

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Posgrados

**Industria de derivados cárnicos en Ecuador: Caso de estudio de OEE en el área
de rebanado y empaque**

**Sandra Elizabeth Ayala Valarezo
Mónica Lucía Salas Cando**

**Danny Navarrete MSc.
Director de Trabajo de Titulación**

Trabajo de titulación de posgrado presentado como requisito
para la obtención del título de Máster en Ingeniería Industrial Mención en Calidad y
Productividad

Quito, 18 de diciembre de 2019

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

COLEGIO DE POSGRADOS

HOJA DE APROBACIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN

Industria de derivados cárnicos en Ecuador: Caso de estudio de OEE en el área de rebanado y empaque

Sandra Elizabeth Ayala Valarezo

Mónica Lucía Salas Cando

Firmas

Danny Navarrete M.Sc.

Director del Trabajo de Titulación

Carlos Suárez, Ph.D

Director del Programa de Maestría en
Ingeniería Industrial Mención Calidad y
Productividad

César Zambrano, Ph.D

Decano del Colegio Politécnico

Hugo Burgos, Ph.D

Decano del Colegio de Posgrados

Quito, 18 de diciembre de 2019

© Derechos de Autor

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Firma del estudiante: _____

Nombre: Sandra Elizabeth Ayala Valarezo

Código de estudiante: 207548

C. I.: 1718408543

Firma del estudiante: _____

Nombre: Mónica Lucía Salas Cando

Código de estudiante: 208842

C. I.: 1718516154

Lugar, Fecha: Quito, 18 diciembre 2019

DEDICATORIA

A mi madre Alicia, por ser el pilar más importante en mi vida, quien con su incondicional amor ha inculcado en mí el ejemplo de esfuerzo, valentía y el obrar bien. El no temer a las adversidades porque Dios está conmigo siempre y nunca ha permitido mi fe decaer.

A mi padre Carlos por su apoyo, quien ha sembrado en mí el sentido de responsabilidad y compromiso.

A mi hermana Cristina por su infinito amor, por la fe y confianza que me tuviste siempre. Te aseguro estás conmigo en todo momento, te llevo en mi mente y corazón en cada paso que doy.

A toda mi familia por sus palabras de aliento han hecho de mí una mejor persona y de una u otra forma me acompañan en todos mis logros y metas.

Finalmente quiero dedicar este trabajo a la luz y motor de mi vida, Samantha, por su apoyo y comprensión, por quien en momentos difíciles ha sido mi refugio, por el amor brindado cada día, eres y siempre serás mi alma, corazón y vida, eres por quien me esfuerzo cada día en ser una mejor persona y construir un mejor mundo para ti.

Sandra

A cada una de las personas que me han apoyado para que este trabajo culmine con éxito y que formaron parte de esta etapa de mi vida; porque sin ellas no hubiese visto la luz al final del túnel y la recompensa de llegar a la meta tras un trabajo duro. A toda mi familia y amigos que con consejos y palabras de aliento me fortalecieron.

Mónica

AGRADECIMIENTOS

Nuestro mas estimado agradecimiento a Sigma Alimentos Ecuador planta Sangolquí por abrirnos sus puertas. Por la inversión realizada y accesibilidad para la toma de datos e implementación de mejoras, apreciamos la confianza depositada en nosotras.

Al jefe de producción, Carlos Cruz, por su predisposición, colaboración y excelente aporte.

A los supervisores de producción Jorge Salas y Luis Miguel Acosta por sus valiosas ideas y tiempo dedicado en mejora de su área.

Un especial y sincero agradecimiento a todo el personal operativo del área de empaque, a los líderes de la maquinaria Ariel Romero y Luis Guaña, por su total compromiso y ayuda para llevar a cabo todas las actividades propuestas y culminar con éxito el presente estudio.

Al personal de áreas anexas como Mantenimiento, Calidad, Planificación, por sus significativas sugerencias y recomendaciones.

A Danny Navarrete, tutor del presente estudio, por su desinteresada ayuda, su servicial guía y tiempo brindado. Sin el cual no se hubiera llevado a cabalidad el desarrollo de este caso de estudio.

Resumen

Con la aplicación de la metodología Lean Manufacturing Six Sigma DMAIC en un caso de estudio en una empresa manufacturera dedicada al procesamiento de carnes frías y embutidos, se planteó el incremento del indicador estratégico de la compañía OEE en el área de empaque de la planta. El mismo mide la eficiencia general de los equipos de empaque. La máquina moldea cajetines en las placas de termoformado con una lámina base en donde se coloca el producto, estos se movilizan hasta la estación de sellado en donde los paquetes se sellan con una lámina tapa y finalmente se cortan por unidad. Se realizó la medición de tiempos para cálculo del OEE inicial durante 21 días de la máquina termoformadora de mayor producción y versatilidad. Además, es el equipo que registra las mayores pérdidas por paras e inactividad. Se obtiene un valor inicial promedio en la máquina de 61%. El área presenta paras por falta de producto, una cantidad muy alta y variable de cambios de formato de máquina y producto. Esto genera que el tiempo promedio de cambio entre formatos sea de 30 minutos. Por lo tanto, se decide mejorar la secuencia de producción y se implementa las herramientas SMED y 5'S con un evento Kaizen. Tras la implementación de las mejoras propuestas se evidenció un valor promedio de OEE de 73% que es significativamente mayor a la medición inicial y se redujo los tiempos de cambio a 15 minutos. Dentro de la industria alimenticia es importante mantener la calidad, estandarizar procesos y disminuir tiempos de procesos para agregar valor al consumidor, generar rentabilidad y garantizar productos inocuos.

Palabras clave: Six Sigma, DMAIC, OEE, KPI, KAIZEN, SMED, Termoformadora, embutidos, Industria alimenticia.

Abstract

This paper describes the application of the Lean Manufacturing Six Sigma DMAIC methodology in a case study in a manufacturing company dedicated to the processing of cold sausages meat derivatives. The objective was to increase a strategic indicator of the company in the plant's packaging stage. That indicator is OEE and it measures the overall efficiency of the packaging equipment. The machine uses plastic films in order to thermoform bags where the product is placed. The film is moved to the sealing station where the packages are sealed with a cover film. Finally, they are cut by unit. Data was collected for 21 days in order to calculate the initial value of OEE in the thermoforming machine. This machine had the greater production and product versatility at the time of the study. In addition, it is the equipment that recorded the greatest losses due to halts and inactivity. The average initial value was 61%. The area showed a lack of product and a high variable amount of changes in films and product formats. This generated a 30 minutes' average time of change between formats. For that reason, the production sequence had to be improved and SMED and 5'S tools were implemented with a Kaizen event. After the implementation of those techniques the OEE value was 73%. That result showed that the OEE final value was significantly greater than the initial measurement. Also, the change time was reduced to 15 minutes. In the food industry it is important to maintain quality, standard processes and reduced process time in order to add value to the consumer, generate profitability and ensure safe products.

Keywords: Six Sigma, DMAIC, OEE, KPI, KAIZEN, SMED, Thermoforming machine, sausages, Food Industry.

TABLA DE CONTENIDO

Resumen.....	6
Abstract	7
INTRODUCCIÓN	14
Antecedentes	14
Justificación del problema	15
Objetivos	18
Objetivo general.....	18
Objetivos específicos	18
Revisión de la literatura	19
Eficiencia general de los equipos (OEE)	19
Aplicación de OEE	21
Evaluación de los casos de estudio	22
METODOLOGÍA.....	26
EJECUCIÓN y DIAGNÓSTICO	28
Fase definir.....	28
Identificar el proceso de producción y empaque	28
Proceso de Producción	29
Proceso de empaque	29
Definición cuantitativa del problema.....	34
Aspectos clave de Project charter.....	34
CTQ del área de empaque.....	35
EJECUCIÓN Y VALIDACIÓN CUANTITATIVA DEL PROBLEMA	41
Fase medir.....	41
Cálculo del tamaño de muestra	41
Ejemplo calculo OEE por turno	44
Comparación de OEE por turnos.....	45
Comparación del OEE.....	49
Fase analizar.....	51
EJECUCIÓN Y PROPUESTAS DE MEJORA	59
Fase Mejorar	59
EJECUCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE MEJORAS	63
Metodología SMED	63
Evaluación de resultados	64
Fase controlar	66
Análisis costo-beneficio	67
Análisis de la inversión realizada	68
CONCLUSIONES	69
RECOMENDACIONES	71
LIMITACIONES	73
LECCIONES APRENDIDAS	75
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	76
ANEXOS	79

Anexo 1 Formulario de Registro de tiempos para cálculo de OEE.....	79
Anexo 2 Carta de Definición de Proyectos Lean Six Sigma	80
Anexo 3 Diagrama SIPOC área de rebanado	81
Anexo 4. Diagrama SIPOC del Área de termoformado y empaque	82
Anexo 5 Diagrama SIPOC del Área de despacho.....	83
Anexo 6 Mapa de cadena de valor de familia de salchichería.....	84
Anexo 7 Mapa de cadena de valor de familia de rebanados.....	85
Anexo 8 Diagrama de Balance	86
Anexo 9 Ejemplos de Hormas, formatos y alzas	87
Anexo 10 OEE evaluado por día Datos A	88
Anexo 11 OEE registrado por Planta Sangolquí Datos B.....	89
Anexo 12 Prueba de normalidad de datos obtenidos de OEE (A)	90
Anexo 13 Prueba de normalidad de datos registrados de OEE por Planta Sangolquí (B)	90
Anexo 14 Evento Kaizen.....	91
Anexo 15 Actividades internas y externas identificadas al iniciar la implementación	92
Anexo 16 Actividades internas y externas identificadas tras la implementación de SMED	93
Anexo 17 Inventario herramientas y materiales de máquinas termoformadoras	94
Anexo 18 Actividades desarrollada en evento KAIZEN	95
Anexo 19 Cálculo de tamaño de muestra para la recolección de datos posteriores a las mejoras implementadas	96
Anexo 20 Datos registrados luego de las mejoras implementados.....	96
Anexo 21 Evaluación de los supuestos de normalidad de los datos OEE (C).....	97
Anexo 22 Prueba T entre los datos A y C.....	98
Anexo 23 Adquisición de herramientas para cada maquinaria	99

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Fases DMAIC.	27
Tabla 2 Tipos de productos empacados.....	31
Tabla 3 Clasificación y calificación de valores OEE.....	35
Tabla 4 Pérdidas consideradas como planeadas y su descripción.....	37
Tabla 5 Pérdidas consideradas como no planeadas junto con el factor de afectación.	37
Tabla 6 Plan de medición	43
Tabla 7 Cálculo de tiempo planeado, operativo y de operación	44
Tabla 8 Cálculo de disponibilidad, eficiencia y calidad y OEE	45
Tabla 9 Comparación OEE turno I y II (A)	47
Tabla 10 Comparación de datos (A) y (B), análisis T pareado.....	50
Tabla 11 Falta de programa de la producción del mismo producto.....	53
Tabla 12 Falta de programa de la producción del mismo día en un mismo turno.....	54
Tabla 13 Diferencia entre cambio de producto y formato	55
Tabla 14 Números de cambio de producto y formato al día	55
Tabla 15 Reducir tiempos de sin programa.....	60
Tabla 16 Planificación secuencial en producción.....	60
Tabla 17 Reorganización de actividades en proceso empacado	61
Tabla 18 Reducción en tiempo de cambios	62
Tabla 19 Logros obtenidos en la propuestas de mejora	63
Tabla 20 Total de inversión realizada.....	68

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 Cálculo de disponibilidad	20
Ecuación 2 Cálculo de Eficiencia	20
Ecuación 3 Cálculo de Calidad.....	21
Ecuación 4 Tamaño de muestra.....	41
Ecuación 5 Tamaño de muestra población finita.....	42

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Termoformadora VC999	32
Figura 2 Definición de los factores críticos para la calidad en el área de empaque.....	36
Figura 3 Diagrama de Ishikawa de los cambios que disminuyen el tiempo disponible.	56

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1 Kilos producidos/mes en los diferentes equipos de termoformado.	39
Gráfico 2 Tiempo total mensual dispuesto a cambios termoformadoras.....	39
Gráfico 3 Gráfico de caja y bigote de OEE turno I y II (A)	46
Gráfico 4 Gráfico de caja y bigotes de factores de OEE (A)	48
Gráfico 5 Gráfico OEE (A) diario vs. meta 2019	49
Gráfico 6 Principales pérdidas de OEE (min/día)	52
Gráfico 7 Pareto de principales pérdidas y para de máquina que afectan tiempo disponible.	54
Gráfico 8 Costo de mano de obra (\$) correspondiente al tiempo sin planificación de producción al mes.	58
Gráfico 9 Pérdidas (\$) durante para de máquinas al mes.	58
Gráfico 10 Cálculo de OEE después de implementadas las mejoras.....	65
Gráfico 11 Incremento de producción en toneladas producidos por semana.....	68

