

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA
SANTIAGO CHILE



PROPUESTA DE PLAN DE MEJORA DE LA
EFICIENCIA PRODUCTIVA EN PROCESO DE
ESMALTADO DE PIEZAS DE COCINA

DANIEL ALEJANDRO MÉNDEZ LEAL

MEMORIA DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL
MECÁNICO

PROFESOR GUÍA: DR.-ING. JAIME NÚÑEZ SEGOVIA
PROFESOR CORREFERENTE: ING. LUIS GUZMÁN BONET

ENERO - 2021

RESUMEN

El presente trabajo se centra en la propuesta de un plan de mejora para un proceso de una empresa de fabricación de línea blanca, específicamente el proceso de esmaltado de piezas de cocina, el cual se encuentra en el medio de la línea de producción y es fundamental para el buen funcionamiento de un producto terminado.

El principal objetivo de este trabajo es aumentar el nivel de desempeño del proceso de esmaltado, lo cual se ve reflejado en el indicador OEE; KPI que considera tres factores para su cálculo: rendimiento, calidad y disponibilidad. El comportamiento de éste durante un año es muy variable y los valores obtenidos son bastante cuestionables, por lo que se procede a analizar las causas de estos problemas y qué acciones se pueden tomar para mejorarlo.

Luego de tener establecido el marco teórico, en el cual se muestran todas las herramientas y definiciones que se utilizarán en el desarrollo de este trabajo, lo primero que se hace es realizar un diagnóstico del proceso de esmaltado, analizando tanto al OEE como a sus factores y cómo se relacionan entre sí. Como conclusión del diagnóstico identifica que el mayor problema se encuentra en la forma de cálculo del KPI, lo cual fue abordado mediante la realización de una diagrama de Ishikawa y un análisis de las seis grandes pérdidas con el objetivo de identificar oportunidades de mejora.

Una vez identificadas las potenciales áreas a intervenir, se elabora un plan de mejora, el cual involucra, entre otras ideas, un cambio en el cálculo del OEE con el objetivo de hacer consistente la multiplicación de sus factores y así obtener un valor que sea verdaderamente representativo del proceso de esmaltado.

Finalmente, se pone a prueba un subconjunto de las acciones propuestas en el plan de mejora para evaluar si efectivamente se obtienen valores de OEE que den cuenta del comportamiento real del proceso. Lo que se obtiene es que al hacer consistente la multiplicación de los factores, el comportamiento del OEE en el tiempo se estabiliza considerablemente en comparación con los datos originales, permitiendo que se calcule la capacidad del proceso, lo cual es muy positivo y ayudará a que se siga mejorando su desempeño si se aplican las propuestas mencionadas en este trabajo.

ABSTRACT

This document focuses on the proposal of an improvement plan for a process of a white goods manufacturing company, specifically the enamelling process for kitchen pieces, which is located in the middle of the production line and it is fundamental for the proper functioning of a finished product.

The main objective of this document is to increase the performance of the enamelling process, which is reflected in the OEE indicator; KPI which considers three factors for its calculation: performance, quality and availability. Its behaviour during a year is highly variable and the values obtained are quite questionable, therefore it is performed an analysis of the causes of these problems and what actions can be taken to improve it.

After having established the theoretical framework, in which all the tools and definitions that will be used in the development of this document are shown, the first thing that is done is to perform a diagnosis of the enamelling process, analyzing both the OEE and its factors and how they are related. As a conclusion of the diagnosis, it is identified that the biggest problem is located in the way of calculating the KPI, which was approached by developing an Ishikawa diagram and an analysis of the six major losses in order to identify opportunities for improvement.

Once the potential areas to intervene have been identified, a performance improvement plan is drawn up, which involves, among other ideas, a change in the calculation of the OEE in order to make the multiplication of its factors consistent and therefore obtaining a value that is truly representative of the enamelling process.

Finally, a subset of the actions suggested in the performance improvement plan is tested to assess whether the OEE values obtained show the real behaviour of the process or not. What is obtained is that by making the multiplication of the factors consistent, the behaviour of the OEE over time is considerably stabilized compared to the original data, allowing the process capacity to be calculated, which is very favourable and will help to continue improving its performance if the suggestions mentioned in this document are applied.

GLOSARIO

- **FPY:** First pass yield: Rendimiento de primer paso. Es un indicador de desempeño que se define como el número de unidades que salen de un proceso dividido por el número de unidades que entran en ese proceso durante un período de tiempo específico.
- **KPI:** Key performance indicator (Indicador clave de desempeño). Es una medida del nivel del rendimiento de un proceso.
- **LEAN:** Modelo de gestión que se enfoca en minimizar las pérdidas de los sistemas de manufactura al mismo tiempo que maximiza la creación de valor para el cliente final.
- **OEE:** Overall Equipment Effectiveness (Efectividad global de los equipos).
- **ROI:** Return on Investment (Retorno de inversión): Valor económico generado como resultado de la implementación de diferentes acciones. Permite medir el rendimiento que se obtiene de una inversión.
- **SMED:** Single minute Exchange of die. Cambio de una matriz en un minuto. Es un método de reducción de los desperdicios en un sistema productivo que se basa en asegurar un tiempo de cambio de herramienta de un solo minuto.
- **TEEP:** Total Effective Equipment Performance (Desempeño efectivo total del equipo).
- **TPM:** Total productive maintenance. (Mantenimiento productivo total).

ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN	ii
ABSTRACT	iii
GLOSARIO	iv
ÍNDICE DE CONTENIDOS	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
ÍNDICE DE TABLAS	ix
INTRODUCCIÓN	xi
OBJETIVOS	xii
PLAN DE TRABAJO	xiii
1. MARCO TEÓRICO	1
1.1. Distribución de los tiempos de producción	1
1.2. Indicador de Efectividad global de los equipos (OEE)	3
1.3. Factores del OEE	5
1.3.1. Disponibilidad	5
1.3.2. Rendimiento	6
1.3.3. Calidad	7
1.3.4. OEE	8
1.3.5. TEEP	8
1.4. Supuestos establecidos en el cálculo del OEE	9
1.5. Forma gráfica de representar el OEE	13
1.6. Las 6 grandes pérdidas	16
1.7. Ciclo PDCA	20
1.8. Control estadístico de un proceso de producción	25
1.9. Diagrama de Ishikawa y método de las 6M	29
1.10. Índices de capacidad de un proceso	31
2. ANTECEDENTES GENERALES	33
2.1. Información histórica	33
2.2. Productos e industria	34
2.3. Operaciones comerciales	34
2.4. Actividades y negocios	34
2.5. Localización	35
3. ANÁLISIS DEL PROCESO DE ESMALTADO DE PIEZAS DE COCINA	36

3.1.	Proceso productivo de armado de cocinas	36
3.2.	Actividades del proceso de esmaltado de piezas de cocina	38
4.	DIAGNÓSTICO DEL PROCESO DE ESMALTADO DE PIEZAS DE COCINA	43
4.1.	Descripción general del diagnóstico realizado al proceso de esmaltado	43
4.2.	Medición del OEE en el proceso de esmaltado	44
4.3.	Comportamiento de los factores del OEE.....	49
4.3.1.	Análisis de la Calidad del proceso de esmaltado de cocinas.....	49
4.3.2.	Análisis de la Disponibilidad del proceso de esmaltado de cocinas.....	51
4.3.3.	Análisis del Rendimiento del proceso de esmaltado de cocinas	53
4.3.4.	Análisis del OEE del proceso de esmaltado de cocinas	55
4.4.	Correlaciones entre el OEE y los factores que lo componen.....	59
4.5.	Conclusiones del diagnóstico del proceso de esmaltado	62
5.	OPORTUNIDADES DE MEJORA	63
5.1.	Análisis de las seis pérdidas en el proceso de esmaltado de cocinas.....	63
5.1.1.	Pérdidas de eficiencia por tiempos muertos	63
5.1.2.	Pérdidas de eficiencia por calidad	63
5.1.3.	Pérdidas de eficiencia por velocidad	64
5.2.	Análisis de la causas raíz del problema del proceso de esmaltado de cocinas	64
6.	PROPUESTA DE PLAN DE MEJORA.....	68
6.1.	Subdivisión de las actividades del proceso de esmaltado de cocinas	68
6.2.	Inconsistencia en los factores que conforman el OEE.....	70
6.3.	Identificación de la capacidad real del proceso de esmaltado	72
7.	PLAN PILOTO	73
7.1.	Consideraciones tomadas al implementar el plan de mejora	73
7.2.	Análisis estadístico de los datos obtenidos con el plan de mejora.....	75
7.2.1.	Análisis de la capacidad del proceso de esmaltado	77
8.	CONCLUSIONES	80
	BIBLIOGRAFÍA	83
	ANEXOS	85
	Anexo 1: Datos OEE año 2018	85
	Anexo 2: Ausencias registradas de los trabajadores.....	96
	Anexo 3: Datos utilizados en el plan piloto.....	97

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Esquema del plan de trabajo de titulación. Elaboración propia.....	xiii
Figura 2: Distribución de los tiempos de producción. Fuente: (Núñez).	2
Figura 3: Tiempos considerados en el cálculo del OEE. Fuente: (Vorne Industries Inc., 2005-2010).	5
Figura 4: Ejemplo de gráfico de torta. Se muestra OEE, pérdida de rendimiento, calidad y disponibilidad. Elaboración propia.....	15
Figura 5: Relación de cada uno de los factores del OEE con las 6 grandes pérdidas de forma gráfica. Fuente: (MES Sigma E.I.R.L., 2010).....	20
Figura 6: Ciclo de Shewhart. Adaptado de (Moen, 2009).	21
Figura 7: La primera propuesta de E. Deming sobre ciclos de mejora continua. Adaptado de (Moen, 2009).	22
Figura 8: Ciclo de Deming (PHVA). Adaptado de (Moen, 2009)	23
Figura 9: Tipos de asimetrías. Fuente: (Minitab, LLC, s.f.)	26
Figura 10: Tipos de curtosis. Fuente: (Minitab, LLC, s.f.)	27
Figura 11: Ejemplo de diagrama de Ishikawa aplicando método de las 6M. Fuente: (Gutierrez & De la Vara, 2009).....	30
Figura 12: Diagrama de proceso de fabricación de cocinas. Elaboración propia.	37
Figura 13: Mapa de la línea de cocción para piezas de cocina. Elaboración propia.	39
Figura 14: Piezas colgadas en la cadena transportadora. Fuente: Fotografía tomada en la línea de esmaltado.	41
Figura 15: Módulos transportadores de las piezas de cocina. Fuente: Fotografía tomada en la línea de esmaltado.....	41
Figura 16: Calidad del proceso de esmaltado durante el año 2018. Fuente: Electrolux de Chile S.A.	49
Figura 17: Informe resumen del comportamiento del factor Calidad durante un año completo. Elaborado con el software Minitab.....	50
Figura 18: Disponibilidad del proceso de esmaltado durante el año 2018. Fuente: Electrolux de Chile S.A.	51
Figura 19: Informe resumen del comportamiento del factor Disponibilidad durante un año completo. Elaborado con el software Minitab.....	52
Figura 20: Rendimiento del proceso de esmaltado durante el año 2018. Fuente: Electrolux de Chile S.A.....	53
Figura 21: Informe resumen del comportamiento del factor Rendimiento durante un año completo. Elaborado con el software Minitab.....	54
Figura 22: OEE del proceso de esmaltado durante el año 2018. Fuente: Electrolux de Chile. S.A.	55
Figura 23: Informe resumen del comportamiento del OEE durante un año completo. Elaborado con el software Minitab.....	56
Figura 24: Gráfica de probabilidad para OEE. Distribución Normal, Transformación Box-Cox, Lognormal y Lognormal de 3 parámetros. Elaborada con el software Minitab.	57

Figura 25: Gráfica de probabilidad para OEE. Distribución Exponencial, Exponencial de 2 parámetros, Weibull y Weibull de 3 parámetros. Elaborada con el software Minitab.....	57
Figura 26: Gráfica de probabilidad para OEE. Distribución de Valor extremo más pequeño, Valor extremo por máximos, Gamma y Gamma de 3 parámetros. Elaborada con el software Minitab.....	58
Figura 27: Gráfica de probabilidad para OEE. Distribución Logística, Loglogística, Loglogística de 3 parámetros y transformación de Johnson. Elaborada con el software Minitab.	58
Figura 28: Correlación entre OEE y Disponibilidad. Elaborado con el software Minitab.	59
Figura 29: Correlación entre OEE y Calidad. Elaborado con el software Minitab.....	60
Figura 30: Correlación entre OEE y Rendimiento. Elaborado con el software Minitab. ...	60
Figura 31: Correlación entre OEE y las ausencias de los trabajadores del área de esmaltado. Elaborado con el software Minitab.	61
Figura 32: Diagrama de Ishikawa del proceso de esmaltado aplicando método de las 6M. Elaboración propia.....	65
Figura 33: Dimensión de los módulos transportadores y distancia entre éstos. Elaboración propia.	71
Figura 34: Comparación de manera gráfica de los factores y OEE obtenidos antes y después de haber aplicados las acciones del plan de mejora durante un día del año. Elaboración propia.....	74
Figura 35: Informe resumen del comportamiento del OEE durante un año completo al aplicar el plan de mejora. Elaborado con el software Minitab.	75
Figura 36: Gráfica de probabilidad para el OEE luego de haber aplicado el plan de mejora. Distribución normal luego de aplicar la transformación de Johnson. Elaborada con el software Minitab.....	77
Figura 37: Análisis de capacidad del OEE en el proceso de esmaltado. Elaborado con el software Minitab.....	78

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Relación entre las diferentes pérdidas del OEE y sus respectivos factores. Fuente: (Vorne Industries Inc., 2002-2008).	3
Tabla 2: Las 6 grandes pérdidas y su relación con el OEE. Fuente: (Vorne Industries Inc., 2002-2008).	16
Tabla 3: Correlación entre los ciclos PDCA y Deming. Fuente: (Moen, 2009).	22
Tabla 4: Capacidad de los módulos transportadores por cada pieza de cocina en el proceso de esmaltado. Fuente: Planilla Excel OEE de la empresa.	42
Tabla 5: Tabla utilizada por la empresa para mostrar los datos necesarios para el cálculo de la disponibilidad. Fuente: Planilla Excel OEE de la empresa.	44
Tabla 6: Tabla utilizada por la empresa para mostrar los datos necesarios para el cálculo de la calidad. Fuente: Planilla Excel OEE de la empresa.	46
Tabla 7: Tabla utilizada por la empresa para mostrar los datos necesarios para el cálculo del rendimiento. Fuente: Planilla Excel OEE de la empresa.	48
Tabla 8: Correlación de Pearson entre el OEE y sus variables. Elaborado con el software MNITAB.	60
Tabla 9: Distribuciones puestas a prueba para datos de OEE obtenido con el plan de mejora. Elaborada con el software Minitab.	76
Tabla 10: Datos de rendimiento, calidad, disponibilidad y OEE para los meses de enero y febrero de 2018. Fuente: Electrolux de Chile S.A.	85
Tabla 11: Datos de rendimiento, calidad, disponibilidad y OEE para el mes de marzo de 2018. Fuente: Electrolux de Chile S.A.	86
Tabla 12: Datos de rendimiento, calidad, disponibilidad y OEE para el mes de abril de 2018. Fuente: Electrolux de Chile S.A.	87
Tabla 13: Datos de rendimiento, calidad, disponibilidad y OEE para el mes de mayo de 2018. Fuente: Electrolux de Chile S.A.	88
Tabla 14: Datos de rendimiento, calidad, disponibilidad y OEE para el mes de junio de 2018. Fuente: Electrolux de Chile S.A.	89
Tabla 15: Datos de rendimiento, calidad, disponibilidad y OEE para el mes de julio de 2018. Fuente: Electrolux de Chile S.A.	90
Tabla 16: Datos de rendimiento, calidad, disponibilidad y OEE para el mes de agosto de 2018. Fuente: Electrolux de Chile S.A.	91
Tabla 17: Datos de rendimiento, calidad, disponibilidad y OEE para el mes de septiembre de 2018. Fuente: Electrolux de Chile S.A.	92
Tabla 18: Datos de rendimiento, calidad, disponibilidad y OEE para el mes de octubre de 2018. Fuente: Electrolux de Chile S.A.	93
Tabla 19: Datos de rendimiento, calidad, disponibilidad y OEE para el mes de noviembre de 2018. Fuente: Electrolux de Chile S.A.	94
Tabla 20: Datos de rendimiento, calidad, disponibilidad y OEE para el mes de diciembre de 2018. Fuente: Electrolux de Chile S.A.	95
Tabla 21: Ausencias de los operarios de producción registradas durante el año 2018.	96

Tabla 22: Datos del total de piezas procesadas, rendimiento, calidad, disponibilidad y OEE para los meses de enero y febrero de 2018. Elaboración propia.	97
Tabla 23: Datos del total de piezas procesadas, rendimiento, calidad, disponibilidad y OEE para el mes de marzo de 2018. Elaboración propia.	98
Tabla 24: Datos del total de piezas procesadas, rendimiento, calidad, disponibilidad y OEE para el mes de abril de 2018. Elaboración propia.	99
Tabla 25: Datos del total de piezas procesadas, rendimiento, calidad, disponibilidad y OEE para el mes de mayo de 2018. Elaboración propia.	100
Tabla 26: Datos del total de piezas procesadas, rendimiento, calidad, disponibilidad y OEE para el mes de junio de 2018. Elaboración propia.	101
Tabla 27: Datos del total de piezas procesadas, rendimiento, calidad, disponibilidad y OEE para el mes de julio de 2018. Elaboración propia.	102
Tabla 28: Datos del total de piezas procesadas, rendimiento, calidad, disponibilidad y OEE para el mes de agosto de 2018. Elaboración propia.	103
Tabla 29: Datos del total de piezas procesadas, rendimiento, calidad, disponibilidad y OEE para el mes de septiembre de 2018. Elaboración propia.	104
Tabla 30: Datos del total de piezas procesadas, rendimiento, calidad, disponibilidad y OEE para el mes de octubre de 2018. Elaboración propia.	105
Tabla 31: Datos del total de piezas procesadas, rendimiento, calidad, disponibilidad y OEE para el mes de noviembre de 2018. Elaboración propia.	106
Tabla 32: Datos del total de piezas procesadas, rendimiento, calidad, disponibilidad y OEE para el mes de diciembre de 2018. Elaboración propia.	107

INTRODUCCIÓN

En una línea de producción de cocinas están involucrados diversos procesos que van modificando la materia prima hasta ensamblar el producto final que llega a los hogares de las personas. Entre éstos se encuentra el prensado, decapado, ensamblaje y el esmaltado de las piezas que conforman una cocina. Este último es imprescindible para que el metal resista las altas temperaturas a las cuales se someterá al utilizarse el producto y no se deforme a la hora de usarse.

Es fundamental aumentar lo más posible la eficiencia del proceso de esmaltado, pues todo el ensamblaje de las cocinas depende de éste. Es por ello que se utilizan diferentes indicadores para medir que tan eficiente es el proceso día a día. Uno de ellos es el indicador OEE (Efectividad global de los equipos), el cual, a través de la medición de disponibilidad, calidad y rendimiento de los equipos involucrados en el proceso productivo, entrega un valor que da cuenta de que tan eficaz está siendo el proceso en términos de productividad.

En este trabajo de titulación se pretende analizar el proceso de esmaltado de piezas de cocina para lograr mejorar su eficiencia productiva a través del indicador OEE, entendiendo el proceso e identificando cuáles son los errores que se cometen tanto en la línea de producción como en la obtención de datos, para así proponer estrategias que ayuden a que los datos utilizados en el cálculo del OEE sean fidedignos y más confiables, con el objetivo de lograr mejorar la eficiencia productiva del proceso.

OBJETIVOS

❖ **Objetivo general**

El objetivo general de este Trabajo de Titulación es realizar una propuesta de plan de mejora de la efectividad global de los equipos (OEE) del proceso de esmaltado de piezas de cocina, en una empresa de fabricación de Línea Blanca, con la finalidad de aumentar su nivel de desempeño.

❖ **Objetivos específicos**

- Diagnosticar la situación actual del proceso de producción de piezas esmaltadas y del sistema de obtención del indicador OEE para el proceso, considerando aspectos de ejecución de los trabajos, la obtención de datos de las variables involucradas y el proceso de cálculo del indicador OEE para la línea.
- Determinar áreas de mejora de la eficiencia global de equipos (OEE).
- Definir el plan de acciones para aumentar la eficiencia global del proceso que aborde las áreas de mejora detectadas.
- Implementar, a modo de plan piloto, un subconjunto de las acciones propuestas con la finalidad de evaluar la efectividad del plan de mejora propuesto.

PLAN DE TRABAJO

A continuación, se presenta el plan de trabajo propuesto para desarrollar el plan de mejora de la eficiencia productiva en el proceso de interés, y con ello lograr los objetivos planteados.

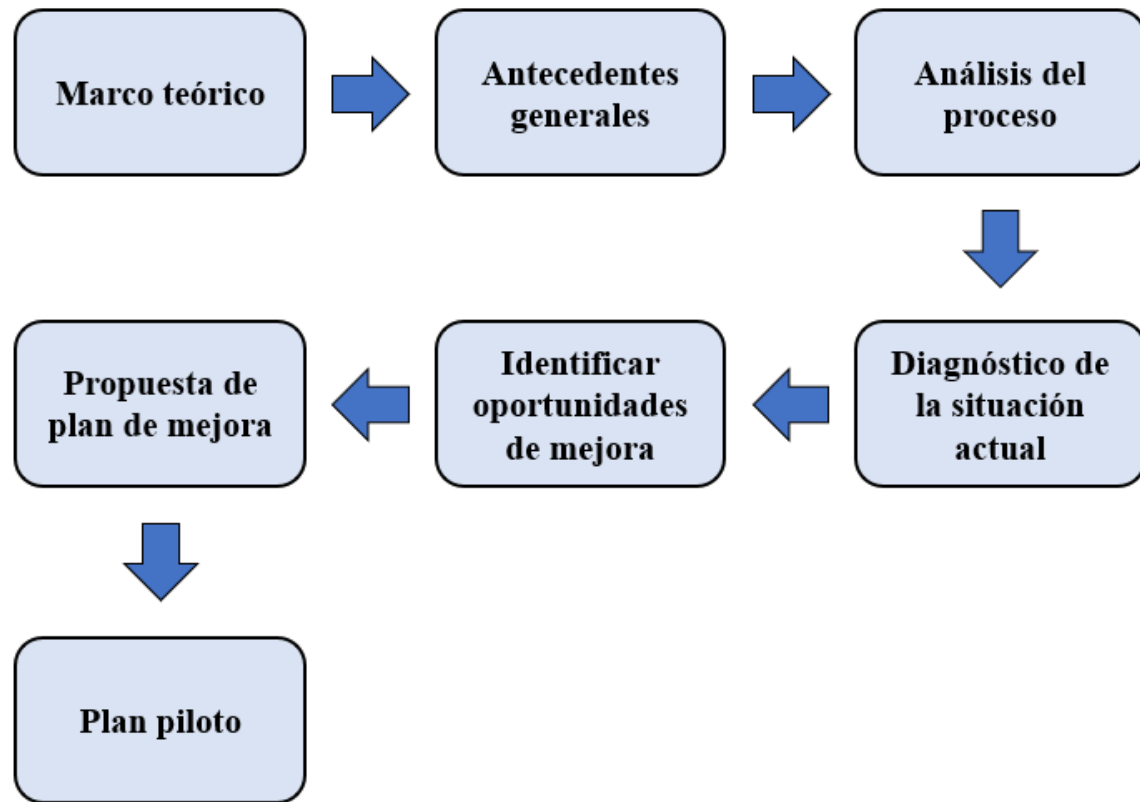


Figura 1: Esquema del plan de trabajo de titulación. Elaboración propia

1. Marco teórico

En la primera sección de este trabajo de titulación se presenta la base teórica que lo sustenta, en donde se define lo que es el OEE y otros conceptos claves para lograr el plan de mejora de la eficiencia del proceso productivo, como lo son las seis grandes pérdidas, el ciclo PDCA y preguntas comunes que surgen cuando se está trabajando con el OEE.

2. Antecedentes generales

En este capítulo se presentan los antecedentes de la empresa en la cual se está realizando el plan de mejora. Se consideran aspectos generales de ésta, tales como el rubro al que se dedica y las plantas que existen en sus instalaciones en Chile.

3. Análisis del proceso

En la tercera parte de este trabajo, se presenta un análisis del proceso de interés (esmaltado de piezas de cocina), como también de los otros procesos involucrados en la fabricación de cocinas. Este análisis consiste en entender cómo funciona la producción y las máquinas involucradas en el mismo.

4. Diagnóstico de la situación actual

Una vez presentado el proceso, se realiza un diagnóstico de éste, poniendo énfasis en cómo es que se mide el indicador de desempeño OEE, que tecnologías se utilizan, y cómo se calcula en otras áreas de la empresa, para tener una visión más general de la manera de medir el KPI dentro de la producción de cocinas.

5. Oportunidades de mejora

El quinto capítulo corresponde a la identificación de las oportunidades de mejora dentro del proceso de producción de esmaltado. Para ello se analizaron los factores que componen al OEE, también se reconocieron las seis grandes pérdidas de la eficiencia y se analizó el rendimiento del proceso en función de las ausencias de los operarios durante un año.

6. Propuesta de plan de mejora

Ya teniendo identificadas las oportunidades de mejora y qué áreas son posibles de intervenir, se presenta la propuesta del plan de mejora, donde se detallan las acciones que deben realizarse y lo que se pretende hacer para que éste sea exitoso y se logre el objetivo de aumentar la eficiencia del proceso, lo cual se verá reflejado en el indicador OEE.

7. Plan piloto

Finalmente se presenta el plan piloto, el cual consiste en la aplicación de un subconjunto de acciones para la evaluación de la efectividad del plan de mejora propuesto.

1. MARCO TEÓRICO

El presente trabajo consiste en el desarrollo de un plan de mejora para el área de esmaltado de una empresa manufacturera de productos de línea blanca, con el fin de aumentar la productividad y eficiencia de éste. En este capítulo se presenta información que es indispensable para el desarrollo y buena aplicación del plan de mejora.

Para lograr un aumento de eficiencia de los procesos productivos, las empresas emplean una amplia cantidad de KPIs que ayudan a monitorear el comportamiento de éstos. En este caso se utilizó el indicador OEE, por lo que se presenta la manera en que éste es calculado, los factores que son tomados en cuenta a la hora de obtenerlo y formas de representarlo gráficamente que son más amigables para quienes leen los datos y puedan ser interpretados más fácilmente.

Por otra parte, se presenta información sobre las seis grandes pérdidas del mantenimiento, las cuales están ligadas al OEE al momento de identificar qué factores influyen de mayor manera en las pérdidas de eficiencia en el proceso. Finalmente, se muestra la metodología que se seguirá durante el desarrollo de este trabajo de titulación mediante el ciclo PDCA.

1.1. Distribución de los tiempos de producción

Una parte fundamental para la eficiencia de los procesos de producción son los tiempos involucrados en los mismos, pues que tan bien se utiliza el tiempo disponible para producir determinará que tan eficiente es el proceso.

La evaluación del desempeño de los procesos utilizando el indicador OEE, comienza con la identificación del tiempo total de operación de la planta (tiempo base), es decir, el tiempo con el que se cuenta para la operación de los equipos, el cual está dado por la jornada laboral de la empresa.

Del tiempo total de operación de la planta, se sustrae el tiempo no utilizable, también llamado *Paradas Programadas*, el cual incluye todos los eventos que deberían ser excluidos del análisis de eficiencia debido a que no estaban destinados para la producción (como por

ejemplo los descansos, los periodos de almuerzo y duración de los mantenimientos programados). El tiempo restante se denomina *Tiempo disponible para producción*.

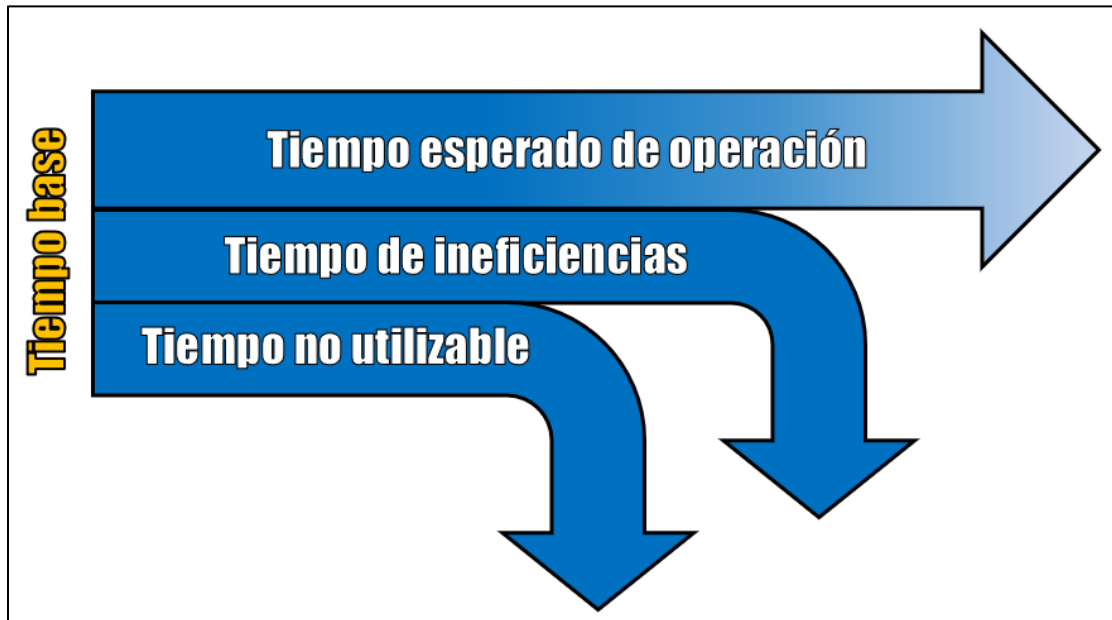


Figura 2: Distribución de los tiempos de producción. Fuente: (Núñez).

Como se puede apreciar en la Figura 2, el tiempo base (o tiempo total de operación de la planta) se divide en subcategorías, la cuales se describen a continuación:

- **Tiempo no utilizable:** corresponde a las paradas programadas (mantenimientos, paradas entre ciclos continuos, descansos, almuerzos, etc.);
- **Tiempo de ineficiencias:** son tiempos propios del proceso, tales como fallas y detenciones no programadas, ausentismos, operaciones lentas, tiempos muertos, falta de material e imprevistos;
- **Tiempo esperado de operación:** es el tiempo que se destinará realmente para la producción y el cumplimiento de la demanda;
- **Tiempo disponible para producción:** corresponde a la sustracción del tiempo no utilizable del tiempo base.

El OEE toma como referencia el tiempo planificado de producción y examina las pérdidas de productividad y eficiencia que ocurren en el proceso, con el objetivo de reducir o

eliminar dichas pérdidas. Existen tres categorías generales de pérdidas a considerar: por pausas, por velocidad y por calidad. (Vorne Industries Inc., 2002-2008)

La **Tabla 1** relaciona las pérdidas mencionadas con el factor del OEE con que están relacionadas.

Tabla 1: Relación entre las diferentes pérdidas del OEE y sus respectivos factores. Fuente: (Vorne Industries Inc., 2002-2008).

Pérdida de OEE	Factor de OEE
Paradas programadas	No es parte del cálculo del OEE
Pérdidas por tiempo muerto	- Disponibilidad 100% de disponibilidad significa que el proceso ha estado funcionando sin detención alguna.
Pérdidas por velocidad	- Rendimiento 100% de rendimiento significa que el proceso ha estado funcionando constantemente a su velocidad teórica máxima.
Pérdidas de calidad	- Calidad 100% de calidad significa que no ha habido piezas rechazadas o reprocesamiento de éstas.

1.2. Indicador de Efectividad global de los equipos (OEE)

La efectividad global de los equipos (OEE por sus siglas en inglés “Overall Equipment Effectiveness”) es un KPI y una herramienta que se utiliza para la medición de la productividad de una máquina o un conjunto de máquinas. Identifica el tiempo de manufactura que es realmente productivo.

Un OEE de 100% significa que se están produciendo solamente piezas buenas, de la manera más rápida y sin tiempo de detención. En términos de OEE esto significa un 100% de Calidad (solo piezas buenas), 100% de Rendimiento (lo más rápido posible), y 100% de disponibilidad (sin detenciones).

Esta herramienta es simple y práctica. Toma en cuenta las fuentes más importantes y comunes de pérdidas de productividad, las ubica en tres categorías principales y las junta en una métrica que provee una excelente manera para medir en dónde está parada la empresa y como se puede mejorar. El OEE es usado frecuentemente como una métrica clave en el TPM y en aplicaciones de Lean Manufacturing.

