tablero de seguimiento de resultados (eficiencia general, cumplimiento del plan, volumen de producción, etc.) medidas de proceso (defectos solucionados, paros de la línea, cumplimiento de tareas de CIL/RLS, etc.) es de mucha ayuda, ya



que permite tener al equipo la visibilidad del desempeño de la operación siempre. En la primera de junio se reactivó la reunión de RTT y fue en ese momento en donde se empezó a observar una mejora en la Eficiencia General y la condición de los equipos, al igual que el compromiso del equipo Autónomo por el desarrollo del programa.

8. Las pérdidas se pueden dividir en dos tipos: esporádicas y crónicas. Una pérdida esporádica es aquella que ocurre con poca frecuencia, pero su impacto es significativo; estas pueden resultar de eventos tanto planeados como no planeados. Durante los dos meses de alcance del estudio se observaron que estos tipos de pérdidas fueron los que más impactaron a la Eficiencia General, un total de 32 horas pérdidas de producción. Sin embargo, fueron eventos excepcionales a los que se les dio solución el mismo día. Por el otro lado, una pérdida crónica es aquella que ocurre con mayor frecuencia en donde su impacto individual es pequeño, pero al acumular sus incidencias resulta relevante. La reflexión de esta comparación es que para incrementar el rendimiento de un sistema de manufactura uno debe enfocar los esfuerzos en eliminar o reducir las pérdidas crónicas, más no las esporádicas y es ahí en donde entra a tallar la metodología del Mantenimiento Autónomo. Se busca de manera en los tres primeros pasos cambiar la mentalidad reactiva del personal operativo hacia una proactiva, en donde el foco de esta última es incrementar el tiempo de duración de las corridas de producción a través del mantenimiento de las condiciones básicas de los equipos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] «World-Class OEE – Set OEE Targets To Drive Improvement | OEE». [En línea]. Disponible en: <https://www.oee.com/world-class-oee.html>. [Accedido: 05-oct-2019].
- [2] «What Is OEE (Overall Equipment Effectiveness)? | OEE». [En línea]. Disponible en: <https://www.oee.com/>. [Accedido: 05-oct-2019].
- [3] R. Iannone y M. E. Nenni, «Managing OEE to Optimize Factory Performance», *Operations Management*, mar. 2013.
- [4] M. R. Hamel y M. O'Connor, *Lean Math: Figuring to Improve*. SME, 2017.
- [5] P. L. King, *Lean for the process industries: dealing with complexity*. CRC Press, 2009.
- [6] «Chapter 5. Autonomous Maintenance. Part 1», *Continuously Improving Manufacturing*, 15-may-2017.
- [7] N. García, «Mantenimiento Autónomo», *SGS Productivity - Consultoría Lean Management, Kaizen y Mejora Continua*, 21-jun-2016.
- [8] «Estadística Manufactura». [En línea]. Disponible en: <http://ogeiee.produce.gob.pe/index.php/k2/informacion-sectorial/manufactura>. [Accedido: 08-nov-2019].
- [9] «¿Cómo está el sector manufactura en el Perú?» [En línea]. Disponible en: <https://peru.info/es-pe/comercio-exterior/noticias/7/31/-como-esta-el-sector-manufactura-en-el-peru->. [Accedido: 08-nov-2019].
- [10] «Manufactura no primaria - Productos químicos, caucho y plásticos - Productos de tocador y limpieza». [En línea]. Disponible en: <https://estadisticas.bcrp.gob.pe/estadisticas/series/mensuales/resultados/PN37661AM/html/2019-1/2019-8/>. [Accedido: 08-nov-2019].
- [11] «Dishwashing in Peru | Market Research Report | Euromonitor». [En línea]. Disponible en: <https://www.euromonitor.com/dishwashing-in-peru/report>. [Accedido: 08-nov-2019].