INTRODUCCIÓN

Antecedentes

Después de la Segunda Guerra Mundial, surgieron dos corrientes importantes con alto impacto en la calidad, la primera la revolución japonesa con el uso de una administración enfocada al entrenamiento a todos los niveles y funciones, al igual que al mejoramiento continuo. La segunda, una tendencia global inclinada a una mejor calidad, a la competencia internacional, la preocupación por el medio ambiente y la presión del consumidor que demandaba productos cada vez más cambiantes y de mayor calidad. Juntas produjeron un empuje casi obligatorio al cambio para la industria. (Juran & Gryna, 1995) W. Edwards Deming ayudó a la industria japonesa a revitalizarse después de los acontecimientos de la Segunda Guerra Mundial con un impacto perdurable hasta nuestros días sobre la calidad y la mejora continua, su gerencia fue conocida como TQM (Total Quality Management) Gestión total de la Calidad enfocada en crear un sistema con énfasis en equipos de trabajo, análisis de procesos, estadísticos de medición con la entrega de productos y servicios que satisfagan la expectativa del cliente. (Brue, 2002). A la par se busca una ganancia, que no solo recopile el retorno del capital, sino la cantidad de ahorro que la empresa pudo generar durante la producción en la elaboración de un producto de calidad, usando la menor cantidad de recursos (maquinaria, personal, tiempo, movimientos, proceso productivo, actividades, etc.) y esta idea justamente es la filosofía en la que se fundamente Six Sigma y Lean manufacturing. (Bocanegra-Herrera, 2017) Las diversas herramientas de mejora en la eficiencia de producción han aflorado en el sector productivo ecuatoriano, se han reportado casos de estudio mucho más frecuentes e implementación con resultados prometedores por lo que hoy en día es una

tendencia entre las grandes y medianas compañías, en especial aquellas que tienen lazos internacionales. (Terán & Alvarado, 2016)

La filosofía Lean Manufacturing intenta eliminar y disminuir al máximo las actividades que no generan valor dentro de la cadena productiva, reducir desperdicios y emplear con eficiencia los recursos. (Kumar Sharma & Gopal Sharma, 2014) Esta transición debe estar respaldada por métricas que evidencien la mejora y centralicen los esfuerzos en la solución de problemas. (Kumar Sharma & Gopal Sharma, 2014). Para las industrias que cuentan con líneas de producción industriales semiautomáticas y automáticas, uno de los indicadores de calidad que se usa para definir cuán eficiente es un equipo es el OEE (Overall equipment effectiveness) o eficiencia global de equipos, que forma parte de la metodología de TPM Mantenimiento Producto Total. (Kumar Sharma & Gopal Sharma, 2014)

Para el año 2017 en el país se encontraban establecidas 13 694 empresas manufactureras censadas por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC, 2017). De las cuales el 13.80% se dedican a la transformación de productos generando 254 333 empleos de acuerdo con la Corporación Financiera Nacional (CFN, 2017). Actualmente, el sector se está alineando a cumplir con los sistemas de gestión de calidad junto con normas reglamentarias vigentes para el bienestar de sus consumidores, pues su meta es estructurarse como empresas competitivas y eficientes.

Justificación del problema

La empresa procesadora de carnes frías en donde se propone el presente estudio fue constituida en la ciudad de Quito en 1929 para dedicarse a la elaboración y comercialización de productos cárnicos. (Sigma Ecuador , 2019) Fue adquirida por un grupo mexicano en 2014. Actualmente es una empresa posicionada en los primeros lugares de venta con la producción

de productos como salchichas, mortadelas, chorizos, morcillas, patés, jamones y cortes. La empresa cuenta un total de 450 empleados ubicados en planta de producción y divididos en 4 turnos de trabajo. (Sigma Ecuador , 2019) Según el estudio del Servicio de Información de Mercados Emergentes, EMIS, la empresa reportó ingresos netos por ventas en 2018 de \$49,15 millones y una tendencia de crecimiento de 4.6% (EMIS, 2019) y con un total de activos de 34 millones para el 2018 determinado por el análisis de AVAL Información de empresas. AVAL es una empresa dedicada al estudio, análisis, procesamiento y entrega de información financiera, comercial y sectorial del marketing de empresas ecuatorianas. (Aval, 2018).

La empresa cuenta con la certificación BPM Buenas prácticas de Manufactura (Sigma Ecuador , 2019) que se mantiene como un requisito indispensable para la producción de alimentos procesados. Desde el año 2002 los controles relacionados a la manufactura responsable enfocados a la calidad e inocuidad de los productos han sido más exigentes debido a la emisión Reglamento de Buenas Prácticas para Alimentos Procesados, en donde, se establece que el Estado fomentará y promoverá la salud individual y colectiva. (Registro Oficial, 2002). Además, la empresa trabaja bajo las condiciones establecidas por HACCP o Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control y un sistema documental enfocado a la estructura de la norma ISO 9001. (Sigma Ecuador , 2019) Para el control de los parámetros de materias primas, producto en proceso y producto terminado la empresa cuenta con un laboratorio estructurado según normativa ISO 17025, en donde los procedimientos y personal se rigen a la estandarización y validación de métodos analíticos, así como a la capacitación constante y a la verificación de la competencia técnica del personal. (Sigma Ecuador , 2019)

La empresa forma parte de un consorcio internacional el cual ha impulsado la iniciativa para la medición de indicadores de calidad clave (KPIs) actuales de eficiencia como el OEE enfocados en aumentar la productividad de la compañía. Se realiza una revisión trimestral

comparativa entre empresas de la misma rama manufacturera y se analiza los resultados correspondientes. Por lo que la empresa ha decidido mejorar sus indicadores de gestión en búsqueda de ser más competitiva y un referente de la industria manufacturera nacional. (Sigma Ecuador , 2019)

La empresa cuenta con una cartera de alrededor de 68 formulaciones, las mismas que se comercializan en 206 presentaciones para el mercado ecuatoriano. Sin embargo, todas estas presentaciones desembocan en el área de empaque. El área cuenta con dos máquinas rebanadoras para los productos como mortadela, jamones y hamburguesas cocidas, junto con tres cortadoras de salchichas para los productos como salchichas, chorizos y longanizas que se separan en unidades para luego ser empacados. Una vez que los productos se encuentran rebanados y cortados, estos son colocados manualmente por el personal en los cajetines de lámina termoformados y finamente empacados, sellados y etiquetados para su distribución. (Sigma Ecuador , 2019)

Según lo estudiado por Virmani 1998, el balanceo de la línea y las maquinarias para el empackado es una tarea retadora en la industria, ya que las altas demandas son temporales, para minimizar los costos totales de producción es esencial utilizar todas las facilidades del área de empaque de una manera efectiva. (Lanza , Stoll, Stricker , Peters, & Lorenz, 2013). La adecuada planificación de producción en el empackado de industrias cárnicas es crítica, debido a que la vida útil media es muy corta. (Virmani & Zuo , 1998)

Desde el año 2019 la empresa se ha planteado los objetivos de reducir o eliminar cuellos de botella (Sigma Ecuador , 2019) como lo es el área de empaque, y estructurar una metodología que facilite mejorar los tiempos de producción de las líneas de productos. Además, la demanda se verá incrementada al introducir nuevas fórmulas dentro de su

portafolio, según los proyectos 2019 propuestos y esto evidenciará aún más problemáticas con demoras.

Objetivos

Objetivo general

- Incrementar la eficiencia del área de empaque aplicando metodología Lean manufacturing

Objetivos específicos

- Definir el problema y los indicadores críticos de calidad.
- Levantar los procesos y obtener la línea base del desempeño con base en los indicadores críticos.
- Analizar el desempeño de los indicadores para identificar la causa raíz del problema.
- Proponer mejoras con base en el análisis propuesto.
- Implementar mejoras de alto impacto y bajo esfuerzo.
- Realizar un análisis económico de los beneficios obtenidos.
- Controlar las mejoras implementadas de manera que permanezcan en el tiempo.

Revisión de la literatura

Eficiencia general de los equipos (OEE)

Según Hassani, 2015 la eficiencia global del equipo (Overall equipment effectiveness; OEE) es una métrica que está interpretada por la multiplicación de la disponibilidad, eficiencia, y calidad. (Hassani & Hashemzadeh, 2015) La relación entre el OEE y las seis principales pérdidas se debe a que las mismas son responsables de la disminución o incremento de la relación de los tres factores antes mencionados y por lo tanto dependen de la disponibilidad de los equipos, la capacidad del proceso productivo y la calidad final de los productos de acuerdo con lo acotado por Majumdar. (Nallusamy & Majumdar, 2017)

La medida OEE se usa tradicionalmente como una medida operativa para controlar el rendimiento de la producción, pero también se puede utilizar como un indicador para el proceso de actividades de mejora en un contexto de producción y es ampliamente utilizado como una de las herramientas en la filosofía Lean Manufacturing. (Puvanasvaran, Teoh, & Tay, 2013). Varios autores han definido las seis pérdidas o grandes desperdicios que se desean eliminar, como:

1. Fallas y paros de equipos: fallas por pérdida de tiempo, son categorizadas cuando la productividad disminuye. Y el paro de equipos cuando la producción de un artículo termina y el equipo es ajustado para cumplir los requerimientos para el siguiente. (Hedman, Subramaniyan, & Almström, 2016)
2. Preparación y ajuste de equipos, son los tiempos muertos al iniciar una nueva operación.

3. Pérdidas por velocidad, los paros menores que definen Hedman, Subramaniyan y Almström, 2016 son las interrupciones por mal funcionamiento, cuando el equipo está sin producto o el equipo funciona a una velocidad menor que la de operación estándar establecida.
4. Paros menores (pérdidas por velocidad) son obstrucciones pequeñas, el equipo no funciona a su capacidad máxima.(Sonmez, Testik, & Testik, 2018)
5. Pérdidas por calidad, causadas por malfuncionamiento del equipo durante la producción, pérdida por defectos, se tiene que reprocesar o completar actividades no terminadas. (Tang, 2019)
6. Rendimiento reducido, se relaciona con el ajuste para un nuevo proceso hasta la estabilización, marcha en vacío o período de prueba.(Hedman et al., 2016)

La metodología de cálculo para la obtención del OEE incluyen la evaluación de disponibilidad, eficiencia y calidad con las siguientes ecuaciones:

$$Disponibilidad = \frac{\text{tiempo planificado} - \text{tiempo de paros}}{\text{tiempo planificado}} \times 100$$

Ecuación 1 Cálculo de disponibilidad

Para Puvanasvaran (2013) la disponibilidad mide el tiempo total que el sistema no está en operación, es decir, se redujo cualquier actividad que interrumpió la producción como mantenimiento coordinado y planeado, paros, ajustes, pruebas del equipo y actividades de mantenimiento como limpieza. (Puvanasvaran et al., 2013). Para Nallusamy, 2017, el tiempo de paros es reemplazado por paros que no estuvieron en horario establecido. Para la eficiencia que se entiende como velocidad se usa simplemente el tiempo de ciclo.

$$Eficiencia = \frac{\text{cantidad procesada} \times \text{tiempo de ciclo teórico}}{\text{tiempo operativo}} \times 100$$

Ecuación 2 Cálculo de Eficiencia

La eficiencia puede ser integrado como un factor de planificación igual a tasa de disponibilidad de producción/tasa máxima de producción teórica. El numerador corresponde a la cantidad producida o lo normalmente planificado, lo que da una idea de la capacidad máxima de la máquina frente a la producción planeada.(Puvanasvaran et al., 2013) Y finalmente calidad enfocada a la cantidad fabrica

$$Calidad = \frac{Cantidad\ procesada - unidades\ defectuosas}{Cantidad\ procesada} \times 100$$

Ecuación 3 Cálculo de Calidad

Aplicación de OEE

Según Becker, 2015 la medición de OEE puede proveer información actual para la toma de decisiones diarias utilizando los datos de rendimiento disponibles, como mantenimientos preventivos, utilización de materiales, absentismo, accidentes, recuperación laboral, horario de conformidad, datos de cambio de configuración y arranque. (Jauregui Becker, Borst, & Van Der Veen, 2015). Los turnos de trabajo pueden influir sobre el OEE porque la información referida a las pérdidas permite guiar el OEE a la disminución del costo de producción. (Muchiri & Pintelon, 2008)

Generalmente el OEE de una planta antes de la introducción del concepto de TPM era de 40% o como máximo 60%, después de implementar las técnicas TPM, este indicador creció al 90 % hasta 100% en algunos casos. (Mainea , 2006) Las actividades de TPM involucran las de mantenimiento que pueden ser agrupadas en 3 categorías que son mantenimiento reactivo o correctivo, mantenimiento preventivo y mantenimiento predictivo (Anup & Shende, 2011)

Así el propósito del mantenimiento no solo es extender su vida útil sino para Rimawan es asegurar la óptima disponibilidad para la producción y tener un máximo retorno de

inversión, garantizar la disponibilidad operativa de todo el equipo necesario en actividades de emergencia en cualquier momento como una unidad de apoyo en caso de falla, avería o incendio y asegurar la seguridad de todo el personal que utiliza el equipo.

Los mantenimientos siguiendo la estructura y objetivos anteriores se dividen en mantenimiento planificado, el cual se encuentra bajo un plan de mantenimiento y sigue una frecuencia con pasos establecidos y estructurados enfocados a la inspección este puede incluir un mantenimiento correctivo. (Rimawan et al., 2018) Mantenimiento no planificado, que ocurre cuando existe alguna avería o paro de emergencia y trata de prevenir consecuencias más serias como pérdidas de producción, mayor daño al equipo o a la seguridad del personal. (Rimawan et al., 2018) Mantenimiento Autónomo, que son las acciones que el propio equipo según su sofisticación y con ayuda del personal puede generar por sí mismo. (Rimawan et al., 2018)

Evaluación de los casos de estudio

De acuerdo al estudio realizado por He, Shen, Lu, & Tong, 2018 en una línea de llenado de bebidas, concluyó que OEE tiene mejor practicidad en términos de evaluación de eficiencia de producción de equipos. El uso del método OEE es útil para la eficiencia del equipo, el análisis de pérdidas y mejora de la eficiencia. He, Shen, Lu, & Tong, utilizaron un modelo y método de simulación desarrollado sobre la base de OTE (Overall Throughput Effectiveness) para facilitar el diseño de nuevas fábricas inteligentes. Implementaron OEE y OTE en una herramienta de software para automatizar equipos únicos, análisis y diagnósticos de rendimiento de toda la fábrica y su proceso.