La ventaja esencial de trabajar con el OEE es que mide los parámetros fundamentales de la producción industrial a través de un indicador que transforma los datos de un proceso complejo en información sencilla, visual y eficiente. (Vorne Industries Inc., 2002-2008)

Según (MES Sigma E.I.R.L., 2010), los beneficios resaltantes al emplear el OEE son los siguientes:

- Se tiene constantemente la eficiencia de la producción.
- Se reduce el tiempo de investigación en el análisis del motivo de parada.
- Acorta el ROI del equipo debido al aumento del funcionamiento de la máquina.
- Se reduce los gastos gracias a la disminución de pérdidas.
- Incrementa la satisfacción del cliente a través de la mejora de la calidad

Por otra parte, también es importante conocer los rangos en los cuales un valor de OEE se considera aceptable. Según Vorne Industries Inc (s.f.), los valores de referencia son los siguientes:

- Un OEE de 100% es producción perfecta, es decir, fabricar solamente piezas buenas, lo más rápido posible, y sin tiempo de parada.
- Un OEE de 85% se considera de clase mundial. Para muchas empresas es un objetivo adecuado a largo plazo.
- Un OEE de 60% es bastante típico, pero indica que hay un margen sustancial de mejora.
- Un OEE de 40% es común para las empresas de fabricación que recién están comenzando a realizar un seguimiento y mejorar su rendimiento de fabricación. Es una puntuación baja y, en la mayoría de los casos, se puede mejorar fácilmente mediante medidas sencillas.

1.3. Factores del OEE

Para entender los factores que conforman el OEE, se comienza considerando el tiempo de operación de la planta y luego se van descontando las pérdidas de tiempo debido a diferentes causales. Esto se muestra en la siguiente figura:



Figura 3: Tiempos considerados en el cálculo del OEE. Fuente: (Vorne Industries Inc., 2005-2010).

Como se puede observar en la **Figura 3**, del tiempo de operación de la planta se sustrae el tiempo de paradas programadas y queda el tiempo planificado de producción, el cual va disminuyendo debido a pérdidas de disponibilidad, rendimiento y calidad. Estos tres factores se describen con detalle a continuación:

1.3.1. Disponibilidad

La disponibilidad considera las pérdidas de tiempo productivo por detenciones, lo cual incluye todos los eventos que detengan la producción por un considerable periodo de tiempo (usualmente varios minutos). Ejemplos incluyen fallas de los equipos, escasez de materiales y tiempo de cambio de piezas y repuestos. Este último es incluido en el análisis de OEE pues es una forma de detención.

Generalmente es imposible eliminar el tiempo de cambio de piezas y repuestos, no obstante, éste puede ser reducido (lo cual es la base de los programas SMED). El tiempo restante se le denomina “Tiempo de operación”.

Disponibilidad es la razón entre el tiempo de operación con el tiempo de producción programado. (Vorne Industries Inc., 2005-2010)

$$\textbf{Disponibilidad:} \frac{\textit{Tiempo de operación}}{\textit{Tiempo planificado de producción}} \quad (1)$$

$$= \frac{\textit{Tiempo de operación de la planta} - \textit{Paradas programadas} - \textit{Pérdidas por detenciones}}{\textit{Tiempo de operación de la planta} - \textit{Paradas programadas}}$$

1.3.2. Rendimiento

El rendimiento considera las pérdidas de velocidad del proceso, lo cual incluye todos los factores que causan que éste funcione a una velocidad menor que el ritmo estándar o ideal definido para la producción de cierto tipo de pieza. Ejemplos incluyen desgaste de las máquinas, materiales de baja calidad, atascos e ineficiencias de los operadores. El tiempo restante se denomina “Tiempo de operación neto”.

Rendimiento es la razón entre el tiempo de operación neto y tiempo de operación. (Vorne Industries Inc., 2005-2010)

$$\textbf{Rendimiento:} \frac{\textit{Tiempo de operación neto}}{\textit{Tiempo de operación}} \quad (2)$$

$$= \frac{(\textit{Tiempo ideal del ciclo}) \cdot (\textit{Total de piezas})}{\textit{Tiempo de operación}}$$

El tiempo ideal del ciclo corresponde al tiempo de ciclo mínimo que el proceso puede esperar lograr bajo condiciones óptimas. Por lo tanto, cuando éste es multiplicado por la cantidad de piezas totales, el resultado es el tiempo neto de operación. (Vorne Industries Inc., s.f.) Este tiempo también es llamado “tiempo de diseño del ciclo”, “tiempo de ciclo teórico” o “capacidad de la placa de identificación”. (Vorne Industries Inc., 2005-2010)

Según Stamatis (2010), el rendimiento representa la velocidad a la que funciona la máquina como un porcentaje de su velocidad de diseño. En otras palabras, es la velocidad real de la máquina en relación con la velocidad de diseño de ésta. Entonces, también se puede calcular de la siguiente manera:

$$\textbf{Rendimiento: } \frac{\textit{Tasa real}}{\textit{Tasa estándar}} \quad (3)$$

El rendimiento nunca debe ser mayor a 100%. Si lo es, eso usualmente indica que el tiempo de ciclo ideal está configurado erróneamente, es decir, el ciclo real logrado es menor al que se considera como ideal o estándar, y debería revisarse. (Vorne Industries Inc., s.f.)

1.3.3. Calidad

La calidad considera la pérdida de calidad, la cual considera las piezas producidas que no cumplen con los estándares de calidad, incluyendo piezas que requieren reprocesamiento. El tiempo restante se denomina “Tiempo de producción real”.

Calidad es la razón entre el tiempo de producción real (piezas buenas) y el tiempo de operación neto (piezas totales procesadas). (Vorne Industries Inc., 2005-2010)

$$\textbf{Calidad: } \frac{\textit{Tiempo de producción real}}{\textit{Tiempo de operación neto}} \quad (4)$$

$$= \frac{\textit{Piezas totales} - \textit{Piezas defectuosas}}{\textit{Piezas totales}}$$

1.3.4. OEE

OEE es la razón entre el tiempo de producción real y el tiempo planificado de producción. (Vorne Industries Inc., 2005-2010)

En la práctica se calcula de la siguiente manera:

$$OEE = \%Disponibilidad \cdot \%Calidad \cdot \%Rendimiento \quad (5)$$

Además, existen otros dos factores que están estrechamente relacionados con el OEE. Éstos son el TEEP (Total Effective Equipment Performance) y la Utilización. El OEE y el TEEP son dos medidas estrechamente relacionadas que dan cuenta de la utilización general de las instalaciones, el tiempo y el material para las operaciones de manufactura. Estas dos métricas de desempeño indican directamente la brecha entre el rendimiento actual y el ideal. El OEE cuantifica que tan bien una unidad de producción se desempeña con respecto a su capacidad de diseño durante los periodos en los que se tiene programado que ésta esté en funcionamiento. Por otra parte, el indicador TEEP mide la efectividad del OEE frente a las horas de calendario, que son 24 horas al día, 365 días por año. (Stamatis, 2010)

1.3.5. TEEP

El OEE mide el porcentaje del tiempo disponible de producción que es verdaderamente productivo, mientras que el TEEP mide el porcentaje de todo el tiempo que se dispone que es realmente productivo.

La forma para calcular el TEEP es la siguiente:

$$TEEP = Utilización \cdot OEE \quad (6)$$

La Utilización es la porción de tiempo que un equipo de fabricación es usado. Se calcula como el cociente entre el tiempo disponible de producción y todo el tiempo que se podría haber utilizado.

El TEEP muestra cuanto potencial se tiene para aumentar el rendimiento de los equipos actuales. En muchos casos, recuperar el tiempo de la “fábrica oculta” es una alternativa más rápida y menos costosa si se compara con la compra de nuevos activos. (Vorne Industries Inc., s.f.)

1.4. Supuestos establecidos en el cálculo del OEE

Habiendo abordado los factores involucrados en el cálculo del OEE, es importante señalar algunas consideraciones que serán de utilidad en este trabajo de titulación. La empresa Vorne Industries Inc. propone respuestas a preguntas frecuentes que surgen al calcular el indicador, teniendo en cuenta que no existe una única forma de definir los supuestos y condiciones para el cálculo del OEE, ya que ello dependerá de las particularidades del proceso y sus condiciones de automatización. Sin embargo, tener una visión de cómo grandes empresas abordan estas disyuntivas puede resultar provechoso a la hora de decidir cómo se calculará el indicador.

A continuación, se presentan algunas de las consideraciones acerca del indicador OEE que toma en cuenta la empresa Vorne.

a. ¿Deberían los almuerzos y descansos afectar el valor del OEE?

En la práctica, la mayoría de las empresas optan por no incluir almuerzos y pausas como pérdida OEE. Sin embargo, si los almuerzos y descansos quitan tiempo que de otro modo podría usarse para la producción de valor agregado (es decir, fabricación para satisfacer las necesidades del cliente en lugar de fabricación para el inventario), se consideraría una mejor práctica incluirlos en OEE. Específicamente, deberían incluirse en el cálculo de disponibilidad.

Por ejemplo, un turno típico puede acumular más de 15 horas de almuerzos y descansos en un mes. Si este tiempo se excluye de la disponibilidad, entonces se oculta. Incluir esto como una pérdida lo expone como una oportunidad de mejora. Por ejemplo, puede ser posible programar operadores de socorro para que se siga fabricando durante almuerzos y descansos. O bien, puede ser posible extender la alimentación de material para que el equipo pueda pasar por descansos muy cortos sin la intervención del operador. (Vorne Industries Inc., s.f.)

b. ¿Debería afectar la falta de un operador en el OEE en un proceso que está en marcha?

Según Vorne Industries Inc (s.f.), se recomienda calcular el OEE normalmente, lo que significa que el valor del OEE será menor cuando hay un operario ausente.

El propósito del OEE es identificar todas las pérdidas relacionadas con los equipos. En este caso, porque un operador está ausente, los equipos no pueden andar a la velocidad de diseño. Para identificar precisamente las pérdidas, es importante incluir todos los factores que prevengan que el proceso alcance la producción perfecta. Si se esconden las pérdidas excluyéndolas del OEE, es mucho más difícil tomar decisiones para mejorarlas.

Otra respuesta a la pregunta considera que se pretende manufacturar para lograr la demanda del cliente (no para crear inventario). Por lo tanto:

- Si hay ausencia de un operario, pero hay una demanda total del cliente (se preferiría que el proceso de manufactura funcione a máxima velocidad), se trata al operario como una pérdida de OEE. En otras palabras, no hay que cambiar el tiempo de ciclo ideal.
- Si hay ausencia de un operario, pero no hay demanda total del cliente (el proceso de manufactura no necesita funcionar a velocidad máxima), entonces no se trata la ausencia como una pérdida de OEE. En otras palabras, se ajusta apropiadamente el tiempo de ciclo ideal del proceso.

c. ¿Debería un proceso que no está en operación por causa de la ausencia de un operario afectar el valor del OEE?

Si el proceso de manufactura estaba programado para funcionar y no pudo hacerlo debido a que no había operario disponible, entonces esto se debe considerar como tiempo muerto (pérdida en disponibilidad). La razón de que esto es una pérdida de disponibilidad es que el proceso debería haber estado funcionando.

Por otra parte, si está programado no tener un operario por falta de demanda o porque la producción planeada fue trasladada a otra línea, lo más probable es que este tiempo sea no programado, es decir, tiempo perdido programado excluido del cálculo del OEE, pero

incluido en el TEEP. Como otra variación, a veces los operarios son movidos de proceso en proceso para alcanzar las necesidades de producción. Si un operario es trasladado de un proceso a otro, surge la interrogante de si debiese o no ser afectado el OEE. ¿Entonces cómo decidir?

Hay que ir a la verdad central. El OEE está planeado para ayudar a identificar las pérdidas del proceso, lo que significa obtener el OEE “real” más bajo posible al incluir la mayor cantidad de pérdidas posible. Si se ocultan las pérdidas al excluirlas del cálculo del KPI, entonces no éstas no se pueden mejorar. (Vorne Industries Inc., s.f.)

d. ¿Cómo se deben tratar las piezas reprocesadas?

Según Vorne Industries Inc (s.f.), es una práctica bien aceptada en OEE que, desde una perspectiva de calidad, las piezas que necesitan retrabajo deben contarse como rechazos la primera vez que pasan por el proceso de fabricación. Esto hace la calidad OEE muy similar a la de FPY.

La situación es más compleja cuando las piezas de retrabajo son lanzadas al proceso de fabricación por segunda vez para repararlas. Hay dos formas de manejar esta situación:

- i. Tratar el tiempo que las piezas de reprocesamiento pasan por el proceso de fabricación por segunda vez como "Tiempo no programado" (que no tiene ningún impacto en el OEE, pero reducirá el TEEP). Es probable que esta sea una opción razonable cuando las piezas rechazadas se agrupan y se vuelven a trabajar después de que se haya completado la producción. La razón es que esas piezas ya han reducido el OEE al tratarlas como un rechazo cuando ejecutó el proceso por primera vez.
- ii. Tratar la parte de retrabajo como "nueva materia prima" y ejecutarla a través del proceso de fabricación como cualquier otra pieza (lo que afectará al OEE como cualquier otra pieza que se ejecute en el proceso, aunque lo impacte por segunda vez). Esta puede ser una opción razonable cuando las piezas de retrabajo se "mezclan" con una ejecución de producción en curso, ya que refleja con precisión cómo se está ejecutando su proceso. Sin embargo, se requiere cuidado para garantizar que su recuento de piezas se mantenga preciso.

Hay muchas maneras en que esta pregunta puede volverse aún más complicada. Por ejemplo:

- Una pieza de retrabajo solo se procesa a través de parte del proceso de fabricación.
- Una pieza de retrabajo requiere que el proceso de fabricación se ejecute más lentamente cuando se ejecuta por segunda vez.
- El defecto afecta solo al embalaje externo y no al producto real (por lo que el producto puede ser modificado sin afectar la restricción).
- Mantener los recuentos de piezas equilibrados (recuento bueno, recuento de rechazos, recuento de retrabajo, recuento total).
- Mantener el tiempo de producción equilibrado (por ejemplo, si se quita el tiempo de producción programado para volver a trabajar las piezas).
- El efecto sobre la restricción del proceso (los problemas de calidad antes de la restricción son generalmente menos impactantes que después de la restricción).

e. ¿Es posible tener un proceso que exceda el 100% de OEE?

No. Si se obtienen lecturas superiores al 100%, en algún momento del proceso no se está definiendo algo correctamente. Significa que se estaba subestimando la capacidad de un proceso cuando se ingresaron sus parámetros. Esto suele ser un problema con el rendimiento, cuando el tiempo de ciclo ideal o la velocidad de ejecución ideal no se han caracterizado correctamente. (Vorne Industries Inc., 2002-2008)

f. ¿Si un proceso puede ejecutarse durante los descansos programados, entonces es ese tiempo de descanso considerado en la disponibilidad del equipo?

Una interrupción de personal no es necesariamente lo mismo que una interrupción de proceso. Si se espera que el proceso se esté ejecutando (es decir, produciendo cualquier cosa), independientemente de quién esté o no almorzando, el OEE considera que el tiempo es parte de la producción planificada. Por otro lado, en un proceso no automatizado de múltiples operadores, una tasa de ejecución ideal diferente puede ser aplicable durante el descanso. (Vorne Industries Inc., 2002-2008)

g. ¿Cómo se relaciona OEE con la función de gestión de "habilitar" operadores?

El verdadero valor de OEE es ayudar a toda el área de operaciones a realizar mejoras sistemáticas, tanto como a ingenieros como a operarios de producción. Por lo tanto, todo lo que haga con OEE, incluida la visualización de datos OEE, debe diseñarse teniendo en cuenta a los operadores y expresarse en los términos que se entiendan más fácilmente. (Vorne Industries Inc., 2002-2008)

1.5. Forma gráfica de representar el OEE

Según (Oskin & Boctor, 2003), una forma gráfica y bastante útil de presentar los datos obtenidos es mediante un gráfico de torta. Para ello, se calculan los tres factores que conforman el OEE (disponibilidad, calidad y rendimiento), y luego se toma como base la disponibilidad para calcular las pérdidas de calidad y rendimiento.

Los datos de rendimiento y programación se utilizan para calcular la efectividad general del equipo, el valor de pérdida de rendimiento y el valor de pérdida de calidad. Estos valores se muestran en una pantalla de formato gráfico, como en un gráfico circular, para indicar visualmente qué porcentaje de un tiempo máximo planeado del producto se dedica realmente a la producción del producto. La pantalla de formato gráfico muestra los factores que disminuyen la productividad en un formato simple para permitir que tanto los operadores como la administración analicen rápidamente la producción. (Oskin & Boctor, 2003, pág. 1)

En general, la porción de OEE del gráfico de torta muestra la porción productiva del tiempo de producción planeado, y las otras categorías muestran los factores que impactan la productividad negativamente. Un operario, incluso con un conocimiento limitado de lo que es eficiencia, lean manufacturing, índices ideales, u otros valores que son de interés para la ingeniería y la administración, puede fácilmente entender un gráfico de torta, pues es un concepto visual simple. Un operario quiere hacer la porción de OEE más grande y las otras porciones más pequeñas, así, puede ver qué factor es grande y realizar los pasos adecuados. Por ejemplo, si una porción que representa el tiempo de preparación de una máquina se ve demasiado grande para el operario, éste puede tomar acciones correctivas para mejorar el valor del OEE. Estas acciones incluyen, pero no están limitadas, a encontrar un método más

eficiente para la preparación de las máquinas y reducir los atrasos por los cambios de turno. (Oskin & Boctor, 2003, pág. 7)

A modo de ejemplo, en la **Figura 4** se presenta un gráfico de torta en el cual se muestran los valores de disponibilidad, rendimiento y calidad, y cómo la pérdida de estos factores se ve reflejada en el gráfico.

Los valores de los factores a ejemplificar son:

- Rendimiento: 89%
- Calidad: 97%
- Disponibilidad: 78%
- OEE: 67,34%

En este caso, la forma de calcular la pérdida de rendimiento y calidad se hacen respecto a la pérdida de disponibilidad, como se muestra en las siguientes fórmulas:

$$\begin{aligned}
 \text{Pérdida de disponibilidad} &= 100 - \% \text{Disponibilidad} & (7) \\
 &= 100 - 78 \\
 &= \mathbf{22.00\%}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Pérdida de rendimiento} &= \frac{\text{Disponibilidad} \cdot (100 - \% \text{Rendimiento})}{100} & (8) \\
 &= \frac{78 \cdot (100 - 89)}{100} \\
 &= \mathbf{8.58\%}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Pérdida de calidad} &= \frac{\text{Disponibilidad} \cdot (100 - \% \text{Calidad})}{100} & (9) \\
 &= \frac{78 \cdot (100 - 97)}{100} \\
 &= \mathbf{2.34\%}
 \end{aligned}$$

La fórmula (7) es diferente a las demás debido a que es la base que se escogió para el cálculo de las pérdidas. Si por ejemplo se escoge el rendimiento como base, entonces ésta cambiará el %Disponibilidad por %Rendimiento.

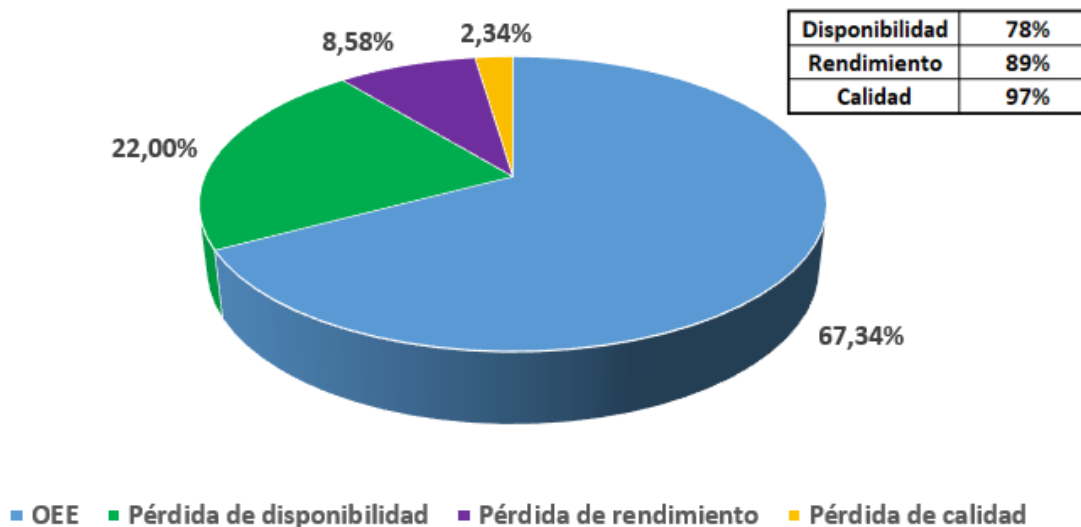


Figura 4: Ejemplo de gráfico de torta. Se muestra OEE, pérdida de rendimiento, calidad y disponibilidad. *Elaboración propia.*

Como se puede apreciar en la **Figura 4**, la mayoría de las pérdidas de eficiencia se generan por falta de disponibilidad de las máquinas del proceso, la calidad es bastante buena y se obtuvo un OEE bajo, por lo que es necesario tomar acciones para hacer que el factor sea mayor.

También se puede observar de la figura que es bastante sencillo y más amigable para un operador o administrativo identificar las pérdidas de eficiencia debido a los diferentes factores que involucra el OEE, lo cual facilita el accionar de éstos a la hora de atacar los factores que disminuyen la eficiencia del proceso.

1.6. Las 6 grandes pérdidas

Uno de los principales objetivos del TPM y el OEE es reducir y eliminar lo que se denominan las 6 grandes pérdidas. Éstas son las causas más comunes de la pérdida de eficiencia en procesos de manufactura. La siguiente tabla muestra estas pérdidas y como se relacionan con las categorías de pérdidas de OEE. (Vorne Industries Inc., 2002-2008)

Tabla 2: Las 6 grandes pérdidas y su relación con el OEE. Fuente: (Vorne Industries Inc., 2002-2008).

Categoría de seis grandes pérdidas	Categoría de pérdida de OEE	Ejemplo de evento
Paradas / Averías	Pérdida por tiempo muerto	• Fallas de herramientas • Mantenimiento inesperado • Averías generales • Fallas de los equipos
Configuración y ajustes	Pérdida por tiempo muerto	• Preparación y cambios • Escasez de materiales • Escasez de operadores • Ajustes importantes • Tiempo de preparación
Paradas pequeñas	Pérdida por velocidad	• Flujo del producto obstruido • Atascos de componentes • Sensor bloqueado • Limpieza, verificación • Entrega bloqueada
Velocidad reducida	Pérdida por velocidad	• Puesta en marcha dificultosa • Capacidad por debajo del diseño • Ineficiencia del operador • Desgaste del equipo
Rechazos por puesta en marcha	Pérdida de calidad	• Desperdicios • Reprocesamiento • Daño durante el proceso • Expiración durante el proceso • Ensamble incorrecto
Rechazos de producción	Pérdida de calidad	• Desperdicios • Reprocesamiento • Daño durante el proceso • Expiración durante el proceso • Ensamble incorrecto

Según APTEAN Corporation (2012), las “6 Grandes Pérdidas” es un método desarrollado en 1970 por el Instituto Japonés de Mantenimiento en Planta (JIPM), este procedimiento permite a las compañías examinar sus problemas de eficiencia con un increíble grado de detalle. Esto provee la estructura necesaria para afrontar los problemas, mejorar la eficiencia y la capacidad, reducir los costes productivos y mejorar los beneficios.

Más allá de medir la producción de las máquinas, el análisis de las 6 grandes pérdidas ayuda a los fabricantes a controlar las variables de producción a través del conocimiento de la cantidad de productos que podrían llegar a fabricar en cada máquina y donde está sufriendo la eficiencia.

El OEE ofrece una representación numérica muy simple de que es lo que causa la ineficiencia, ofreciendo información diaria sobre cómo el o los equipos están funcionando y cuáles de las 6 grandes pérdidas deben ser mejoradas.

Esta metodología ha permitido a cientos de empresas determinar con una gran precisión las causas raíz de sus ineficiencias. Esto provee la estructura necesaria para abordar los problemas, mejorar la eficiencia y la capacidad, bajar los costes y aumentar las ganancias.

Según APTEAN Corporation (2012), las seis grandes pérdidas se pueden ejemplificar como se muestra a continuación:

- 1. Paradas y averías.** Cuando las paradas llegan, no basta con reconocer que las paradas son un problema. Es crítico conocer y entender las causas que provocan esta pérdida. Es más, para conducir el cambio es imprescindible conocer el componente del equipo que las provoca. Más allá de las causas de la parada, lo operarios deben conocer si la parada es causada por errores en los equipos, errores de los operarios o falta / atraso de mantenimiento. También se debe conocer cuan larga han sido las paradas y cuánto tiempo ha tardado el operario en responder.
- 2. Configuración y ajustes.** Un operador que no dispone de unos objetivos a cumplir cuando está realizando un cambio en una máquina y que no dispone de visibilidad de la ejecución óptima del trabajo, no podrá minimizar los tiempos de cambio. Pero en un escenario en el cual tanto los operadores como los encargados y los directores de planta tienen una información absolutamente transparente entre los tiempos de

cambio actuales respecto a los objetivos, la dinámica es completamente diferente. La habilidad para analizar los cambios por equipo, turno, o producto y determinar fácilmente cuando se atasca la producción permite a los directores identificar puntos de mejora en la formación a los empleados. El análisis de las variables que influyen en el tiempo de preparación puede revelar causas que previamente eran desconocidas o simplemente se ignoraban.

3. **Paradas pequeñas.** Esta categoría a menudo representa una enorme área para la implantación de mejoras. Esperas y micro paradas normalmente direccionan a otros problemas de coste además de tiempo perdido. De hecho, incluso las más pequeñas paradas pueden destrozar los ratios de productividad en muchos entornos productivos. Afortunadamente, ésta es una de las áreas sencillas para mejorar cuando se dispone de una tecnología y sistemas de captación de datos adecuados. Pero para alcanzar los objetivos de una forma positiva, y realizar grandes mejoras en esta área, la información debe ser capturada de minuto a minuto. Además, es importante establecer un sistema por el cual los operarios de planta puedan rápida y fácilmente indicar las razones por las cuales los equipos están parando. En muchas ocasiones los procedimientos no son sencillos, por lo que no se informan de la totalidad de las causas a los directores y los problemas siempre se reproducen.
4. **Velocidad reducida.** Si se da una gran visibilidad a los operarios e información de lo que está ocurriendo en tiempo real, la velocidad de la línea puede tener un gran efecto en la ejecución de la línea de producción. Esto es debido al efecto que produce en los operarios el hecho de creerse observados, el cual hace que inconscientemente mejoren de una forma significativa su productividad. Naturalmente, los objetivos para la mayoría de los fabricantes es mejorar la velocidad de producción. Pero adicionalmente, el objetivo debería incluir un óptimo balance entre eficiencia y calidad de producto. En este caso, el sistema de control de la ejecución en planta debería disponer de comparativas entre las fabricaciones del mismo producto en diferentes momentos y con diferentes operarios. Esto permitirá a los directores disponer de un mejor conocimiento sobre el producto que se estaba ejecutando

cuando la velocidad decreció, y analizar variables como el operario, el horario o la calidad del producto.

5. **Rechazos por puesta en marcha.** La mayoría de los fabricantes de la industria de proceso experimentan pérdidas de producto durante los procesos de ajuste y arranque de las máquinas. Este apartado es un punto importante de mejora, máxime si en una línea es necesario realizar un ciclo de preparación y arranque durante varias veces en un turno. Teniendo una gran visibilidad sobre el proceso productivo y un control de las diferentes variables que pueden incidir sobre el desperdicio que se provoca en la puesta en marcha de la línea, así como de las razones que provocan el desperdicio, los directores pueden tomar decisiones para proceder a su reducción. Otro aspecto que puede ayudar es el de ofrecer una buena información en línea a los operarios acerca de los procedimientos correctos a seguir para el arranque de las máquinas. Las alertas de cambios también pueden ayudar, es decir, avisar con antelación de la necesidad de hacer un cambio y del procedimiento a seguir puede ayudar a tener las acciones previstas y con el material necesario preparado.
6. **Rechazos de producción.** Si se habla de rechazo y retrabajo, conocer el tamaño de la pérdida no es suficiente. Para realizar mejoras continuas, se necesita conocer la causa de la pérdida. Por ejemplo, el número de productos que están siendo rechazados en la dosificadora, los que se están reprocesando en la encapsuladora y los motivos de estos retrabajos. Una vez más, se intentar obtener esta información en el momento que ocurre y manualmente es muy difícil. Los fabricantes no disponen de la visibilidad suficiente para controlar todas las posibles causas. Lo que se necesita es un camino automático de captura de la información e inmediatamente enviarla a los operarios y encargados para que estos puedan tomar acciones de forma rápida en cuanto se presenten los problemas. Además de capturar el dato del rechazo y el motivo, es vital también, poder conocer el ámbito en el cual se produce el rechazo, es decir, otras variables productivas que se estaban dando en ese momento.

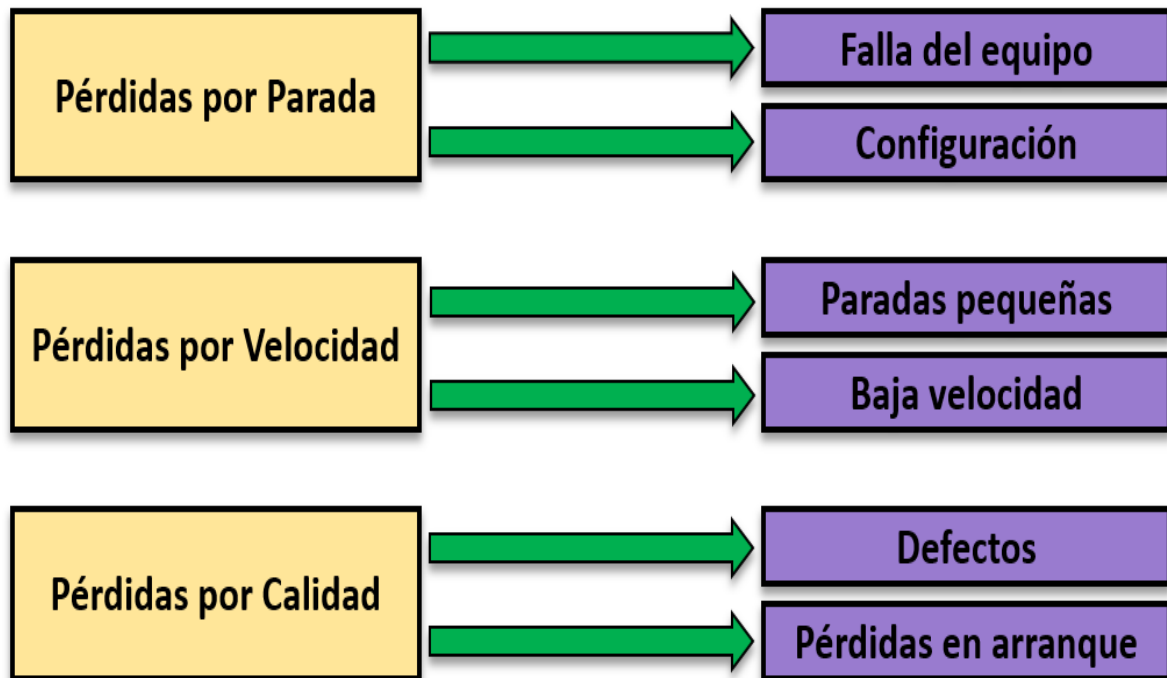


Figura 5: Relación de cada uno de los factores del OEE con las 6 grandes pérdidas de forma gráfica.
Fuente: (MES Sigma E.I.R.L., 2010)

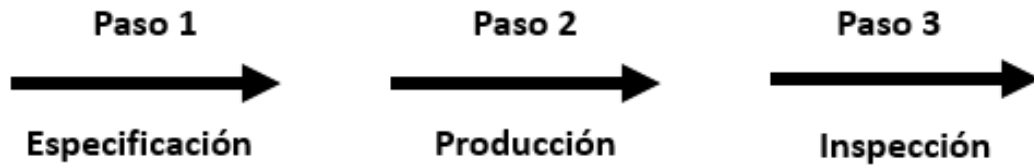
En la **Figura 5** se pueden observar las seis grandes pérdidas y como están relacionadas con las pérdidas de OEE. Las pérdidas por paradas se relacionan con el factor *disponibilidad*, mientras que las pérdidas por velocidad con el factor *rendimiento* y las pérdidas por calidad con el factor *calidad*.

1.7. Ciclo PDCA

El año 1939 el profesor W. Shewhart propuso un ciclo de tres etapas cíclicas, el cual contrastaba con las antiguas ideas, pues planteó que los pasos para la mejora deben estar en un círculo y no en una línea recta. (Moen, 2009)

Estos tres pasos se muestran en la **Figura 6**, y son: Especificación, producción e inspección.