- [12] M. Trigos, «Alicorp: “Compra de Intradevco es la más grande en los mercados de cuidado del hogar y personal en el país”», *Gestión*, 01-feb-2019.
- [13] S. Nakajima, *Introduction to TPM: Total Productive Maintenance*. Productivity Press, 1988.
- [14] S. Nakajima, *TPM Development Program: Implementing Total Productive Maintenance*, Productivity Press, 1989.
- [15] J. Venkatesh, «An Introduction to Total Productive Maintenance (TPM)». [En línea]. Disponible en: [http://www.plant-maintenance.com/articles/tpm\\_intro.shtml](http://www.plant-maintenance.com/articles/tpm_intro.shtml). [Accedido: 09-nov-2019].
- [16] I. P. S. Ahuja y P. Kumar, «A case study of total productive maintenance implementation at precision tube mills», *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, vol. 15, n.º 3, pp. 241-258, ago. 2009.
- [17] S. O. M. Engineers, *Total productive maintenance in America*. Dearborn, Mich: Society of Manufacturing Engineers, 1995.
- [18] M. C. Eti, S. O. T. Ogaji, y S. D. Probert, «Implementing total productive maintenance in Nigerian manufacturing industries», *Applied Energy*, vol. 79, n.º 4, pp. 385-401, dic. 2004.
- [19] V. C. Patel y D. H. Thakkar, «Review on Implementation of 5S in Various Organization», vol. 4, n.º 3, p. 6, 2014.
- [20] I. P. S. Ahuja y J. S. Khamba, «Total productive maintenance: literature review and directions», *Int Journal of Quality & Reliability Management*, vol. 25, n.º 7, pp. 709-756, ago. 2008.
- [21] R. K. Sharma, D. Kumar, y P. Kumar, «Manufacturing excellence through TPM implementation: a practical analysis», *Industrial Management & Data Systems*, vol. 106, n.º 2, pp. 256-280, feb. 2006.
- [22] Ö. Ljungberg, «Measurement of overall equipment effectiveness as a basis for TPM activities», *Int Journal of Operations & Production Management*, vol. 18, n.º 5, pp. 495-507, may 1998.

- [23] R. K. Kennedy, *Understanding, Measuring, and Improving Overall Equipment Effectiveness: How to Use OEE to Drive Significant Process Improvement*. Taylor & Francis, 2017.
- [24] Ericsson, J. & Dahlén, P. «Disruption Reduction – An Important Tool in Order to Reach “Just in Time” », Lund. Institute of Technology, Sweden, 1993
- [25] D. H. Stamatis, *The OEE Primer: Understanding Overall Equipment Effectiveness, Reliability, and Maintainability*, 0 ed. Productivity Press, 2017.
- [26] M. Sayuti, Juliananda, Syarifuddin, y Fatimah, «Analysis of the Overall Equipment Effectiveness (OEE) to Minimize Six Big Losses of Pulp Machine: A Case Study in Pulp and Paper Industries», *IOP Conference Series: Materials, Science and Engineering.*, vol. 536, jun. 2019.
- [27] M. Molenda, «The Autonomous Maintenance Implementation Directory as a Step Toward the Intelligent Quality Management System», *Management Systems in Production Engineering*, vol. 24, pp. 274-279, 2016.
- [28] S. Miranda y I. da S. Lopes, «Development of autonomous maintenance in a furniture company», en *WCE-2015 2015*, 2015.
- [29] C. Wanderlande y T. Ferreira, «Applied autonomous maintenance in the improvement of production quality: A case study», 2016.
- [30] C. S. Min, R. Ahmad, S. Kamaruddin, y I. A. Azid, «Development of autonomous maintenance implementation framework for semiconductor industries», *IJISE*, vol. 9, n.º 3, p. 268, 2011.
- [31] K. M. Cravvford, J. H. Blackstone, y J. F. Cox, «A study of JIT implementation and operating problems», *International Journal of Production Research*, vol. 26, n.º 9, pp. 1561-1568, sep. 1988.
- [32] R. Mcadam y A.-M. Duffner, «Implementation of total productive maintenance in support of an established total quality programme», *Total Quality Management*, vol. 7, n.º 6, pp. 613-630, dic. 1996.