Nallusamy, Kumar, Yadav, Kumar Prasad, & Suma en su investigación en 2018 identificaron el cuello de botella en una industria de fabricación de tubos PVE de mediana

escala calculando el valor de OEE existente para implementar TPM. Antes de la implementación el OEE estaba alrededor 55.45%. y tras una implementación exitosa de TPM se incrementó a 68.04%. (Nallusamy, Kumar, Yadav, Kumar Prasad, & Suman, 2018)

El autor Nallusamy (2016) establece que la eficiencia de la producción depende mucho de la eficiencia de los equipos y máquinas. Su estudio se basa en líneas de manufactura de piezas de ensamblaje para computadora en la India. Uno de los principales procesos para mejorar esa eficiencia fue la implementación de TPM (Total Productive Maintenance) para reducir el componente de set up al parar la máquina, se elaboró un plan de mantenimiento preventivo junto con la estandarización de operaciones para reducir el tiempo y movimiento. Al realizar la medición del indicador se inició con un 65% y se utilizaron varias herramientas, como el análisis causa y efecto, junto con el análisis de datos obtenidos obteniéndose como resultados una disminución de paros del 25%, el 75% en tiempo de set up, y el tiempo de ciclo del 13.5% e incluyó una reducción de retrabajo del 29%. En conjunto con los cambios implementados el indicador OEE aumentó su puntuación en un 15%.(Nallusamy, 2016)

El artículo de Kumar y Gopal establece el contexto de medianas y pequeñas industrias y establecen que una de las principales fallas fueron las fallas hidráulicas seguida de las mecánicas y en tercer lugar las humanas. Los resultados se conjugaron con un análisis de AMEF. Concluyendo que las mejores herramientas para la implementación de TPM es la formación y capacitación del personal, la formación de grupos interdisciplinarios y empoderar a la gente en la filosofía para posteriormente aplicar las herramientas y las actividades en cada paso resueltas. (Kumar Sharma & Gopal Sharma, 2014)

El enfoque de Hedman (2016) es evaluar los factores con mayor afectación en la industria. Se consideró para el estudio 23 empresas en diferentes áreas de manufactura incluyendo alimentos y bebidas, mecánica, fabricación de plásticos y otras de producción

autómatas en donde se evidenció que en 884 máquinas analizadas las principales pérdidas en la eficiencia se debieron paros no clasificados, seguido de fallas de equipos y tiempo de set up. En las empresas de alimentos casi el 45% de las pérdidas de eficiencia se debe a las fallas de equipos. (Hedman et al., 2016)

Como plantea el estudio de Anderson y Bellgran, 2015 existen retos al implementar OEE por la ambigüedad de las definiciones e interpretaciones. La interpretación varía con respecto a lo que debe categorizarse como tiempo planificado o no planificado, y también en la definición de tiempo de ciclo ideal. Dentro de una compañía que forma parte de un grupo de empresas los cálculos deben realizarse de forma estandarizada. Por lo tanto, se propone el cálculo a la par de la productividad considerando las reducciones de tiempo de ciclo y la reducción de recursos puestos en el proceso. (Andersson & Bellgran, 2015)

En el estudio en líneas de empaque, así como lo plantea Rimawan y Kholil existen máquinas que son usadas continuamente por lo que el cálculo del indicador OEE es necesario para realizar una mejora constante. La combinación requerida por una máquina en particular se direccionará a varios recambios para cada producto disminuyendo la capacidad de ejecución de la máquina. Otro inconveniente es que algunas organizaciones usan un sistema de medición que incluye demasiadas medidas que dificultan una visualización global del sistema. (Puvanasvaran et al., 2013)

Una de las discusiones que plantea Andersson y Bellgran (2015) es que si no se tiene estandarizado todo lo que involucra el tiempo planificado, no es posible conocer el proceso y al personal a tal grado de planificar los inconvenientes que regularmente se presentan. De forma similar manifiesta Hedman, Subramaniyan y Almström, que el OEE, aunque es bien definido en la literatura, en la práctica puede presentar diferentes interpretaciones.

No se ha evidenciado, literatura, estudios publicados e implementados en industrias dedicadas al procesamiento de derivados cárnicos en el área de empaçado. Esto coincide con (Rimawan et al., 2018) al indicar la necesidad de expandir este tipo de estudios y disminuir la brecha de información en empresas de este rubro, por ende, es de vital importancia realizar y evaluar el tema planteado.

La evaluación debe realizarse de manera objetiva, por lo que es necesario implementar métricas útiles y así identificar las oportunidades de mejora más beneficiosas relacionadas con el tiempo y el costo. La métrica más adecuada es la eficiencia general de los equipos, OEE en el área de empaque, indicador estratégico de desempeño , por lo tanto este estudio se enfoca en cómo incrementar la productividad en esta etapa del proceso de producción.

METODOLOGÍA

Con el propósito de responder a las hipótesis planteadas y a los inconvenientes observados en la compañía, el documento se estructuró para realizar en primer lugar una revisión de literatura enfocada al cálculo y obtención de OEE. Posteriormente se evaluó los inconvenientes relacionados con el indicador OEE. Las metas iniciales fueron determinar los valores de OEE de las líneas de empaque, los equipos y los procesos del área. Al culminar se determinó las pérdidas y las causas raíz que lideran el bajo desempeño del OEE para brindar sugerencias enfocadas a la resolución de problemas.

En la actualidad existen diversas metodologías de mejora entre las cuales se propone aplicar un método de investigación para los procesos que agregan valor para el cliente y desarrollar acciones o proyectos que permitan elevar la satisfacción. Se utilizan para ello métodos estadísticos que garantizan las decisiones basadas en datos (Gutiérrez y de la Vara, 2008), para convertirse en una plataforma que permite mejorar la competitividad de las organizaciones (Porter, 2002).

La metodología Six sigma usa herramientas estadísticas para identificar los pocos factores vitales, estos factores son los que más importan para mejorar la calidad de los procesos y generando resultados desde la línea base (Brue, 2002). La metodología DMAIC a seguirse en el presente estudio se la considera como una metodología para la resolución de problemas, esta consiste en 5 fases:

- Definir los proyectos, metas y entregables al cliente.
- Medir el desempeño actual de los procesos.

- Analizar y determinar las causas raíz de los defectos.
- Mejorar con la implementación de herramientas lean six sigma
- Controlar el desempeño de los procesos. (Brue, 2002)

De acuerdo con Gutiérrez y de la Vara en 2008, esta metodología es ampliamente conocida y se adapta para la mejora de indicadores como OEE en empresas dedicadas a la transformación de productos al aplicar efectivamente herramientas lean. Se describen diferentes herramientas como en la tabla 1 para llevar a cabo esta metodología:

Tabla 1 Fases DMAIC.

Fases	Objetivo	Herramienta
Definir	<ul style="list-style-type: none"> ▫ Identificar el proceso de producción y empaque ▫ Definir cuantitativamente el problema. ▫ Establecer CTQ del área de empaque ▫ Definir Project charter 	<ul style="list-style-type: none"> ▫ SIPOC. ▫ VOC. ▫ Project charter
Medir	<ul style="list-style-type: none"> ▫ Tomar tiempos para el cálculo de OEE. ▫ Cálculo de disponibilidad, eficiencia y calidad ▫ Determinar factor más bajo de OEE. ▫ Comparar datos calculados vs datos registrados por la empresa. 	<ul style="list-style-type: none"> ▫ Formato de recolección de datos. Anexo 1 ▫ Cálculo de OEE Ecuación 1,2 y 3 ▫ Base de registros de OEE de SigmaEC junio a agosto 2019 ▫ Software Microsoft Excel, 2019 ▫ Software Minitab,2019
Analizar	<ul style="list-style-type: none"> ▫ Analizar datos obtenidos de OEE actual. ▫ Determinar pérdidas del OEE y sus factores. ▫ Determinar causa raíz de disminución del factor más bajo encontrado. 	<ul style="list-style-type: none"> ▫ Diagrama de causa efecto. ▫ Comparación de datos históricos con actuales. ▫ Base de registros de OEE de Sigma alimentos julio, agosto, 2019
Mejora	<ul style="list-style-type: none"> ▫ Selección herramientas de mejora en base al análisis. ▫ Implementar una solución para subir el indicador OEE de la termoformadora VC 999 ▫ Medir OEE futuro de termoformadora VC 999 	<ul style="list-style-type: none"> ▫ Formulario de recolección de datos. Anexo 1 ▫ Herramientas lean (TPM, SMED, Poka Yoke, 5s) Socconini, 2015. ▫ Software Microsoft Excel, 2019 ▫ Software Minitab,2019
Control	<ul style="list-style-type: none"> ▫ Mantener las mejoras implementadas dentro del área de empaque. ▫ Estandarizar el proceso. 	<ul style="list-style-type: none"> ▫ Procedimientos operativos estandarizados.

Fuente: Socconini, 2015

EJECUCIÓN y DIAGNÓSTICO

Fase definir

La etapa de definir detalla los aspectos claves para el desarrollo del problema de investigación, la voz del cliente dentro del proceso, la característica crítica de calidad CTQ que se requiere para cuantificar el desempeño del proceso y finalmente la identificación clara del proyecto. (Socconini, 2015).

Las herramientas utilizadas en el desarrollo de la fase de definir siguieron los lineamientos Lean Manufacturing. Se propusieron los siguientes objetivos dentro de la primera fase de la metodología DMAIC:

- Identificar el proceso de producción y empaque.
- Definir cuantitativamente el problema.
- Definir la Carta del proyecto. (Anexo 2)
- Establecer CTQ del área de empaque.

Identificar el proceso de producción y empaque

Para los diagramas SIPOC, (Anexo 3-5) al personal que es responsable de la máquina y cambios de formatos se le solicitó responder a lo siguiente:

- ¿Cuáles son sus actividades específicas?
- ¿Cuánto fue el tiempo de capacitación para trabajar en el área?
- ¿Tiene alguna sugerencia de motivos de fallos detectados en la línea?

Proceso de Producción

Para la identificación del proceso de producción y empaque, se levantó el mapa de cadena de valor de las dos familias de productos principales (Anexo 6-7), en donde se analizó el proceso productivo desde la recepción de materia prima hasta la obtención de los paquetes de producto empacado conforme a su entrega a bodega. Se optó por separar la familia de productos salchichería y rebanados debido que presentan actividades específicas diferentes para cada subgrupo. Los pasos del proceso productivo son: recepción de la materia prima, formación del lote de la formulación según la orden de trabajo, emulsificación, embutición, horneado y el área de empackado. Al finalizar el producto es entregado a la bodega de despacho para ser distribuido al consumidor.

El semielaborado producido por la planta debe ser empacado el mismo día para asegurar trazabilidad de lote de producción e inocuidad del producto, debido a esto se evidencia aumento de horas extras nocturnas. En el diagrama de balance realizado por las áreas de producción (Anexo 8) se observa que el proceso limitante se encuentra en el área de empaque y en la fase de enfriado de piezas. El enfriado de piezas debe cumplir un tiempo reglamentario que proporciona las condiciones óptimas de rebanabilidad del producto y que por lo tanto no puede ser reducido.

Proceso de empaque

El área de empaque presenta muchos retos de producción que deben ser enlazados con los requerimientos de inocuidad y buenas prácticas de manufacturas establecidas legalmente en la industria alimenticia.

Estas son algunas condiciones de trabajo:

- El área debe mantenerse entre -2°C y 2°C.
- Todo el personal del área debe usar equipos de protección personal como ropa térmica adecuada, guantes, orejeras, botas.
- El personal debe lavarse las manos y desinfectar las guardas de las máquinas empacadoras cada 30 minutos.
- Al finalizar el turno, el personal debe despejar el área y desarmar las partes móviles de los equipos para realizar la limpieza y desinfección de los equipos, herramientas, y piso.

Los productos como jamones, mortadelas, salamis, pepperonis y tocino son rebanados mientras que la familia de salchichería y chorizos debe ser cortados de forma que puedan ser colocados por unidades en los paquetes.

Una vez que se obtiene el producto rebanado o cortado se asigna un equipo de termoformado modelo VC999 para que el producto sea empacado. La estación junto con el equipo de trabajo cumple las siguientes actividades:

1. La lámina base es colocada en el soporte inferior del equipo, a partir de la cual se formarán los cajetines en donde el producto será colocado por el personal. Este proceso ocurre en la parte inferior de la máquina en la estación de termoformado.
2. El equipo cuenta con una cadena la cual ajusta la lámina y la moviliza hasta llegar a la etapa de llenado de cajetines en donde el personal verifica que los cajetines se encuentren formados adecuadamente y colocan el producto. Previamente se

verifica el peso del producto según la presentación que se haya generado en la orden de producción.