Proceso de mejora lineal



Proceso de mejora cíclico

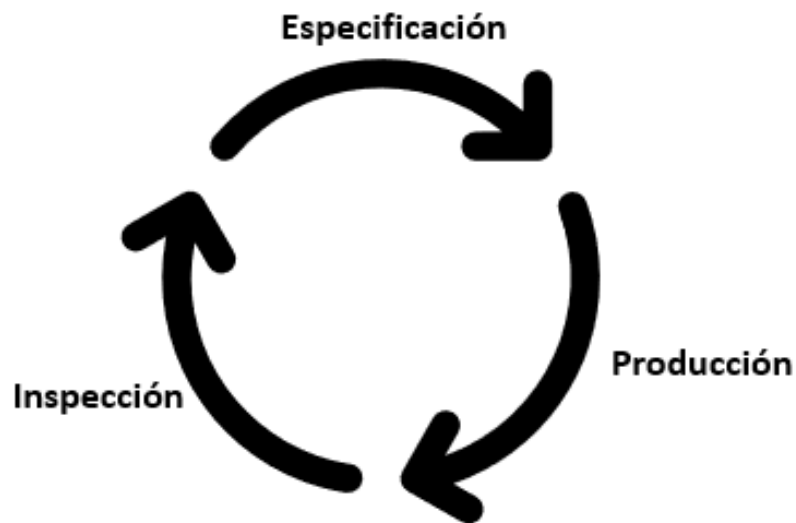
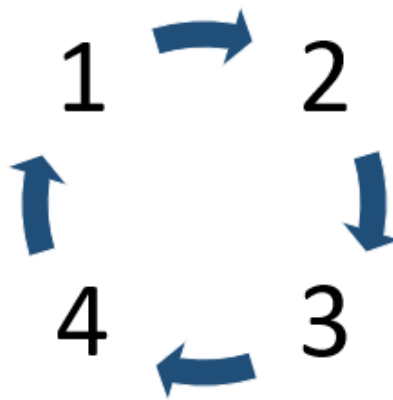


Figura 6: Ciclo de Shewhart. Adaptado de (Moen, 2009).

El año 1950, el libro de Shewhart fue modificado por E. Edwards Deming, el cual se acentuó la importancia de la interacción constante entre el diseño, producción, las ventas, investigación y el rediseño a través de la investigación del mercado, y que éstas deben rotar constantemente, con la calidad del producto y servicio como meta. (Moen, 2009)



1. Diseñar el producto.
2. Fabricarlo. Probarlo en la línea de producción y en laboratorio.
3. Ponerlo en el mercado, venderlo.
4. Ponerlo a prueba en servicio, a través de una investigación de mercado. Encontrar que piensa el usuario del producto.

Figura 7: La primera propuesta de E. Deming sobre ciclos de mejora continua. Adaptado de (Moen, 2009).

Posteriormente, la sociedad japonesa de investigadores e ingenieros (JUSE) propuso una modificación al ciclo de Deming, logrando así el ciclo de Planear-Hacer-Verificar-Actuar PDCA (Plan-Do-Check-Act en inglés). (Moen, 2009)

En la **Tabla 3** se muestra la correlación entre el ciclo de Deming y el ciclo PDCA.

Tabla 3: Correlación entre los ciclos PDCA y Deming. Fuente: (Moen, 2009).

Ciclo de Deming	Ciclo PDCA	Descripción
Diseño	Planear	El diseño del producto corresponde a la fase de planeamiento de la gestión.
Producción	Hacer	Corresponde al <i>doing-making</i> , o a trabajar en el producto que fue diseñado.
Ventas	Verificar	Confirma si el cliente está o no satisfecho.
Investigar	Hacer	En caso de haber recibido alguna queja, debe ser incorporada en la fase de planeamiento y tomar acción en el asunto.

El ciclo PDCA resultante se muestra en la **Figura 8**. Este ciclo enfatizó la prevención de la ocurrencia de errores estableciendo estándares y la modificación continua de aquellas normas.

El ciclo PDCA uno de los pilares fundamentales para la planificación y la mejora de la calidad que se aplica en la familia de las normas UNIT-ISO 9000 y en las demás normas sobre sistemas de gestión. (Instituto Uruguayo de normas técnicas, 2009)

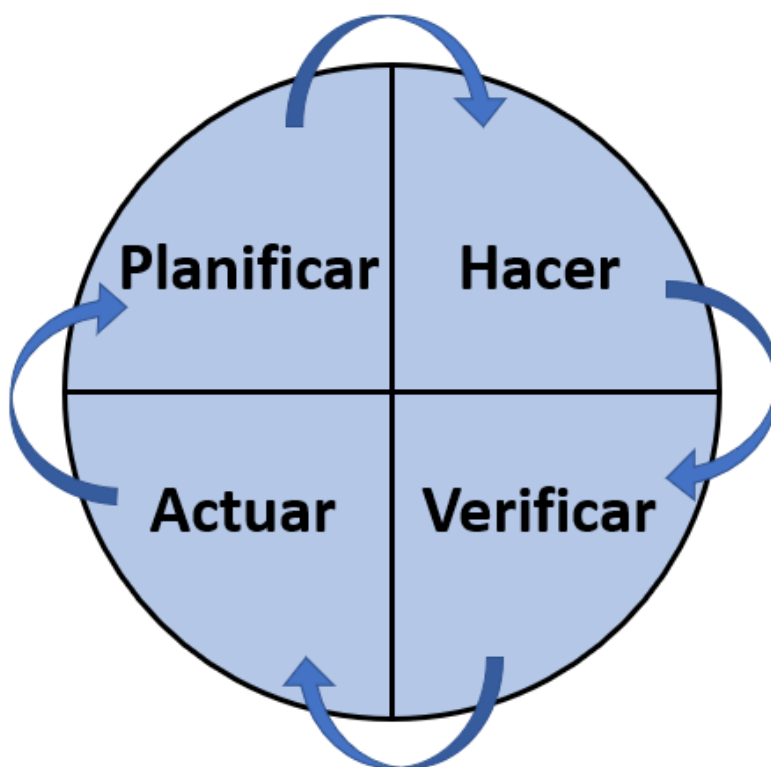


Figura 8: Ciclo de Deming (PHVA). Adaptado de (Moen, 2009)

El ciclo PHVA puede describirse brevemente como:

1. **Planificar:** establecer objetivos y procesos necesarios para conseguir resultados de acuerdo con las expectativas de los clientes y las políticas de la organización. La planificación consta de las siguientes etapas:
 - análisis de la situación actual o diagnóstico
 - establecimiento de principios y objetivos
 - fijación de los medios para lograr los objetivos
 - adjudicación de los recursos para gestionar los medios.

2. **Hacer:** implementar los procesos. Es ejecutar y aplicar las tareas tal como han sido planificadas.
3. **Verificar:** realizar el seguimiento y medición de los procesos y los productos respecto a las políticas, los objetivos y los requisitos para el producto, e informar los resultados.
4. **Actuar:** tomar acciones para mejorar continuamente el desempeño de los procesos. Si hay que modificar el modelo, ello remite nuevamente a la etapa de planificación.

(Instituto Uruguayo de normas técnicas, 2009)

El uso del ciclo de Deming es importante en cada tarea que se realiza y conducirá a una mejora continua en las metodologías de trabajo. Puede aplicarse a cualquier proceso y puede ser empleado, también, para encontrar las causas especiales detectadas mediante herramientas estadísticas. (Instituto Uruguayo de normas técnicas, 2009)

En este trabajo de titulación, el ciclo de Deming se verá reflejado en las siguientes etapas:

1. **Planificar:** Análisis del proceso y diagnóstico de la situación actual del proceso de interés.
2. **Hacer y verificar:** Oportunidades de mejora y propuesta de un plan de mejora.
3. **Actuar:** Plan piloto

1.8. Control estadístico de un proceso de producción

En un proceso de producción es importante conocer valores estadísticos que den cuenta del comportamiento de los datos a lo largo del tiempo para posteriormente realizar análisis significativos y proponer mejoras para el mismo.

Según Minitab, LCC (s.f.), algunos estadísticos que se utilizarán en este trabajo de titulación se definen de la siguiente manera:

- **Media:** Describe la muestra con un solo valor que representa el centro de los datos. La media se calcula como el promedio de los datos, que es la suma de todas las observaciones dividida entre la cantidad de éstas.
- **Desviación estándar:** Es la medida más común de dispersión, o cuán separados están los datos de la media. Una desviación estándar de muestra más grande indica que sus datos se distribuyen más ampliamente alrededor de la media.
- **A-cuadrado:** El estadístico de bondad de ajuste de Anderson-Darling (A-cuadrado) mide el área entre la línea ajustada y la función de distribución empírica. Es una distancia elevada al cuadrado que tiene mayor ponderación en las colas de la distribución.
- **Valor-p:** Es una probabilidad que mide la evidencia en contra de la hipótesis nula. Un valor-p más pequeño proporciona una evidencia más fuerte en contra de la hipótesis nula.

Las hipótesis nula (H_0) y la hipótesis alternativa son dos afirmaciones mutuamente excluyentes sobre la distribución de los datos. La prueba de Anderson-Darling utiliza datos de muestra para determinar si se rechaza la hipótesis nula.

Para determinar si los datos siguen una distribución normal, se compara el valor-p con el nivel de significancia. Por lo general, un nivel de significancia de 0,05 funciona bien, lo cual indica un riesgo del 5% de concluir que los datos no siguen una distribución normal cuando en realidad si lo hacen.

- **Valor – $p \leq 0,05$: Los datos no siguen una distribución normal (Rechazar H_0)**

Si el valor p es menor o igual que el nivel de significancia, la decisión es rechazar la hipótesis nula y concluir que los datos no siguen una distribución normal.

- **Valor – $p > 0,05$: No se puede concluir que los datos no siguen una distribución normal (No se rechaza H_0)**

Si el valor- p es mayor que el nivel de significancia, la decisión es no rechazar la hipótesis nula porque no hay suficiente evidencia para concluir que los datos no siguen una distribución normal. Sin embargo, no se puede concluir que los datos sigan una distribución normal solamente analizando el valor- p .

Si se llega a rechazar la hipótesis nula, una herramienta para identificar visualmente que tipo de tendencia siguen los datos es la gráfica de probabilidad. Ésta crea una función de distribución acumulada estimada a partir de la muestra al graficar el valor de cada una de las observaciones en función de la probabilidad acumulada estimada de la observación. (Minitab, LLC, s.f.)

Por otra parte, dos herramientas que sirven para entender inicialmente los datos son la curtosis y la asimetría.

a) Asimetría o sesgo

Según Minitab, LLC (s.f.), la asimetría es el grado en que los datos no son simétricos. El hecho de que el valor de la asimetría sea 0, positivo o negativo, revela información sobre la forma de los datos.

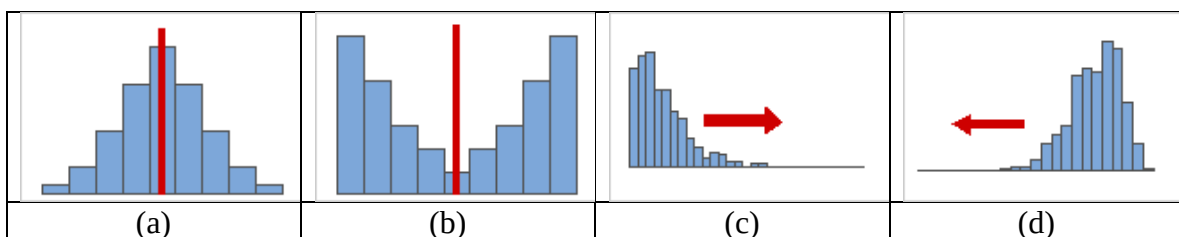


Figura 9: Tipos de asimetrías. Fuente: (Minitab, LLC, s.f.)

- **Distribuciones simétricas**

A medida que los datos se vuelven más simétricos, el valor de su asimetría se acerca a cero. La **Figura 9.a** muestra datos distribuidos normalmente, que por definición exhiben relativamente poca asimetría. La **Figura 9.b** muestra una distribución en la que ambos lados siguen siendo un reflejo el uno del otro, a pesar de que la distribución de los datos dista mucho de ser normal.

- **Distribuciones asimétricas positivas o hacia la derecha**

Los datos con asimetría positiva o asimétricos hacia la derecha se llaman así porque la "cola" de la distribución apunta hacia la derecha y porque el valor de asimetría es positivo. Esto se puede apreciar en la **Figura 9.c**.

- **Distribuciones asimétricas negativas o hacia la izquierda**

Los datos asimétricos hacia la izquierda o con asimetría negativa se llaman así porque la "cola" de la distribución apunta hacia la izquierda y porque producen un valor de asimetría negativo (**Figura 9.d**).

b) Curtosis

Según Minitab, LLC (s.f.), la curtosis indica la manera en que las colas de una distribución difieren de una distribución normal. Se utiliza como ayuda para lograr entender inicialmente las características generales de la distribución de los datos.

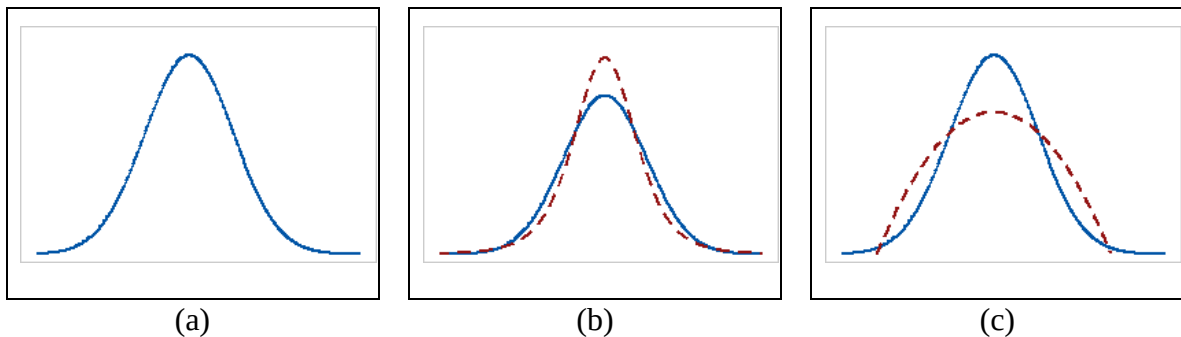


Figura 10: Tipos de curtosis. Fuente: (Minitab, LLC, s.f.)

Los datos que siguen una distribución normal perfectamente tienen un valor de curtosis de 0 (**Figura 10.a**). Una curtosis que se desvía significativamente de 0 puede indicar que los datos no están distribuidos normalmente. En la **Figura 10.b**, la línea continua indica la distribución normal y la línea punteada indica una distribución con un valor positivo de curtosis. Por otra parte, en la **Figura 10.c**, la línea continua indica la distribución normal y la línea punteada indica una distribución con un valor negativo de curtosis.

Según Gutierrez & De la Vara (2009), el tipo de distribución que se da con mayor frecuencia es la forma de campana, con características similares a la distribución normal. Es frecuente que cuando la distribución no es de este tipo, sea señal de un hecho importante que está ocurriendo en el proceso y que tiene un efecto negativo en la calidad. Una forma de medir si los datos se comportan como una distribución normal es calculando el sesgo estandarizado y el coeficiente de curtosis estandarizado.

Los valores de curtosis estandarizado y de sesgo estandarizado en los datos que siguen una distribución normal deben estar dentro de $(-2, +2)$, por lo que si n es grande ($n > 100$) y el estadístico cae fuera de este intervalo, será una evidencia de que la distribución de los datos no es normal. La forma de calcularlos se muestra en las fórmulas (10) y (11), donde n es la cantidad de datos.

$$Curtosis\ estandarizado = \frac{Curtosis}{\sqrt{\frac{24}{n}}} \quad (10)$$

$$Sesgo\ estandarizado = \frac{Sesgo}{\sqrt{\frac{6}{n}}} \quad (11)$$

1.9. Diagrama de Ishikawa y método de las 6M

Identificar las causas raíz de un problema es fundamental para abordarlo de la manera más adecuada y proponer ideas de mejora. Para encontrar estas causas existen diversas herramientas y una de ellas es el diagrama de Ishikawa, el cual relaciona un problema o efecto con sus posibles causas. Éste se aplicará con el objetivo de encontrar las principales causas de los problemas que se dan en el proceso de esmaltado de cocinas.

Según Gutierrez & De la Vara (2009), el diagrama de causa-efecto o de Ishikawa es un método gráfico que relaciona un problema o efecto con los factores o causas que posiblemente lo generan. La importancia de este diagrama radica en que obliga a buscar las diferentes causas que afectan el problema bajo análisis y, de esta forma, se evita el error de buscar de manera directa las soluciones sin cuestionar cuáles son las verdaderas causas. El uso del diagrama ayuda a no dar por obvias las causas, sino que se trate de ver el problema desde diferentes perspectivas.

Una forma de construir un diagrama de Ishikawa es aplicando el método de las 6M, el cual consiste en agrupar las causas potenciales en seis ramas principales, las cuales definen al proceso de manera global y cada una aporta parte de la variabilidad del producto final, por lo que es natural esperar que las causas de un problema estén relacionadas con alguna de las 6M.

Los seis elementos del método de las 6M y sus factores a considerar son los siguientes:

- **Mano de obra o gente:** Conocimiento, entrenamiento, habilidad y capacidad;
- **Métodos:** Estandarización, excepciones en el procedimiento y definición de las operaciones;
- **Máquinas o equipos:** Capacidad, condiciones de operación, diferencias entre máquinas, cambios de herramientas, ajustes y mantenimiento de éstas;
- **Material:** Variabilidad, cambios recientes de éstos, proveedores y tipos de materiales;
- **Mediciones:** Disponibilidad, definiciones, tamaño de la muestra, repetibilidad, reproductibilidad y calibración;
- **Medio ambiente:** Ciclos y temperatura del ambiente en el que se trabaja.

En la **Figura 11** se muestra un ejemplo de la estructura de un diagrama de Ishikawa aplicando el método de las 6M.

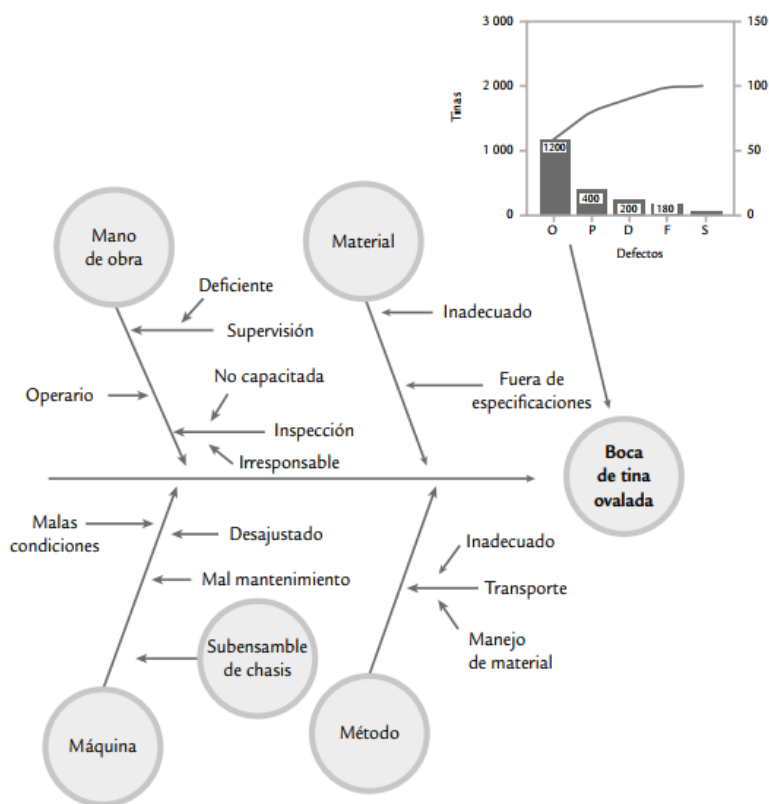


Figura 11: Ejemplo de diagrama de Ishikawa aplicando método de las 6M. Fuente: (Gutierrez & De la Vara, 2009)

1.10. Índices de capacidad de un proceso

Según Gutierrez & De la Vara (2009), cuando se habla de capacidad de un proceso se puede tener una perspectiva de corto o largo plazo. La capacidad de corto plazo se calcula a partir de muchos datos tomados durante un periodo suficientemente corto para que no haya influencias externas sobre el proceso, mientras que la capacidad de largo plazo se calcula con muchos datos tomados de un periodo de tiempo suficientemente largo como para que los factores externos influyan en el desempeño del proceso.

A los datos de OEE obtenidos del proceso de esmaltado se les realizará un análisis de capacidad a largo plazo, por lo que los índices más importantes a considerar son el P_p , P_{pk} y C_{pm} . Según Minitab, LLC (s.f.), éstos se definen de la siguiente manera:

- Índice P_p (desempeño potencial del proceso)

El P_p es una medida de la capacidad a largo plazo del proceso que compara dos valores: la dispersión de especificación y la dispersión del proceso con base en la desviación estándar a largo plazo. Éste evalúa la capacidad a largo plazo con base en la variación del proceso, pero no en su ubicación. La forma de calcularlo es la siguiente:

$$P_p = \frac{ES - EI}{6 \cdot \sigma_L} \quad (12)$$

Donde ES es la especificación superior, EI la especificación inferior y σ_L es la desviación estándar a largo plazo.

- Índice P_{pk} (desempeño real del proceso)

El P_{pk} es una relación que compara dos valores: la distancia de la media del proceso al límite de especificación más cercano y la dispersión unilateral del proceso con base en su variación a largo plazo. A diferencia del P_p , éste evalúa tanto la ubicación como la variación a largo plazo del proceso. La forma de calcularlo es la siguiente:

$$P_{pk} = \min\left(\frac{\mu - EI}{3 \cdot \sigma_L}, \frac{ES - \mu}{3 \cdot \sigma_L}\right) \quad (13)$$

Donde ES es la especificación superior, EI la especificación inferior, σ_L la desviación estándar a largo plazo y μ la media del proceso.

- Índice C_{pm}

El C_{pm} compara la dispersión de especificación con la dispersión de los datos del proceso, considerando al mismo tiempo qué tanto se desvían los datos del valor objetivo. La forma de calcularlo es la siguiente:

$$C_{pm} = \frac{ES - EI}{6 \cdot \sqrt{\sigma^2 + (\mu - N)^2}} \quad (14)$$

Donde ES es la especificación superior, EI la especificación inferior, σ la desviación estándar, μ la media del proceso y N es el valor nominal u objetivo.

Para obtener más información sobre la capacidad del proceso, se pueden comparar los índices siguiendo los siguientes criterios:

- Se puede comparar el P_p , P_{pk} y el C_{pm} con un valor de referencia para evaluar la capacidad a largo plazo del proceso. Muchas industrias utilizan un valor de referencia de 1,33. Si los índices son más bajos que el valor de referencia, se deben considerar formas de mejorar el proceso, como reducir su variación o desplazar su ubicación.
- Se puede comparar el P_{pk} con el C_{pm} . Si el proceso está centrado en el valor objetivo, los valores de P_{pk} y C_{pm} son aproximadamente iguales.
- Se puede comparar el P_p con el P_{pk} . Si son aproximadamente iguales, entonces el proceso está centrado entre los límites de especificación. Y por el contrario, si son diferentes, entonces el proceso no está centrado.

2. ANTECEDENTES GENERALES

En este capítulo se presenta información general acerca de la empresa donde se realiza el análisis del proceso productivo de esmaltado de piezas de cocina. Esta corresponde a Electrolux de Chile S.A.

2.1. Información histórica

La Sociedad nació en agosto de 2011, como una Sociedad Anónima Cerrada bajo el nombre de Magellan S.A. Ese mismo año, en el mes de octubre, la Sociedad adquirió una participación mayoritaria en la sociedad Somela S.A., adquiriendo el control de ésta. Asimismo, adquirió una participación mayoritaria en la sociedad Central de Servicios Técnicos Limitada.

El año 2012 la Sociedad dejó de comercializar pequeños electrodomésticos y en junio de ese año modificó su razón social a CTI S.A. Su objeto social consiste en el desarrollo y explotación de la industria metalúrgica y metal mecánica, complementándolo con todo aquello relacionado a la fabricación; comercialización; distribución; mantenimiento; importación; y exportación de máquinas, artefactos, elementos, artículos, y productos en general; de uso doméstico e industrial, sus partes, piezas, repuestos y componentes; principalmente referidos a productos de línea blanca y electrodomésticos.

En septiembre de 2012, la Sociedad se fusionó con CTI Compañía Tecno Industrial S.A. Con motivo del carácter de Sociedad Anónima Abierta que la Sociedad adquirió, fue inscrita en el Registro de Valores de la Superintendencia de Valores y Seguros, bajo el N° 1109. Posteriormente, la Sociedad vendió los inmuebles de su propiedad a su matriz Inmobiliaria e Inversiones Icon Limitada (actualmente Inversiones Infinity SpA).

El año 2014, la Sociedad creó una filial bajo el nombre de Importadora y Exportadora CTI Iquique Limitada cuyo objeto principal es la comercialización, importación y exportación de artículos de línea blanca y electrodomésticos, así como sus piezas y componentes.

Durante el mes de abril de 2018 la Sociedad vendió su participación en la sociedad Frimetal S.A., sociedad anónima constituida y domiciliada en la República Argentina, a la sociedad matriz del grupo, AB Electrolux, domiciliada en Suecia. Asimismo, Central de

Servicios Técnicos Limitada vendió su participación en la sociedad Frimetal S.A. a la sociedad AB Volta, domiciliada en Suecia.

El último cambio de razón social tuvo a lugar en enero de 2019, sustituyéndose el nombre de la Sociedad por Electrolux de Chile S.A. (CTI S.A., 2018)

2.2. Productos e industria

La Sociedad y sus filiales desarrollan su giro, fundamentalmente, a través de la fabricación, importación, comercialización y exportación de productos de línea blanca, electrodomésticos y afines, según el caso. Participa de la industria metalmecánica nacional, a través de la fabricación de cocinas y lavadoras de ropa, fundamentalmente. (CTI S.A., 2018)

2.3. Operaciones comerciales

Sus operaciones comerciales son desarrolladas mediante la comercialización a nivel nacional y la exportación de múltiples productos de línea blanca, entre ellos, cocinas, refrigeradores, freezers, lavadoras de ropa, secadoras de ropa, lavavajillas, calefones, estufas, campanas de cocina, etcétera, a través de las marcas FENSA, MADEMSA y ELECTROLUX; productos de la categoría de pequeños electrodomésticos, tales como, aspiradoras, microondas, procesadores de alimentos, licuadoras, hervidores, planchas, entre otros, a través de las marcas SOMELA y ELECTROLUX; y productos complementarios a los anteriores, como es el caso de accesorios y repuestos, a través de múltiples marcas. (CTI S.A., 2018)

2.4. Actividades y negocios

La Sociedad es la principal compañía fabricante y comercializadora de productos de línea blanca del país. Dentro de los productos que comercializa la Sociedad, se encuentran productos de fabricación nacional, como es el caso de cocinas y lavadoras de ropa, fundamentalmente, y también productos importados, como es el caso de calefones, secadoras de ropa, lavavajillas, refrigeradores, freezers, estufas, entre otros. Por su parte, su filial SOMELA S.A. comercializa productos de la categoría de pequeños electrodomésticos, tales como, aspiradoras, microondas, procesadores de alimentos, licuadoras, hervidores, planchas, entre otros, todos los cuales adquiere de proveedores extranjeros.

La comercialización de los productos a nivel nacional es realizada mediante diversos canales, por una parte, a través de las principales cadenas de retail del país, clientes regionales y distribuidores, y, por otra, directamente al cliente final a través de tiendas propias. En el mercado nacional, los productos son comercializados a través de las marcas FENSA, MADEMSA y ELECTROLUX, en el caso de productos de línea blanca, y para pequeños electrodomésticos, se utilizan las marcas SOMELA y ELECTROLUX. (CTI S.A., 2018)

2.5. Localización

a. Plantas de fabricación y oficinas generales

Ubicación: Alberto Llona N° 777, comuna de Maipú, Santiago. Se encuentran emplazadas en un inmueble compuesto por varios lotes, que suman un total de 139.050 metros cuadrados y que son de propiedad del accionista mayoritario de la Sociedad, esto es, Inversiones Infinity SpA. La Sociedad utiliza estas instalaciones en virtud de un contrato de arrendamiento. (CTI S.A., 2018)

b. Centro de Distribución, Centro de Asistencia Técnica y tienda

Ubicación: Camino a Melipilla N° 11.450, comuna de Maipú, Santiago. Se encuentra emplazado en un inmueble de 40.691 metros cuadrados, que es de propiedad del accionista mayoritario de la Sociedad, esto es, Inversiones Infinity SpA. La Sociedad utiliza estas instalaciones en virtud de un contrato de arrendamiento. (CTI S.A., 2018)

c. Oficinas comerciales

Ubicación: Avenida Isidora Goyenechea N° 3.365, piso 6, comuna de Las Condes, Santiago. Este inmueble es de propiedad del accionista mayoritario de la Sociedad, esto es, Inversiones Infinity SpA. La Sociedad utiliza estas instalaciones en virtud de un contrato de arrendamiento. (CTI S.A., 2018)

d. Centro de Distribución y oficinas generales SOMELA S.A.

Ubicación: Antonio Escobar Williams N° 600, comuna de Cerrillos, Santiago. Este inmueble es de propiedad de SOMELA S.A., filial de la Sociedad. (CTI S.A., 2018)

3. ANÁLISIS DEL PROCESO DE ESMALTADO DE PIEZAS DE COCINA

Los procesos productivos constan de una gran variedad de etapas, y el armado de cocinas no es la excepción, por lo que en este capítulo se muestran los procesos, actividades y tareas involucradas en el ensamblaje de las piezas de cocina, con énfasis en los pasos que se llevan a cabo en el área de esmaltado y las máquinas involucradas en ésta, pues es el proceso de interés de este trabajo de titulación.

3.1. Proceso productivo de armado de cocinas

A grandes rasgos, el proceso de armado de cocinas comienza con el estampado, en el cual prensas de gran tamaño les dan forma a las láminas de metal otorgadas por los proveedores de la empresa. Luego, las piezas se llevan a la sección de decapado, el cual es un tratamiento superficial de los metales que se realiza con el objetivo de eliminar impurezas, tales como manchas, contaminantes inorgánicos o escoria de aleaciones de metales ferrosos, cobre, y aluminio. Luego de haber pasado por este proceso, las piezas son llevadas al área de esmaltado mediante estanterías móviles.

En el área de esmaltado se le administra una capa protectora al metal de cada pieza que conformará una cocina, con el objetivo de hacerlo resistir las altas temperaturas a las que será sometido. Este proceso se realiza a través de la inmersión de las piezas en baños de esmalte y mediante esmaltado por aspersión, dependiendo del tipo de pieza. En esta sección, también se realiza decorado de las piezas que lo requieran con esmalte de otro color. Finalmente, se trasladan las piezas esmaltadas para ser ensambladas junto a sus otros componentes eléctricos y mecánicos.

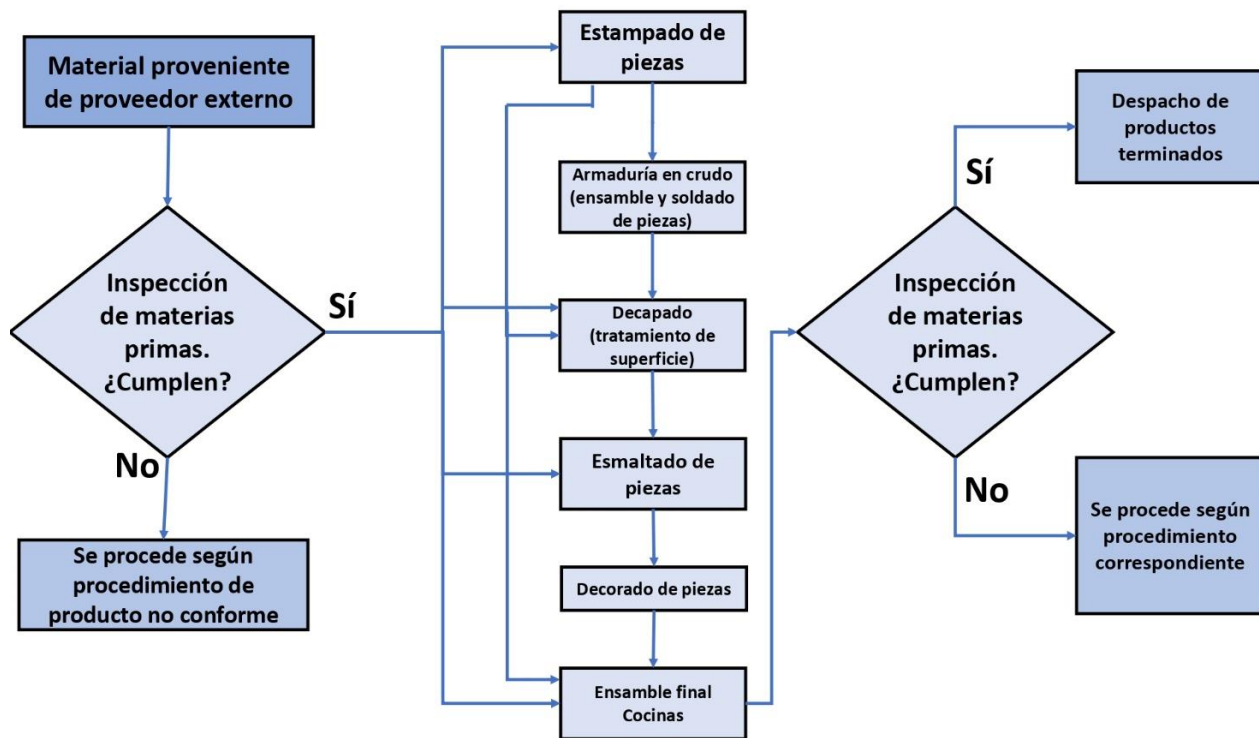


Figura 12: Diagrama de proceso de fabricación de cocinas. Elaboración propia.