- [33] S. of M. Engineers, *Tool and Manufacturing Engineers Handbook Vol 7: Continuous Improvement*, Edición: 4. Dearborn, Mich: Society of Manufacturing Engineers, 1993.
- [34] R. Davis, «Making TPM a part of factory life», *Works Management*, 49, pp.16-17, 1996.
- [35] J. J. Lawrence, «Use mathematical modeling to give your TPM implementation effort an extra boost», *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, vol. 5, n.º 1, pp. 62-69, mar. 1999.
- [36] M. Rodrigues y K. Hatakeyama, «Analysis of the fall of TPM in companies», *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 179, n.º 1-3, pp. 276-279, oct. 2006.
- [37] R. Holder, «GKN and Ferodo Reap the Rewards», *TPM Experience (Project EU 1190, Sponsored by the DTI)*, Findlay, UK, 1997.
- [38] D. Hutchins, «Introducing TPM», *Manufacturing Engineer*, vol. 77, n.º 1, pp. 34-39, feb. 1998.
- [39] M. W. Workineh y A. S. Iyengar, «Autonomous Maintenance: A Case Study on Assela Malt Factory», *Bonfring International Journal of Industrial Engineering and Management Science*, vol. 4, pp. 170-178.
- [40] A. K. Gupta y R. K. Garg, «OEE Improvement by TPM Implementation: A Case Study», 2012.
- [41] H. Hegde, N. S. Mahesh, y K. G. R. Doss, «Overall Equipment Effectiveness Improvement by TPM and 5S Techniques in a CNC Machine Shop», 2009.
- [42] S. R. Vijayakumar y S. Gajendran, «Improvement of Overall Equipment Effectiveness (OEE) in Injection Moulding Process Industry», *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering*, p. 14.
- [43] A. H. C. Tsang y P. K. Chan, «TPM implementation in China: a case study», *International Journal of Quality & Reliability Management*, vol. 17, n.º 2, pp. 144-157, mar. 2000.

- [44] S. Raut y N. Raut, «Implementation of TPM to Enhance OEE in A Medium Scale Industry», *International Research Journal of Engineering and Technology* vol. 4 n°5, pp. 1035-1041, 2017.
- [45] P. Guariente, I. Antonioli, L. P. Ferreira, T. Pereira, y F. J. G. Silva, «Implementing autonomous maintenance in an automotive components manufacturer», *Procedia Manufacturing*, vol. 13, pp. 1128-1134, 2017.
- [46] C. J. Bamber, J. M. Sharp, y M. T. Hides, «Factors affecting successful implementation of total productive maintenance», *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, vol. 5, n.º 3, pp. 162-181, ene. 1999.
- [47] R. Hernández, *Metodología de la Investigación* 5ta edición, México: MCGRAW-HILL INTERAMERICANA, 2010.
- [48] M. A. Latino, R. J. Latino, y K. Latino, *Root Cause Analysis: Improving Performance for Bottom-Line Results*, Fifth Edition. CRC Press, 2019.
- [49] D. R. Anderson, D. J. Sweeney, T. A. Williams, *Estadística para Administración y Economía*, 10ma Edición. CENGAGE Learning, 2008.
- [50] J. Amat, «Wilcoxon-Mann-Whitney test como alternativa al t-test», RPubs. [https://rpubs.com/Joaquin\\_AR/218456](https://rpubs.com/Joaquin_AR/218456) (accedido jul. 9, 2020).
- [51] «Compare Multiple Sample Variances in R», STHDA. <http://www.sthda.com/english/wiki/compare-multiple-sample-variances-in-r> (accedido jul. 9, 2020).
- [52] J. H. McDonald, «Handbook of Biological Statistics - One-way Anova», biostathandbook.com. <http://www.biostathandbook.com/onewayanova.html> (accedido jul. 9, 2020).
- [53] «Unpaired Two-Samples T-test in R», STHDA. <http://www.sthda.com/english/wiki/unpaired-two-samples-t-test-in-r> (accedido jul. 9, 2020).

[54] J. A. García-García, A. Reding-Bernal, y J. C. López-Alvarenga, «Cálculo del tamaño de la muestra en investigación en educación médica», *Investigación en Educación Médica*, vol. 2, n.º 8, pp. 217-224, oct. 2013.