3. A continuación, la lámina continúa hasta llegar a la estación de sellado, en donde, la lámina base que ya se encuentra con producto se une con la lámina tapa sellando y moleteando los bordes del paquete.
4. Los paquetes formados aún enlazados entre si pasan al área de codificado que forma parte del mismo equipo. Se imprime el lote, fecha de elaboración y vencimiento y del equipo en el que fue empacado y la hora de fabricación. Estos datos deben ser ingresados previamente al sistema.
5. En este punto del proceso se debe tomar en cuenta que existen tres tipos de paquetería, como se indica en la tabla 2:

Tabla 2 Tipos de productos empacados

Tipo	Lámina base	Lámina Tapa	Etiqueta frontal	Etiqueta posterior
1	Sin impresión	Pre impresa	No	No
2	Sin impresión	Sin impresión	Si	No
2	Sin impresión	Sin impresión	Si	Si

El tipo de empaque se debe a que existen presentaciones de alta rotación en el mercado que involucran una producción elevada y cuentan con una única lámina pre-impresa en donde cuenta con toda la rotulación legal y comercial necesaria. Sin embargo, otros productos deben ser empacados con láminas genéricas que no cuentan con impresión y pasar por un proceso adicional en donde se manualmente se adhieren etiquetas con la

información pertinente para cumplir con la legislación legal vigente NTE INEN Rotulado 1334-1 y 2 (INEN Norma técnica Ecuatoriana , 2011)

6. Una vez que se obtienen los paquetes codificados la última estación es la de cortado, en donde los paquetes son individualizados, ordenados en gavetas y entregados a bodega de despacho finalizando el proceso en el área de empaque.

Para el proceso específico del área de rebanado, empaque y despacho, se realizó un diagrama SIPOC (Anexo 3-5) donde se detalla las entradas y salidas del proceso junto con los proveedores y clientes exclusivos del área.

Figura 1 Termoformadora VC999



Fuente: (VC999 Packaging System, 2019)

Se debe considerar que el cambio de producto depende de su presentación, el tamaño del paquete y el gramaje así, por ejemplo: para presentaciones de 300g y 500g se usa formato de 3x3. El formato es el número de cajetines que se forman en el área de formado, el cual debe estar acorde con la placa de sellado que de igual forma debe ser 3x3.

Existen varios formatos entre los más comunes están 2x5, 3x1 y 3x4. Sin embargo, las presentaciones tienen un diferente gramaje y por lo tanto requieren que la altura del cajetín sea diferente. Para lo cual se requieren un aditamento llamado alza. Cada máquina provee dos diferentes tipos de alzas de teflón usadas para la parte de sellado y de aluminio para la parte del termoformado. Las alzas de teflón son usadas como aislante entre la placa y el producto, garantizando el calentamiento y por lo tanto el selle únicamente en los bordes. Las alzas de aluminio permiten que toda la lámina sea calentada y el cajetín pueda ser formado. En el Anexo 9 se observan fotografías de los formatos y alzas utilizadas.

Debido a que el tamaño de cada cajetín es diferente, mientras menos cajetines se formen y sellen en cada estación, la profundidad puede ser mayor y la lámina recorre a una velocidad más baja. Los programas para cada producto y presentación se encuentran previamente definidos junto con la velocidad de avance. Finalmente, esto brinda una velocidad estándar que se mide en ciclos por minutos y que hace referencia a cuantos paquetes puede producir la máquina por minuto. Esta velocidad dependiendo del número de operarios y la habilidad de estos en el llenado de los cajetines formadas puede aumentar o disminuir en cada jornada. Los cambios de productos dependen de la planificación de la producción que está basada en la demanda entregada por la fuerza de ventas. Por lo tanto, los cambios de producto y formato se realizan diariamente. Esto lleva un consumo de tiempo destinado para este proceso que disminuye el tiempo efectivo de producción.

Definición cuantitativa del problema

La empresa de derivados cárnicos cuenta con dos plantas de producción y tres marcas en el mercado ecuatoriano. Actualmente se encuentra desarrollando el proyecto de incremento de productos cocidos de tres marcas en una sola planta. Para la presente fecha la planta cuenta con un incremento de la producción en un 15% y se han introducido 6 formulaciones adicionales y 25 presentaciones de los productos. (Sigma Ecuador , 2019). Por lo tanto, la variabilidad de producto y el cambio entre productos se ha elevado y ha provocado un aumento de horas extras, horas extras nocturnas, turnos extras, servicio de transporte y alimentación adicional. La empresa, categoriza el tiempo de inactividad del equipo por inadecuada programación o atrasos en áreas anteriores como el item *Sin Programa* dentro de las paras programadas, las mismas que se cuantificó y contabilizó los kilos de producto que se podría empacar en ese período para multiplicar por el costo de producción por kilo y así obtener el valor en perdidas monetarias El monto proyectado a un año asciende a \$189 120 definidos en el Project charter.

Aspectos clave de Project charter

El Project Charter definido para este trabajo de estudio se observa en el Anexo 2. El indicador OEE se mide actualmente por la empresa en el área de empaque. La empresa seleccionó el área de empaque debido a que es el área que determina el ritmo de la entrega del producto a bodega de despacho. Al calcular los tiempos de ciclo y takt time se evidencia que es un cuello de botella en el gráfico de balance (Anexo 7) por lo tanto es primordial el evaluar el indicador en esta área.

La empresa ha desarrollado su plantilla y registros obteniendo un valor promedio de los meses de junio a agosto del 2019 de un 60 a 63 %. La empresa tiene como meta alcanzar el valor de 75% y continuar incrementando paulatinamente. Para la definición de esta meta se han basado en la siguiente escala:

Tabla 3 Clasificación y calificación de valores OEE

OEE (%)	Calificación	Descripción
<65	Inaceptable	Importantes pérdidas económicas
≥65 y <75	Regular	Pérdidas económicas. Aceptable sólo si se acepta en el proceso
≥75 y <85	Aceptable	Ligeras pérdidas económicas. Competitividad ligeramente baja.
≥85 y <95	Bueno	Buena competitividad. Word Class.
≥95	Excelente	Competitividad excelente

Fuente: Cruelles, 2010

Al establecer el alcance dentro del Project charter se enfocó el medir e implementar las mejoras en la máquina de mayor producción. Para la evaluación del proceso de empaque se empleó bajo autorización de la empresa el uso de registros electrónicos, físicos y el SAP que es el ERP utilizado en la empresa. Conjuntamente se realizó observación directa y medición de tiempos como parte de la evaluación comparativa del estado inicial de la línea base del estado del sistema por parte de la compañía y por parte de los autores.

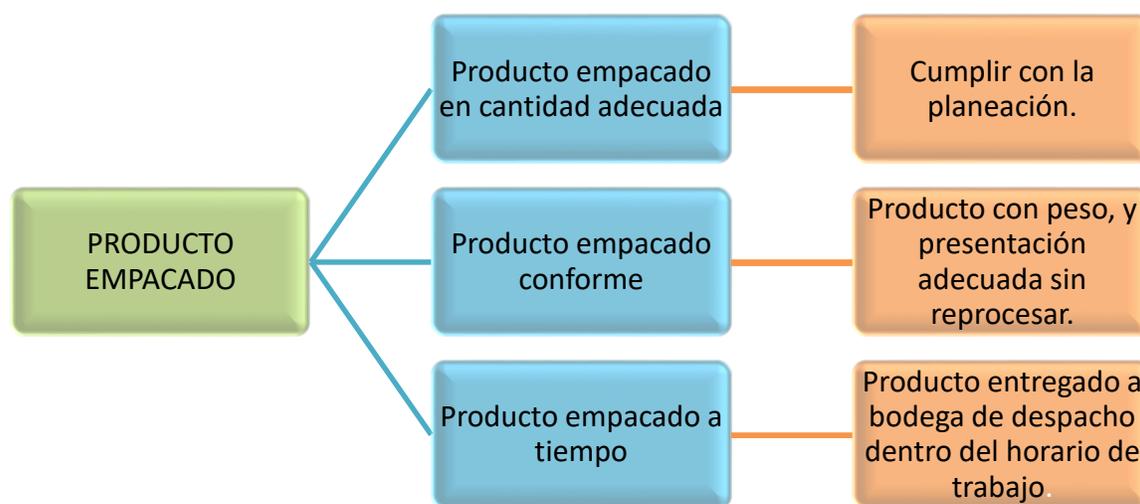
CTQ del área de empaque

Para establecer los requerimientos del cliente, se definió el cliente interno del proceso de producción de la Planta Sangolquí como la bodega de despacho de producto terminado. La bodega forma parte del ala principal de la construcción, es la administradora de las bodegas en Quito y de los envíos de producto a los centros de distribución en la región costa y sierra del país. (Sigma Ecuador , 2019) Por tal motivo, el jefe de bodega exige que el

producto terminado se encuentre en la cantidad y en las presentaciones necesarias para el envío diario de producto. Sin embargo, se evidenció que al menos una vez al día el jefe de bodega debe solicitar el paso de un determinado producto del área de empaque a la bodega de forma no programada debido a retrasos en la entrega para continuar con la preparación del despacho.

Para optimizar recursos, el despacho para un cliente o cadena de supermercados debe ser consolidado completamente para evitar penalizaciones. La empresa tiene como política siempre cumplir con las especificaciones de pedido de sus clientes en tanto a tiempo de vida útil del producto, condiciones de manejo y cantidad facturada. Por este motivo, los CTQ del área se definieron mediante preguntas directas a los miembros activos de las áreas y responsables del proceso.

Figura 2 Definición de los factores críticos para la calidad en el área de empaque.



Elaborado por: Ayala & Salas, 2019

El departamento de Ingeniería definió y clasificó las causas asignables y actividades recurrentes que disminuyen la eficiencia del proceso. Estos documentos se reportan

diariamente por turno de producción. Mensualmente son recopilados en un informe, estos fueron evaluados para obtener el siguiente catálogo de eventos. Estos representan la base para medir las parámetros en disponibilidad, calidad y eficiencia en la etapa de medición.

Tabla 4 Pérdidas consideradas como planeadas y su descripción

Pérdidas planeadas	Descripción
Capacitación y reuniones	Seguimiento del programa de capacitación.
Comida	Almuerzo o merienda según el turno.
Mantenimiento preventivo	Programa de mantenimiento interno.
Falta de programa**	Tiempo cuando el equipo este detenido aun habiendo órdenes pendientes.
Trabajos manuales	Actividades que se coordinan que completan la jornada productiva como procesos manuales.
Limpieza operativa y lavado diario	Actividades que se realizan para entregar la línea habilitada para el siguiente turno como despejar el área de residuos, desarme de equipos, rutina de limpieza e inspección del equipo.
Implementación de desarrollo	Pruebas internas del departamento de desarrollo que requieren empaclado.

Fuente: (Sigma Ecuador , 2019)

**La falta de programa se consideró para el presente estudio como pérdida de disponibilidad.

Tabla 5 Pérdidas consideradas como no planeadas junto con el factor de afectación.

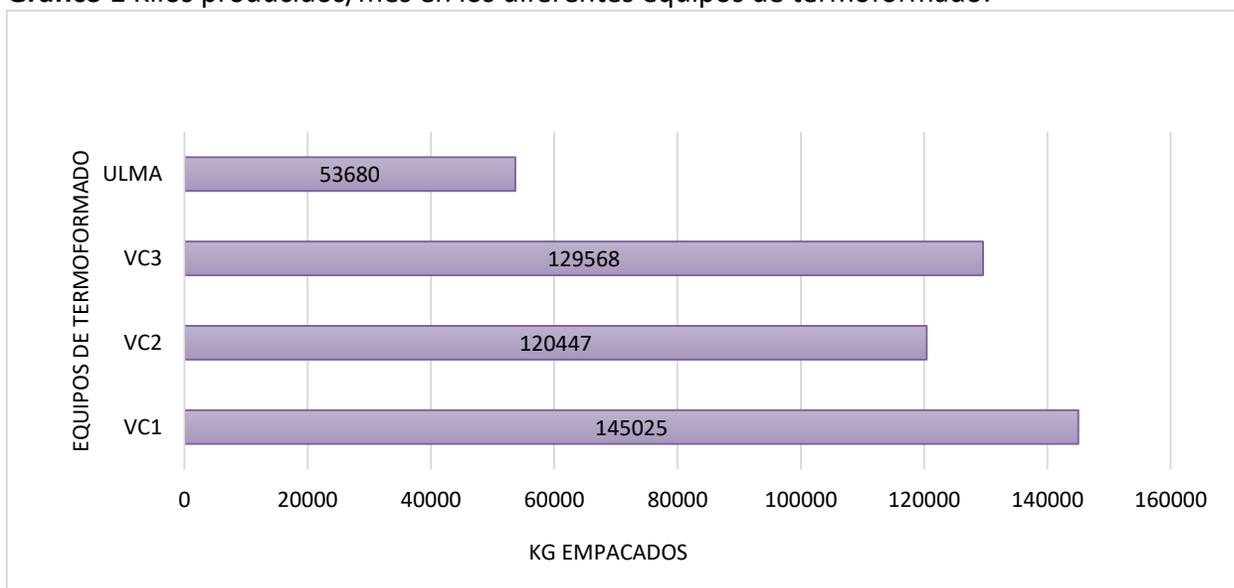
Factor	Pérdidas no Planeadas	Descripción
Disponibilidad	Sin Programa	No se tiene producto por empaclar.
	Arranque	Se entiende al iniciar al equipo la jornada. Se considera siempre después de la limpieza y liberación de la máquina al finalizar los turnos consecutivos de 16 horas y abastecerse de insumos.
	Cambio de producto	Actividades necesarias al finalizar el empaque de un producto hasta que el siguiente tipo de producto puede ser empaclado.