El proceso productivo de esmaltado de piezas de cocina forma parte de la línea de producción de armado y es muy importante para que el producto final sea fiel al que la empresa ofrece a sus clientes. En la **Figura 12** se muestra la conexión de todos los procesos necesarios para el ensamble de cocinas. Como se puede apreciar, el esmaltado de piezas de cocina se encuentra al medio de todos los demás procesos, por lo que una detención o mal funcionamiento de éste haría que toda la línea se detuviera, provocando grandes pérdidas para la empresa. Es por esto, que es importante analizar el proceso y aplicar métodos para mejorar la eficiencia de este.

3.2. Actividades del proceso de esmaltado de piezas de cocina

El proceso de esmaltado involucra solamente dos grandes máquinas y una gran cantidad de operarios de producción, haciendo que éste sea el proceso más “artesanal” de la empresa. Éste consiste en los siguientes pasos:

- i. Preparación del esmalte
- ii. Instalación de las piezas de cocina en los módulos de las cadenas transportadoras
- iii. Aplicación del esmalte a las piezas de cocina
- iv. Secado de las piezas esmaltadas
- v. Horneado de las piezas secas
- vi. Retiro de las piezas de las cadenas transportadoras

Las actividades son realizadas de forma manual, pues no existe una automatización del proceso, lo cual lo hace totalmente dependiente de los operarios, tanto para colgar y retirar las piezas en los módulos, como para la correcta aplicación del esmalte en las piezas.

Con respecto a la preparación del esmalte, éste corresponde a esmalte vítreo y su composición va a variar dependiendo del tipo de pieza que se desea esmaltar. En promedio se demora 2 horas en preparar un estanque de esmalte, por lo que debe ser preparado con anticipación.

Para facilitar la medición de la densidad del esmalte, los operarios simplemente pesan una muestra de éste y verifican si el valor obtenido está o no dentro del rango aceptable, tomando en cuenta que durante el invierno la densidad del esmalte será mayor por su baja temperatura, y en verano será menor debido a las altas temperaturas con las que se trabaja.

En cada puesto de trabajo van quedando residuos de esmalte, los cuales se juntan para luego ser reutilizados. Sin embargo, éste no puede ser utilizado nuevamente sin ser reprocesado, por lo que se mezcla con esmalte vítreo puro, logrando ahorrar un 30% en la preparación.

En la sección de preparación del esmalte se cuenta con los siguientes estanques:

- Tres estanques de fondente reciclado;
- Tres estanques de envejecimiento de fondente;
- Un estanque de envejecimiento de fondente de bandejas;
- Un estanque de envejecimiento de fondente antiácido.

Por ejemplo, para preparar 1.100 litros de esmalte, se necesitan 30 sacos de 25 kilogramos de esmalte vítreo (la empresa utiliza esmalte marca Gizemfrit).

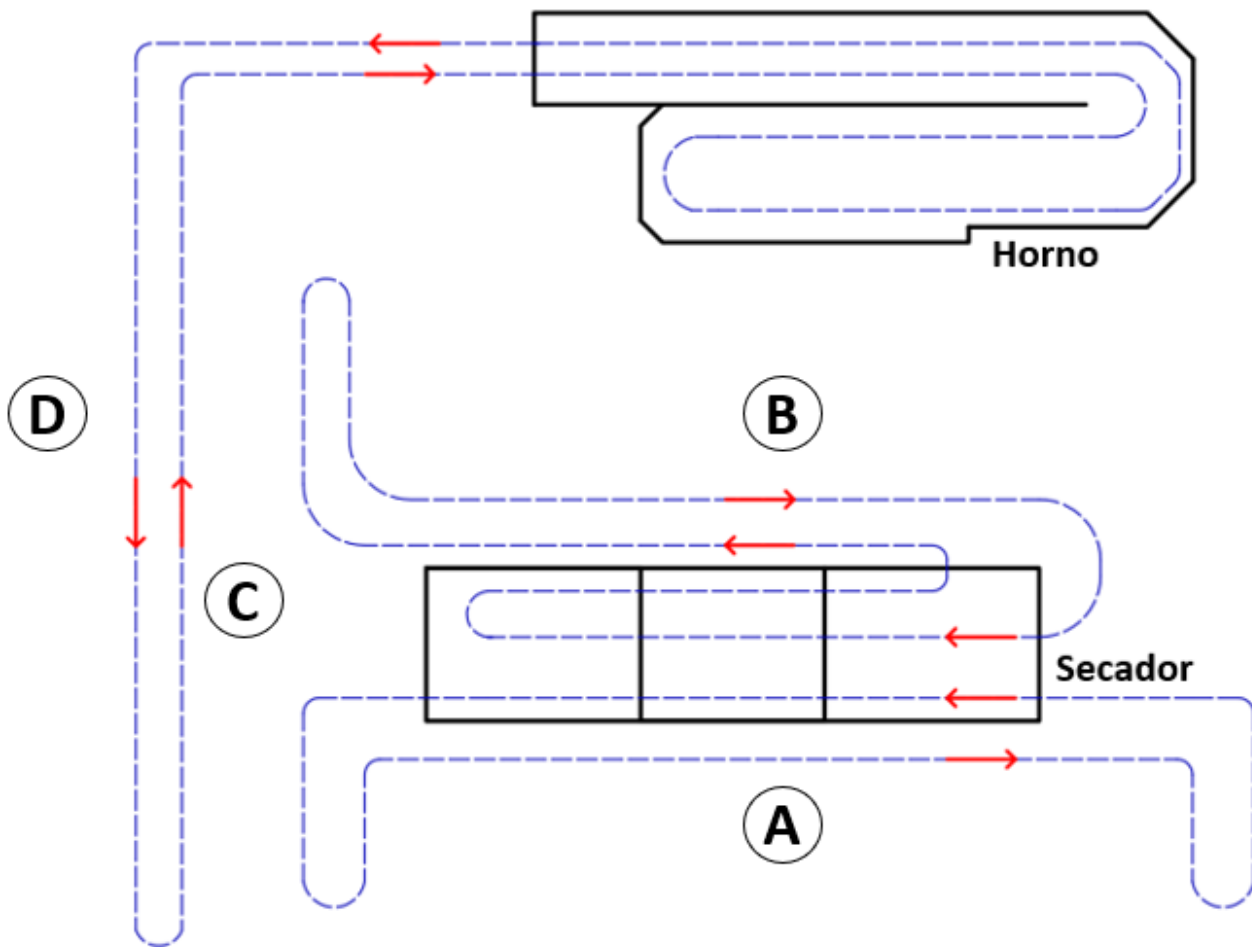


Figura 13: Mapa de la línea de cocción para piezas de cocina. Elaboración propia.

En la **Figura 13** se puede apreciar la línea de esmaltado, en la cual se muestra la máquina encargada de secar las piezas con el esmalte recientemente aplicado (Horno de Reenvío VGT) y el horno que le da la cocción (Horno de Esmaltación Cocina VGT). En las líneas

punteadas azules se muestran las cadenas encargadas de transportar los módulos, los cuales a su vez transportan las piezas de cocina por el proceso. Las flechas rojas muestran la dirección en la cual se mueve la cadena transportadora.

En la imagen también se pueden observar las cuatro secciones principales del proceso. Primero, las piezas deben ser colgadas en los módulos luego de haberles aplicado el esmalte. Esto ocurre en las secciones *A* y *B*. En *A*, se aplica un esmaltado por aspersión a las piezas, mientras que, en *B*, el esmaltado es por inmersión.

Una vez las piezas esmaltadas se cuelgan en los módulos, éstos ingresan al secador y una vez que salen, en la sección *C* se ejecuta la tarea de retirar las piezas secas y colgarlas en los módulos correspondientes a la cadena del horno que les da la cocción.

Finalmente, las piezas pasan por el horno donde el esmalte se adhiere completamente al metal y debido a las altas temperaturas a las que son sometidas, éste cambia de color gris a negro. Las piezas terminadas son retiradas en la sección *D*, en la cual se apilan en estanterías móviles para luego ser transportadas al proceso de ensamblado.

Las piezas que se esmaltan son bandejas, contrapueras, paneles auto limpiantes, parrillas, placas cubre quemadores, respaldos de hornos, entre otras. Las piezas de cocina que pasan por las dos máquinas involucradas en el proceso son variadas y dependiendo de su forma y tamaño, se pasan por la línea una o más veces. Esto para que el esmalte vítreo se adhiera correctamente a la superficie. Si existen problemas durante el traslado desde el área de esmaltado hacia ensamblado, tales como caídas de las piezas, imperfecciones en el esmalte o deformación de éstas por alguna razón, se devuelven para ser esmaltadas nuevamente y no perder las piezas.



Figura 14: Piezas colgadas en la cadena transportadora. Fuente: Fotografía tomada en la línea de esmaltado.



Figura 15: Módulos transportadores de las piezas de cocina. Fuente: Fotografía tomada en la línea de esmaltado.

En la **Figura 14** se pueden observar piezas a las que se les aplicó esmalte recientemente, mientras que en la **Figura 15** se puede distinguir con mayor facilidad los módulos encargados de transportar las piezas, como también que la capacidad de éstos varía dependiendo del tipo de pieza que se esté trabajando. Por ejemplo, el módulo de la izquierda transporta cuatro piezas delgadas, mientras que el de la derecha solo una. Como se verá más adelante, esto es importante a la hora de calcular la capacidad de producción del proceso completo de esmaltado.

La capacidad de los módulos para transportar cada una de las piezas que deben ser esmaltadas va a depender de la forma y tamaño de éstas, por lo que en la **Tabla 4** se muestran los nombres de las piezas y la cantidad de éstas que pueden ser transportadas por módulo.

Tabla 4: Capacidad de los módulos transportadores por cada pieza de cocina en el proceso de esmaltado.

Fuente: Planilla Excel OEE de la empresa.

Nombre de la pieza	Capacidad de transporte [piezas/módulo]
Frente llave	24
Contrapuerta 4 platos	10
Bandeja horno N M fond. Riel	10
Horno NC. Nacional N/M	2
Paneles Auto limpiantes	10
Parrilla 1/2	10
ZC800 Cont.ptas C800	10
ZC800 Bandeja C 800	10
ZC800 Placa Cubre Quemador	10
ZC800 Frente Horno Q/lateral	10
ZC800 Techo	10
ZC800 Costados lisos	10
ZC 800 Piso Horno Q Lateral	10
ZC800 Respaldo Horno Nacional	10
Material C-800	10

4. DIAGNÓSTICO DEL PROCESO DE ESMALTADO DE PIEZAS DE COCINA

En este capítulo se muestra la forma que emplea la empresa para realizar la medición de la disponibilidad, calidad y rendimiento del proceso de esmaltado para obtener el OEE. También se realiza un análisis estadístico de los factores utilizando los datos obtenidos durante un año completo, con el objetivo de identificar sus comportamientos en el tiempo, correlaciones entre éstos y verificación de normalidad de los datos.

4.1. Descripción general del diagnóstico realizado al proceso de esmaltado

En este diagnóstico se analizará la forma que se emplea para medir el indicador OEE en el proceso de esmaltado. Cada empresa emplea métodos distintos para realizar el cálculo del KPI dependiendo de las características que tenga el proceso al que se le quiere medir el OEE, incluso dentro de la misma el indicador se calcula de manera diferente dependiendo de los distintos procesos que constituyen el armado de cocinas. Como ya se mencionó anteriormente, en el área de estampado se utiliza un software que realiza el conteo de piezas automáticamente, mientras que en esmaltado la recopilación de datos como piezas rechazadas y el conteo final es realizado de forma manual.

Saber si se está calculando correctamente el OEE del proceso es fundamental para lograr una mejora de éste, por lo que de este diagnóstico se espera poder identificar qué tendencia siguen los datos, cómo se relacionan entre sí y si la forma que se emplea para calcular el OEE es la más adecuada o no.

4.2. Medición del OEE en el proceso de esmaltado

Para el cálculo del OEE, se miden los tres factores aplicando las ecuaciones (1), (2) y (4). Sin embargo, éstas se adecúan al proceso, por lo que a continuación se detalla la forma de cálculo de cada una de éstas.

a. Disponibilidad

Si una de las máquinas involucradas en el proceso de esmaltado falla, se debe detener el proceso completamente, ya que para que el horno VGT alcance su temperatura óptima deben pasar varias horas, comprometiendo así la disponibilidad del proceso. Sin embargo, generalmente este factor es 100%, ya que durante las horas programadas de producción siempre están disponibles las dos máquinas del proceso.

La ecuación que se utiliza para el cálculo de este factor es la siguiente:

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{Horas trabajadas} - \text{Horas de paralización}}{\text{Horas trabajadas}} \quad (15)$$

Como las horas de paralización generalmente son nulas, usualmente se obtiene un valor de disponibilidad igual a 100%.

Los datos necesarios para el cálculo de la disponibilidad se anotan en una tabla como la que se muestra en la **Tabla 5** (a modo de ejemplo se muestran los datos del 1 de agosto de 2018):

Tabla 5: Tabla utilizada por la empresa para mostrar los datos necesarios para el cálculo de la disponibilidad. Fuente: Planilla Excel OEE de la empresa.

DISPONIBILIDAD	
Turno día/noche	
Horas trabajadas	8,58
Minutos de paralización	0
Horas de paralización	0
Total horas	8,58
% Paralización	0
% Disponibilidad	100%

Como se puede apreciar en la **Tabla 5**, al no haber tiempo de paralización, se obtiene un factor de disponibilidad de 100%.

b. Calidad

Para el cálculo de la Calidad del proceso, primero se calcula el porcentaje de rechazo de las piezas que pasaron por la línea. Las piezas que no cumplen con los estándares de calidad se dividen en cinco categorías: abolladuras, protuberancias, quemaduras, peladuras y otros. La forma de calcular el porcentaje de rechazo se muestra en la ecuación (16).

$$\text{Porcentaje de rechazo} = \frac{\text{Total de piezas rechazadas}}{\text{Total de piezas}} \cdot 100 \quad (16)$$

La ecuación (16) da cuenta de las pérdidas por calidad en la línea de producción de esmaltado, por lo que para calcular la Calidad del proceso basta con restar esta pérdida de la calidad perfecta (que es 100%), por lo tanto, se aplica la siguiente ecuación:

$$\text{Calidad} = 100 - \%Rechazo \quad (17)$$

Las piezas esmaltadas terminadas se almacenan en estantes móviles, las cuales luego son transportadas a las líneas de ensamblaje de cocinas. Durante este trayecto o en la manipulación de las piezas, hay veces en que éstas se rayan o sufren daños, por lo que se deben pasar por la línea de esmaltado nuevamente. Estas piezas no se consideran como piezas de reproceso, pues no fueron dañadas durante el proceso de esmaltado, sin embargo, las piezas que salen del horno con deformaciones o daños en el esmalte, sí se consideran como reproceso al ingresarlas a la línea por segunda vez.

En la **Tabla 6** se muestran los datos necesarios para el cálculo de la Calidad (correspondientes al 1 de agosto de 2018). Como se puede apreciar, la cantidad de piezas rechazadas en comparación a las piezas totales son bastante pocas, lo cual favorece para que el factor de Calidad sea cercano al 100%.

Tabla 6: Tabla utilizada por la empresa para mostrar los datos necesarios para el cálculo de la calidad.
Fuente: Planilla Excel OEE de la empresa.

CALIDAD						
Turno día/noche						
Piezas	Abollado	Protuberancias	Quemaduras	Peladuras	Otros	Total
Frente llave	-	-	-	-	-	0
Contpta.4 platos	-	-	4	60	10	74
Bandeja horno	-	1	1	6	22	30
Horno nacional	-	-	55	-	-	55
Paneles auto limpianes	-	-	-	-	-	0
Parrilla 1/2	-	-	-	-	-	0
ZC800 cont. ptas. c800	-	-	34	12	-	46
ZC800 bandeja c 800	-	3	-	1	8	12
ZC800 placa cubre quemador	-	-	-	-	-	0
ZC800 frente horno q/lateral	-	-	4	5	-	9
ZC800 techo	-	-	-	-	-	0
ZC800 costados lisos	-	-	-	-	-	0
ZC800 piso horno Q lateral	-	-	-	-	-	0
ZC800 respaldo horno nacional	-	-	-	-	-	0
Total						226
Producción total						5113
% de rechazo						4,42 %
% Calidad						95,58 %

c. Rendimiento

Para el cálculo de este factor se utilizan las horas disponibles de producción, la velocidad de la cadena que transporta los módulos (que a su vez sostienen las piezas de cocina), la distancia entre módulos, el largo de cada módulo y la cadencia.

La cadencia da cuenta de cuántos módulos pasan en un minuto por el proceso, y se calcula con la siguiente fórmula:

$$Cadencia \left[\frac{\text{módulo}}{\text{min}} \right] = \frac{\vec{v}}{l_m} = \frac{\text{Velocidad de la cadena} \left[\frac{m}{\text{min}} \right]}{\text{Largo de un módulo} \left[\frac{m}{\text{módulo}} \right]} \quad (18)$$

El inverso multiplicativo de la cadencia corresponde al tiempo ideal del ciclo medido en minutos. Como se menciona en el marco teórico de este trabajo de titulación, éste corresponde al tiempo de ciclo mínimo que el proceso puede esperar lograr bajo condiciones óptimas, y está en función de los módulos que transportan las piezas y de la velocidad de la cadena del proceso.

La fórmula que se utiliza para calcular el rendimiento está en función de la velocidad de la cadena, el largo de los módulos que entran al horno, las horas trabajadas por los operarios y los módulos que ingresan al horno durante el turno de trabajo.

La ecuación (2) muestra que el cálculo del rendimiento corresponde a una razón entre dos tiempos y considera el total de piezas procesadas. En el proceso de esmaltado no se miden cuantas piezas son procesadas, sino que cuántos módulos ingresan y salen del horno.

Cada módulo puede llevar una cantidad diferente de piezas de cocina, dependiendo de la forma y tamaño de éstas. Al ser tantas las piezas que se procesan durante un turno de trabajo, resulta complejo calcular un rendimiento por cada pieza, por lo que se opta por medir cuantos módulos ingresan al proceso y a base de esto, calcular el rendimiento.

Al final del turno se registra en una planilla la cantidad de piezas que fueron procesadas y cuántas piezas de cada tipo son capaces de ser colgadas en los módulos de transporte. Entonces se calcula la cantidad de módulos necesarios para transportar esa cantidad de piezas durante el turno.

A continuación, se muestran los factores involucrados en el cálculo del rendimiento, comparándolos con los de la ecuación (2).

$$\text{Tiempo ideal del ciclo} [\text{min}] = \text{Cadencia}^{-1} = \frac{l_m [m]}{\vec{v} [m/\text{min}]} \quad (19)$$

$$Total\ de\ piezas\ [-] = Total\ de\ módulos\ al\ día \quad (20)$$

$$Tiempo\ de\ operación\ [h] = Horas\ disponibles = HD \quad (21)$$

Entonces, utilizando estos factores se llega a la fórmula de rendimiento utilizada por la empresa:

$$Rendimiento = \frac{(Total\ de\ módulos) \cdot \frac{l_m}{\vec{v}}}{60 \cdot HD} \cdot 100\ [%] \quad (22)$$

En el denominador de la fórmula (22) se puede observar que éste se multiplica por 60. Esto es necesario para que haya coherencia con las unidades, pues el tiempo ideal del ciclo se mide en minutos y el tiempo de operación en horas.

La tabla en Excel que se utiliza para el cálculo del rendimiento se muestra en la **Tabla 7** (datos del 1 de agosto de 2018).

Tabla 7: Tabla utilizada por la empresa para mostrar los datos necesarios para el cálculo del rendimiento.
Fuente: Planilla Excel OEE de la empresa.

RENDIMIENTO	
Turno día/noche	
Horas disponibles 100% día	8,58
Velocidad de la cadena $\left[\frac{m}{min}\right]$	3,80
Distancia entré módulos $[m]$	0,80
Distancia módulo inicio $[m]$	1,60
Cadencia $\left[\frac{mod}{min}\right]$	2,38
Módulos disponibles por turno	1.222,65
Módulos disponibles por hora	142,50
Total de módulos en el turno	835,80
% Rendimiento	68,36

4.3. Comportamiento de los factores del OEE

En esta sección se analizará el comportamiento de los tres factores del OEE durante un año completo con la ayuda del software estadístico Minitab.

Los datos de rendimiento, calidad, disponibilidad y OEE del año 2018 se encuentran en el apéndice del presente trabajo de titulación (**Tabla 10** a **Tabla 20**).

4.3.1. Análisis de la Calidad del proceso de esmaltado de cocinas

Al graficar el factor Calidad durante todo el año 2018 se obtiene el gráfico mostrado en la **Figura 16**.

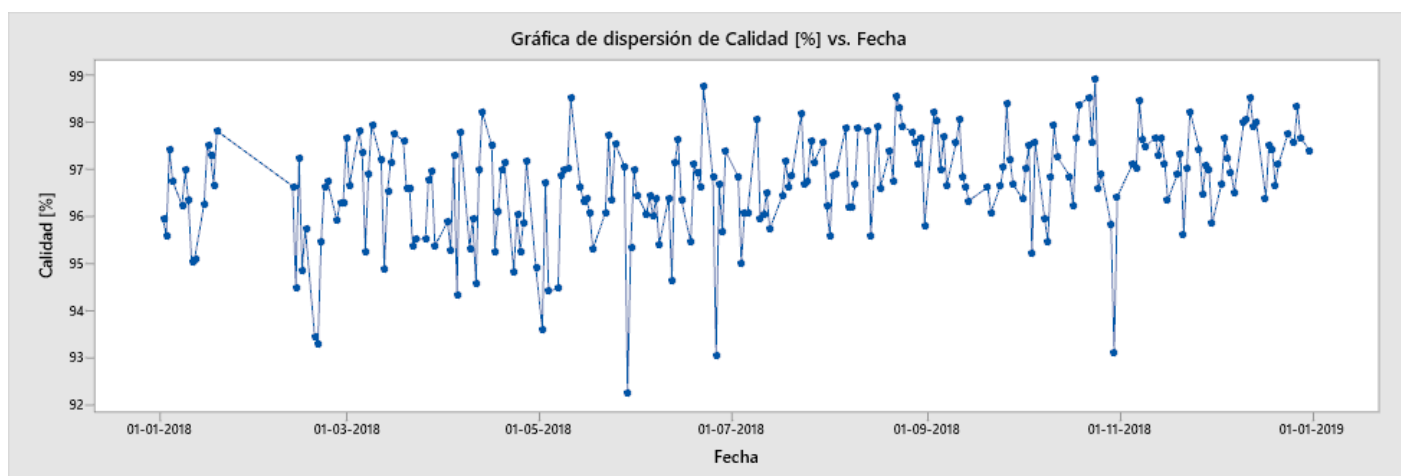


Figura 16: Calidad del proceso de esmaltado durante el año 2018. Fuente: Electrolux de Chile S.A.

Como se puede apreciar en la **Figura 16**, los valores de calidad del proceso que se obtienen son bastante altos a lo largo de un año completo.

Al realizar un análisis estadístico de los datos, se obtiene lo mostrado en la **Figura 17**, en la cual se muestra un histograma y gráfica de caja del factor Calidad, como también la media aritmética, mediana y desviación estándar, entre otros datos.

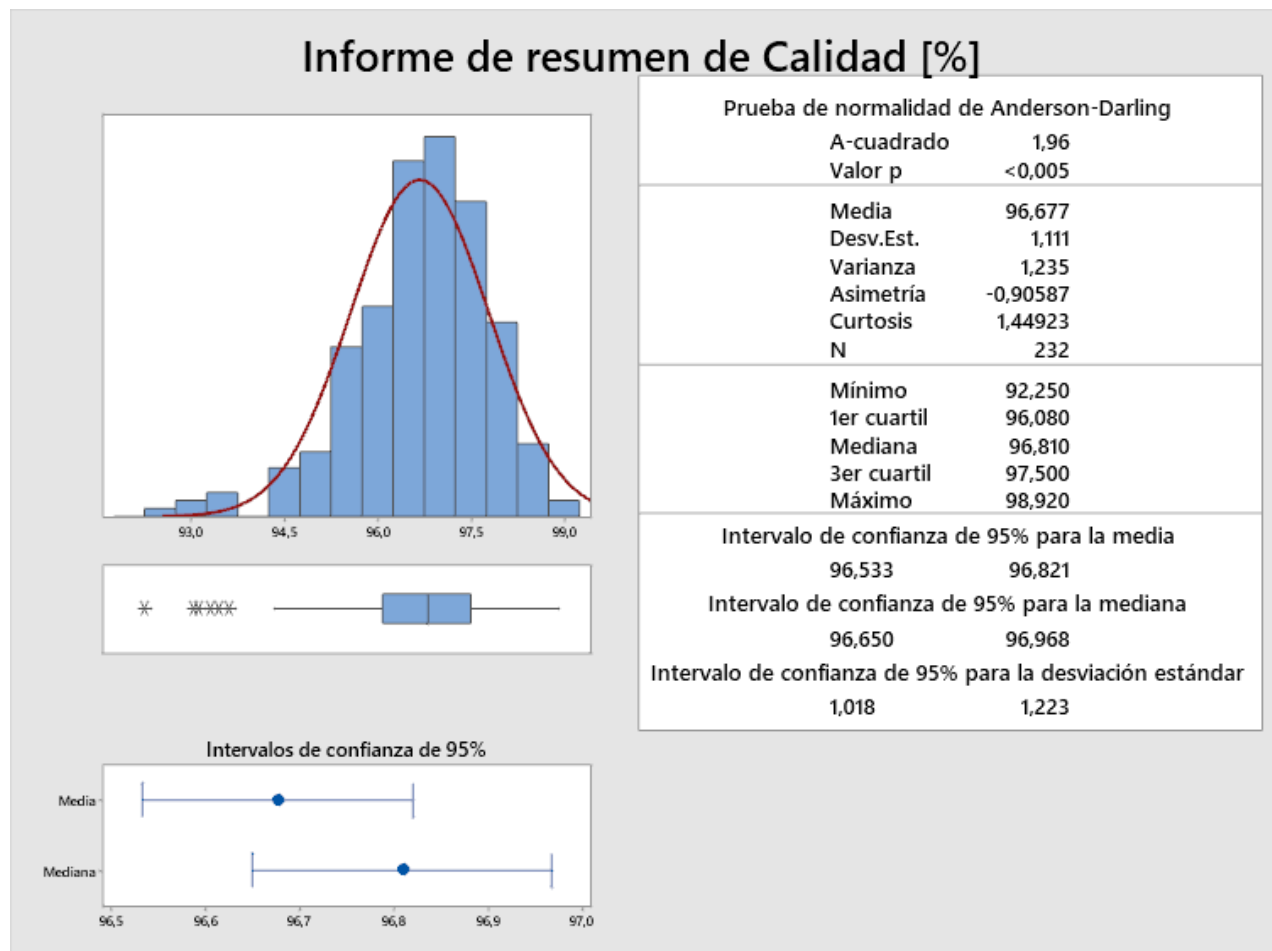


Figura 17: Informe resumen del comportamiento del factor Calidad durante un año completo. Elaborado con el software Minitab.

Del informe obtenido con Minitab, se puede observar que los valores obtenidos del factor Calidad son altos y oscilan entre 92,25 y 98,92%, con una media aritmética de 96,68% y una desviación estándar bastante baja, pues en promedio las observaciones están un 1,11% alejados de la media.

A simple vista, del histograma se podría concluir erróneamente que el comportamiento del factor es como una distribución normal, pues el valor de A-cuadrado es pequeño, lo cual indica que la distancia entre los datos y la distribución teórica no es grande, sin embargo el *valor p* es menor a 0,005, por lo que se descarta la hipótesis nula y existe suficiente evidencia para concluir que los datos no se comportan como una distribución normal.

Los valores de sesgo y curtosis estandarizados son -5,63 y 4,51, respectivamente, por lo que los datos definitivamente no siguen un comportamiento normal.

Por otra parte, del diagrama de caja se puede observar que existe una baja cantidad de valores atípicos, los cuales no ameritan un mayor análisis pues son valores altos. El motivo por el que los valores obtenidos del factor Calidad sean tan altos se debe a que la cantidad de piezas defectuosas luego de ser esmaltadas son muy pocas en comparación a la gran cantidad que son procesadas, por lo que se puede decir que este factor contribuye positivamente en la obtención de una buena eficiencia del proceso productivo.

4.3.2. Análisis de la Disponibilidad del proceso de esmaltado de cocinas

Al graficar los datos del factor Disponibilidad correspondientes al año 2018, se obtuvo el gráfico de la **Figura 18**.

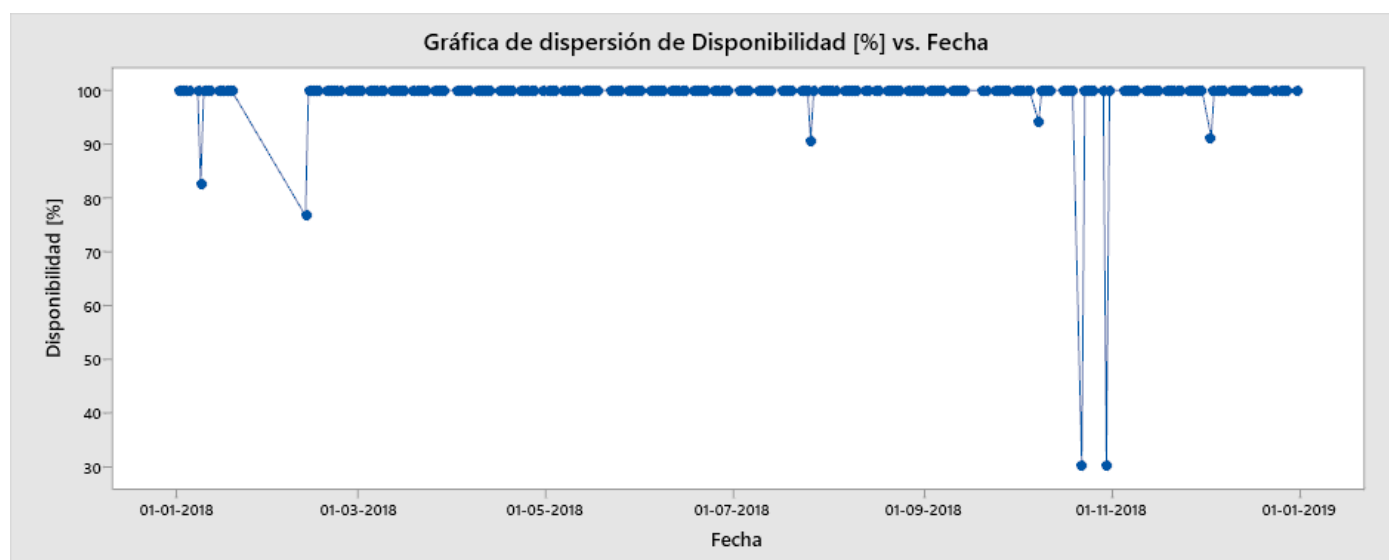


Figura 18: Disponibilidad del proceso de esmaltado durante el año 2018. Fuente: Electrolux de Chile S.A.

Como se puede apreciar en la **Figura 18**, la disponibilidad durante todo el año 2018 se mantuvo constante en un valor de 100% a excepción de siete días, los cuales representan un 3,02% del total de días trabajados (232 días). Estos cambios de disponibilidad se deben netamente a detenciones de la máquina por caídas de la tensión eléctrica, mal funcionamiento de ésta, o reuniones con los operarios.

Del histograma y diagrama de caja obtenidos con Minitab mostrados en la **Figura 19** se puede observar que la mayor parte de los valores obtenidos del factor Disponibilidad se concentran en 100%, a excepción de los siete valores atípicos ya mencionados.

La media de los datos es 99,12%, lo cual es de esperarse debido a la alta concentración de los datos en 100%. Con respecto a la dispersión de éstos se tiene que en promedio, los datos están en un 6,79% alejados de la media, esto debido a los valores atípicos obtenidos durante el año.