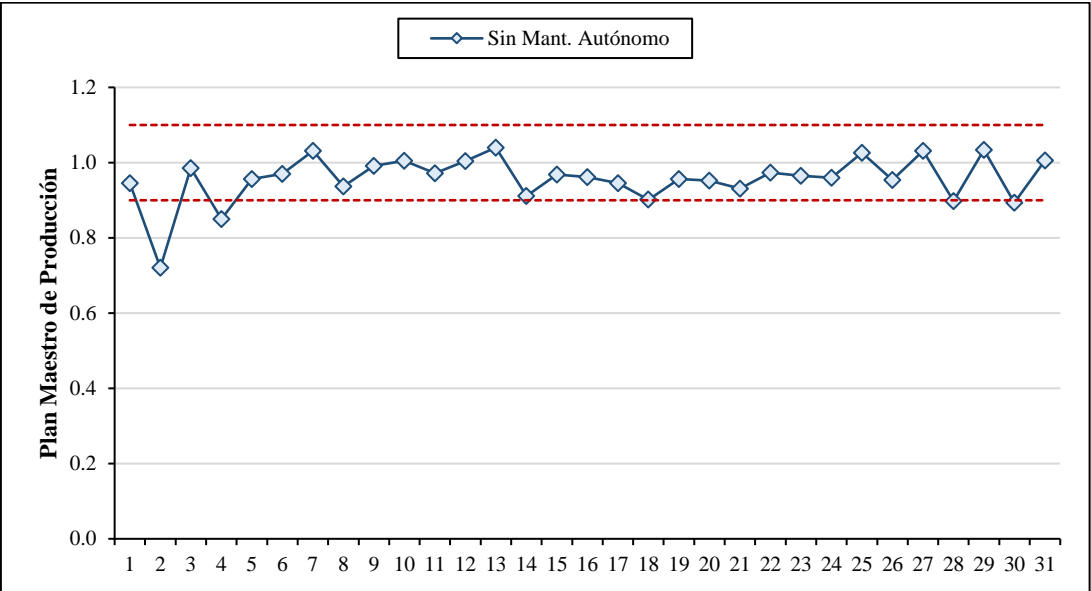
[55] R. Likert, *New patterns of management*. New York, NY, US: McGraw-Hill, 1961.

# **ANEXOS**



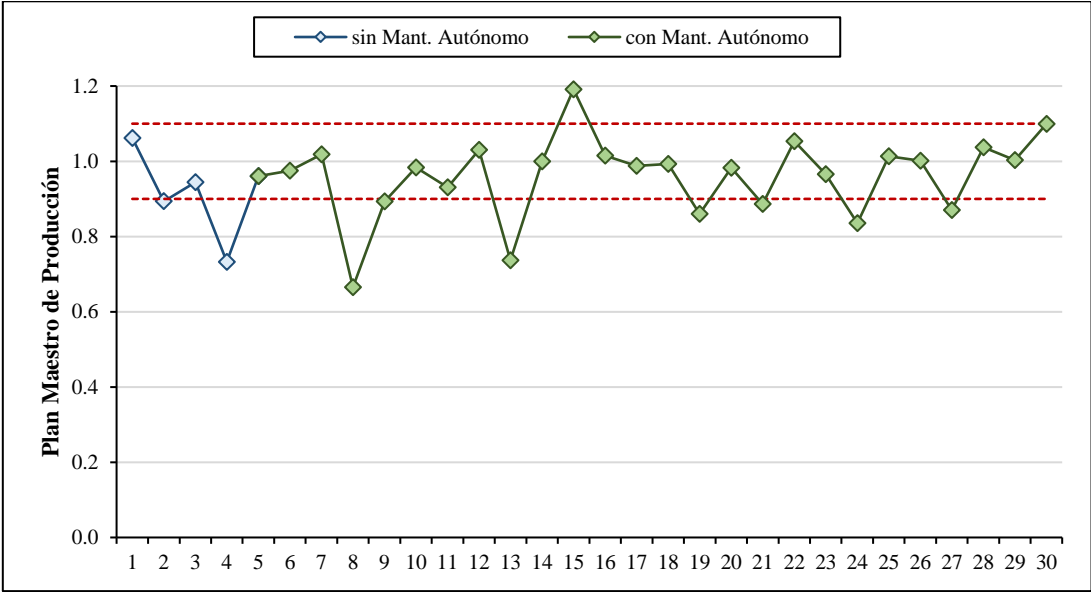
**Anexo 1: Resultados de MPS en mayo del 2020 para L2 (antes del programa).**

Mayo:

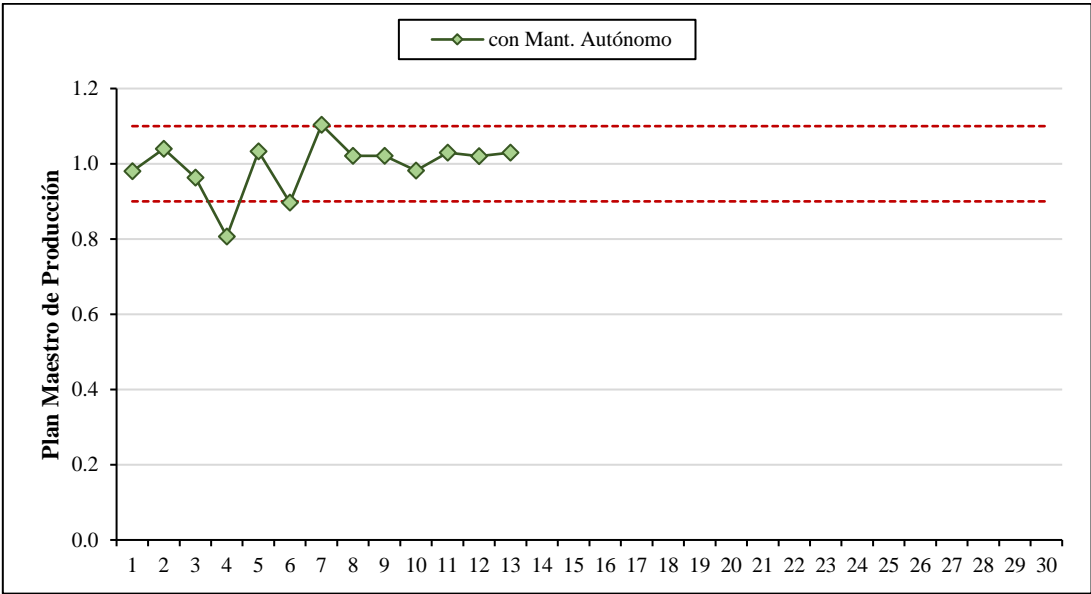


**Anexo 2: Resultados de MPS en junio y julio del 2020 para L2 (después del programa).**

Junio:

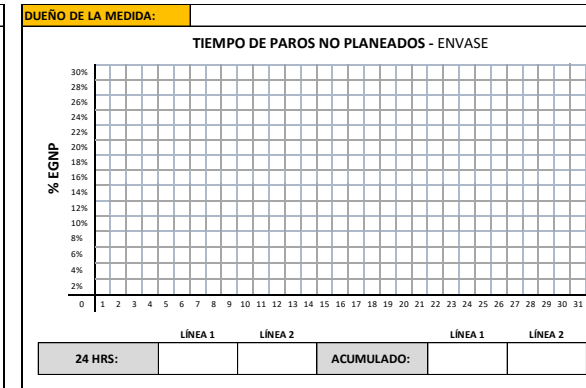
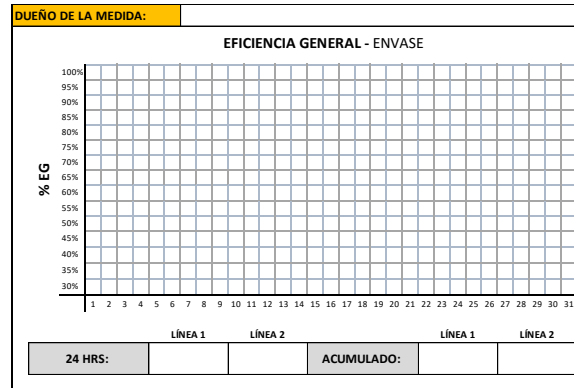


Julio:



# Anexo 3: Secciones importantes del Tablero RTT (resultados y sistemas de gestión diario).

MEDIDA	OBJETIVO	DÍA	ACUM		
EG(%)					
EGP (%)					
PAROS TOTALES (#)					
SCRAP (%)					
MEDIDA	LÍNEA	TURNO	SKU	PLAN	REAL
CUMPLIMIENTO DEL PLAN DE PRODUCCIÓN (# DE PALETAS)	L2	T3			
		T1			
	L1	T1			
		T2			