	Cambio de profundidad	Aumento o disminución de número de alzas cuando se cambia de gramaje.
	Cambio de formato	Actividades que requieren cambio de hormas y placas en la estación de formado y sellado.
	Cambio de lámina (tapa-fondo)	Las láminas se han terminado o se debe reemplazar.
	Falta de materiales y gavetas	Los insumos necesarios no se encuentran disponibles.
	Falta de producto cortado y rebanado	El producto que debe ser empacado no se ha recibido por el área. El equipo y el personal se encuentran listo, pero sin producto para empacar.
	Averías	Fallas en el equipo.
	Sin personal	Ausencia de personal en línea o en la planta.
Eficiencia	Ajustes de operación	Tiempo empleado para intervenir en el equipo y que continúe la operación sin dificultades.
	Microperdidas	Paros menores a un minuto.
	Pérdida de velocidad	La máquina ha funcionado a una velocidad menor en ciclos por minuto que la referencia. Será evaluada con los ciclos por minuto en los que trabaja el equipo durante su jornada.
Calidad	Paquetes buenos	Los paquetes listos para entregar a bodega de despacho.
	Paquetes defectuosos	Paquetes con fallas de calidad como mal selle, falta de moleteado, o sin vacío.
	Paquetes vacíos	Paquetes sin producto.

Fuente: (Sigma Ecuador , 2019)

Para el estudio se evaluaron los meses de junio, julio y agosto del 2019 obteniéndose datos del sistema SAP para conocer los kilos de producto elaborado por cada termoformadora. Se muestra en el gráfico 1.

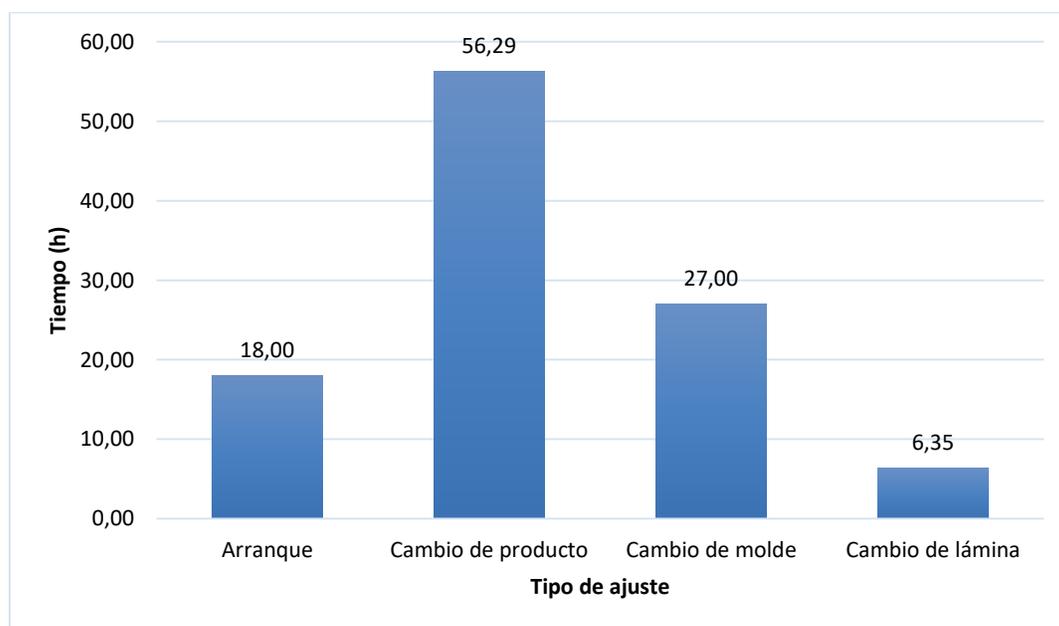
Gráfico 1 Kilos producidos/mes en los diferentes equipos de termoformado.



Fuente: (Sigma Ecuador , 2019)

Con la matriz de registro de tiempos se evaluó el tiempo de actividades relacionadas a la configuración de la operación. Se destacaron 4 de las actividades cotidianas las cuales involucran mayor tiempo para su ejecución. Los resultados se muestran en el gráfico 2.

Gráfico 2 Tiempo total mensual dispuesto a cambios termoformadoras.



Fuente: (Sigma Ecuador , 2019)

Se evaluó que el tiempo promedio mensual disponible es de 294 horas y como se observa en el gráfico 2, se emplean 59 horas para cambio de producto. Dentro de esta actividad se destacan cambio de láminas, cambio de etiquetas correspondientes al producto anterior, despeje del área, retiro de gavetas vacías, ingreso de gavetas con producto y ajustes internos. Durante el estudio, de acuerdo con los registros, se evidenció que la máquina de mayor producción es la VC999 N°1. Esta también tiene mayor variabilidad de productos empacados lo que implica un mayor tiempo dispuesto para cambios. Por lo tanto, la siguiente fase se enfoca en la medición de los factores de disponibilidad, eficiencia y calidad para este equipo.

EJECUCIÓN Y VALIDACIÓN CUANTITATIVA DEL PROBLEMA

Fase medir

Siguiendo los lineamientos de la metodología lean Six sigma DMAIC se realizó en la etapa medir el cálculo de tamaño de muestra y se planteó el plan de medición de la tabla 6 para llevar a cabo esta fase y cumplir con los objetivos planteados en la tabla 2.

Cálculo del tamaño de muestra

Para el cálculo del tamaño de muestra se pretende inferir la media del valor medio del OEE, por lo tanto, los días que serán muestreados para obtener el cálculo del indicador serán obtenidos por la Ecuación 4.

$$n = \left(\frac{Z_{\alpha/2} \sigma}{E} \right)^2$$

Ecuación 4 Tamaño de muestra

$$\alpha = 0.03$$

El nivel de confianza seleccionado dentro del presente estudio es de un 3% debido a que este corresponde como el mínimo nivel de calidad aceptable dentro de la Industria de Alimentos, este valor de alfa y nivel de confianza se utilizó para todo el desarrollo del trabajo y diferentes hipótesis planteadas. (Villière, 2010)

$$Z_{\alpha/2} = 2.17$$

Valor Z según las tablas para alfas medios de acuerdo con el valor de alfa 0,03 corresponde a 2,17 (Montgomery & Runger, 2014)

E es el error de la estimación permitido. Este valor fue asignado por Planta Sangolquí al cálculo. Se consideró la escala de valoración del indicador OEE de Sigma entre plantas, en donde el valor de 3 puntos representa la diferencia media entre posicionamientos consecutivos. Este valor representa para la empresa ascender o descender de posición entre las plantas y tener un desvío de ese tipo involucraría un posicionamiento irreal.

La desviación estándar calculada se obtiene de los valores OEE de un trimestre, datos históricos, para el presente proyecto (junio - agosto) los que sumaron 58 días laborables, por lo tanto, se obtuvo $\sigma = 0.07212$

Con los datos descritos anteriormente se obtiene:

$$n = \left(\frac{Z_{\alpha/2} \sigma}{E} \right)^2 \quad n = \left(\frac{2.17 * 0.07212}{0.03} \right)^2$$

$$n = 27$$

Ecuación 5 Tamaño de muestra población finita

$$n = \frac{(Z_{\alpha/2})^2 \sigma^2 N}{(Z_{\alpha/2})^2 \sigma^2 + E^2 (N-1)} \quad n = \frac{(2.17)^2 (0.072)^2 58}{(2.17)^2 (0.072)^2 + 0.03^2 (58-1)}$$

$$n = 19$$

Una vez realizados los cálculos de la Ecuación 4 y la corrección por población finita de la Ecuación 5 (Montgomery & Runger, 2014) se obtiene un tamaño de muestra de medición de OEE de 19 días. Se realiza una medición extra de dos días laborables de acuerdo con lo solicitado por la organización para obtener un promedio de medición de un mes laborable.

Tabla 6 Plan de medición

N°	¿QUÉ SE VA A MEDIR?	¿CÓMO SE VA A MEDIR?	¿CUÁNDO SE VA A MEDIR?	¿QUIÉN VA A MEDIR?	¿DÓNDE SE VA A MEDIR?
1	Medir tiempo disponible	Mediante la utilización de un cronometro calibrado, se mide los tiempos, llenando el formulario registro de tiempos para cálculo de OEE, (Anexo 1) de los productos empacados en las termo formadoras VC999 #1.	La toma de tiempos se realizará desde 16/07/2019 hasta 16/08/2019 en horario de 07:30am a 04:00 pm y en horario de 04:00pm a 12:00 am de cada turno respectivamente. En total 21 días laborables.	Sandra Ayala, Mónica Salas.	Área de empaque planta Sangolquí, termoformadora VC999 #1.
2	Medir y tiempo planeado				
3	Medir tiempo no planeado				
4	Medir velocidad del proceso				
5	Registrar paras de disponibilidad, eficiencia y calidad según corresponda de acuerdo con la tabla 4-5				
6	Contar producto terminado aprobado				
7	Contar producto rechazado				
8	Contar producto a reprocesar				

Elaborado por: Ayala & Salas, 2019

De acuerdo con los objetivos planteados para esta fase, la obtención de datos de tiempos y número de paquetes para el cálculo del indicador OEE se utilizó el formulario de recolección de datos. (Anexo 1) Se registró la información necesaria por cada producto empacado durante el día por cada turno siguiendo el plan de medición de la tabla 6. Según el tamaño de muestra correspondiente y mediante las ecuaciones 1,2,3 se obtuvieron los valores correspondientes a disponibilidad, eficiencia, calidad y OEE presentados en la tabla 10. Además, se realizó una comparación con los datos registrados por la organización para validar los mismos u obtener una línea base real. A continuación, se encuentra la comparación de los datos:

(A): Datos que corresponden a los medidos y calculados por los autores.

(B): Datos reportados por la empresa

Ejemplo calculo OEE por turno

En la tabla 7-8, se puede observar cómo se lleva a cabo los cálculos para determinar el valor de OEE. Para la obtención de los valores de la Tabla 7 se utilizaron las ecuaciones 1, 2 y 3. Y a partir de los datos obtenidos individualmente se obtiene las fracciones y los datos de la Tabla 8.

Tabla 7 Cálculo de tiempo planeado, operativo y de operación

FACTOR	VARIABLES	CÁLCULO
Pérdidas planeadas	Tiempo planeado (min)	480 tiempo disponible
		-50 tiempo limpieza
		-30 tiempo de comida
		400 minutos
Disponibilidad	Tiempo operativo (min)	400 tiempo planeado
		-52 tiempo pérdidas no planeadas
		348 minutos

Eficiencia	Tiempo de operación (min)	348 tiempo operativo
		-14 tiempo de pérdidas por eficiencia
		334 minutos
Calidad	Paquetes buenos (paquetes)	34994 paquetes totales producidos
		-518 paquetes defectuosos
		34476 paquetes

Elaborado por: Ayala & Salas, 2019

Tabla 8 Cálculo de disponibilidad, eficiencia y calidad y OEE

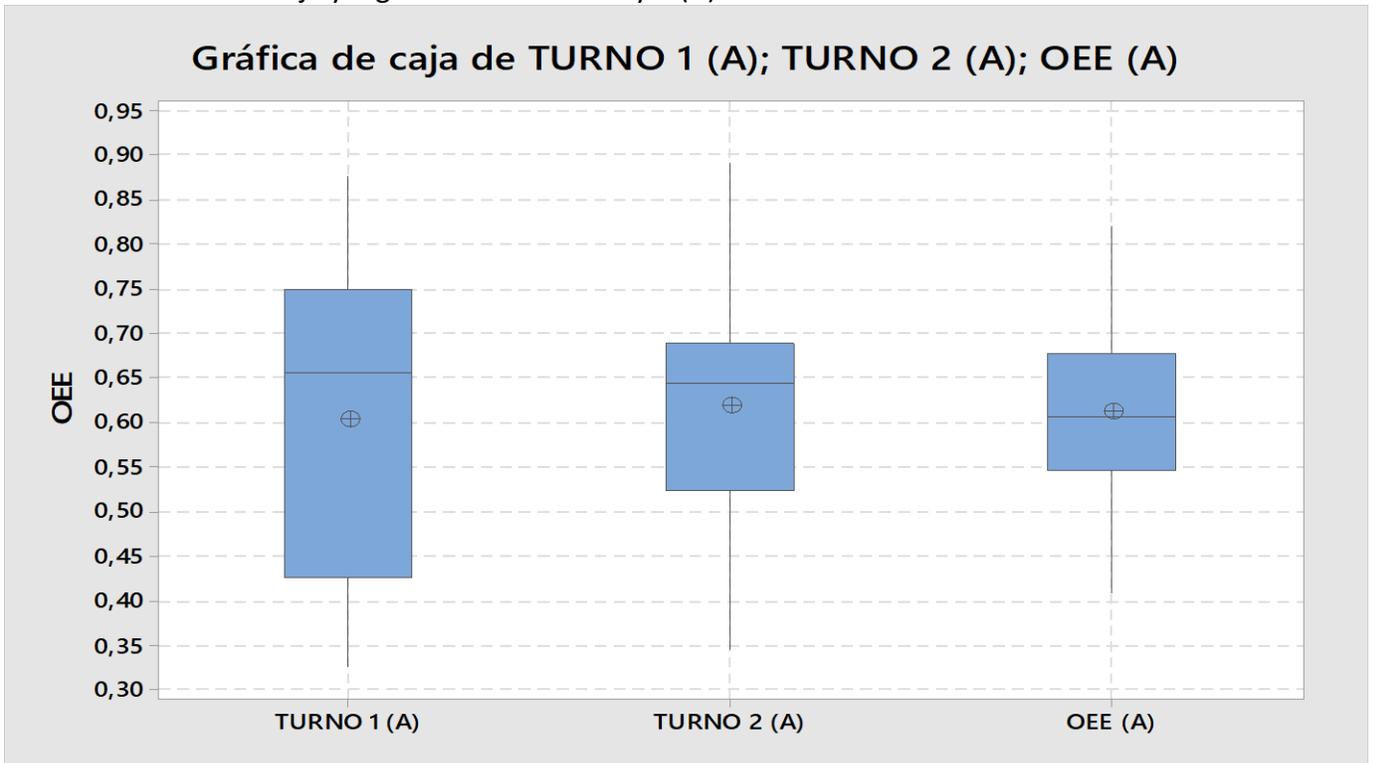
Factores	Cálculo	Resultado	% OEE
Disponibilidad	348/400	0,8700	87,00
Eficiencia	(34994/ 334)/115,5	0,9071	90,71
Calidad	34476/34994	0,9852	98,52
OEE	0,8700*0,9071*0,9852	0,7774	77,74%

Elaborado por: Ayala & Salas, 2019

Comparación de OEE por turnos

Los resultados para el segundo turno se evaluaron siguiendo la misma formalidad y ecuaciones de los cálculos de las tablas 7 y 8. El cálculo de OEE obtenido al día es el promedio correspondiente entre ambos turnos, y se reporta en el Anexo 10.