En este caso, se puede observar directamente del histograma que los datos no siguen una distribución normal, pues además de tener valores de sesgo y curtosis estandarizados muy altos (-58,59 y 288,27 respectivamente), se tiene que el *valor-p* es menor a 0,005, y el valor de A-cuadrado es grande, por lo que efectivamente su comportamiento no es normal.

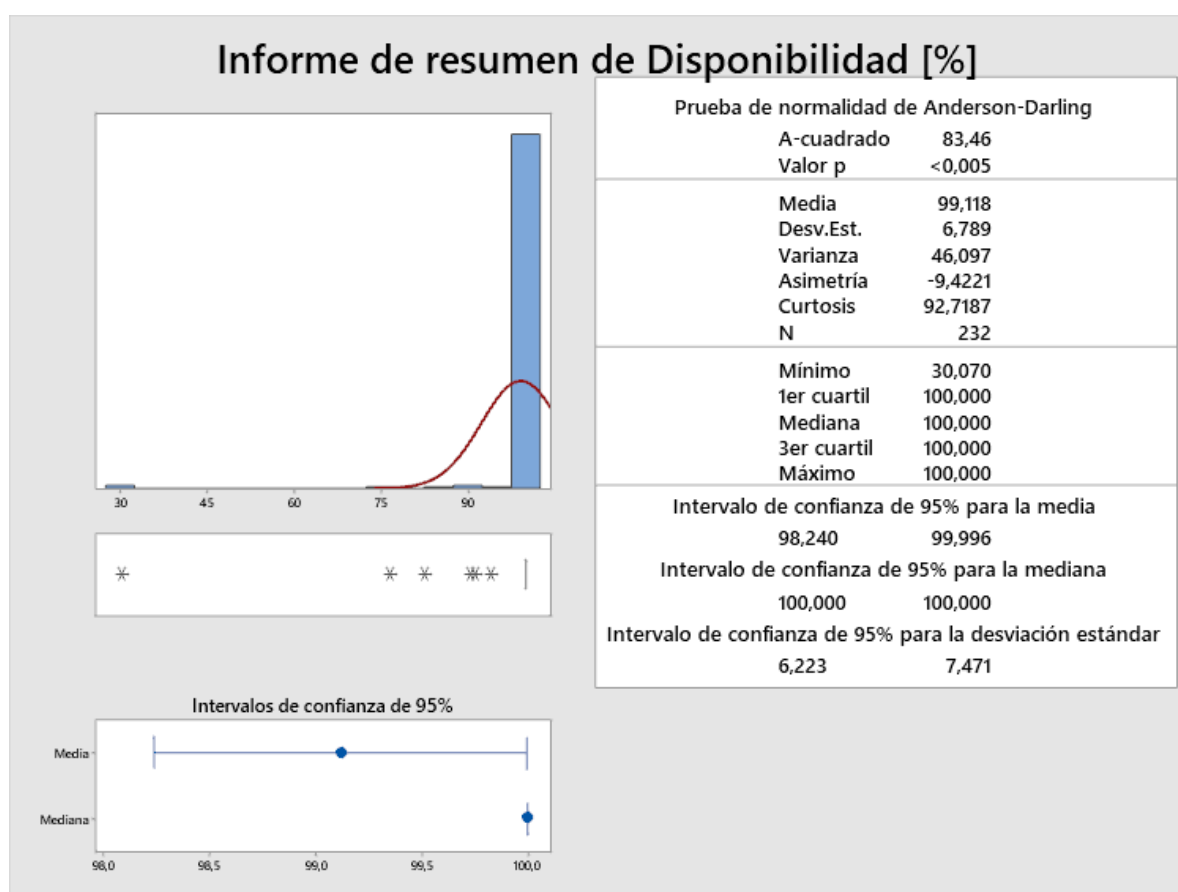


Figura 19: Informe resumen del comportamiento del factor Disponibilidad durante un año completo. Elaborado con el software Minitab.

Del factor disponibilidad se podría trabajar para aumentar su confiabilidad garantizando que el mantenimiento de las máquinas utilizadas sea rápido y eficiente, pero intervenir más que eso sería innecesario, ya que obtener un 100% en este factor durante casi todo el año es excelente para lograr una alta eficiencia del proceso.

4.3.3. Análisis del Rendimiento del proceso de esmaltado de cocinas

Al graficar el rendimiento del proceso de esmaltado durante el año 2018 se obtuvo el gráfico mostrado en la **Figura 20**.

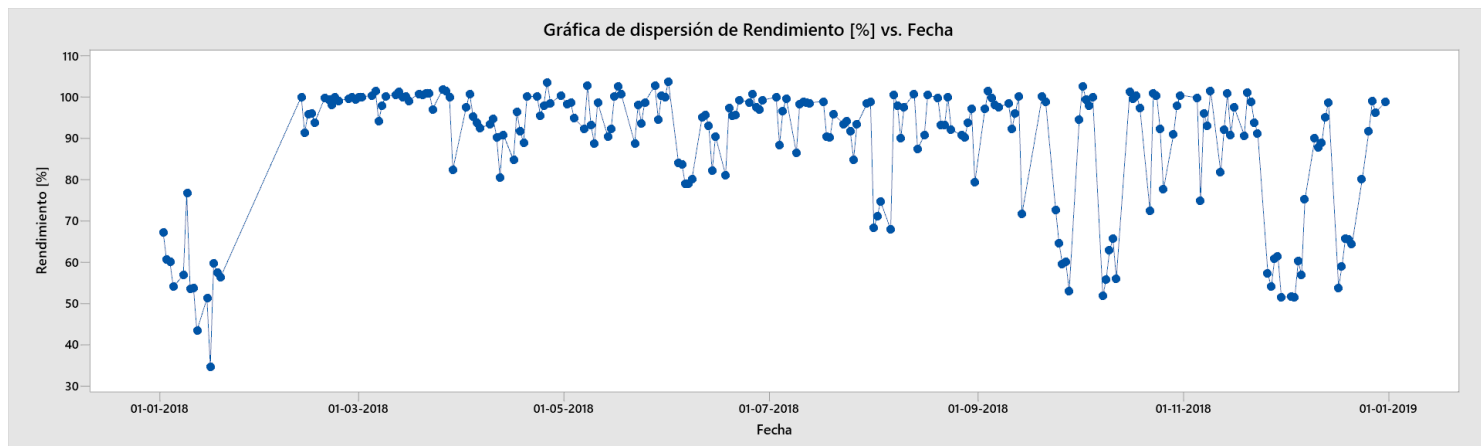


Figura 20: Rendimiento del proceso de esmaltado durante el año 2018. Fuente: Electrolux de Chile S.A.

De la **Figura 20** se puede apreciar que el comportamiento del rendimiento del proceso de esmaltado durante un año completo es mucho más variable que los factores Calidad y Disponibilidad.

Al obtener el informe resumen con Minitab (**Figura 21**) se puede observar que los datos se encuentran entre los valores 34,70% y 103,65%. Esto llama la atención pues el valor del rendimiento jamás debe superar el 100%.

La media de los datos es 88,59%, un valor bastante alto, pero con alta variabilidad como se puede apreciar con la desviación estándar de 15,45%. Por otra parte, el comportamiento de los datos claramente no es normal y esto se verifica al observar que el *valor-p* es menor a 0,005 y el valor de A-cuadrado es alto, como también al verificar que su sesgo y curtosis estandarizados son -8,70 y 2,39, respectivamente, saliéndose del rango entre -2 y 2.

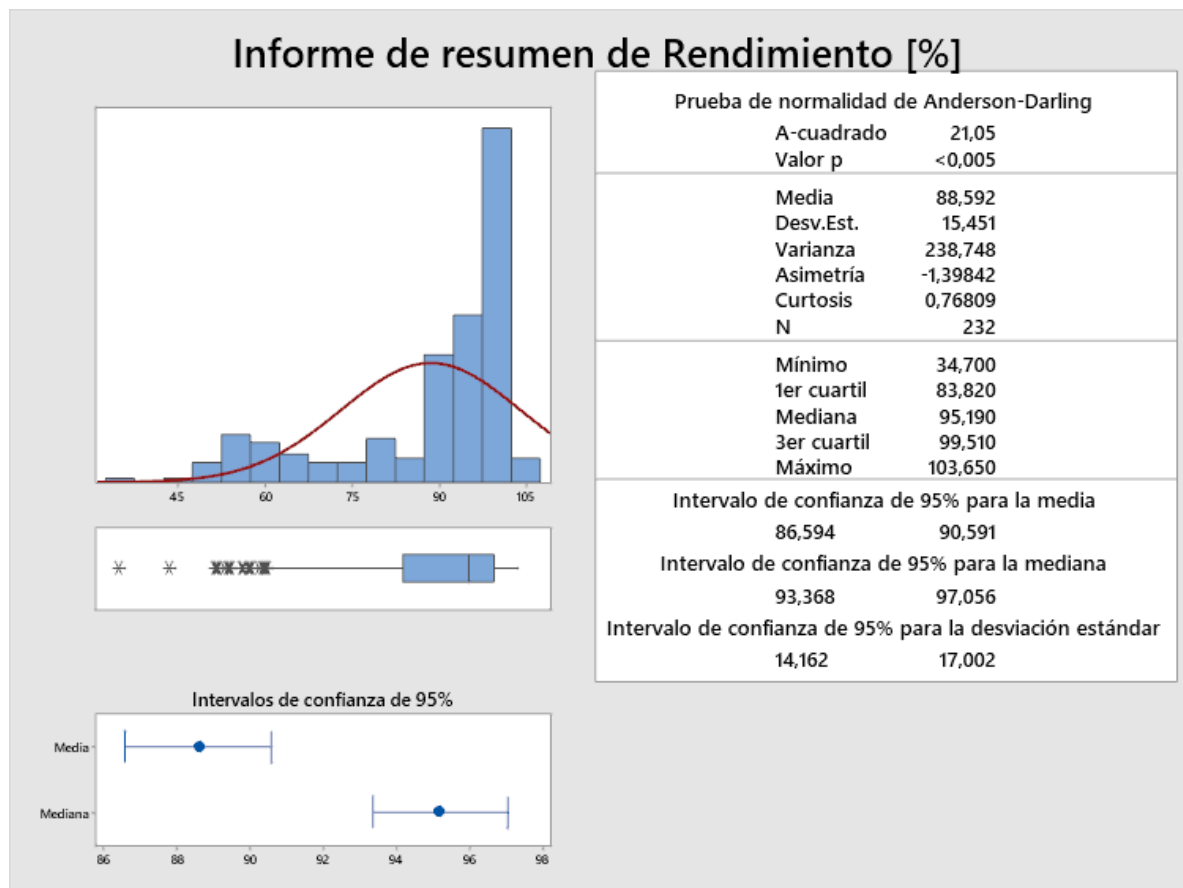


Figura 21: Informe resumen del comportamiento del factor Rendimiento durante un año completo. Elaborado con el software Minitab.

Del diagrama de caja se puede observar que la mayor parte de los datos se concentran en valores altos, ya que solo el 25% de éstos están por debajo del primer cuartil correspondiente a 83,82%. La mayor parte de los valores bajos se deben a caídas drásticas del rendimiento durante días en los que se realizaron turnos de día y noche, por lo que éste decrece considerablemente.

El hecho que los valores de rendimiento alcanzados durante un año completo sean altos y cercanos al rendimiento perfecto podría interpretarse positivamente, pero que existan valores superiores a 100% durante 43 días, indica que existen errores en el cálculo del rendimiento del proceso de esmaltado.

4.3.4. Análisis del OEE del proceso de esmaltado de cocinas

Al graficar el OEE del proceso de esmaltado durante el año 2018 se obtuvo el gráfico mostrado en la **Figura 22**.

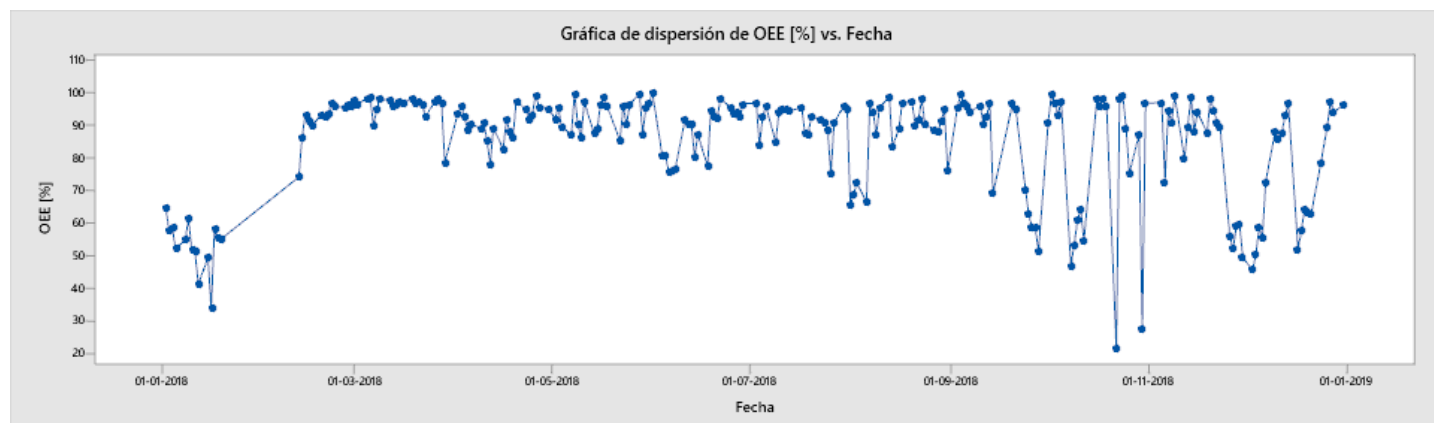


Figura 22: OEE del proceso de esmaltado durante el año 2018. Fuente: Electrolux de Chile. S.A.

En la **Figura 22** se puede observar que el comportamiento del OEE en el tiempo es bastante variable, pero lo que más llama la atención es que la mayor cantidad de valores son altos y superiores a 85%, lo cual significaría que el proceso es de clase mundial, sin embargo éste no lo es.

Al igual que con los factores que componen al OEE, se obtuvo un informe resumen con el software Minitab, el cual se muestra en la **Figura 23**. En éste se puede apreciar que los datos oscilan entre un mínimo de 21,45% y un 99,97%, con una media aritmética de 84,93% y una mediana de 91,37%. Por otra parte, del diagrama de caja se puede observar que los datos atípicos corresponden a los valores más bajos de OEE y que tres cuartos de los datos son mayores que un OEE de 78,90%.

Con los datos obtenidos y considerando los altos valores estadísticos del OEE, se podría concluir que el OEE del proceso de esmaltado de cocinas es excelente y no necesita intervención, sin embargo el hecho que se esté obteniendo valores tan altos y rendimientos superiores al 100%, son claros indicadores de que se debe actuar para identificar los errores al momento de calcular el OEE.

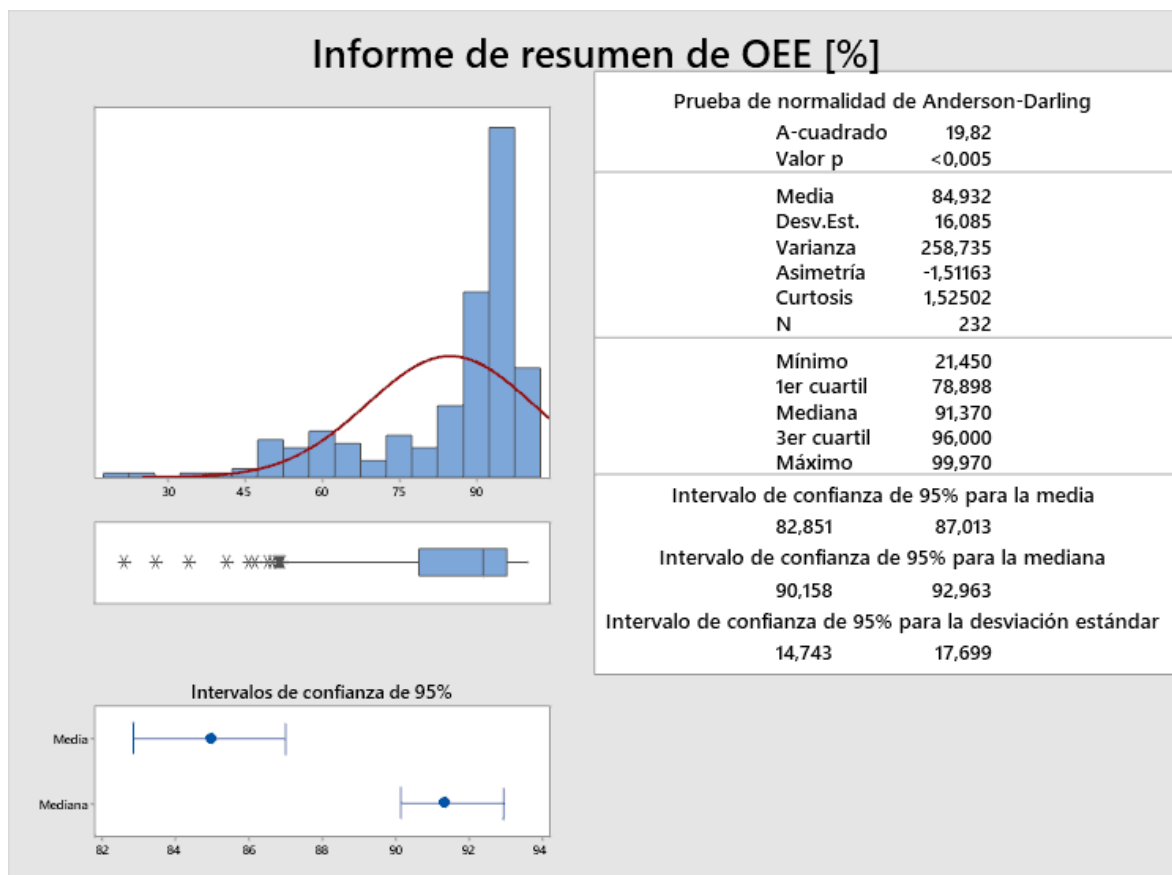


Figura 23: Informe resumen del comportamiento del OEE durante un año completo. Elaborado con el software Minitab.

Con respecto al comportamiento de los datos, claramente no son normales y el informe resumen lo confirma al mostrar un valor de A-cuadrado bastante alto, un *valor-p* inferior a 0,005, y valores para el sesgo y curtosis estandarizados de -9,40 y 4,74, respectivamente. Sin embargo surge la interrogante de si el comportamiento del OEE sigue o no alguna distribución conocida, pues al ser datos de una línea de producción generalmente se debería esperar que éstos sigan alguna tendencia. Para responder esta pregunta se realizaron gráficas de probabilidades con Minitab, poniendo a prueba los datos a todas las distribuciones ofrecidas por el software.

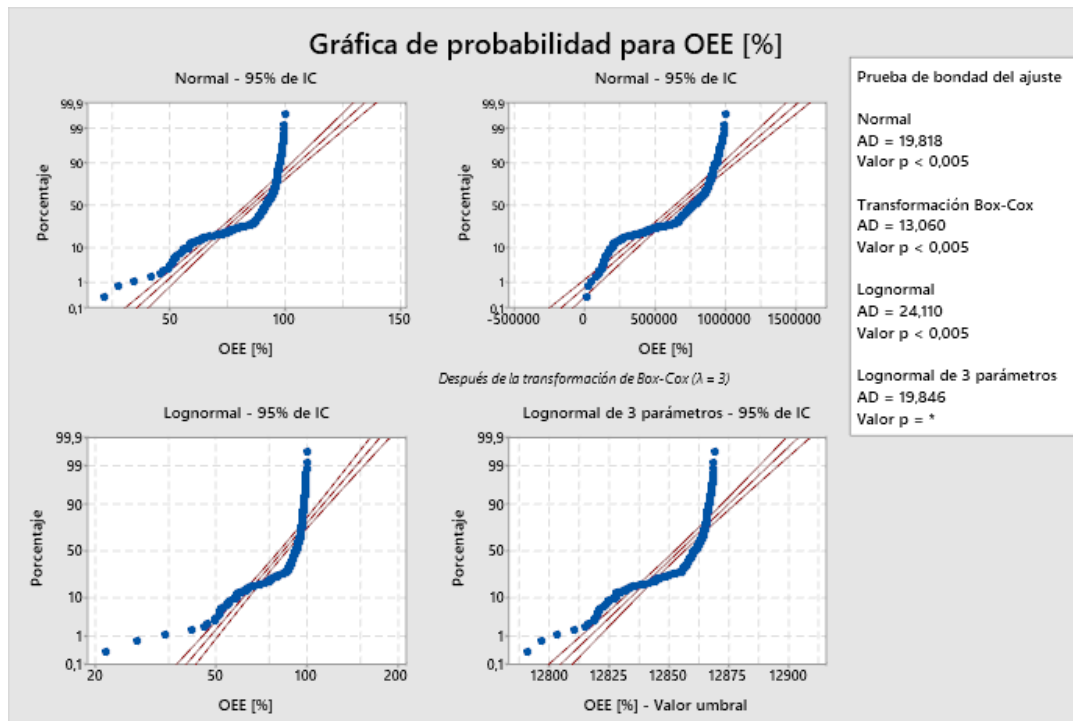


Figura 24: Gráfica de probabilidad para OEE. Distribución Normal, Transformación Box-Cox, Lognormal y Lognormal de 3 parámetros. Elaborada con el software Minitab.

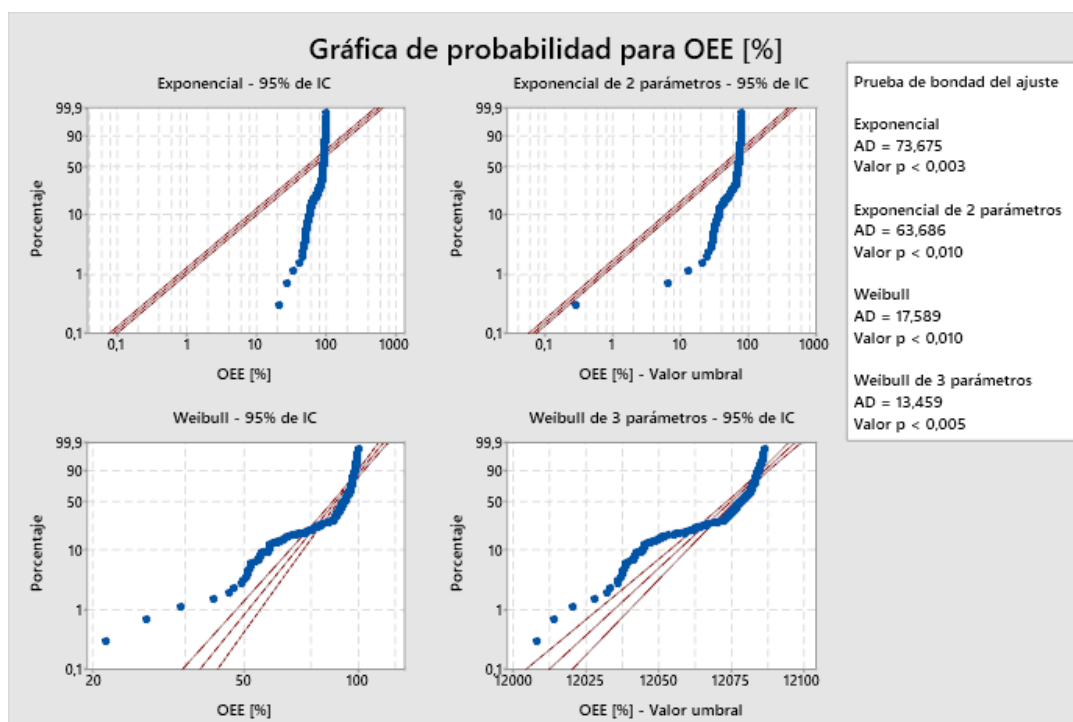


Figura 25: Gráfica de probabilidad para OEE. Distribución Exponencial, Exponencial de 2 parámetros, Weibull y Weibull de 3 parámetros. Elaborada con el software Minitab.

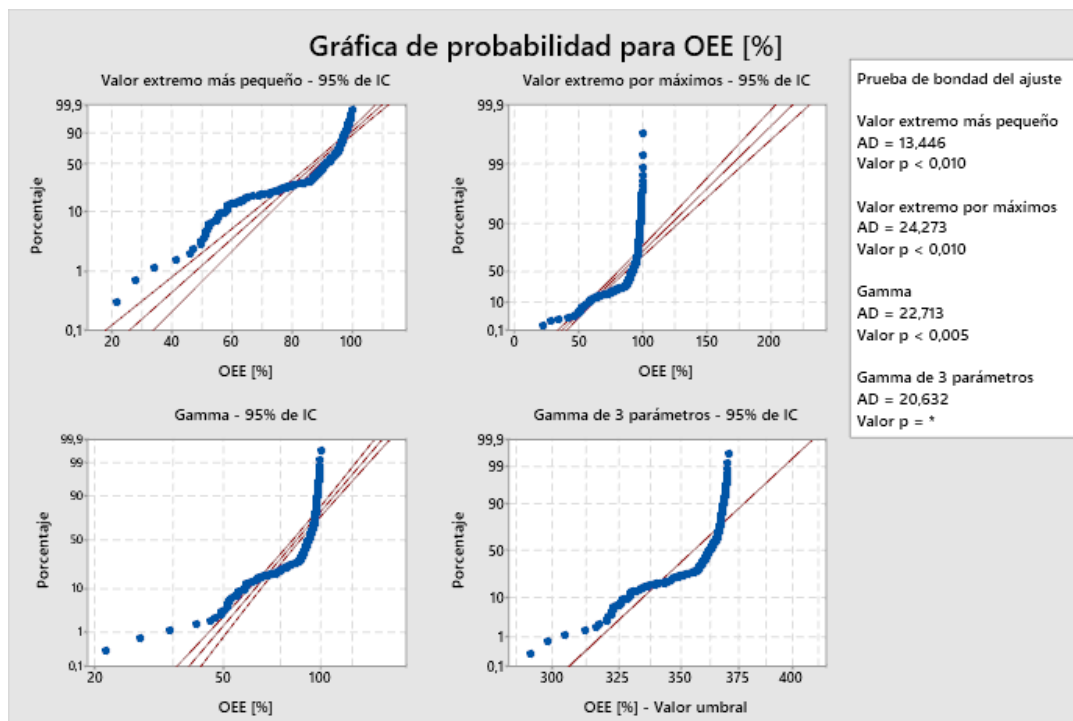


Figura 26: Gráfica de probabilidad para OEE. Distribución de Valor extremo más pequeño, Valor extremo por máximos, Gamma y Gamma de 3 parámetros. Elaborada con el software Minitab.

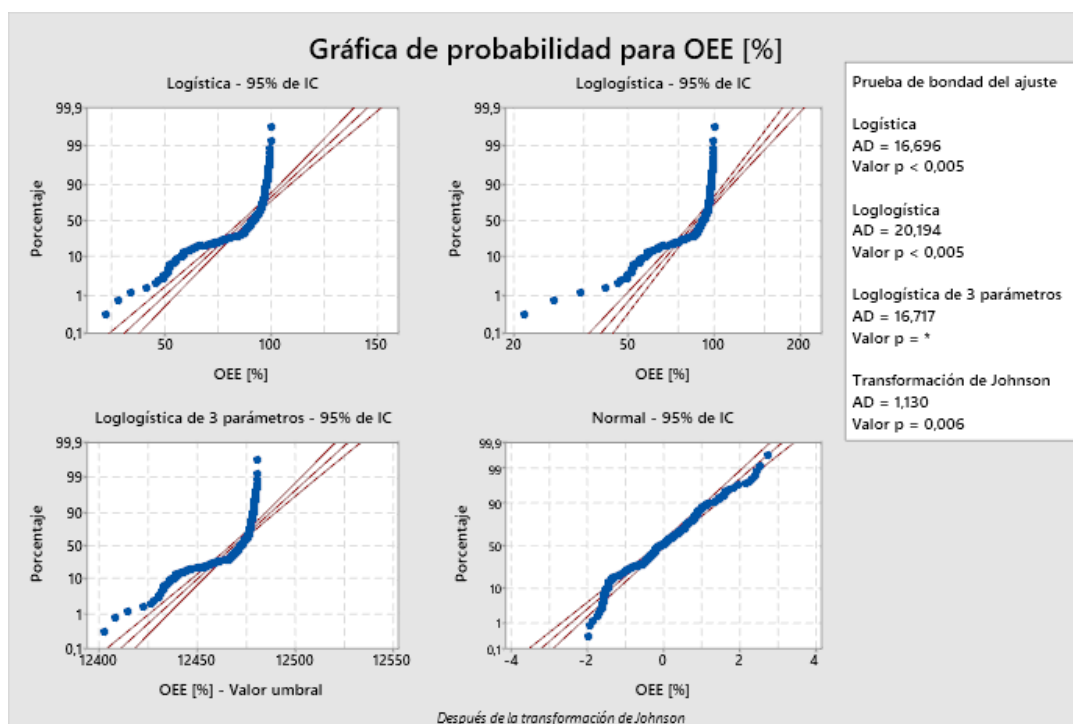


Figura 27: Gráfica de probabilidad para OEE. Distribución Logística, Loglogística, Loglogística de 3 parámetros y transformación de Johnson. Elaborada con el software Minitab.

En la **Figura 24** se puede confirmar que los datos no siguen una distribución normal, como también que no son lognormales ni lognormales de 3 parámetros. Esto se puede verificar con los altos valores de A-cuadrado obtenidos y los *valor-p* menores a 0,005. Por otra parte, gráficamente se puede corroborar que los datos no siguen las distribuciones mostradas al observar que los datos en azul no se encuentran dentro de las líneas rojas que representan los límites de las diferentes distribuciones puestas a prueba.

Análogamente, en la **Figura 24**, **Figura 25**, **Figura 26** y **Figura 27** se muestran los resultados de las otras distribuciones puestas a prueba, de las cuales ninguna se ajusta al comportamiento de los datos. Se debe destacar que el software no fue capaz de aplicar la transformación de Johnson y además se realizó una transformación de Box-Cox, pero a pesar de que con ésta se obtuvo el valor de A-cuadrado más pequeño y el *valor-p* más alto, los datos no lograron ser transformados para obtener una distribución normal.

4.4. Correlaciones entre el OEE y los factores que lo componen

Conocer las relaciones entre el OEE y sus factores es importante para saber si alguno de éstos influye en el valor del KPI en mayor medida que los otros. Comparando los histogramas de cada factor, a simple vista se distingue una correlación entre OEE y el rendimiento del proceso, no así con los factores disponibilidad ni calidad. Para comprobarlo se realizará una prueba de correlación con el software Minitab entre el OEE y sus tres factores.

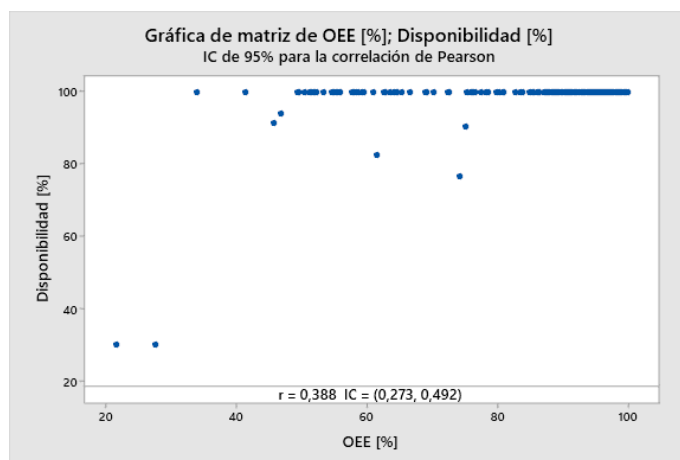


Figura 28: Correlación entre OEE y Disponibilidad. Elaborado con el software Minitab.

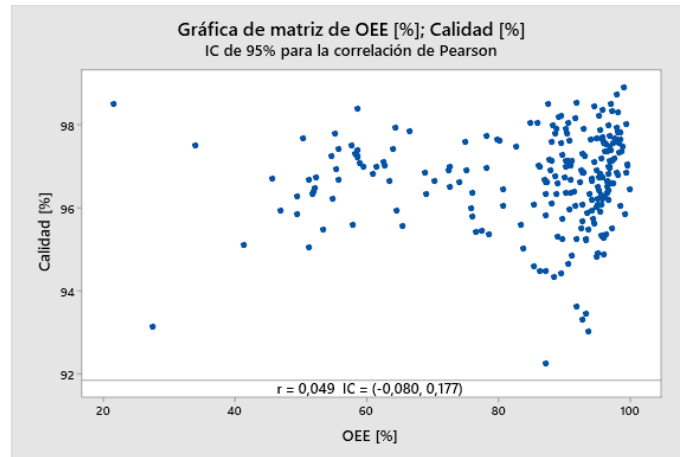


Figura 29: Correlación entre OEE y Calidad. Elaborado con el software Minitab.