**DUÑO DEL DMS:**

**SISTEMA DE MANEJO DE DEFECTOS**  
DEFECTOS ENCONTRADOS

ENCONTRADOS	PENDIENTES
ACUMULADO:	
¿DEFECTOS PENDIENTES PARA SOLUCIONARSE HOY?	
Sí/No	

DEFECTOS PRIORIDAD A PENDIENTES	PLAN DE ACCIÓN	RESP	FECHA
1			
2			
3			
4			

**DUÑO DEL DMS:**

**SISTEMA CIL/RLS**  
TAREAS NO COMPLETADAS

% DE CUMPLIMIENTO	% DE CUMPLIMIENTO
24 HRS:	ACUMULADO:

¿Alguna interrupción por CIL/RLS (limpieza con mayor frecuencia, no se realiza según los estándares, paros por contaminación, etc.)?

TAREAS DE LIMPIEZA O CIL/RLS PENDIENTES	PLAN DE ACCIÓN	RESP	FECHA
1			
2			
3			
4			

**DUÑO DEL DMS:**

**SISTEMA DE PLAN MAESTRO DE PRODUCCIÓN**  
PRODUCIDO VS. PLANEADO (KG) - PROCESO

**PRODUCIDO VS. PLANEADO (CS) - ENVASE**

24 HRS:	PROCESO			ENVASE				
	T3	T1	T2	LÍNEA 1		LÍNEA 2		
	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T2	T1
ACUMULADO:								

INCUMPLIMIENTO DEL PLAN DE PRODUCCIÓN	PLAN DE ACCIÓN	RESP	FECHA
1			
2			
3			
4			





## Anexo 6: Estándar de Limpieza - RLS

### Estándar RLS Línea 2 - Home Care

							Lunes		Martes		Miércoles		Jueves		Viernes		Sábado		Domingo		
							Nombre y Apellido														
							Fecha														
							Hora Inicio														
							Hora Fin														
Responsable	Subsistemas	Pto.	Equipo	Acción	Herramienta	Tiempo	2A	2B	2A	2B	2A	2B	2A	2B	2A	2B	2A	2B	2A	2B	
ENCARGADO DE LÍNEA	GENERAL	1	Aislamiento de energía peligrosa (sistema eléctrico, neumático y válvula de dosificado de pasta)	Candadear	Candado	1 minuto															
	DOSIFICADOR DE PASTA	2	Vaso de llenado volumétrico de pasta	Limpiar Lavar Lubricar	Cepillo metálico	8 minutos															
		3	O-Ring de vaso de llenado volumétrico de pasta (solo si fuese necesario)	Cambiar O-Ring Lubricar	O-Ring nuevo	3 minutos															
		4	Válvula de 3 vías	Limpiar Lavar Lubricar	Cepillo metálico	10 minutos															
		5	Sensores de presencia y de volteo de potes	Limpiar	Trapo húmedo	3 minutos															
		6	Soprote metálico de sensores (presencia y volteo de potes)	Limpiar	Cepillo metálico	1 minuto															
	TRANSPORTE DE POTES	7	Banda Polycord	Limpiar	Trapo húmedo	3 minutos															
		8	Faja Tabletop	Limpiar	Trapo húmedo	3 minutos															
		9	Polines de transferencia	Limpiar	Trapo húmedo	3 minutos															
	CODIFICADORA DE POTES	10	Cabezal de Videojet	Purgar Limpiar	Solución W001-702 Pizeta	5 minutos															
	DOSIFICADOR DE POTES	11	Estación de dosificado de potes	Limpiar	Trapo húmedo	1 minuto															
OPERADOR	TRANSPORTE DE POTES	1	Faja Modular	Limpiar	Trapo húmedo Espátula	8 minutos															
		2	Cintas de faja Modular	Limpiar	Trapo húmedo Espátula	5 minutos															
		3	Faja engomadora (se debe apagar la bomba primero)	Limpiar	Trapo húmedo Espátula	8 minutos															
		4	Faja encajonadora	Limpiar	Trapo húmedo Espátula	5 minutos															
	ENCINTADO	5	Polines	Limpiar	Trapo húmedo Espátula	3 minutos															
	ESTIBADO	6	Polines	Limpiar	Trapo húmedo Espátula	5 minutos															

Observaciones:

Leyenda:

RLS Correr Línea al Estándar (Run Line to Standard)