Se utilizó software Minitab 2019 para generar el gráfico 3 donde se observa que los turnos I y II siguen una distribución normal, pero con una elevada variabilidad. Sin embargo, los valores mantienen una similitud entre ambos turnos.

Gráfico 3 Gráfico de caja y bigote de OEE turno I y II (A)

Elaborado por: Ayala & Salas, 2019

Prueba de Hipótesis

La hipótesis es el supuesto estadístico que se plantea el investigador sobre los parámetros de la población. (Montgomery, 2009). El estudio se enfocó en aplicar una prueba de hipótesis en este caso particular para: el OEE del turno I y II, ya que se desea comparar si existe diferencia significativa entre los turnos I y II. Para el caso de la evaluación de los datos obtenidos actualmente por la empresa, se decidió realizar una segunda prueba de hipótesis para evaluar si existe diferencia significativa entre los datos generados por la compañía y los obtenidos por los autores.

Se realizó un análisis comparativo de t pareado de dos colas para descartar que exista influencia generada por el personal de los diferentes turnos en el proceso de empaque.

H_0 : diferencia OEE turno I y II $\mu = 0$

H_a : diferencia OEE turno I y II $\mu \neq 0$

Tabla 9 Comparación OEE turno I y II (A)

Muestra	N	Media	Desviación estándar	Error estándar de la media
TURNO 1	21	0,6040	0,1744	0,0381
TURNO 2	21	0,6181	0,1395	0,0304

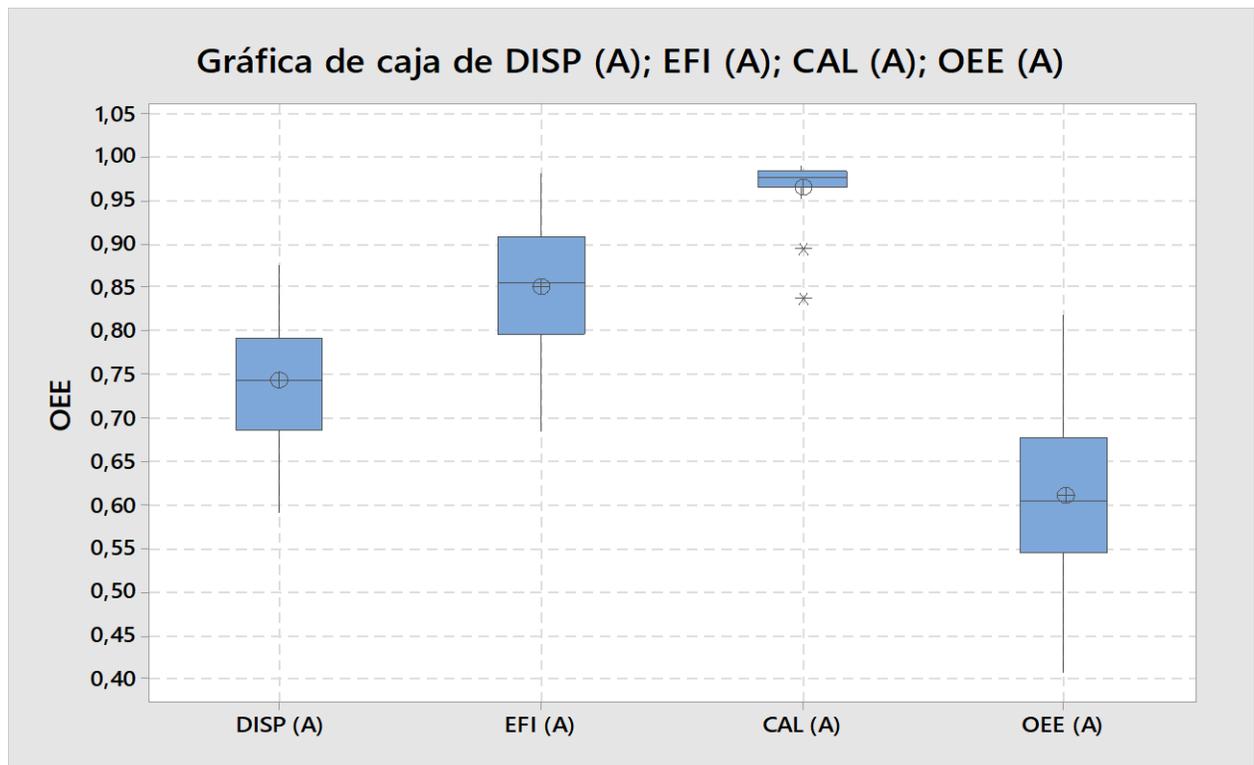
Valor T	Valor p
-0,28	0,779

Elaborado por: Ayala & Salas, 2019

Luego de evaluar los datos obtenidos en la Tabla 9, se concluye con un 97% de confianza que no se tiene suficiente evidencia para rechazar la hipótesis nula al comparar el valor de p que es mayor al alfa seleccionado en el estudio. Por lo tanto, no existe diferencia significativa entre los valores del turno I y II. Se descarta la influencia del personal sobre el proceso de empaque. En adelante se utiliza únicamente valores de OEE calculados por día para la etapa de medición y analizar. (Anexo 10)

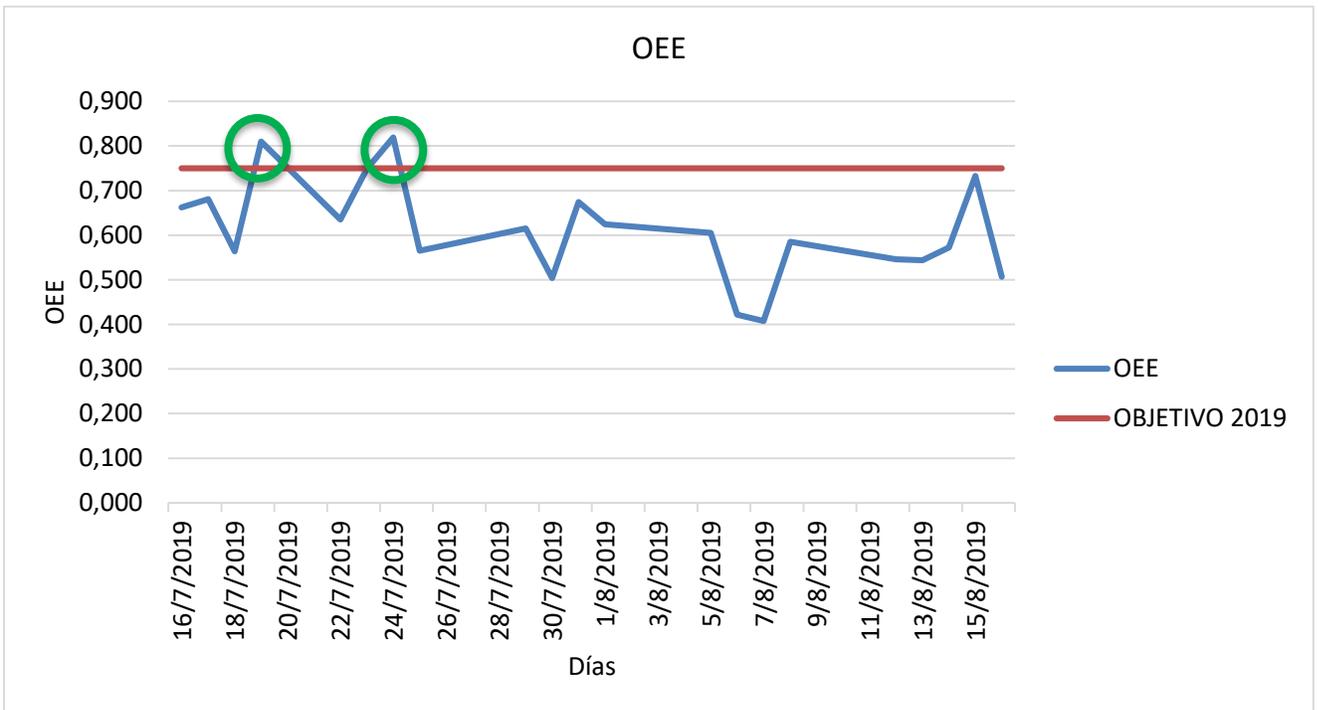
En el gráfico 4, el factor más alto dentro de los factores que influyen en el indicador OEE es el factor de calidad con un 96%. El siguiente factor es eficiencia con un valor de 85% y finalmente el factor más bajo es la disponibilidad con un valor de 74%. En conjunto los factores generan un valor de OEE de 61%. A la par se evidencia en el diagrama de caja y bigote de cada factor que los valores obtenidos dentro de los 21 días son variables entre sí y el factor que presenta una mayor dispersión es el factor de disponibilidad.

Gráfico 4 Gráfico de caja y bigotes de factores de OEE (A)



Elaborado por: Ayala & Salas, 2019

En el gráfico 5 se puede observar que en los días que se encuentran marcados, el proceso alcanza el objetivo planteado en el estudio con un valor de OEE superior 75%. Sin embargo, en la mayoría de los días evaluados la organización se encuentra por debajo del mismo. Se observa entonces que la eficiencia general de la maquinaria si puede llegar a la meta propuesta.

Gráfico 5 Gráfico OEE (A) diario vs. meta 2019

Elaborado por: Ayala & Salas, 2019

Comparación del OEE

Comparar los Datos A mismos que fueron obtenidos y calculados por los autores (Anexo 10) con los que se registra actualmente en la organización catalogados como Datos B (Anexo 11) es uno de los objetivos de esta fase. Los datos B que se compararon fueron los correspondientes a los mismos días evaluados por los autores en el turno I y II. (Sigma, 2019). En estos datos de la empresa se observa un valor de 96% en calidad, 86% eficiencia y 85% en disponibilidad correspondiente a un OEE de 71%. En los Anexos 12 y 13 se observa que los datos siguen una distribución normal, para esta comparación se planteó una prueba de hipótesis para identificar si existe una diferencia significativa entre Datos A y B.

H_0 : diferencia OEE Datos A y Datos B $\mu = 0$

H_1 : diferencia OEE Datos A y Datos B $\mu \neq 0$

Se comparó mediante un análisis de T pareada de dos colas reportados en la tabla 10.

Tabla 10 Comparación de datos (A) y (B), análisis T pareado

Muestra	N	Media	Desviación Estándar	Error estándar de la media
DISP (A)	21	0,7418	0,0786	0,0171
DISP (B)	21	0,8520	0,0500	0,0109
EFI (A)	21	0,8489	0,0771	0,0168
EFI (B)	21	0,8575	0,0832	0,0182
CAL (A)	21	0,9642	0,0361	0,0079
CAL (B)	21	0,9612	0,0213	0,0046
OEE (A)	21	0,6107	0,1103	0,0241
OEE (B)	21	0,7035	0,0935	0,0204

FACTOR	Valor T	Valor P
Disponibilidad	-7,05	0,000
Eficiencia	-0,43	0,671
Calidad	0,36	0,720
OEE	-4,25	0,000

Elaborado por: Ayala & Salas, 2019

Luego de evaluar los datos obtenidos en la Tabla 10, se concluyó con 97% de confianza que se tiene suficiente evidencia para rechazar la hipótesis nula al comparar el *valor de p* es menor al alfa seleccionado en el estudio 0,03. Por lo tanto, los datos calculados del factor de disponibilidad y OEE obtenidos en la medición (Datos A), no son iguales a los reportados por la empresa (Datos B). Respecto al factor de calidad y eficiencia no se tiene suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula y por lo tanto los datos son estadísticamente iguales.