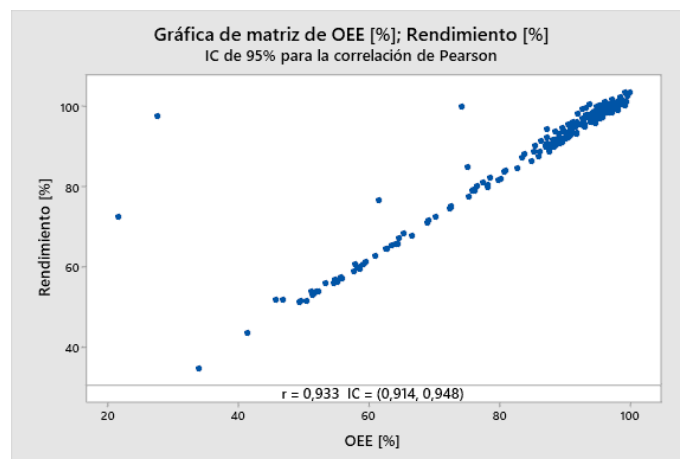


Figura 30: Correlación entre OEE y Rendimiento. Elaborado con el software Minitab.

Tabla 8: Correlación de Pearson entre el OEE y sus variables. Elaborado con el software MNITAB.

Factor	OEE [%]	Rendimiento [%]	Calidad [%]
Rendimiento [%]	0,933	-	-
Calidad [%]	0,049	-0,049	-
Disponibilidad [%]	0,388	0,041	0,063

En **Figura 28** se muestra la correlación entre el OEE y Disponibilidad. Como se puede apreciar, se obtuvo una correlación de 0,388, lo cual significa que la correlación es positiva y muy débil entre las variables. Luego, en la **Figura 29** se muestra la correlación entre el

OEE y la Calidad, en la cual se obtuvo una correlación de 0,049, lo cual indica una correlación positiva moderada. Finalmente, en la **Figura 30** se muestra la correlación entre el OEE y el rendimiento, en donde se obtuvo una correlación de 0,933, es decir, una correlación positiva y fuerte, por lo cual se confirma lo que se planteó anteriormente con respecto a la estrecha relación entre el OEE y el factor rendimiento. En la **Tabla 8** se pueden observar los valores ya mencionados, como también las correlaciones entre los mismos factores, donde se observa una correlación moderada y negativa entre el rendimiento y la calidad, una correlación moderada y positiva entre calidad y disponibilidad y finalmente una correlación también moderada y positiva entre rendimiento y disponibilidad.

Por otra parte, también se comprobará si las ausencias de los operarios del proceso de esmaltado de cocinas afectan o no en el resultado obtenido del OEE. Lo que se espera es que a mayor ausencias de operarios de producción, menor sea el OEE obtenido, y mientras menos ausencias existan, mayor sea el OEE, es decir, se espera que la relación entre las dos variables sea inversamente proporcional. Para comprobarlo, se verificará el tipo de correlación entre el OEE y en número de operarios de producción que se ausentaron durante un año completo (**Tabla 21**).

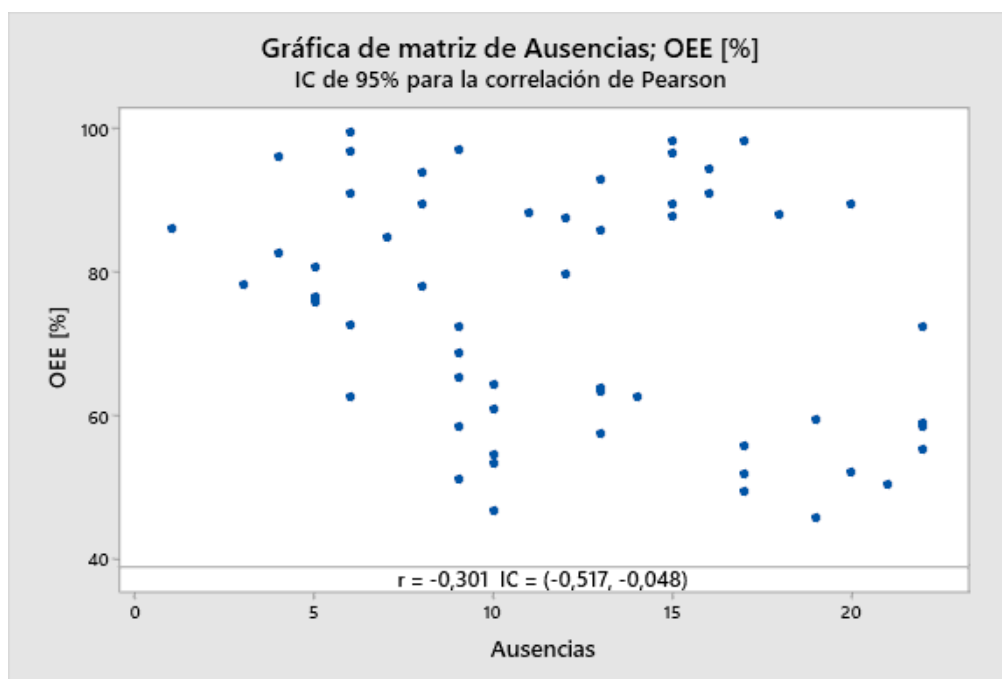


Figura 31: Correlación entre OEE y las ausencias de los trabajadores del área de esmaltado. Elaborado con el software Minitab.

Como se puede observar en la **Figura 31**, la correlación entre las ausencias de los operarios y el OEE es de $-0,301$ (negativa y muy débil), por lo que se ausenten o no una cantidad considerable de operarios no es determinante para una obtención de un mayor o menor OEE.

4.5. Conclusiones del diagnóstico del proceso de esmaltado

Como conclusiones del diagnóstico realizado al proceso de esmaltado, se debe destacar que existe una gran anomalía en los datos del OEE, pues al estudiarlos durante un periodo de tiempo de un año, éstos no se comportan como una serie aleatoria. Además, debido a que los datos no se lograron ajustar a una distribución normal mediante transformaciones, y éstos tampoco siguen alguna tendencia conocida, no se puede realizar un análisis de la capacidad del proceso.

El dato que se obtiene del indicador OEE debe tener una gran cantidad de causas asignables de variación, incluida la forma que se utiliza para calcularlo. También se identifica una incoherencia entre los objetos sobre los cuales se está calculando cada uno de los factores del OEE, pues para el factor *calidad* se utilizan piezas mientras que el *rendimiento* se calcula sobre módulos, por lo que al realizar la multiplicación de los tres factores el resultado no es consistente.

Por otra parte, con respecto al valor del TEEP del proceso de esmaltado, se podría realizar el cálculo anual para identificar la “fábrica oculta” de éste, pero debido a que el valor del OEE no es correcto, realizar este análisis se hace irrelevante.

El principal problema identificado en el proceso de esmaltado es el cálculo erróneo del OEE, por lo que en el siguiente capítulo se buscarán las áreas en dónde se podría intervenir para obtener un valor del indicador más fidedigno y representativo del proceso.

5. OPORTUNIDADES DE MEJORA

Habiendo ya realizado el diagnóstico de la situación del proceso de esmaltado de cocinas, se procede a identificar aquellas áreas en las cuales se puede intervenir para lograr un cambio positivo en el proceso. Para ello, primero se realizará un análisis de las seis pérdidas del proceso para encontrar qué área es la que está generando problemas y lograr abordarla de la mejor manera posible. Luego, se identificarán las causas raíz del problema principal del proceso mediante un diagrama de Ishikawa y método de las 6M,

5.1. Análisis de las seis pérdidas en el proceso de esmaltado de cocinas

Con el análisis de las seis pérdidas se pretende encontrar las áreas del proceso en las que se generan la mayor cantidad de pérdidas de eficiencia, para luego atacar esos problemas con el plan de mejora.

5.1.1. Pérdidas de eficiencia por tiempos muertos

Los días en que los activos fijos no están disponibles para el esmaltado de piezas significan un gran problema para la empresa, pues se detiene toda la línea de esmaltado. Sin embargo, en esta área no se identifican grandes pérdidas, pues como se pudo observar en diagnóstico de la disponibilidad del proceso, solamente siete días de un año completo fueron empleados en mantenimientos inesperados y fallas de los equipos que componen la línea de esmaltado. Es por esto, que las pérdidas por tiempos muertos no significan una gran pérdida de eficiencia.

5.1.2. Pérdidas de eficiencia por calidad

Las pérdidas que se dan en la línea de esmaltado por rechazos de producción son por reprocesamientos de piezas, desperdicios y daños que se producen durante el proceso, como por ejemplo que los ganchos que sostienen las piezas las deformen. Sin embargo, las piezas que presentan problemas en comparación con el total de piezas que son procesadas durante un turno son tan pocas que la pérdida por calidad es bastante baja durante todo el año. Además, la mayoría de las piezas que deben ser reprocesadas se devuelven debido a deformaciones o rayaduras en el esmalte una vez que son transportadas o ya estando en el

siguiente proceso de la línea de producción de cocinas. Por otra parte, la calidad no presenta problemas como superar el 100% o que ésta sea demasiado baja, lo cual es un indicio de que el cálculo del factor calidad en el OEE se realiza de manera correcta, y las pérdidas por eficiencia debido a calidad no significan una pérdida significativa.

5.1.3. Pérdidas de eficiencia por velocidad

En el proceso de esmaltado usualmente se trabaja a una velocidad de operación reducida debido a que los quemadores del horno se averían y el mantenimiento de éstos se realiza durante el periodo de vacaciones de los operarios. Sin embargo, la velocidad reducida de la cadena transportadora no es impedimento para lograr las metas diarias de la empresa.

Las pérdidas por velocidad de los procesos están directamente relacionadas con el rendimiento de éstos. En el caso del proceso de esmaltado, en el factor rendimiento se identifican inconsistencias como lo es superar el 100%, lo cual no debería ocurrir considerando que la velocidad con la que se mueve la cadena se incluye en el cálculo de éste, por lo que se está considerando la velocidad máxima a la cual se puede trabajar. Además, como se concluyó en el diagnóstico del proceso de esmaltado, el mayor problema del proceso es el cálculo erróneo del OEE, y el hecho que el factor rendimiento presente anomalías y que esté correlacionado directamente con el OEE, hacen que a diferencia de las pérdidas por calidad y por tiempos muertos, en este factor se identifiquen pérdidas de eficiencia significativas.

5.2. Análisis de la causas raíz del problema del proceso de esmaltado de cocinas

El principal problema del proceso de esmaltado es que se está calculando de forma errónea el indicador OEE, por lo que se hace imprescindible entender las razones de por qué ocurre esto. Para responder esta interrogante, se realizará un diagrama de Ishikawa aplicando el método de las 6M, teniendo en cuenta que en el análisis de las seis pérdidas ya realizado, se identificaron como principal foco de problemas las pérdidas por velocidad.

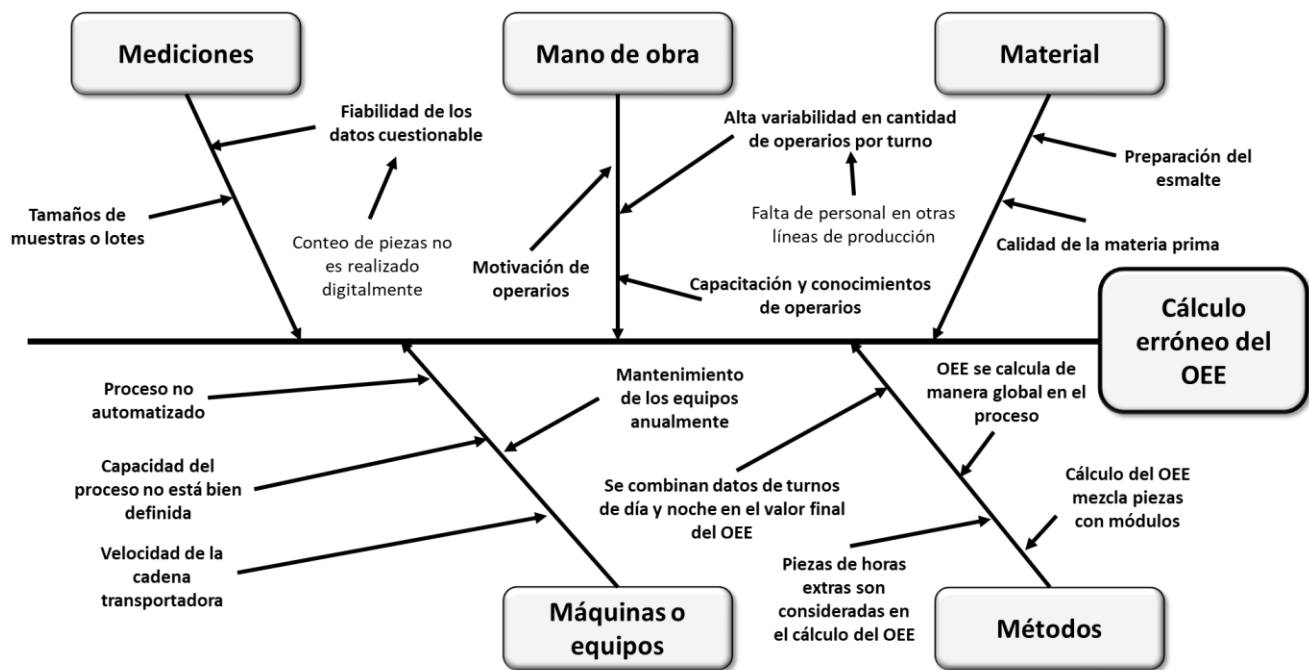


Figura 32: Diagrama de Ishikawa del proceso de esmaltado aplicando método de las 6M. Elaboración propia.

En la **Figura 32** se muestran las posibles causas que generan que el cálculo del OEE sea erróneo. Como se puede apreciar, se identificaron causas en cinco de las 6M, pues debido a las altas temperaturas con las que se trabaja en el proceso de esmaltado, el factor *Medio ambiente* está bastante controlado y no es relevante en el análisis de causa raíz.

Al analizar las causas más relevantes y que podrían estar afectando que el cálculo del indicador no sea correcto, primeramente se observa que el elemento *Material* del diagrama de Ishikawa no presenta causas directas que podrían generar un cálculo erróneo del OEE.

En el elemento *Mediciones* se identifica que una causa que podría estar provocando un mal cálculo del OEE es el hecho que las piezas que ingresan al horno no son contadas de forma digital, sino que de forma visual por los operadores, por lo que es más probable que se comenten errores en el conteo de las piezas. Además, el proceso de esmaltado ya se intentó mejorar aplicando un sistema de recolección de información electrónico, similar al software aplicado en el área de estampado, pero a pesar de ello, esta opción se descartó debido a que los datos obtenidos no reflejaban la realidad del proceso, esto debido a que la recolección de

éstos era compleja y muchas veces no se contabilizaban correctamente las piezas que pasaban por el horno.

En el elemento *Mano de obra* del diagrama, se identifica la alta variabilidad de los operarios por turno como posible causa del cálculo erróneo del OEE, sin embargo, como se concluyó en el diagnóstico del proceso, no existe una correlación entre estos factores, por lo que la dotación de trabajadores por turno no es causa de que se esté calculando erróneamente el indicador.

Luego, en el elemento *Máquinas o equipos*, se tiene que el factor más influyente en el problema principal es el hecho que la capacidad del proceso no está bien definida, esto debido a que los datos no se comportan como ninguna distribución conocida y realizar un análisis de capacidad se hace imposible. También, que el proceso no esté automatizado se relaciona con la fiabilidad de los datos con los que se trabaja, pues como ya mencionó, el conteo no se realiza digitalmente.

Finalmente, en el elemento *Métodos* es donde se encuentran las causas más directas al problema principal, pues se identifican errores como el hecho que el factor *rendimiento* del OEE del proceso se calcula considerando las piezas que pasan por el horno durante la jornada laboral y además durante las horas extra, sin embargo, el tiempo de operación utilizado en el cálculo del rendimiento no toma en cuenta las horas extra, lo cual provoca un aumento en el indicador que hace que no sea representativo del proceso, pues se está considerando que pasaron una cantidad de piezas mayor a la real. No considerar las horas extras en el cálculo del rendimiento está correcto, pero incluir las piezas procesadas fuera del tiempo de operación es erróneo y es muy probable que contribuya a que este factor supere el 100%.

Junto con lo anterior, se tiene el hecho que se combinan los datos de los turnos de día y noche en el cálculo del OEE. Esto también se identifica como causa asignable de variación del indicador, pues durante la mayor parte del año no se realizan turnos de noche, y los días que sí los hay, no se deberían mezclar los datos de ambos turnos.

Por otra parte, el hecho que el OEE se calcule globalmente provoca una mayor variabilidad en el indicador, por lo que se podría subdividir el proceso y calcular el OEE de ellos

independientemente, para luego trabajar en aumentar la eficiencia de cada uno de éstos de manera separada, y consecuentemente mejorar la eficiencia global del proceso de esmaltado.

La principal causa raíz identificada del diagrama de la **Figura 32** es que en el cálculo del OEE se mezclan piezas con módulos. Como se explicó en capítulos anteriores, considerar módulos en el cálculo del rendimiento se hace porque una cocina está conformada por una gran variedad de piezas y cada módulo puede transportar una cantidad distinta de éstas dependiendo del tipo que se está esmaltando. Sin embargo, considerar módulos en el factor *rendimiento* y cantidad de piezas en *calidad* es incorrecto, y por esta razón el cálculo del OEE es inconsistente. La única forma de arreglar este problema y hacer que todos los factores del indicador se puedan multiplicar, es que se trabaje con la cantidad de piezas que pasan por el horno.

Finalmente, y a modo de resumen, las causas del problema principal son:

- Considerar al OEE solamente de forma global en el proceso de esmaltado de cocinas, y no considerar los subprocesos dentro de éste.
- Consideración de piezas pasadas por el horno en horas extra en el cálculo del rendimiento;
- Mezclar datos de turnos de día y noche en el cálculo del OEE;
- Inconsistencia en la multiplicación de los tres factores que conforman el OEE;
- Conteo de piezas realizada de forma manual;
- Capacidad del proceso indefinida.

En el siguiente capítulo se abordarán cada una de estas áreas proponiendo un plan de mejora para enfrentar los problemas presentes en el proceso.

6. PROPUESTA DE PLAN DE MEJORA

En este capítulo se presenta el plan de mejora propuesto para mejorar la eficiencia del proceso de esmaltado de cocinas, abordando las áreas de mejora identificadas en el capítulo anterior y proponiendo planes de acción para atacar los problemas presentes en el proceso, con el objetivo de aumentar el nivel de desempeño de éste.

El plan de mejora se divide en tres secciones: primero, se muestra el plan para subdividir el proceso de esmaltado, junto con hacer que el conteo de piezas sea más confiable. Luego, se presenta un plan de acción para enfrentar el problema de la inconsistencia del indicador OEE, y finalmente se presentan ideas para lograr identificar cuál es la capacidad real del proceso.

6.1. Subdivisión de las actividades del proceso de esmaltado de cocinas

Como se puede observar en la **Figura 13**, se identifican cuatro áreas principales en el proceso de esmaltado, y tres cadenas independientes entre sí, por lo que subdividir el proceso es una idea viable y ayudaría a tener mayor control sobre éste.

Así, se tendrían tres subprocesos dentro del esmaltado de cocinas, siendo éstos los siguientes:

- Subproceso de esmaltado por aspersión;
- Subproceso de esmaltado por inmersión;
- Subproceso de horneado de piezas esmaltadas.

Los dos primeros procesos corresponden a cadenas independientes que circulan por la máquina encargada de realizar el secado del esmalte y el tercero corresponde a la cadena encargada de ingresar y retirar las piezas secas al horno para la completa adhesión del esmalte al metal.

Si bien realizar una subdivisión de los procesos requiere un mayor control, es por esta misma razón que se obtendrían mejores resultados y se podrían abordar los problemas de cada área independientemente para finalmente obtener una mayor eficiencia de manera global del proceso.

Además, la manera de calcular el OEE en los tres subprocesos es la misma, y se lograrían tres valores del indicador, midiendo la eficiencia de cada uno de éstos independientemente y motivando a los operarios de cada subproceso a lograr los mejores resultados posibles en su área de trabajo. Así mismo, se hace más sencilla la identificación de problemas, pues por ejemplo si se obtienen valores atípicos en el valor del OEE, se analiza cuál de éstos en particular es el problemático, mientras que al medir el OEE globalmente, se hace más compleja la tarea de identificar los problemas específicos del proceso.

Por otra parte, en el capítulo anterior también se identificó como posible causa del cálculo erróneo del OEE el hecho de que el conteo de las piezas esmaltadas no se realiza de forma digital, y una opción para abordar este problema es instalar un sensor en la entrada al horno que identifique las piezas a medida que van ingresando y lleve un conteo de éstas. Sin embargo, aplicar esta mejora involucra una gran cantidad de recursos, y no se garantiza que el conteo de piezas será totalmente fidedigno, pues éstas ingresan al horno en módulos que transportan varias piezas y de distinta forma, por lo que incluso un sensor podría entregar un dato erróneo al final del turno.

Es por estas razones que se propone implementar un conteo de piezas por subproceso a cargo de los mismos operarios, pues de esta manera se incentiva a que los mismos trabajadores de cada área realicen el conteo de manera eficaz, ya que al final del turno se debe cumplir que las piezas del subproceso de aspersión sumadas a las piezas del subproceso de inmersión sean iguales a las del subproceso de horneado, y si esto no se cumple, se tendrá que analizar el por qué y abordar el problema, mientras que al realizar un conteo de las piezas del proceso globalmente como se realiza actualmente, no se puede identificar si éste se realizó de manera adecuada o no, simplemente se confía en que el dato de piezas pasadas por el horno es real.

6.2. Inconsistencia en los factores que conforman el OEE

Con respecto a la inconsistencia de los tres factores que componen al OEE, se recomienda homogeneizarlos de manera que la multiplicación de éstos sea válida. Para ello se propone considerar las piezas que pasan por el proceso de esmaltado y no los módulos. De esta manera tanto el factor *calidad* como el factor *rendimiento* estarían utilizando una unidad en común que permitiría que la multiplicación de los tres factores sea consistente.

Como se puede observar en el Capítulo 3, el factor *rendimiento* se calcula en base a los módulos que pasan por el proceso de esmaltado, mientras que el factor *calidad*, toma como referencia las piezas de cocina esmaltadas.

La complicación ocurre al momento de definir la tasa estándar del proceso, pues a diferencia de procesos repetitivos en los que se procesa una pieza en particular continuamente y se conoce exactamente cuántas piezas por hora puede procesar una máquina, en el proceso de esmaltado circula una gran variedad de piezas al mismo tiempo. Sin embargo, es imprescindible establecer una tasa estándar para el proceso de esmaltado en unidades de piezas por hora, y que sea la referencia para medir el rendimiento de éste.

En la **Tabla 4** se puede observar la capacidad de un módulo para transportar cada tipo de pieza de cocina. El ciclo para el proceso está dado por el tiempo que permanecen las piezas en el horno, por lo que se propone que se utilice el promedio de la capacidad de los módulos de transporte de cada pieza para luego, con la velocidad de la cadena, obtener la tasa estándar del proceso. Entonces, realizando el promedio de la cantidad de piezas que puede transportar un módulo, se obtiene una capacidad de transporte de 10,4 piezas de cocina por módulo. Este valor será constante a menos que se agregue o quite algún tipo de pieza al proceso de esmaltado, por lo que en ese caso habría que recalcularlo.

Por otra parte, de la **Tabla 7** se extrae que el largo de los módulos y la distancia entre éstos es 1,6 [m] y 0,8 [m], respectivamente. Con estos datos es posible calcular cuántos módulos están en circulación por el proceso de esmaltado por hora, considerando tanto el largo de los módulos como la distancia entre éstos.

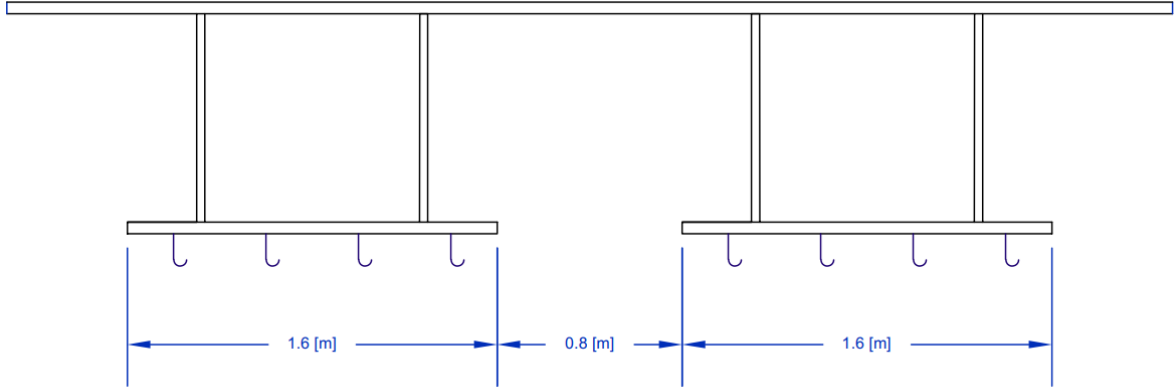


Figura 33: Dimensión de los módulos transportadores y distancia entre éstos. Elaboración propia.

Como se puede apreciar en la **Figura 33**, la distancia entre los módulos debe ser considerada para obtener cuántos se ellos ingresan al horno durante una hora, pues están todos unidos por la cadena transportadora y la separación es necesaria. Esto quiere decir que un módulo ingresa al horno cada 2,4 metros.

Calculando la cantidad de módulos que ingresan al horno por hora, se tiene:

$$\frac{\vec{v} \left[\frac{m}{min} \right] \cdot \frac{60 [min]}{1 [h]}}{(1,6 + 0,8) \left[\frac{m}{módulo} \right]} = 25 \cdot \vec{v} \left[\frac{módulo}{h} \right] \quad (23)$$

Con el dato obtenido de la ecuación (23) y la capacidad promedio de transporte de un módulo, es posible obtener la tasa estándar del proceso como se muestra a continuación:

$$25 \cdot \vec{v} \left[\frac{módulo}{h} \right] \cdot 10,4 \left[\frac{piezas}{módulo} \right] = 260 \cdot \vec{v} \left[\frac{piezas}{h} \right] \quad (24)$$

De esta manera, mientras se sigan procesando los mismos tipos de piezas y la velocidad de la cadena no varíe, la tasa estándar del proceso de esmaltado queda establecida en un valor fijo. Por ejemplo, en la **Tabla 7** se puede observar que ese día la cadena funcionó a 3,8 [m/s], por lo que aplicando la ecuación (24), su tasa estándar queda establecida en 988 [piezas/h], y para calcular el rendimiento del proceso basta con conocer la cantidad total de piezas que fueron procesadas durante el turno y el tiempo de operación de éste, como se muestra en la fórmula (25).

$$Rendimiento = \frac{Tasa\ real}{Tasa\ estándar} = \frac{\frac{Total\ de\ piezas}{Tiempo\ de\ operación}}{260 \cdot \vec{v} [piezas/h]} \quad (25)$$

Se debe recalcar que para obtener un valor de rendimiento real, el tiempo de operación no debe incluir las horas extra en su cálculo, ni incluir las piezas que fueron procesadas durante ese tiempo en el total de piezas.

Finalmente, con respecto a los datos obtenidos en los turnos de día y noche del proceso, se propone calcular el OEE de ambos turnos independientemente y no mezclar sus datos, ya las piezas procesadas durante la noche son considerablemente menos que durante el día, y considerarlas en el cálculo del OEE diario simplemente contribuye a que durante los días en que se realizaron turnos de noche el valor del OEE disminuya, pues se está comparando con días en los que solamente se realizaron turnos de día.

6.3. Identificación de la capacidad real del proceso de esmaltado

En el diagnóstico del proceso se identificó que los datos obtenidos de OEE deben tener muchas causas asignables de variación, y con la aplicación de las propuestas mencionadas en este capítulo, se espera reducir esas causas y que el OEE del proceso se comporte como una serie aleatoria cuyos datos en el tiempo sean consistentes y aporten información real y relevante para lograr mejoras en el proceso de esmaltado.

Subdividiendo el proceso de esmaltado y cambiando la forma de medir el rendimiento, se aportará positivamente a la eficiencia de éste. Si bien los valores de OEE obtenidos serán menores a los que se registran en el proceso actual, éste será un valor real y mucho más representativo del proceso, y se podrá seguir trabajando para aumentar su eficiencia pero esta vez utilizando datos que reflejen la realidad del proceso de esmaltado.

Obteniendo datos reales del OEE del proceso, se podrá identificar el tipo de distribución que sigue su comportamiento, tanto si es normal o si se adecúa a alguna otro tipo, y a partir de esta información generar gráficos de control y realizar un análisis de su capacidad, distinguiendo la variabilidad natural y la especial, logrando un mayor control sobre el proceso que ayudará a aumentar su eficiencia.

7. PLAN PILOTO

En este capítulo se muestran las acciones implementadas en el plan piloto para evaluar la efectividad del plan de mejora propuesto en el capítulo anterior. También se especifican las consideraciones tomadas en la aplicación del plan de mejora.

Se evaluará la efectividad del plan al hacer consistente la multiplicación de los tres factores que componen al OEE, como también separando los datos obtenidos durante los turnos de día y noche. Finalmente se presentan los resultados obtenidos y el análisis de éstos.

7.1. Consideraciones tomadas al implementar el plan de mejora

El objetivo de la aplicación del plan de mejora es evaluar si éste contribuye positivamente en la eficiencia del proceso de esmaltado. Para ello, se evaluará la si la propuesta de homogeneizar la forma de cálculo del OEE es efectiva o no.

Lo que se realizó fue utilizar las piezas procesadas durante un turno (y no la cantidad de módulos), se consideró la tasa estándar identificada en el capítulo anterior y se separaron los datos de los turnos de día y noche.

Las consideraciones importantes que se tomaron al aplicar el plan piloto son las siguientes:

- El OEE fue calculado durante turno de día. No se consideraron las piezas procesadas durante el turno de noche, por lo explicado en el capítulo anterior.
- Se consideró la tasa estándar del proceso de la forma propuesta en el plan de mejora. Durante la mayor parte del año la cadena funcionó a $3,8 \left[\frac{m}{min} \right]$, por lo que al aplicar la ecuación (24), su tasa estándar corresponde a $988 \left[\frac{piezas}{h} \right]$, mientras que en los últimos tres meses, ésta operó a una velocidad reducida de $3,6 \left[\frac{m}{min} \right]$, obteniéndose así una tasa estándar de $936 \left[\frac{piezas}{h} \right]$ durante ese periodo de tiempo.
- En el tiempo de operación utilizado en el cálculo del rendimiento se consideraron las horas extra. Esto debido a que las piezas contabilizadas incluyen las que fueron pasadas durante ese tiempo. Sin embargo, esto se realizó únicamente porque los datos con los que se está trabajando mezclan las piezas del turno de día con las horas extra.

Se recomienda que en el futuro estos datos sean registrados de manera separada para de esta manera calcular el rendimiento con el tiempo de operación real, junto con las piezas que fueron procesadas solamente durante ese tiempo.

- Se omitieron dos días del total de datos, pues durante uno se consideraban solo datos del turno noche, y el otro correspondía a un día inexistente, con datos repetidos.

Los datos utilizados en el plan piloto se encuentran en el **Anexo 3**, en donde se muestra la cantidad de piezas procesadas durante el turno de día, los valores de los factores y el OEE obtenido al aplicar las acciones ya nombradas.

A modo de ejemplo, a continuación se comparan gráficamente los valores obtenidos durante un día antes y después de haber aplicado las acciones del plan de mejora (datos correspondientes al 24 de junio de 2018).