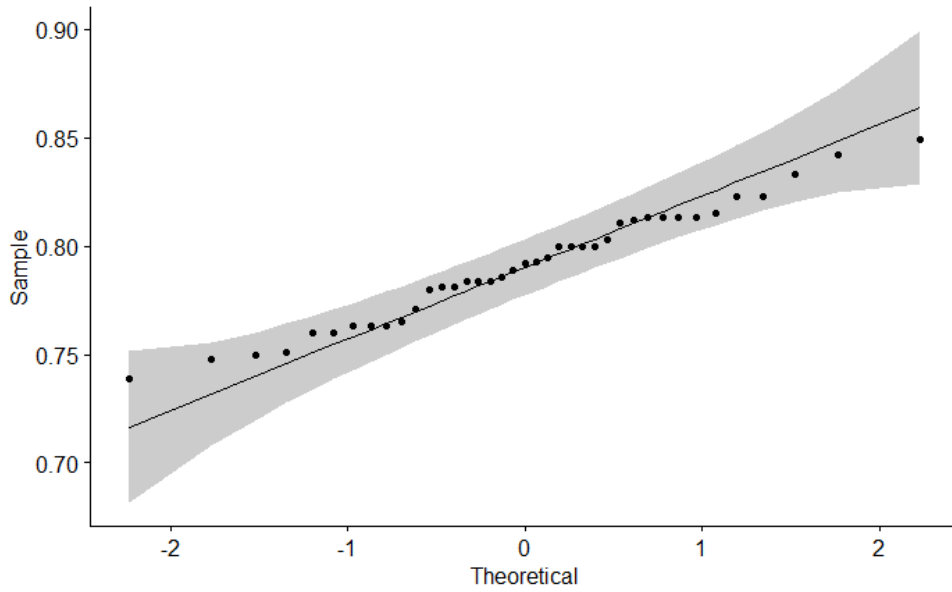




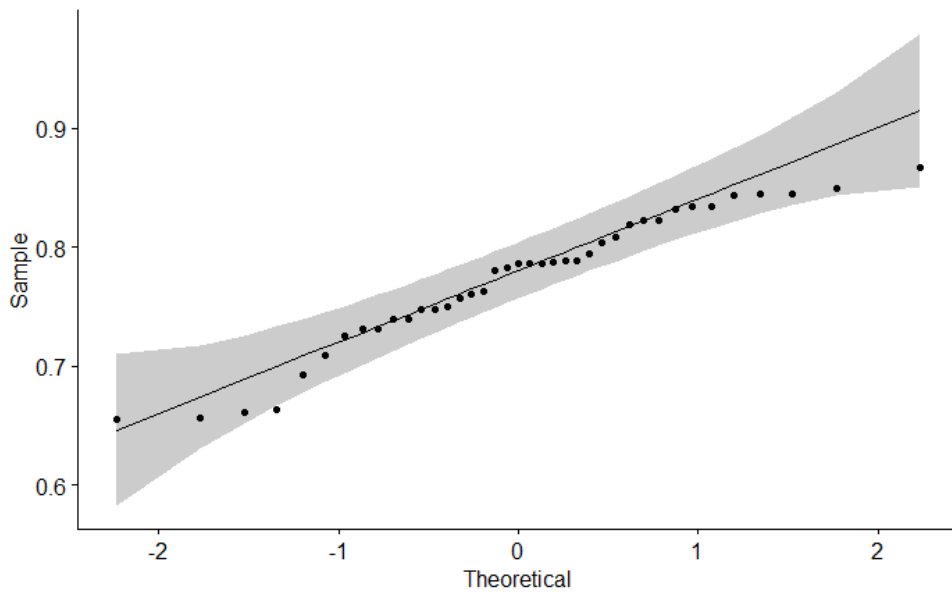
## Anexo 10: Gráficas de normalidad para la Eficiencia General en R.