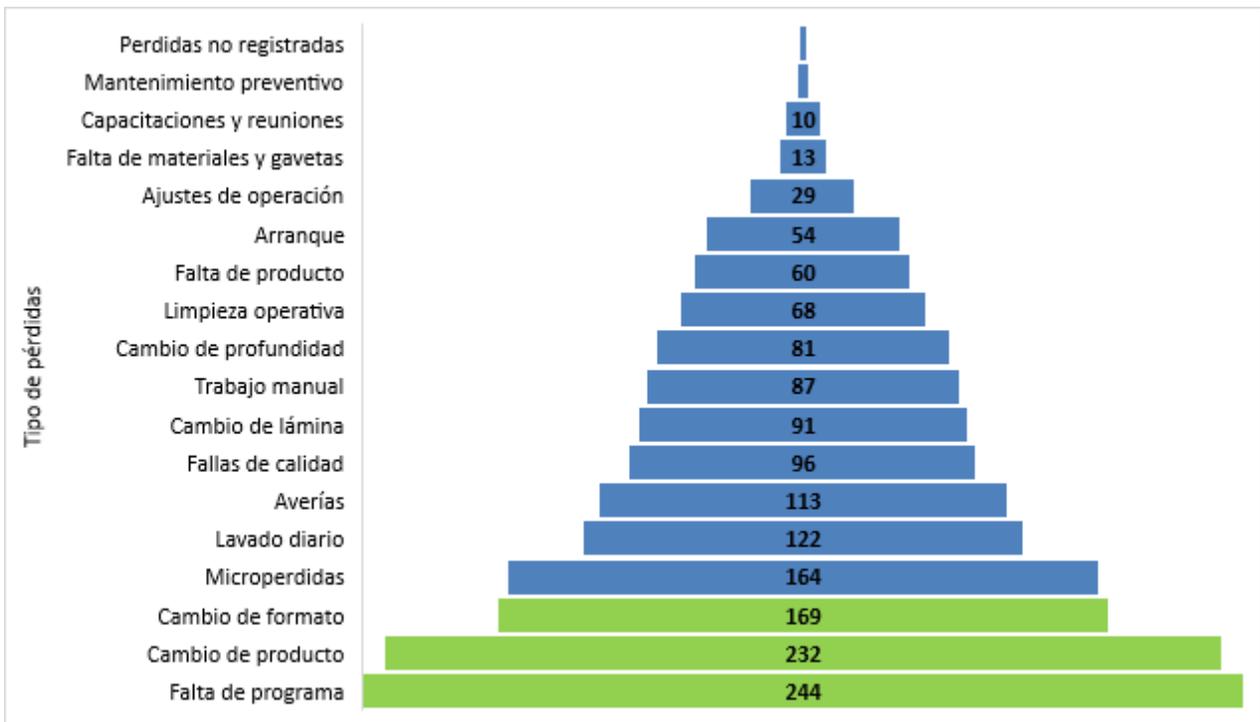
Respecto al OEE evaluado por turno de trabajo no existe una diferencia estadísticamente significativa sin embargo al comparar con los datos registrados por la empresa si la hay. Como

conclusión y para la siguiente etapa se analizó los datos registrados por los autores del valor de OEE al día y las pérdidas mencionadas en la Tabla 5.

Fase analizar

Para iniciar con la fase analizar se realizó la evaluación de los resultados obtenidos en la fase medir, en donde se determinó que no existe diferencia significativa entre los turnos I y II. Sin embargo, si existe diferencia entre los datos A y B. Esto se debe a que la clasificación de las pérdidas por disponibilidad se considera de forma diferente para los autores y para la empresa. La para de *Sin programa* es una pérdida de tiempo considerada para la empresa como para planificada. Sin embargo, es tiempo que el equipo no está en funcionamiento y por lo tanto afecta al factor de disponibilidad. Este tiempo es generado por retrasos en entrega de producto por parte del área anterior que es independiente del área de empaque. Por lo tanto, para el estudio por parte de los autores se considera como una pérdida de disponibilidad.

Una vez obtenidos los resultados de OEE para cada día se continuó con el análisis de las principales pérdidas del OEE. El factor de disponibilidad fue el más bajo por lo que se evaluaron las causas de las pérdidas. En el gráfico 6 se observa de manera ordenada de menor a mayor el promedio de los meses de junio, julio y agosto de las principales pérdidas expresadas en minutos por día.

Gráfico 6 Principales pérdidas de OEE (min/día)

Elaborado por: Ayala & Salas, 2019

Se destaca dentro de las principales pérdidas que afectan al OEE la falta de programa, descrita anteriormente como los minutos que el equipo se detiene por falta de planificación. En promedio esta pérdida representa 244 minutos en promedio al día. La siguiente pérdida significativa es el tiempo de cambio de producto que toma 232 minutos y la tercera es de 169 el cambio de formato.

A continuación, la Tabla 11 detalla la descoordinación en la planificación de la producción presente en la programación diaria. Se destaca el producto de la misma presentación que es elaborado en el turno I, y vuelve a ser empacado en el turno II y se evidencia que existen varios cambios del mismo producto en la misma semana de producción.

Tabla 11 Falta de programa de la producción del mismo producto

Fecha	Turno	Producto	Hora Inicio	Hora Final
1/8/2019	T1	Producto A	12:35:00	15:15:00
1/8/2019	T2	Producto A	19:30:00	19:41:00
7/8/2019	T1	Producto A	11:15:00	16:00:00
7/8/2019	T2	Producto A	16:00:00	17:17:00
7/8/2019	T2	Producto A	20:10:00	20:31:00
8/8/2019	T1	Producto A	13:20:00	15:30:00

Elaborado por: Ayala & Salas, 2019

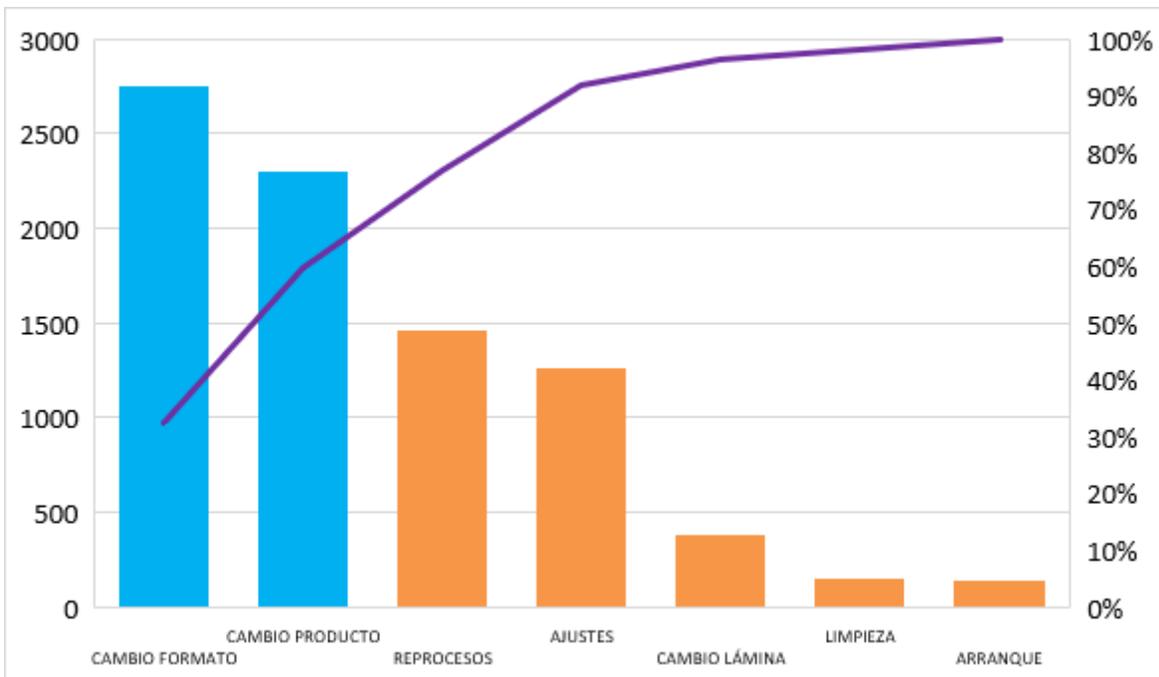
En el proceso de empaque usualmente existe tiempo de espera, el personal operativo debe aguardar hasta que el producto se encuentre listo para ser empacado. Existen retrasos de producción de áreas anteriores. Por tal motivo, el personal de los equipos de empaque debe cambiar el formato para empacar el producto que se encuentre disponible y en algunas ocasiones retornar al formato inicial. Este proceso se puede repetir dentro del mismo día, inclusive en el mismo turno.

En la Tabla 12 se destaca que se empacan 10 productos durante un turno. A pesar de que se mantiene un formato de 3x5 hasta el sexto producto, se cambia a 3x3 y finalmente se retorna a un formato de 3x5 en el décimo producto. A la par se evidencia el cambio de profundidades de 100 a 300 y 100 de manera repetitiva. Esto involucra paro de la máquina para aumentar o quitar las alzas.

Tabla 12 Falta de programa de la producción del mismo día en un mismo turno.

N°	FORMATO	PRESENTACIÓN	PRODUCTO
1	3 X 5	130g	Producto D.4
2	3 X 5	100g	Producto A.1
3	3 X 5	100g	Producto A.2
4	3 X 5	100g	Producto A
5	3 X 5	130g	Producto D.4
6	3 X 5	100g	Producto A.1
7	3 X 3	300g	Producto C.2
8	3 X 3	300g	Producto C.5
9	3 X 3	320g	Producto D.8
10	3 X 5	130g	Producto D.4

Elaborado por: Ayala & Salas, 2019

Gráfico 7 Pareto de principales pérdidas y para de máquina que afectan tiempo disponible.

Elaborado por: Ayala & Salas, 2019

A diferencia del Grafico 6 en el cual se evidencia las pérdidas principales de OEE, en este se muestra un diagrama de Pareto donde se evidencia las principales pérdidas del factor disponibilidad, el análisis se enfocó principalmente en este al ser el más bajo. El 80% de estas pérdidas corresponden a los cambios de formato y producto. Los ajustes limitan la disponibilidad de la termoformadora para realizar el proceso de empaçado. La tabla 13 presenta la diferencia entre el cambio de formato y producto y en la 14 el número de cambios promedio diario.

Tabla 13 Diferencia entre cambio de producto y formato

Actividad	Formato	Producto
Cambio de placas de sellado.	X	
Cambio de horma de formado.	X	
Adición o remoción de alzas de teflón y aluminio.	X	x
Enfriamiento y calentamiento de placas.	X	
Cambio de láminas tapa y base o etiquetas	X	x
Ajuste rieles de cortado	X	
Ajustes de operación	X	
Ajustes de codificación	X	x

Elaborado por: Ayala & Salas, 2019

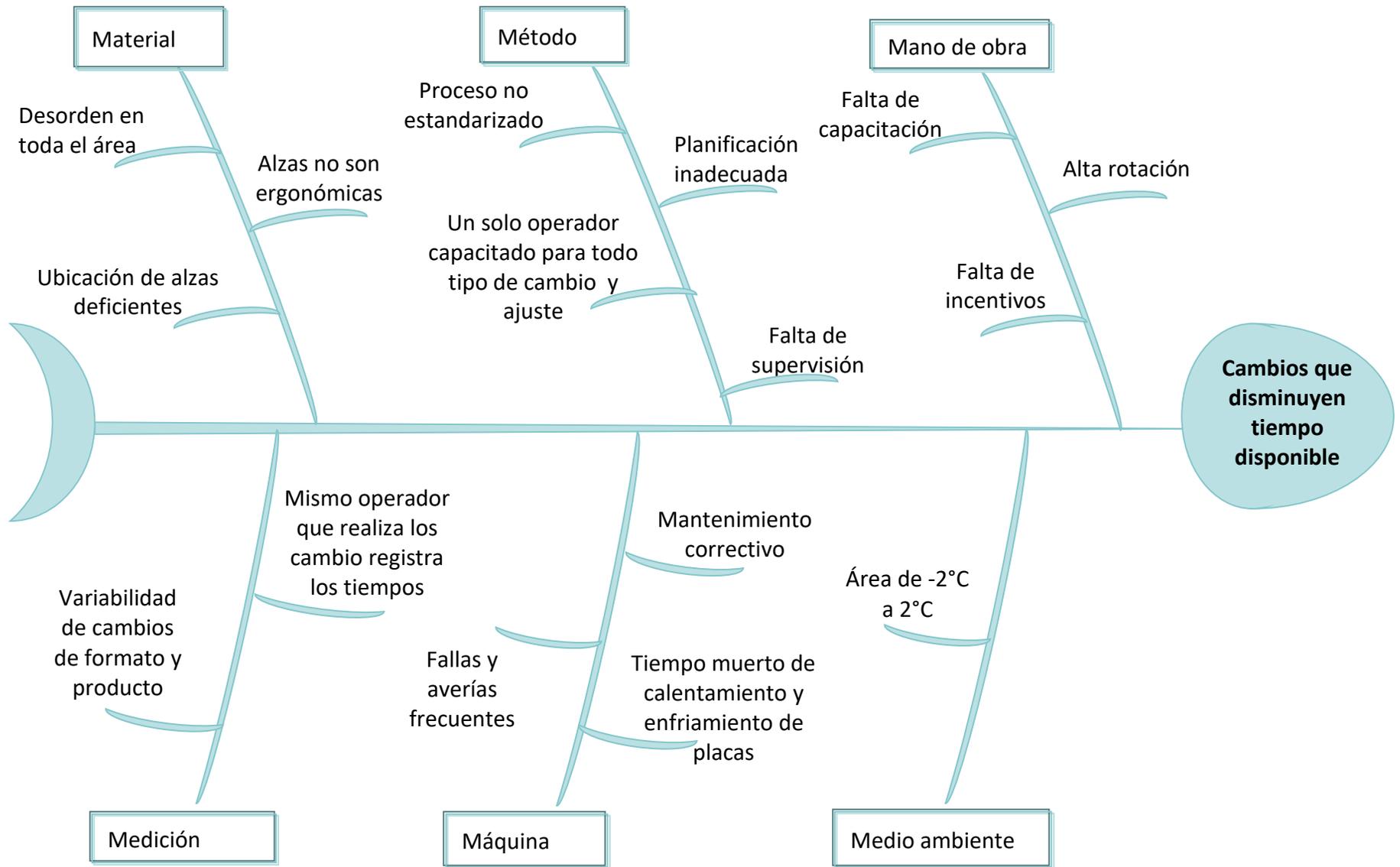
Tabla 14 Números de cambio de producto y formato al día