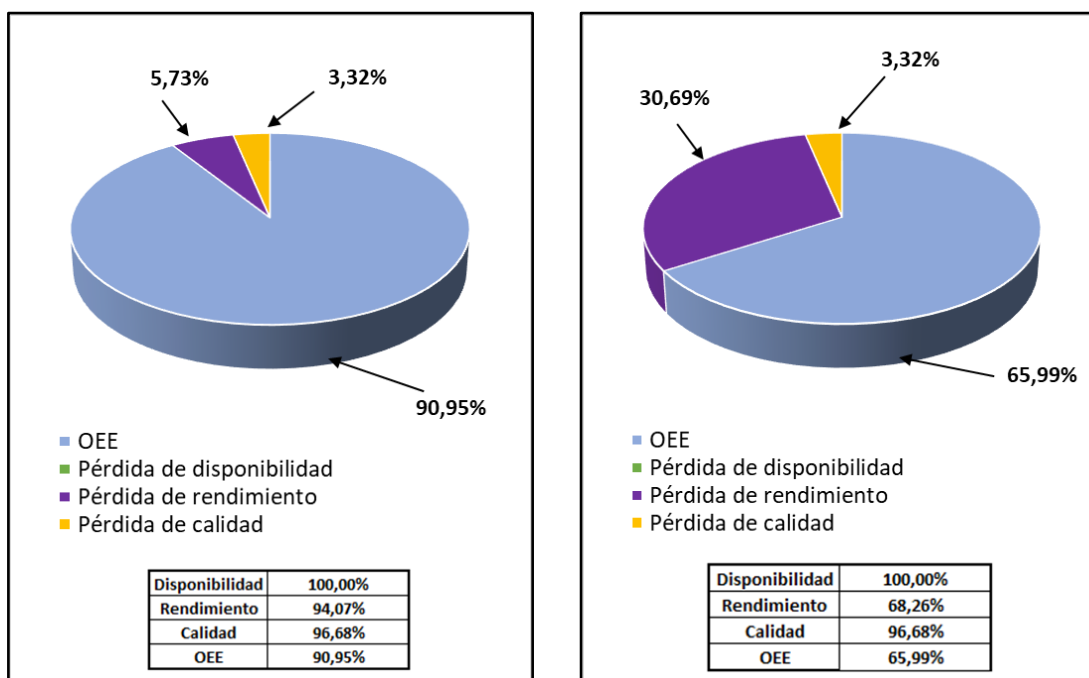


Figura 34: Comparación de manera gráfica de los factores y OEE obtenidos antes y después de haber aplicados las acciones del plan de mejora durante un día del año. Elaboración propia.

Como se puede observar en la **Figura 34**, luego de aplicar las acciones propuestas en el plan de mejora se obtiene un OEE bastante más bajo, como también es posible distinguir una mayor pérdida de eficiencia en el factor rendimiento. A pesar de que al aplicar el plan de mejora los valores de OEE obtenidos son menores, estos son mucho más representativos del

proceso de esmaltado, pues se hace consistente la multiplicación de los tres factores y ningún día se supera el 100% en rendimiento, ni se alcanzan valores exagerados de OEE.

7.2. Análisis estadístico de los datos obtenidos con el plan de mejora

Al igual como se realizó en el diagnóstico del proceso de esmaltado en el **Capítulo 3**, se procede a realizar un análisis estadístico de los datos obtenidos al haber aplicado las acciones del plan de mejora, con el objetivo de observar el comportamiento de los datos al haber cambiado la forma de medición de los factores que componen al OEE.

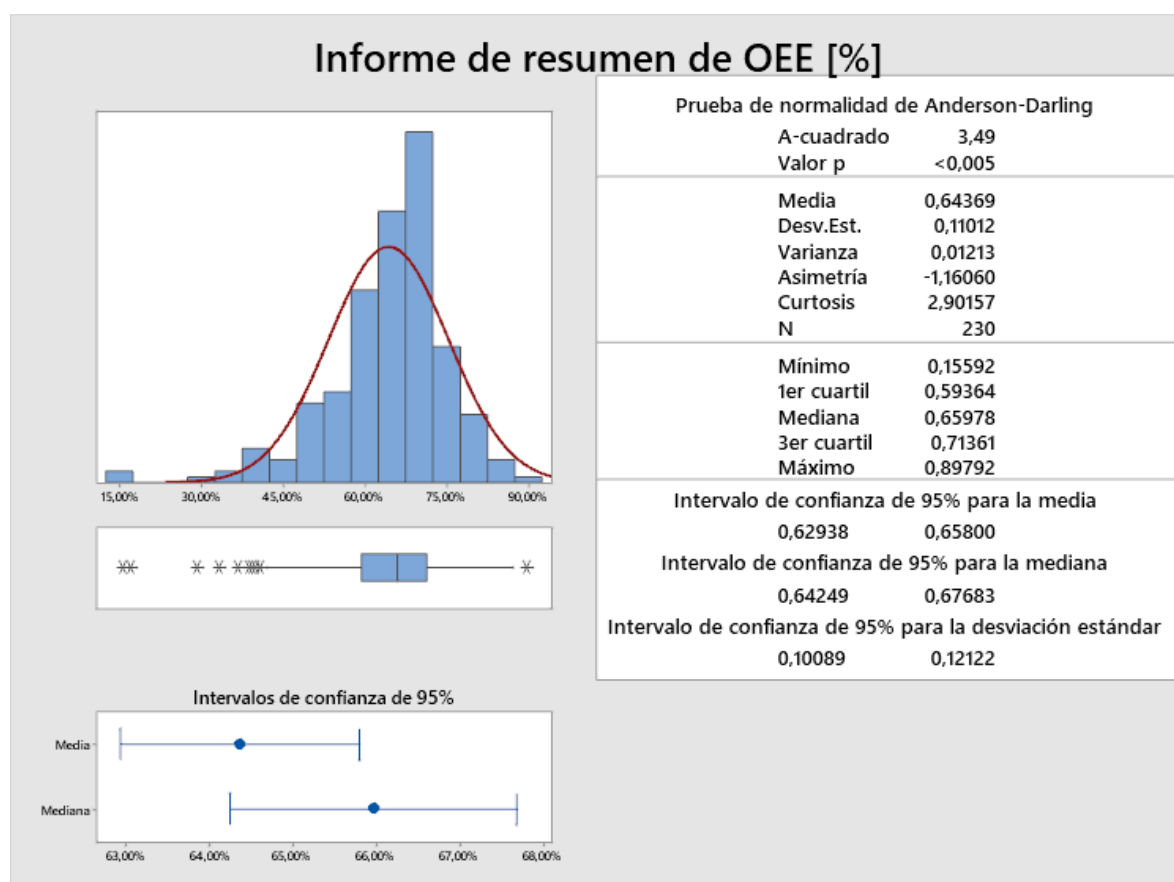


Figura 35: Informe resumen del comportamiento del OEE durante un año completo al aplicar el plan de mejora. Elaborado con el software Minitab.

En la **Figura 35** se pueden observar los datos de estadística descriptiva del OEE al haber aplicado el subconjunto de acciones del plan de mejora. Al comparar los datos obtenidos con el plan de mejora con los datos originales (**Figura 23**), es destacable el hecho que la

desviación estándar y la media de los datos disminuyeron considerablemente. Sin embargo, como lo indica el valor del A-cuadrado y el *valor-p*, los datos no siguen una distribución normal, lo cual se verifica al calcular los valores del sesgo y curtosis estandarizados (-7,19 y 8,98, respectivamente), esto es muy probable que se deba a los datos atípicos (observables gráficamente en el diagrama de caja).

Al igual que con los datos originales, se buscará si los datos siguen alguna distribución conocida mediante gráficas de probabilidad. En la **Tabla 9** se muestran los resultados numéricos al haber puesto a prueba cada distribución en el software Minitab.

Tabla 9: Distribuciones puestas a prueba para datos de OEE obtenido con el plan de mejora. Elaborada con el software Minitab.

Distribución	A-cuadrado	Valor-p
Normal	3,494	<0,005
Transformación Box-Cox	1,04	0,01
Lognormal	9,908	<0,005
Lognormal de 3 parámetros	3,479	*
Exponencial	74,508	<0,003
Exponencial de 2 parámetros	65,546	<0,010
Weibull	1,331	<0,010
Weibull de 3 parámetros	1,008	<0,005
Valor extremo más pequeño	1,243	<0,010
Valor extremo por máximos	15,013	<0,010
Gamma	7,217	<0,005
Gamma de 3 parámetros	4,48	*
Logística	1,64	<0,005
Loglogística	3,768	<0,005
Loglogística de 3 parámetros	1,641	*
Transformación de Johnson	0,178	0,919

Como se puede apreciar en la **Tabla 9**, los datos obtenidos con el plan de mejora no se ajustan a ninguna distribución conocida, sin embargo, a diferencia de lo ocurrido con los datos originales, la transformación de Johnson arroja un valor de A-cuadrado muy bajo y un *valor-p* elevado, por lo que utilizando esta transformación, es posible realizar un análisis de capacidad del proceso de esmaltado de cocinas.

En la **Figura 36** se muestra gráficamente como se ajusta la transformación de Johnson a una distribución normal, en la cual se ve claramente como los datos están dentro de los límites establecidos por las líneas rojas.

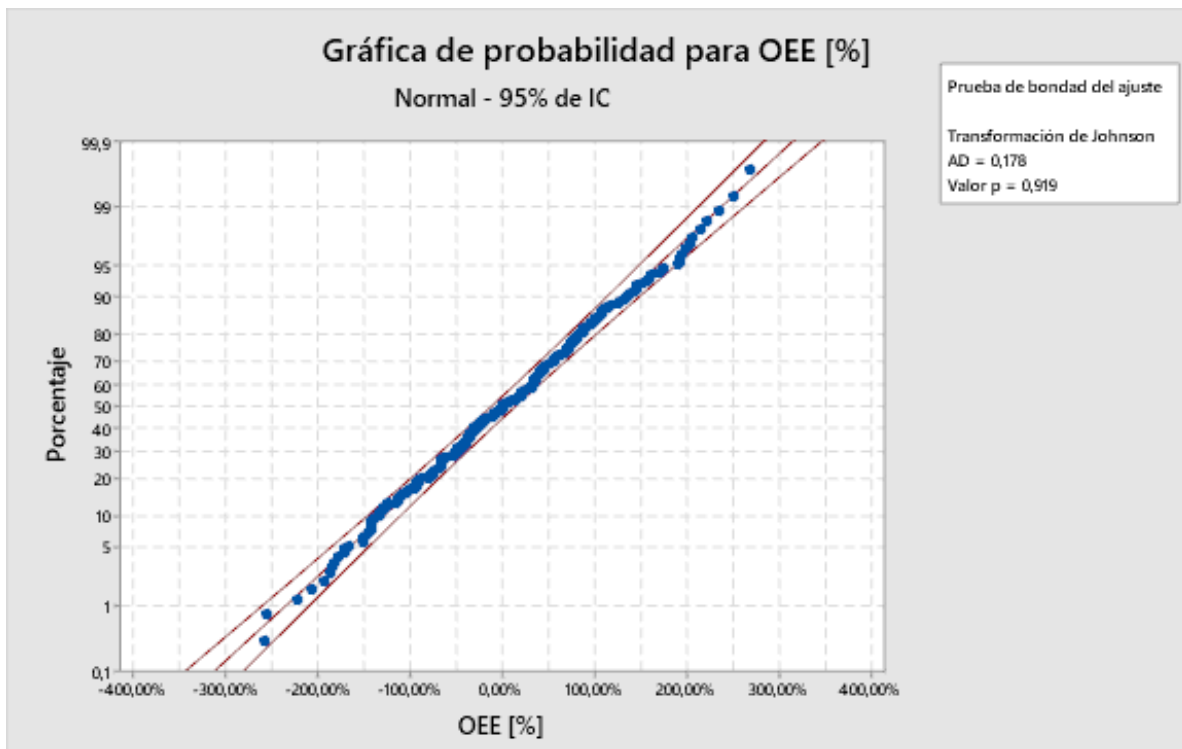


Figura 36: Gráfica de probabilidad para el OEE luego de haber aplicado el plan de mejora. Distribución normal luego de aplicar la transformación de Johnson. Elaborada con el software Minitab.

7.2.1. Análisis de la capacidad del proceso de esmaltado

A diferencia de los datos originales, el comportamiento de éstos al aplicar el plan de mejora es analizable al aplicar la transformación de Johnson. Con la ayuda del software Minitab, se realizará un análisis de la capacidad del proceso de esmaltado. Para ello, se considerará como especificación inferior (EI) el mínimo valor que puede tomar el OEE según lo mostrado en el marco teórico (40%), mientras que la especificación superior (ES) corresponde a 100%, pues es el mayor valor que se puede obtener de OEE. También, para el cálculo del C_{pm} , se tienen en cuenta que la empresa tiene como objetivo obtener un 77% de OEE.

La razón que justifica utilizar una doble especificación para el OEE y no solamente considerar una especificación inferior es que ni el OEE como sus factores pueden superar el 100%, por lo que fijar ese límite superior ayudará a identificar con mayor facilidad si el valor del OEE o de sus factores es incorrecto, como se da en el caso del factor Rendimiento en los datos originales.

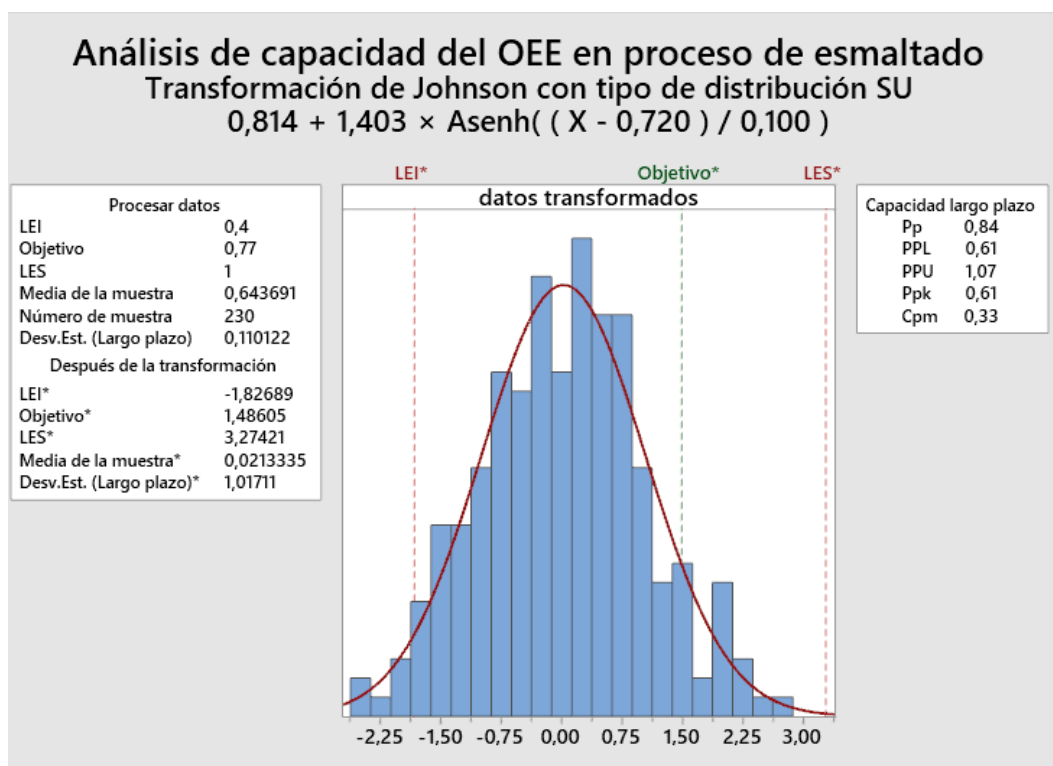


Figura 37: Análisis de capacidad del OEE en el proceso de esmaltado. Elaborado con el software Minitab.

En la **Figura 37** se pueden observar los datos estadísticos antes y después de haber aplicado la transformación de Johnson y los índices de capacidad obtenidos para el OEE del proceso de esmaltado.

Tomando como referencia un valor de 1,33 para comparar los índices de capacidad, se tiene que la capacidad potencial del proceso (P_p) alcanza un valor de 0,84. Este valor indica que la capacidad a largo plazo del proceso es deficiente con base en su variabilidad. Al comparar este valor con la capacidad real del proceso (P_{pk}), se tiene que éste se encuentra descentrado, lo cual se puede comprobar gráficamente pues el valor objetivo (en verde), es mayor que la media de los datos. También, el valor del P_{pk} obtenido es bastante bajo, lo cual indica que la capacidad a largo plazo del proceso es deficiente y necesita mejoras.

Por otra parte, el bajo valor de C_{pm} obtenido (0,33) se debe a que los datos se encuentran fuera del valor objetivo, y además no todos los datos se encuentran dentro de los límites de especificación. Esto se puede comprobar al comparar el C_{pm} con el P_{pk} , pues al no ser similares, entonces el proceso se encuentra descentrado del valor objetivo.

Los tres índices denotan que hay una gran área de oportunidad para la mejora del proceso, lo cual era de esperarse debido a que el proceso tiene una gran cantidad de causas asignables de variación. Se debe trabajar para disminuir los datos que se escapan de los límites de especificación, como también lograr que la media de los datos se acerque lo más posible al valor objetivo. Al aplicar todas las acciones propuestas en el plan de mejora, se espera que al tener un mayor control sobre el proceso, se logren aumentar significativamente los índices de capacidad.

Finalmente, se debe destacar que con el plan de mejora se logró una medición mucho más cercana a la realidad del OEE en el proceso de esmaltado de piezas de cocina, producto de haber modificado la forma de cálculo del factor de rendimiento. Esto es muy positivo y se espera que aplicando todas las propuestas de mejora en el proceso de esmaltado se logre un mayor control sobre éste y como consecuencia aumentar su desempeño, pues se estará trabajando en base a datos reales y fidedignos.

8. CONCLUSIONES

En la actualidad es muy importante para las empresas mejorar la competitividad en el rubro en el que se encuentren, como también ser más eficientes en los procesos productivos que llevan a cabo, lo cual no es ajeno al proceso de esmaltado de cocinas, por lo que obtener un buen desempeño de éste es crucial para obtener buenos resultados tanto en términos de productividad como en ventas del producto terminado.

Los procesos de producción se ven afectados por diversas variables que afectan su desempeño, de manera que tener un buen control de éstos es fundamental para lograr una buena eficiencia y garantizar que los productos cumplan con las especificaciones y requerimientos tanto de la misma empresa como de los clientes. Debido a la gran cantidad de variables que influyen en los procesos, resulta complejo identificar las causas raíz de los problemas. Sin embargo, aplicando herramientas estadísticas es posible realizar análisis del comportamiento de éstos y proponer ideas para mejorar su desempeño.

El principal objetivo de este trabajo de titulación es realizar una propuesta de plan de mejora para aumentar el nivel de desempeño del proceso de esmaltado, y para lograrlo se identificaron áreas en las cuales intervenir, como también las falencias de éste, entre las que se encuentran:

- Cálculo erróneo del OEE debido a la inconsistencia de la multiplicación de sus factores;
- Mezcla de datos entre turnos día y noche, como también entre los datos obtenidos en un turno normal y horas extra;
- Poco control del proceso de esmaltado, generando poca confiabilidad en los datos obtenidos;
- Considerar el valor de OEE obtenido solamente de forma global, sin tener en cuenta los subprocesos del proceso de esmaltado.

Al mejorar el rendimiento, calidad y disponibilidad del proceso, el aumento en eficiencia de éste se ve reflejado en el indicador OEE. Éste aporta información valiosa de los procesos en los cuales se aplica, por lo que asegurar que la forma de obtención de datos sea correcta es fundamental para lograr propuestas que al ser aplicadas impacten positivamente.

Utilizar indicadores de desempeño como el OEE ayuda a tener un mayor control sobre los procesos, identificar las áreas en donde existen la mayor pérdidas en eficiencia y proponer ideas de mejora, pero es muy importante que se tomen como referencia datos reales. Cuestionarse la forma de obtención de los datos es fundamental y esto quedó claro al analizar el comportamiento del OEE en el proceso de esmaltado. Éste obtiene valores excelentes de OEE (más de la mitad de los datos sobre 90%, es decir, de clase mundial) pero no son representativos del mismo, y para poder trabajar en mejorar su eficiencia se deben tomar acciones en base a datos reales y fidedignos.

Estandarizar la forma de cálculo del OEE es muy importante para obtener un valor que sea representativo del proceso. Esto se pudo comprobar al utilizar las piezas procesadas como unidad común en el cálculo del rendimiento y la calidad, haciendo consistente la multiplicación de los factores.

La aplicación de las propuestas del plan de mejora trae consigo grandes beneficios para la eficiencia del proceso, tales como:

- Un mayor control sobre el proceso de esmaltado, logrando datos más representativos y fidedignos;
- Consistencia entre los factores que componen el OEE, haciendo que el valor de éste también lo sea;
- Es posible realizar análisis estadísticos del proceso para evaluar su capacidad en el tiempo, y trabajar para mejorar los índices obtenidos;
- Aumento del desempeño del proceso tanto en rendimiento, disponibilidad y calidad, reflejando esta mejora en el OEE obtenido.

Con respecto al plan piloto, se puede destacar que como consecuencia del subconjunto de acciones aplicadas en el proceso de esmaltado, se pudo calcular la capacidad de éste, lo cual fue imposible de realizar en el diagnóstico del proceso. Si bien los valores obtenidos son bajos e indican que se deben implementar mejoras en el proceso (pues tanto la capacidad real como potencial del proceso deben aumentar), este análisis no se podía realizar con los valores de OEE originales.

Como recomendaciones finales, se enfatiza en que la forma en que se calcula el OEE en el proceso de esmaltado debe cambiar, y adoptar las medidas propuestas en este trabajo de titulación tales como utilizar piezas como unidad común entre los factores del OEE, separar los datos del turno día y noche, considerar los subprocesos del proceso de esmaltado y trabajar para aumentar los índices de capacidad de éste, contribuirán positivamente en disminuir la gran variación de los datos, aumentar el desempeño del proceso, y como consecuencia obtener mejores valores de OEE.

BIBLIOGRAFÍA

APTEAN Corporation. (2012). *Las seis grandes pérdidas. Una nueva aproximación a viejos Problemas en la Industria de Proceso*. Obtenido de www.aptean.es

CTI S.A. (2017). <http://www.cti.cl>. Obtenido de <http://www.cti.cl/index.php/informacion-corporativa/cti-s-a/memorias-anuales?view=category&layout=table&id=82>

CTI S.A. (2018). <http://www.cti.cl>. Obtenido de [cti.cl/index.php/informacion-corporativa/cti-s-a/memorias-anuales?view=category&layout=table&id=87](http://www.cti.cl/index.php/informacion-corporativa/cti-s-a/memorias-anuales?view=category&layout=table&id=87)

Gutierrez, H., & De la Vara, R. (2009). *Control estadístico de calidad y seis sigma*. Santa Fe: MCGRAW-HILL.

Instituto Uruguayo de normas técnicas. (2009). *Herramientas para la mejora de la Calidad*. Montevideo, Uruguay. Obtenido de <https://qualitasbiblo.files.wordpress.com/2013/01/libro-herramientas-para-la-mejora-de-la-calidad-curso-unit.pdf>

MES Sigma E.I.R.L. (2010). *Optimización de la Producción mediante Sistemas OEE en Tiempo Real*. Obtenido de <https://mes-sigma.net/>

Minitab, LLC. (s.f.). *Cómo la asimetría y la curtosis afectan la distribución*. Obtenido de <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/statistics/basic-statistics/supporting-topics/data-concepts/how-skewness-and-kurtosis-affect-your-distribution/>

Minitab, LLC. (s.f.). *Estadísticos de capacidad para Análisis de capacidad Seis en uno de subgrupos/corto plazo*. Obtenido de <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/quality-and-process-improvement/capability-analysis/how-to/capability-sixpack/between-within-capability-sixpack/interpret-the-results/all-statistics-and-graphs/capability-statistics/>

Minitab, LLC. (s.f.). *Interpret all statistics and graphs for Normality Test*. Obtenido de <https://support.minitab.com/en-us/minitab-express/1/help-and-how-to/basic-statistics/summary-statistics/normality-test/interpret-the-results/all-statistics-and-graphs/#null-hypothesis-and-alternative-hypothesis>

Moen, R. (Septiembre de 2009). *Foundation and History of the PDSA Cycle*. In *Asian network for quality conference, Tokio*. Obtenido de https://deming.org/uploads/paper/PDSA_History_Ron_Moen.pdf

Núñez, J. (s.f.). *Diseño del sistema de producción: Planificación de la Capacidad*. Obtenido de www.ramos.mec.usm.cl

Oskin, J., & Bector, D. T. (14 de octubre de 2003). *Graphical Overall Equipment Effectiveness System and Method*. Obtenido de <http://www.freepatentsonline.com/y2004/0117050.html>

SistemasOEE. (17 de mayo de 2017). *10 ventajas del OEE que harán de tu fábrica un centro de alto rendimiento*. Obtenido de <https://www.sistemasoe.com/10-ventajas-del-oe/>

Stamatis, D. (2010). *The OEE Primer. Understanding Overall Equipment Effectiveness, Reliability and Maintainability*. New York: Productivity Press.

Vorne Industries Inc. (2002-2008). *The fast guide to OEE*. Obtenido de www.oee.com

Vorne Industries Inc. (2005-2010). *OEE Pocket Guide*. Obtenido de www.oee.com

Vorne Industries Inc. (s.f.). *Calculate OEE*. Obtenido de <https://www.oee.com/calculating-oee.html>

Vorne Industries Inc. (s.f.). *Calculate TEEP*. Obtenido de <https://www.oee.com/teep.html>

Vorne Industries Inc. (s.f.). *Lean Production*. Obtenido de <https://www.leanproduction.com/oee.html>

Vorne Industries Inc. (s.f.). *Vorne FAQ*. Obtenido de <https://www.oee.com/faq.html>

ANEXOS

Anexo 1: Datos OEE año 2018

Tabla 10: Datos de rendimiento, calidad, disponibilidad y OEE para los meses de enero y febrero de 2018.

Fuente: Electrolux de Chile S.A.

Fecha	Rendimiento [%]	Calidad [%]	Disponibilidad [%]	OEE [%]
02-01-2018	67,24%	95,94%	100,00%	64,51%
03-01-2018	60,56%	95,59%	100,00%	57,89%
04-01-2018	60,12%	97,41%	100,00%	58,57%
05-01-2018	54,01%	96,75%	100,00%	52,25%
08-01-2018	56,93%	96,23%	100,00%	54,78%
09-01-2018	76,70%	96,99%	82,52%	61,38%
10-01-2018	53,58%	96,35%	100,00%	51,63%
11-01-2018	53,77%	95,04%	100,00%	51,11%
12-01-2018	43,41%	95,11%	100,00%	41,29%
15-01-2018	51,24%	96,27%	100,00%	49,33%
16-01-2018	34,70%	97,52%	100,00%	33,84%
17-01-2018	59,76%	97,31%	100,00%	58,15%
18-01-2018	57,52%	96,67%	100,00%	55,60%
19-01-2018	56,32%	97,81%	100,00%	55,08%
12-02-2018	99,99%	96,64%	76,69%	74,11%
13-02-2018	91,37%	94,49%	100,00%	86,34%
14-02-2018	95,77%	97,25%	100,00%	93,13%
15-02-2018	96,11%	94,86%	100,00%	91,17%
16-02-2018	93,80%	95,75%	100,00%	89,81%
19-02-2018	99,81%	93,44%	100,00%	93,26%
20-02-2018	99,39%	93,30%	100,00%	92,73%
21-02-2018	98,05%	95,47%	100,00%	93,61%
22-02-2018	100,00%	96,62%	100,00%	96,62%
23-02-2018	99,04%	96,75%	100,00%	95,82%
26-02-2018	99,55%	95,91%	100,00%	95,48%
27-02-2018	99,96%	96,29%	100,00%	96,26%
28-02-2018	99,39%	96,30%	100,00%	95,72%
Promedio	76,23%	96,08%	98,49%	71,83%

Tabla 11: Datos de rendimiento, calidad, disponibilidad y OEE para el mes de marzo de 2018. Fuente: Electrolux de Chile S.A.

Fecha	Rendimiento [%]	Calidad [%]	Disponibilidad [%]	OEE [%]
01-03-2018	99,92%	97,68%	100,00%	97,60%
02-03-2018	99,93%	96,66%	100,00%	96,59%
05-03-2018	100,36%	97,83%	100,00%	98,18%
06-03-2018	101,44%	97,36%	100,00%	98,76%
07-03-2018	94,23%	95,26%	100,00%	89,77%
08-03-2018	97,93%	96,91%	100,00%	94,91%
09-03-2018	100,16%	97,94%	100,00%	98,09%
12-03-2018	100,48%	97,20%	100,00%	97,67%
13-03-2018	101,29%	94,87%	100,00%	96,10%
14-03-2018	100,01%	96,52%	100,00%	96,53%
15-03-2018	100,20%	97,15%	100,00%	97,35%
16-03-2018	99,11%	97,75%	100,00%	96,89%
19-03-2018	100,79%	97,61%	100,00%	98,38%
20-03-2018	100,46%	96,61%	100,00%	97,05%
21-03-2018	100,95%	96,60%	100,00%	97,51%
22-03-2018	100,98%	95,38%	100,00%	96,31%
23-03-2018	97,02%	95,52%	100,00%	92,67%
26-03-2018	101,86%	95,51%	100,00%	97,29%
27-03-2018	101,53%	96,79%	100,00%	98,27%
28-03-2018	100,00%	96,96%	100,00%	96,95%
29-03-2018	82,40%	95,38%	100,00%	78,59%
Promedio	99,10%	96,64%	100,00%	95,78%

Tabla 12: Datos de rendimiento, calidad, disponibilidad y OEE para el mes de abril de 2018. Fuente: Electrolux de Chile S.A.

Fecha	Rendimiento [%]	Calidad [%]	Disponibilidad [%]	OEE [%]
02-04-2018	97,55%	95,88%	100,00%	93,53%
03-04-2018	100,76%	95,29%	100,00%	96,02%
04-04-2018	95,37%	97,31%	100,00%	92,81%
05-04-2018	93,80%	94,34%	100,00%	88,50%
06-04-2018	92,39%	97,80%	100,00%	90,36%
09-04-2018	93,40%	95,32%	100,00%	89,03%
10-04-2018	94,63%	95,96%	100,00%	90,81%
11-04-2018	90,27%	94,58%	100,00%	85,38%
12-04-2018	80,57%	96,98%	100,00%	78,14%
13-04-2018	90,85%	98,21%	100,00%	89,23%
16-04-2018	84,75%	97,50%	100,00%	82,64%
17-04-2018	96,37%	95,25%	100,00%	91,80%
18-04-2018	91,70%	96,10%	100,00%	88,12%
19-04-2018	88,87%	97,00%	100,00%	86,21%
20-04-2018	100,06%	97,15%	100,00%	97,21%
23-04-2018	100,13%	94,82%	100,00%	94,95%
24-04-2018	95,51%	96,05%	100,00%	91,74%
25-04-2018	97,92%	95,26%	100,00%	93,28%
26-04-2018	103,59%	95,85%	100,00%	99,29%
27-04-2018	98,44%	97,19%	100,00%	95,68%
30-04-2018	100,31%	94,90%	100,00%	95,19%
Promedio	94,63%	96,13%	100,00%	90,95%

Tabla 13: Datos de rendimiento, calidad, disponibilidad y OEE para el mes de mayo de 2018. Fuente: Electrolux de Chile S.A.

Fecha	Rendimiento [%]	Calidad [%]	Disponibilidad [%]	OEE [%]
02-05-2018	98,20%	93,61%	100,00%	91,93%
03-05-2018	98,59%	96,73%	100,00%	95,37%
04-05-2018	94,88%	94,41%	100,00%	89,57%
07-05-2018	92,27%	94,48%	100,00%	87,17%
08-05-2018	102,73%	96,86%	100,00%	99,51%
09-05-2018	93,14%	96,99%	100,00%	90,33%
10-05-2018	88,81%	97,03%	100,00%	86,17%
11-05-2018	98,62%	98,51%	100,00%	97,15%
14-05-2018	90,48%	96,64%	100,00%	87,44%
15-05-2018	92,21%	96,33%	100,00%	88,82%
16-05-2018	100,20%	96,38%	100,00%	96,58%
17-05-2018	102,59%	96,06%	100,00%	98,55%
18-05-2018	100,63%	95,31%	100,00%	95,91%
22-05-2018	88,80%	96,08%	100,00%	85,32%
23-05-2018	98,07%	97,72%	100,00%	95,83%
24-05-2018	93,67%	96,36%	100,00%	90,26%
25-05-2018	98,74%	97,55%	100,00%	96,33%
28-05-2018	102,69%	97,06%	100,00%	99,67%
29-05-2018	94,54%	92,25%	100,00%	87,22%
30-05-2018	100,34%	95,34%	100,00%	95,66%
31-05-2018	99,91%	97,00%	100,00%	96,92%
Promedio	96,67%	96,13%	100,00%	92,94%

Tabla 14: Datos de rendimiento, calidad, disponibilidad y OEE para el mes de junio de 2018. Fuente: Electrolux de Chile S.A.

Fecha	Rendimiento [%]	Calidad [%]	Disponibilidad [%]	OEE [%]
01-06-2018	103,65%	96,45%	100,00%	99,97%
04-06-2018	84,12%	96,05%	100,00%	80,80%
05-06-2018	83,72%	96,45%	100,00%	80,75%
06-06-2018	78,96%	96,01%	100,00%	75,81%
07-06-2018	78,93%	96,38%	100,00%	76,08%
08-06-2018	80,16%	95,41%	100,00%	76,48%
11-06-2018	95,00%	96,39%	100,00%	91,57%
12-06-2018	95,69%	94,65%	100,00%	90,57%
13-06-2018	93,01%	97,14%	100,00%	90,35%
14-06-2018	82,10%	97,63%	100,00%	80,15%
15-06-2018	90,43%	96,35%	100,00%	87,13%
18-06-2018	81,06%	95,46%	100,00%	77,38%
19-06-2018	97,40%	97,12%	100,00%	94,59%
20-06-2018	95,54%	96,92%	100,00%	92,60%
21-06-2018	95,63%	96,64%	100,00%	92,41%
22-06-2018	99,28%	98,76%	100,00%	98,05%
25-06-2018	98,71%	96,83%	100,00%	95,58%
26-06-2018	100,71%	93,03%	100,00%	93,69%
27-06-2018	97,48%	96,70%	100,00%	94,26%
28-06-2018	96,98%	95,68%	100,00%	92,79%
29-06-2018	99,18%	97,38%	100,00%	96,58%
Promedio	91,80%	96,35%	100,00%	88,46%

Tabla 15: Datos de rendimiento, calidad, disponibilidad y OEE para el mes de julio de 2018. Fuente: Electrolux de Chile S.A.