### Eficiencia General

Grupo 1: con Mant. Autónomo



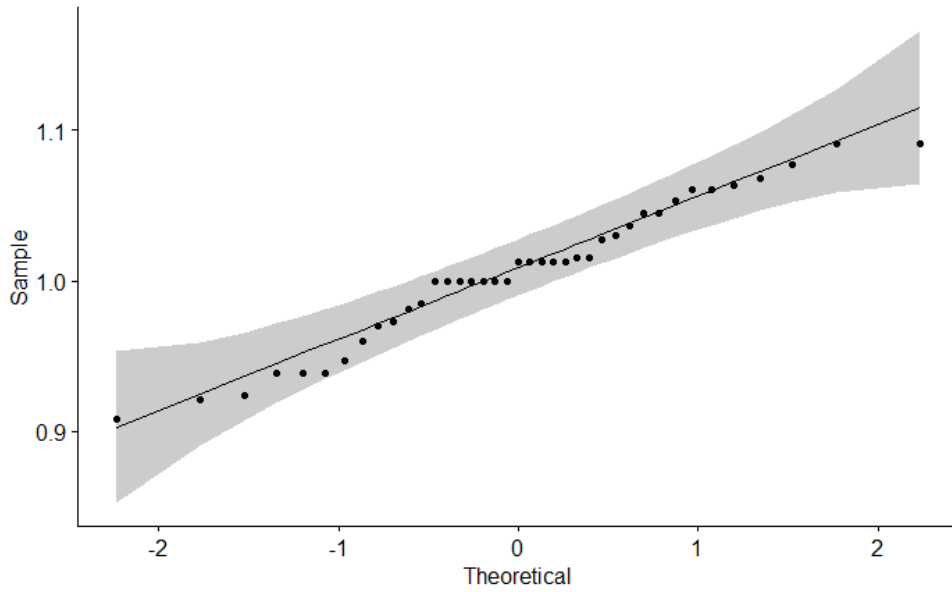
Grupo 2: sin Mant. Autónomo



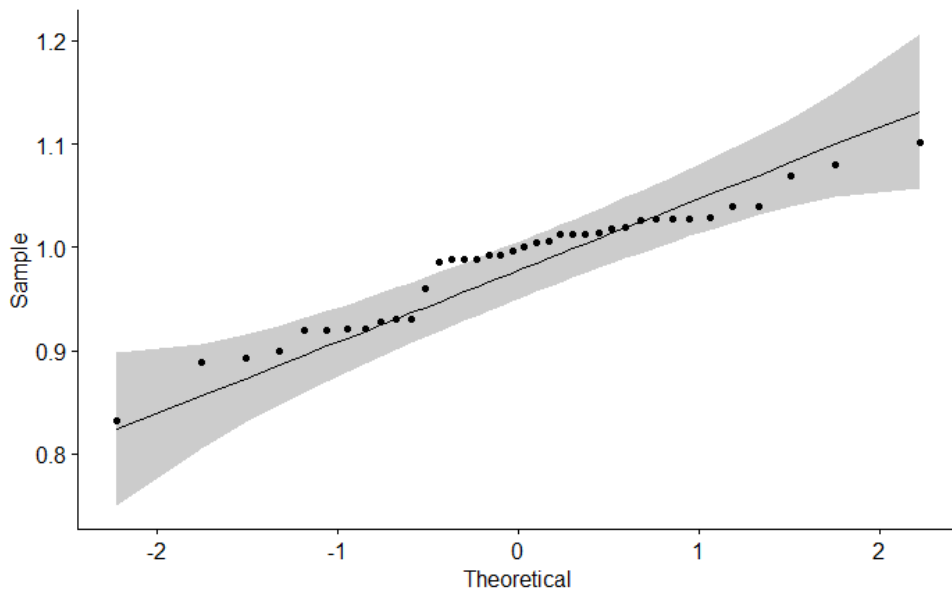
# Anexo 11: Gráficas de normalidad para el Plan Maestro de Producción en R.

## Plan Maestro de Producción

Grupo 1: con Mant. Autónomo



Grupo 2: sin Mant. Autónomo



**Anexo 12: Resultados de pruebas de normalidad Shapiro-Wilk para la Eficiencia General y el Plan Maestro de Producción en R.**

<b>Prueba de Shapiro-Wilk (<math>\alpha = 0.05</math>)</b>			
<b>Variable</b>	<b>Grupos</b>	<b>W</b>	<b>P-Valor</b>
Eficiencia General	sin Mant. Autónomo	0.9490	0.0760
	con Mant. Autónomo	0.9804	0.7192
Plan Maestro de Producción	sin Mant. Autónomo	0.9466	0.0688
	con Mant. Autónomo	0.9688	0.3451