Fecha	Rendimiento [%]	Calidad [%]	Disponibilidad [%]	OEE [%]
03-07-2018	99,93%	96,84%	100,00%	96,78%
04-07-2018	88,27%	95,01%	100,00%	83,86%
05-07-2018	96,64%	96,09%	100,00%	92,86%
06-07-2018	99,59%	96,09%	100,00%	95,69%
09-07-2018	86,52%	98,05%	100,00%	84,83%
10-07-2018	98,27%	95,94%	100,00%	94,28%
11-07-2018	98,82%	96,03%	100,00%	94,89%
12-07-2018	98,56%	96,51%	100,00%	95,12%
13-07-2018	98,52%	95,73%	100,00%	94,32%
17-07-2018	98,92%	96,44%	100,00%	95,40%
18-07-2018	90,35%	97,17%	100,00%	87,79%
19-07-2018	90,19%	96,64%	100,00%	87,15%
20-07-2018	95,81%	96,87%	100,00%	92,81%
23-07-2018	93,49%	98,18%	100,00%	91,79%
24-07-2018	94,07%	96,68%	100,00%	90,95%
25-07-2018	91,66%	96,76%	100,00%	88,68%
26-07-2018	84,88%	97,61%	90,55%	75,02%
27-07-2018	93,32%	97,14%	100,00%	90,66%
30-07-2018	98,37%	97,59%	100,00%	96,00%
31-07-2018	98,89%	96,24%	100,00%	95,17%
Promedio	94,75%	96,68%	99,53%	91,20%

Tabla 16: Datos de rendimiento, calidad, disponibilidad y OEE para el mes de agosto de 2018. Fuente: Electrolux de Chile S.A.

Fecha	Rendimiento [%]	Calidad [%]	Disponibilidad [%]	OEE [%]
01-08-2018	68,36%	95,58%	100,00%	65,34%
02-08-2018	71,03%	96,86%	100,00%	68,80%
03-08-2018	74,65%	96,91%	100,00%	72,34%
06-08-2018	67,93%	97,87%	100,00%	66,49%
07-08-2018	100,54%	96,19%	100,00%	96,72%
08-08-2018	97,89%	96,19%	100,00%	94,17%
09-08-2018	90,02%	96,69%	100,00%	87,04%
10-08-2018	97,59%	97,88%	100,00%	95,52%
13-08-2018	100,79%	97,83%	100,00%	98,61%
14-08-2018	87,36%	95,59%	100,00%	83,50%
16-08-2018	90,76%	97,92%	100,00%	88,87%
17-08-2018	100,47%	96,61%	100,00%	97,06%
20-08-2018	99,69%	97,39%	100,00%	97,08%
21-08-2018	93,14%	96,75%	100,00%	90,11%
22-08-2018	93,22%	98,56%	100,00%	91,87%
23-08-2018	99,87%	98,32%	100,00%	98,19%
24-08-2018	92,11%	97,91%	100,00%	90,19%
27-08-2018	90,69%	97,79%	100,00%	88,68%
28-08-2018	90,31%	97,59%	100,00%	88,13%
29-08-2018	93,80%	97,13%	100,00%	91,11%
30-08-2018	97,20%	97,68%	100,00%	94,94%
31-08-2018	79,29%	95,81%	100,00%	75,97%
Promedio	89,85%	97,14%	100,00%	87,31%

Tabla 17: Datos de rendimiento, calidad, disponibilidad y OEE para el mes de septiembre de 2018. Fuente: Electrolux de Chile S.A.

Fecha	Rendimiento [%]	Calidad [%]	Disponibilidad [%]	OEE [%]
03-09-2018	97,11%	98,23%	100,00%	95,38%
04-09-2018	101,38%	98,03%	100,00%	99,38%
05-09-2018	99,80%	97,00%	100,00%	96,80%
06-09-2018	98,00%	97,69%	100,00%	95,73%
07-09-2018	97,48%	96,66%	100,00%	94,22%
10-09-2018	98,39%	97,57%	100,00%	96,00%
11-09-2018	92,36%	98,05%	100,00%	90,56%
12-09-2018	95,94%	96,85%	100,00%	92,92%
13-09-2018	100,07%	96,62%	100,00%	96,69%
14-09-2018	71,68%	96,33%	100,00%	69,06%
20-09-2018	100,07%	96,62%	100,00%	96,69%
21-09-2018	98,91%	96,08%	100,00%	95,04%
24-09-2018	72,67%	96,65%	100,00%	70,24%
25-09-2018	64,57%	97,04%	100,00%	62,66%
26-09-2018	59,53%	98,40%	100,00%	58,57%
27-09-2018	60,14%	97,22%	100,00%	58,46%
28-09-2018	52,98%	96,68%	100,00%	51,22%
Promedio	85,95%	97,16%	100,00%	83,51%

Tabla 18: Datos de rendimiento, calidad, disponibilidad y OEE para el mes de octubre de 2018. Fuente: Electrolux de Chile S.A.

Fecha	Rendimiento [%]	Calidad [%]	Disponibilidad [%]	OEE [%]
01-10-2018	94,50%	96,37%	100,00%	91,07%
02-10-2018	102,62%	97,02%	100,00%	99,57%
03-10-2018	99,36%	97,50%	100,00%	96,88%
04-10-2018	97,93%	95,23%	100,00%	93,26%
05-10-2018	99,95%	97,57%	100,00%	97,52%
08-10-2018	51,78%	95,94%	94,17%	46,78%
09-10-2018	55,86%	95,47%	100,00%	53,33%
10-10-2018	62,84%	96,84%	100,00%	60,86%
11-10-2018	65,63%	97,94%	100,00%	64,28%
12-10-2018	56,03%	97,26%	100,00%	54,50%
16-10-2018	101,20%	96,85%	100,00%	98,01%
17-10-2018	99,63%	96,22%	100,00%	95,86%
18-10-2018	100,37%	97,66%	100,00%	98,02%
19-10-2018	97,41%	98,37%	100,00%	95,82%
22-10-2018	72,40%	98,52%	30,07%	21,45%
23-10-2018	100,82%	97,58%	100,00%	98,38%
24-10-2018	100,26%	98,92%	100,00%	99,18%
25-10-2018	92,22%	96,59%	100,00%	89,08%
26-10-2018	77,61%	96,90%	100,00%	75,20%
29-10-2018	90,97%	95,83%	100,00%	87,18%
30-10-2018	97,85%	93,12%	30,07%	27,40%
31-10-2018	100,40%	96,42%	100,00%	96,81%
Promedio	87,17%	96,82%	93,38%	79,11%

Tabla 19: Datos de rendimiento, calidad, disponibilidad y OEE para el mes de noviembre de 2018. Fuente: Electrolux de Chile S.A.

Fecha	Rendimiento [%]	Calidad [%]	Disponibilidad [%]	OEE [%]
05-11-2018	99,77%	97,13%	100,00%	96,90%
06-11-2018	74,85%	97,01%	100,00%	72,61%
07-11-2018	96,08%	98,46%	100,00%	94,60%
08-11-2018	92,99%	97,64%	100,00%	90,79%
09-11-2018	101,51%	97,48%	100,00%	98,95%
12-11-2018	81,73%	97,67%	100,00%	79,82%
13-11-2018	92,13%	97,30%	100,00%	89,64%
14-11-2018	100,85%	97,66%	100,00%	98,49%
15-11-2018	90,75%	97,13%	100,00%	88,15%
16-11-2018	97,50%	96,34%	100,00%	93,93%
19-11-2018	90,65%	96,90%	100,00%	87,84%
20-11-2018	101,14%	97,34%	100,00%	98,45%
21-11-2018	98,85%	95,61%	100,00%	94,51%
22-11-2018	93,81%	97,03%	100,00%	91,03%
23-11-2018	91,14%	98,22%	100,00%	89,51%
26-11-2018	57,21%	97,42%	100,00%	55,74%
27-11-2018	54,00%	96,48%	100,00%	52,09%
28-11-2018	60,76%	97,09%	100,00%	58,99%
29-11-2018	61,34%	97,00%	100,00%	59,50%
30-11-2018	51,52%	95,85%	100,00%	49,38%
Promedio	84,43%	97,14%	100,00%	82,05%

Tabla 20: Datos de rendimiento, calidad, disponibilidad y OEE para el mes de diciembre de 2018. Fuente: Electrolux de Chile S.A.

Fecha	Rendimiento [%]	Calidad [%]	Disponibilidad [%]	OEE [%]
03-12-2018	51,69%	96,70%	91,26%	45,61%
04-12-2018	51,53%	97,68%	100,00%	50,33%
05-12-2018	60,22%	97,25%	100,00%	58,57%
06-12-2018	56,98%	96,93%	100,00%	55,23%
07-12-2018	75,16%	96,51%	100,00%	72,54%
10-12-2018	90,10%	97,99%	100,00%	88,29%
11-12-2018	87,71%	98,05%	100,00%	86,00%
12-12-2018	88,86%	98,53%	100,00%	87,55%
13-12-2018	95,01%	97,92%	100,00%	93,03%
14-12-2018	98,65%	97,99%	100,00%	96,67%
17-12-2018	53,80%	96,39%	100,00%	51,86%
18-12-2018	59,03%	97,52%	100,00%	57,57%
19-12-2018	65,61%	97,43%	100,00%	63,93%
20-12-2018	65,56%	96,65%	100,00%	63,36%
21-12-2018	64,42%	97,11%	100,00%	62,55%
24-12-2018	80,03%	97,75%	100,00%	78,23%
26-12-2018	91,75%	97,57%	100,00%	89,53%
27-12-2018	98,93%	98,34%	100,00%	97,29%
28-12-2018	96,21%	97,67%	100,00%	93,97%
31-12-2018	98,84%	97,38%	100,00%	96,25%
Promedio	76,50%	97,47%	99,56%	74,42%

Anexo 2: Ausencias registradas de los trabajadores

Tabla 21: Ausencias de los operarios de producción registradas durante el año 2018.

Día	Ausencias	Día	Ausencias
12-04-2018	8	20-11-2018	15
16-04-2018	4	21-11-2018	16
10-05-2018	1	22-11-2018	16
04-06-2018	5	23-11-2018	15
05-06-2018	5	26-11-2018	17
06-06-2018	5	27-11-2018	20
07-06-2018	5	28-11-2018	22
08-06-2018	5	29-11-2018	19
09-07-2018	7	30-11-2018	17
01-08-2018	9	03-12-2018	19
02-08-2018	9	04-12-2018	21
03-08-2018	9	05-12-2018	22
25-09-2018	6	06-12-2018	22
26-09-2018	9	07-12-2018	22
27-09-2018	9	10-12-2018	11
28-09-2018	9	11-12-2018	13
01-10-2018	6	12-12-2018	12
02-10-2018	6	13-12-2018	13
03-10-2018	6	14-12-2018	15
08-10-2018	10	17-12-2018	17
09-10-2018	10	18-12-2018	13
10-10-2018	10	19-12-2018	13
11-10-2018	10	20-12-2018	13
12-10-2018	10	21-12-2018	14
06-11-2018	6	24-12-2018	3
12-11-2018	12	26-12-2018	8
13-11-2018	20	27-12-2018	9
14-11-2018	17	28-12-2018	8
15-11-2018	18	31-12-2018	4
19-11-2018	15		

Anexo 3: Datos utilizados en el plan piloto

Tabla 22: Datos del total de piezas procesadas, rendimiento, calidad, disponibilidad y OEE para los meses de enero y febrero de 2018. Elaboración propia.

Fecha	Total de piezas procesadas	Rendimiento [%]	Calidad [%]	Disponibilidad [%]	OEE [%]
02-01-2018	6.807	65,12%	96,12%	100,00%	62,59%
03-01-2018	6.156	58,89%	96,35%	100,00%	56,74%
04-01-2018	6.098	58,34%	96,47%	100,00%	56,28%
05-01-2018	4.411	42,20%	96,64%	100,00%	40,78%
08-01-2018	4.570	43,72%	96,46%	100,00%	42,17%
09-01-2018	5.192	79,86%	97,42%	76,69%	59,67%
10-01-2018	5.174	49,50%	97,41%	100,00%	48,22%
11-01-2018	5.411	51,76%	95,12%	100,00%	49,24%
12-01-2018	3.644	34,86%	95,14%	100,00%	33,17%
15-01-2018	3.993	38,20%	96,27%	100,00%	36,77%
17-01-2018	5.688	54,41%	97,03%	100,00%	52,80%
18-01-2018	5.316	50,86%	95,79%	100,00%	48,71%
19-01-2018	5.688	54,41%	98,31%	100,00%	53,50%
12-02-2018	5.926	91,15%	96,64%	76,69%	67,56%
13-02-2018	6.557	62,73%	94,49%	100,00%	59,27%
14-02-2018	7.590	72,61%	97,25%	100,00%	70,61%
15-02-2018	7.922	75,79%	94,86%	100,00%	71,89%
16-02-2018	6.936	66,35%	95,75%	100,00%	63,53%
19-02-2018	8.475	81,08%	93,44%	100,00%	75,76%
20-02-2018	7.147	68,37%	93,30%	100,00%	63,79%
21-02-2018	6.872	65,74%	95,47%	100,00%	62,77%
22-02-2018	7.732	73,97%	96,62%	100,00%	71,47%
23-02-2018	7.203	68,91%	96,75%	100,00%	66,67%
26-02-2018	7.339	70,21%	95,91%	100,00%	67,34%
27-02-2018	6.957	66,55%	96,29%	100,00%	64,09%
28-02-2018	7.440	71,18%	96,30%	100,00%	68,54%
Total	6.240	62,18%	96,06%	98,21%	58,23%

Tabla 23: Datos del total de piezas procesadas, rendimiento, calidad, disponibilidad y OEE para el mes de marzo de 2018. Elaboración propia.

Fecha	Total de piezas procesadas	Rendimiento [%]	Calidad [%]	Disponibilidad [%]	OEE [%]
01-03-2018	6.710	64,19%	97,68%	100,00%	62,70%
02-03-2018	6.616	63,29%	96,66%	100,00%	61,18%
05-03-2018	7.685	73,52%	97,83%	100,00%	71,92%
06-03-2018	7.352	70,33%	97,36%	100,00%	68,48%
07-03-2018	7.855	75,15%	95,26%	100,00%	71,59%
08-03-2018	7.573	72,45%	96,91%	100,00%	70,21%
09-03-2018	6.347	60,72%	97,94%	100,00%	59,47%
12-03-2018	7.070	67,64%	97,20%	100,00%	65,74%
13-03-2018	7.239	69,25%	94,87%	100,00%	65,70%
14-03-2018	6.638	63,50%	96,52%	100,00%	61,29%
15-03-2018	7.236	69,22%	97,15%	100,00%	67,25%
16-03-2018	6.813	65,18%	97,75%	100,00%	63,71%
19-03-2018	7.568	72,40%	97,61%	100,00%	70,67%
20-03-2018	7.701	73,67%	96,61%	100,00%	71,18%
21-03-2018	7.994	76,48%	96,60%	100,00%	73,87%
22-03-2018	7.720	73,85%	95,38%	100,00%	70,44%
23-03-2018	7.516	71,90%	95,52%	100,00%	68,68%
26-03-2018	9.326	89,22%	95,51%	100,00%	85,21%
27-03-2018	7.787	74,50%	96,79%	100,00%	72,10%
28-03-2018	8.247	78,90%	96,96%	100,00%	76,49%
29-03-2018	5.454	52,18%	95,38%	100,00%	49,77%
Total	7.355	70,36%	96,64%	100,00%	67,98%

Tabla 24: Datos del total de piezas procesadas, rendimiento, calidad, disponibilidad y OEE para el mes de abril de 2018. Elaboración propia.

Fecha	Total de piezas procesadas	Rendimiento [%]	Calidad [%]	Disponibilidad [%]	OEE [%]
02-04-2018	8.807	84,25%	95,88%	100,00%	80,78%
03-04-2018	8.968	85,79%	95,29%	100,00%	81,76%
04-04-2018	9.002	86,12%	97,31%	100,00%	83,80%
05-04-2018	8.925	85,38%	94,34%	100,00%	80,55%
06-04-2018	8.883	84,98%	97,80%	100,00%	83,11%
09-04-2018	8.413	80,48%	95,32%	100,00%	76,71%
10-04-2018	7.995	76,48%	95,96%	100,00%	73,39%
11-04-2018	7.457	71,34%	94,58%	100,00%	67,47%
12-04-2018	6.299	60,26%	96,98%	100,00%	58,44%
13-04-2018	8.224	78,68%	98,21%	100,00%	77,27%
16-04-2018	7.090	67,83%	97,50%	100,00%	66,13%
17-04-2018	6.699	64,09%	95,25%	100,00%	61,04%
18-04-2018	7.356	70,37%	96,10%	100,00%	67,63%
19-04-2018	6.604	63,18%	97,00%	100,00%	61,28%
20-04-2018	7.939	75,95%	97,15%	100,00%	73,79%
23-04-2018	7.536	72,09%	94,82%	100,00%	68,36%
24-04-2018	7.071	67,65%	96,05%	100,00%	64,98%
25-04-2018	7.955	76,10%	95,26%	100,00%	72,50%
26-04-2018	7.736	74,01%	95,85%	100,00%	70,94%
27-04-2018	7.409	70,88%	97,19%	100,00%	68,89%
30-04-2018	6.367	60,91%	94,90%	100,00%	57,80%
Total	7.749	74,13%	96,13%	100,00%	71,27%

Tabla 25: Datos del total de piezas procesadas, rendimiento, calidad, disponibilidad y OEE para el mes de mayo de 2018. Elaboración propia.

Fecha	Total de piezas procesadas	Rendimiento [%]	Calidad [%]	Disponibilidad [%]	OEE [%]
02-05-2018	8.173	78,19%	93,61%	100,00%	73,19%
03-05-2018	8.807	84,25%	96,73%	100,00%	81,50%
04-05-2018	4.826	46,17%	94,41%	100,00%	43,59%
07-05-2018	6.577	62,92%	94,48%	100,00%	59,45%
08-05-2018	8.001	76,54%	96,86%	100,00%	74,14%
09-05-2018	7.963	76,18%	96,99%	100,00%	73,88%
10-05-2018	7.073	67,66%	97,03%	100,00%	65,66%
11-05-2018	5.838	55,85%	98,51%	100,00%	55,02%
14-05-2018	7.718	73,83%	96,64%	100,00%	71,36%
15-05-2018	8.082	77,32%	96,33%	100,00%	74,48%
16-05-2018	7.495	71,70%	96,38%	100,00%	69,11%
17-05-2018	8.254	78,96%	96,06%	100,00%	75,85%
18-05-2018	7.335	70,17%	95,31%	100,00%	66,88%
22-05-2018	6.859	65,62%	96,08%	100,00%	63,04%
23-05-2018	7.364	70,45%	97,72%	100,00%	68,84%
24-05-2018	7.770	74,33%	96,36%	100,00%	71,63%
25-05-2018	7.433	71,11%	97,55%	100,00%	69,37%
28-05-2018	6.739	64,47%	97,06%	100,00%	62,58%
29-05-2018	7.512	71,86%	92,25%	100,00%	66,30%
30-05-2018	6.798	65,03%	95,34%	100,00%	62,00%
31-05-2018	7.040	67,35%	97,00%	100,00%	65,33%
Total	7.317	70,00%	96,13%	100,00%	67,29%

Tabla 26: Datos del total de piezas procesadas, rendimiento, calidad, disponibilidad y OEE para el mes de junio de 2018. Elaboración propia.

Fecha	Total de piezas procesadas	Rendimiento [%]	Calidad [%]	Disponibilidad [%]	OEE [%]
01-06-2018	8.411	80,46%	96,45%	100,00%	77,60%
04-06-2018	7.476	71,52%	96,05%	100,00%	68,70%
05-06-2018	6.424	61,46%	96,45%	100,00%	59,27%
06-06-2018	7.315	69,98%	96,01%	100,00%	67,19%
07-06-2018	7.607	72,77%	96,38%	100,00%	70,14%
08-06-2018	7.976	76,30%	95,41%	100,00%	72,80%
11-06-2018	8.316	79,56%	96,39%	100,00%	76,69%
12-06-2018	7.721	73,86%	94,65%	100,00%	69,91%
13-06-2018	7.698	73,64%	97,14%	100,00%	71,54%
14-06-2018	7.538	72,11%	97,63%	100,00%	70,40%
15-06-2018	6.761	64,68%	96,35%	100,00%	62,32%
18-06-2018	7.140	68,31%	95,46%	100,00%	65,21%
19-06-2018	7.667	73,35%	97,12%	100,00%	71,23%
20-06-2018	7.707	73,73%	96,92%	100,00%	71,46%
21-06-2018	7.589	72,60%	96,64%	100,00%	70,16%
22-06-2018	7.177	68,66%	98,76%	100,00%	67,81%
25-06-2018	8.202	78,47%	96,83%	100,00%	75,98%
26-06-2018	6.987	66,84%	93,03%	100,00%	62,18%
27-06-2018	7.292	69,76%	96,70%	100,00%	67,45%
28-06-2018	7.127	68,18%	95,68%	100,00%	65,23%
29-06-2018	7.278	69,63%	97,38%	100,00%	67,80%
Total	7.496	71,71%	96,35%	100,00%	69,10%

Tabla 27: Datos del total de piezas procesadas, rendimiento, calidad, disponibilidad y OEE para el mes de julio de 2018. Elaboración propia.

Fecha	Total de piezas procesadas	Rendimiento [%]	Calidad [%]	Disponibilidad [%]	OEE [%]
03-07-2018	6.748	64,56%	96,84%	100,00%	62,52%
04-07-2018	7.650	73,18%	95,01%	100,00%	69,53%
05-07-2018	7.136	68,27%	96,09%	100,00%	65,60%
06-07-2018	8.928	85,41%	96,09%	100,00%	82,07%
09-07-2018	6.504	62,22%	98,05%	100,00%	61,01%
10-07-2018	7.963	76,18%	95,94%	100,00%	73,09%
11-07-2018	6.994	66,91%	96,03%	100,00%	64,25%
12-07-2018	7.790	74,52%	96,51%	100,00%	71,92%
13-07-2018	8.528	81,58%	95,73%	100,00%	78,10%
17-07-2018	8.147	77,94%	96,44%	100,00%	75,16%
18-07-2018	8.521	81,52%	97,17%	100,00%	79,21%
19-07-2018	8.237	78,80%	96,64%	100,00%	76,15%
20-07-2018	7.029	67,24%	96,87%	100,00%	65,14%
23-07-2018	6.661	63,72%	98,18%	100,00%	62,57%
24-07-2018	7.135	68,26%	96,68%	100,00%	65,99%
25-07-2018	6.941	66,40%	96,76%	100,00%	64,25%
26-07-2018	6.640	63,52%	97,61%	88,34%	54,77%
27-07-2018	7.424	71,02%	97,14%	100,00%	68,99%
30-07-2018	7.392	70,72%	97,59%	100,00%	69,01%
31-07-2018	7.157	68,47%	96,24%	100,00%	65,89%
Total	7.476	71,52%	96,68%	99,42%	68,76%

Tabla 28: Datos del total de piezas procesadas, rendimiento, calidad, disponibilidad y OEE para el mes de agosto de 2018. Elaboración propia.

Fecha	Total de piezas procesadas	Rendimiento [%]	Calidad [%]	Disponibilidad [%]	OEE [%]
01-08-2018	5.113	48,91%	95,58%	100,00%	46,75%
02-08-2018	4.293	41,07%	96,86%	100,00%	39,78%
03-08-2018	4.239	40,55%	96,91%	100,00%	39,30%
06-08-2018	3.098	29,64%	97,87%	100,00%	29,01%
07-08-2018	7.437	71,15%	96,19%	100,00%	68,44%
08-08-2018	7.983	76,37%	96,19%	100,00%	73,46%
09-08-2018	7.828	74,89%	96,69%	100,00%	72,41%
10-08-2018	6.744	64,52%	97,88%	100,00%	63,15%
13-08-2018	7.852	75,12%	97,83%	100,00%	73,49%
14-08-2018	6.325	60,51%	95,59%	100,00%	57,84%
16-08-2018	7.457	71,34%	97,92%	100,00%	69,86%
17-08-2018	6.425	61,47%	96,61%	100,00%	59,38%
20-08-2018	6.354	60,79%	97,39%	100,00%	59,20%
21-08-2018	7.412	70,91%	96,75%	100,00%	68,60%
22-08-2018	6.995	66,92%	98,56%	100,00%	65,95%
23-08-2018	7.336	70,18%	98,32%	100,00%	69,00%
24-08-2018	6.700	64,10%	97,91%	100,00%	62,76%
27-08-2018	7.434	71,12%	97,79%	100,00%	69,55%
28-08-2018	6.403	61,25%	97,59%	100,00%	59,78%
29-08-2018	6.721	64,30%	97,13%	100,00%	62,45%
30-08-2018	7.932	75,88%	97,68%	100,00%	74,12%
31-08-2018	6.105	58,40%	95,81%	100,00%	55,96%
Total	6.554	62,70%	97,14%	100,00%	60,92%

Tabla 29: Datos del total de piezas procesadas, rendimiento, calidad, disponibilidad y OEE para el mes de septiembre de 2018. Elaboración propia.

Fecha	Total de piezas procesadas	Rendimiento [%]	Calidad [%]	Disponibilidad [%]	OEE [%]
03-09-2018	7.496	75,70%	98,23%	100,00%	74,35%
04-09-2018	9.071	91,60%	98,03%	100,00%	89,79%
05-09-2018	7.392	74,64%	97,00%	100,00%	72,40%
06-09-2018	6.883	69,51%	97,69%	100,00%	67,90%
07-09-2018	6.919	69,87%	96,66%	100,00%	67,54%
10-09-2018	7.908	79,86%	97,57%	100,00%	77,92%
11-09-2018	6.972	70,40%	98,05%	100,00%	69,03%
12-09-2018	6.504	65,68%	96,85%	100,00%	63,61%
14-09-2018	3.901	48,58%	96,33%	100,00%	46,79%
20-09-2018	7.489	75,62%	96,62%	100,00%	73,07%
21-09-2018	7.071	71,40%	96,08%	100,00%	68,61%
24-09-2018	6.349	64,11%	96,42%	100,00%	61,82%
25-09-2018	6.216	62,77%	96,91%	100,00%	60,83%
26-09-2018	6.013	60,72%	98,37%	100,00%	59,73%
27-09-2018	6.040	60,99%	97,25%	100,00%	59,32%
28-09-2018	5.156	52,07%	96,51%	100,00%	50,25%
Total	6.711	68,34%	97,16%	100,00%	66,43%

Tabla 30: Datos del total de piezas procesadas, rendimiento, calidad, disponibilidad y OEE para el mes de octubre de 2018. Elaboración propia.

Fecha	Total de piezas procesadas	Rendimiento [%]	Calidad [%]	Disponibilidad [%]	OEE [%]
01-10-2018	7.052	71,21%	96,37%	100,00%	68,63%
02-10-2018	7.388	74,60%	97,02%	100,00%	72,38%
03-10-2018	7.293	73,65%	97,50%	100,00%	71,81%
04-10-2018	7.193	72,64%	95,23%	100,00%	69,17%
05-10-2018	7.046	71,15%	97,57%	100,00%	69,42%
08-10-2018	4.479	45,23%	96,58%	88,34%	38,59%
09-10-2018	4.946	49,95%	96,62%	100,00%	48,26%
10-10-2018	6.286	63,48%	97,98%	100,00%	62,19%
11-10-2018	6.902	69,70%	98,16%	100,00%	68,41%
12-10-2018	5.504	55,58%	97,95%	100,00%	54,44%
16-10-2018	7.298	73,70%	96,85%	100,00%	71,37%
17-10-2018	6.668	67,33%	96,22%	100,00%	64,79%
18-10-2018	7.644	77,19%	97,66%	100,00%	75,38%
19-10-2018	6.978	70,46%	98,37%	100,00%	69,31%
22-10-2018	5.212	52,63%	98,52%	30,07%	15,59%
23-10-2018	8.227	83,08%	97,58%	100,00%	81,07%
24-10-2018	8.737	88,23%	98,92%	100,00%	87,28%
25-10-2018	8.071	81,50%	96,59%	100,00%	78,72%
26-10-2018	5.417	54,70%	96,90%	100,00%	53,00%
29-10-2018	6.577	66,42%	95,83%	100,00%	63,65%
30-10-2018	3.140	60,12%	93,12%	30,07%	16,83%
31-10-2018	6.474	65,37%	96,42%	100,00%	63,03%
Total	6.570	67,63%	97,00%	93,11%	61,97%

Tabla 31: Datos del total de piezas procesadas, rendimiento, calidad, disponibilidad y OEE para el mes de noviembre de 2018. Elaboración propia.

Fecha	Total de piezas procesadas	Rendimiento [%]	Calidad [%]	Disponibilidad [%]	OEE [%]
05-11-2018	6.333	63,95%	97,13%	100,00%	62,11%
06-11-2018	5.723	57,79%	97,01%	100,00%	56,06%
07-11-2018	5.830	58,87%	98,46%	100,00%	57,96%
08-11-2018	7.198	72,69%	97,64%	100,00%	70,97%
09-11-2018	6.506	65,70%	97,48%	100,00%	64,04%
12-11-2018	4.283	43,25%	97,67%	100,00%	42,24%
13-11-2018	5.151	52,02%	97,30%	100,00%	50,61%
14-11-2018	5.901	59,59%	97,66%	100,00%	58,20%
15-11-2018	5.508	55,62%	97,13%	100,00%	54,02%
16-11-2018	6.386	64,49%	96,34%	100,00%	62,12%
19-11-2018	6.968	70,36%	96,90%	100,00%	68,18%
20-11-2018	6.816	68,83%	97,34%	100,00%	67,00%
21-11-2018	6.081	61,41%	95,61%	100,00%	58,71%
22-11-2018	4.915	49,63%	97,03%	100,00%	48,16%
23-11-2018	5.101	51,51%	98,22%	100,00%	50,59%
26-11-2018	4.779	48,26%	97,89%	100,00%	47,24%
27-11-2018	4.852	49,00%	98,21%	100,00%	48,12%
28-11-2018	5.985	60,44%	97,91%	100,00%	59,17%
29-11-2018	5.645	57,00%	97,56%	100,00%	55,61%
30-11-2018	5.220	52,71%	97,78%	100,00%	51,54%
Total	5.759	58,16%	97,41%	100,00%	56,63%

Tabla 32: Datos del total de piezas procesadas, rendimiento, calidad, disponibilidad y OEE para el mes de diciembre de 2018. Elaboración propia.

Fecha	Total de piezas procesadas	Rendimiento [%]	Calidad [%]	Disponibilidad [%]	OEE [%]
03-12-2018	5.914	59,72%	97,07%	82,52%	47,84%
04-12-2018	5.234	52,85%	97,55%	100,00%	51,56%
05-12-2018	6.360	64,22%	97,52%	100,00%	62,63%
06-12-2018	5.771	58,28%	96,79%	100,00%	56,41%
07-12-2018	5.530	55,84%	96,51%	100,00%	53,89%
10-12-2018	8.165	82,45%	97,99%	100,00%	80,79%
11-12-2018	6.203	62,64%	98,05%	100,00%	61,42%
12-12-2018	6.102	61,62%	98,53%	100,00%	60,71%
13-12-2018	7.302	67,37%	97,92%	100,00%	65,97%
14-12-2018	6.953	70,21%	97,99%	100,00%	68,80%
17-12-2018	5.088	51,38%	97,41%	100,00%	50,05%
18-12-2018	6.521	65,85%	97,68%	100,00%	64,32%
19-12-2018	6.410	64,73%	97,52%	100,00%	63,12%
20-12-2018	4.894	68,98%	96,34%	100,00%	66,46%
21-12-2018	5.938	59,96%	97,24%	100,00%	58,31%
24-12-2018	4.365	54,35%	97,75%	100,00%	53,13%
26-12-2018	7.339	74,11%	97,57%	100,00%	72,31%
27-12-2018	7.167	72,37%	98,34%	100,00%	71,17%
28-12-2018	6.390	64,53%	97,67%	100,00%	63,02%
31-12-2018	4.624	57,58%	97,38%	100,00%	56,07%
Total	6.114	63,45%	97,54%	99,13%	61,40%