Descripción	Número de Cambio de producto	Número de Cambio de formato
Promedio	11	6
Mínimo	6	2
Máximo	14	9
Tiempo en horas	3,7	2,4

Elaborado por: Ayala & Salas, 2019

Para el cambio de formato se pueden llegar a invertir en promedio 3,7 horas y para el cambio de formato 2,4 horas de la jornada laboral. Durante estos cambios la máquina se encuentra totalmente parada. Debido a la incidencia de esta pérdida de disponibilidad por el cambio de formato y producto, se realizó juntamente con los líderes de área de Planta Sangolquí un análisis de causa y efecto. Este análisis se representó en el siguiente diagrama de Ishikawa.

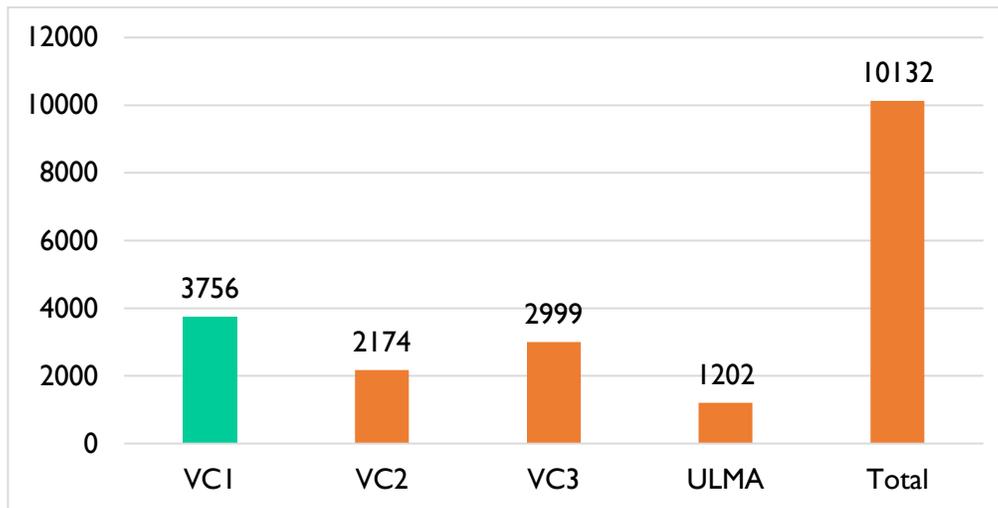
Figura 3 Diagrama de Ishikawa de los cambios que disminuyen el tiempo disponible.



En el diagrama de Ishikawa se observa las causas principales que influyen en la disminución del tiempo disponible. Destaca las causas de método, maquinaria y mano de obra pues no se cuenta con procedimientos claros y responsabilidades establecidas. Los cambios se llevan a cabo por una sola persona a pesar de que son 10 operadores por línea. Las herramientas y materiales se encuentran distantes de la estación de trabajo y las mismas no son ergonómicas. La forma de almacenamiento no es la más adecuada y se encuentran en desorden. Por tal motivo, los tiempos de cambio son elevados e impactan directamente al indicador OEE por la reducción de tiempo disponible. El área realiza varios cambios diariamente debido al portafolio amplio, tampoco se toma en cuenta un tamaño de lote estandarizado o mínimo que permita una producción flexible optimizando el indicador.

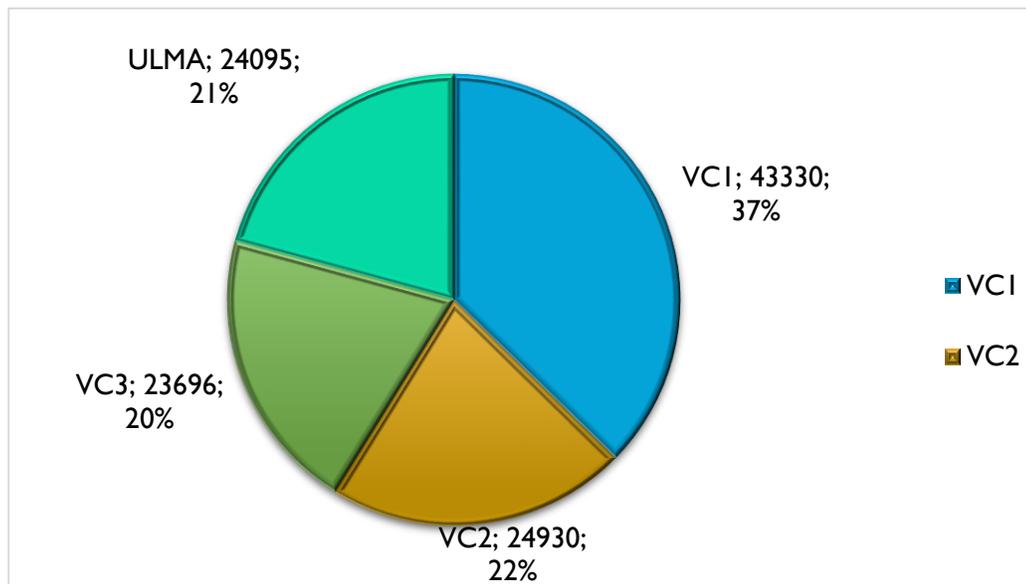
Los gráficos 8 y 9 indican un análisis de los costos y pérdidas enfocado en el paro de las máquinas cuantificado en el tiempo que no se está empacando y proyectándolo a la cantidad que pudo haber sido empacado. A la par se analizó el costo del personal disponible en ese momento que no se encuentra empacando, y se sumó el pago de horas extras cuando el producto sale a destiempo de la etapa previa de cortado, rebanado o cocción del semielaborado. Se obtuvo pérdidas de 80 000 dólares mensuales en el área de empaque. No se tomó en cuenta las pérdidas por calidad, reprocesos y retrabajos de las etapas previas de la fábrica de transformación de materia prima hasta la comercialización del producto terminado.

Gráfico 8 Costo de mano de obra (\$) correspondiente al tiempo sin planificación de producción al mes.



Elaborado por: Ayala & Salas, 2019

Gráfico 9 Pérdidas (\$) durante para de máquinas al mes.



Elaborado por: Ayala & Salas, 2019

Al finalizar la etapa de analizar se identificaron los factores que afectan directamente al indicador OEE. Por lo tanto, en la siguiente fase se evalúan las propuestas de mejora para evitar estas pérdidas junto con la implementación manteniendo el objetivo de incrementar el KPI.

EJECUCIÓN Y PROPUESTAS DE MEJORA

Fase Mejorar

Los objetivos que se plantearon en esta etapa fue establecer nuevas condiciones en el proceso de operación, con beneficios asociados a la propuesta de mejora para implementar estas acciones. (Socconini, 2015) El plan de mejoras se enfocó en:

- Identificar las causas de las debilidades evidenciadas en la etapa de análisis para proponer las acciones de mejora aplicadas analizando su viabilidad.
- Priorizar las actividades para plasmarlas en un plan de acción.
- Validar las acciones con un estudio estadístico comparativo del OEE al inicio del proyecto y el OEE una vez implementadas las mejoras.

A continuación, se describe cada una de las oportunidades de mejora detectadas en el área junto con un el análisis de causas, las acciones propuestas y el objetivo que se desea alcanzar. Esto se desarrolló por cada punto expuesto en las tablas 15-18. Las propuestas fueron comunicadas junto con los resultados de la fase de medición y análisis al personal directivo y operativo a cargo de producción y del área de empaque. Se tomó en cuenta su opinión, experiencia, sugerencias y la factibilidad de la implementación de las propuestas.

Tabla 15 Reducir tiempos de sin programa.

Debilidad detectada	<ul style="list-style-type: none"> · Como se ejemplifica en el gráfico 6 y tabla 11-12 el ítem de <i>Sin programa</i> es una actividad planteada por la empresa como para planificada en donde el equipo se detiene por retrasos de entrega de áreas previas. Para el presente trabajo se lo considera como para no planificada que reduce el tiempo disponible.
Causas que provocan el problema	<ul style="list-style-type: none"> · No existe una planificación que considere tiempos de ciclos de todo el proceso, tiempo medio de fallas de equipos, tiempo medio de reparación, tiempo de alimentación y abastecimiento de procesos previos al área de empaque y los retrasos en órdenes de producción.
Acciones de mejora	<ul style="list-style-type: none"> · Establecer un mínimo de tamaño de lote o mínima cantidad a empacar, el cual se encuentre enfocado en los tiempos de ciclo y de espera necesario.
Objetivos	<ul style="list-style-type: none"> · Establecer programa de producción continuo acorde a los procesos a cada proceso productivo hasta el área de empaque.
Beneficio esperado	<ul style="list-style-type: none"> · Mantener el proceso productivo continuo, minimizando esperas y eliminar el paro del equipo (sin programa) · Cambiar como máximo cuatro veces de producto al día y dos veces de formato, aportando 120 minutos al tiempo disponible al día. · Producir con mínimo de lote a empacar de 2000 kg

Elaborado por: Ayala & Salas, 2019

Tabla 16 Planificación secuencial en producción

Debilidad detectada	<ul style="list-style-type: none"> · Cambios repetitivos de presentación. · El empaque de un mismo gramaje no es consecutivo como se observa en la tabla 12. · El mismo producto de la misma presentación se empaca varias veces en una jornada de trabajo. · Incremento de tiempo de cambio de producto y formato.
Causas que provocan el problema	<ul style="list-style-type: none"> · Dentro de la planificación, la demanda se secciona por cliente y no por producto. · No se consolidan los pedidos del mismo tipo de semielaborado y diferente tipo de presentación durante la semana. · Secuencia de producción no considera los procesos intermedios de tiempo de horneado, enfriamiento y cortado de producto.
Acciones de mejora	<ul style="list-style-type: none"> · Reorganización de producción enfocada en el producto y cambio de alzas y formatos.

	<ul style="list-style-type: none"> · Control de tiempos y procesos previos, evitar retrasos en entrega de producto semielaborado. · Consolidar lotes por formulación y de acuerdo con los pedidos de manera semanal y no diaria.
Objetivo	<ul style="list-style-type: none"> · Obtener una secuencia de producción ordenada que minimice los cambios de producto y formato en un mismo día. · Estructurar la producción de tal manera que se inicie con la menor presentación de un mismo formato y producto para que se retiren progresivamente las alzas. Al disminuir el tiempo de cambio de alzas se reducirá el tiempo de enfriamiento y calentamiento.
Beneficio esperado	<ul style="list-style-type: none"> · Mantener el proceso productivo continuo, minimizando esperas y eliminar el paro del equipo (sin programa). · Aportar 30 a 45 minutos en tiempo disponible al día.

Elaborado por: Ayala & Salas, 2019

Tabla 17 Reorganización de actividades en proceso empackado

Debilidad detectada	<ul style="list-style-type: none"> · Falta de estructura y responsabilidades en el equipo de trabajo
Causas que provocan el problema	<ul style="list-style-type: none"> · No existe un manual de funciones o descripción de puesto · alta rotación de personal.
Acciones de mejora	<ul style="list-style-type: none"> · Asignar un operador líder · Asignar responsabilidades y tareas al personal de la línea. · Capacitación sobre la operación y ajustes de una persona a todo el personal de la línea. Trabaja en equipo.
Objetivo	<ul style="list-style-type: none"> · Obtener una organización estructurada con funciones definidas por cada persona y su respaldo.
Beneficio esperado	<ul style="list-style-type: none"> · Reducir tiempo de operaciones en general del proceso. · Reducir tiempo de limpiezas y mantenimientos. · Reducir el tiempo de cambio de producto, de presentación y de formato. · Aportar en 20 a 35 min al tiempo disponible al día.

Elaborado por: Ayala & Salas, 2019

Tabla 18 Reducción en tiempo de cambios

Debilidad detectada	<ul style="list-style-type: none"> · Tiempo de cambio afecta al OEE debido a la variabilidad de productos
Causas que provocan el problema	<ul style="list-style-type: none"> · Distribución de equipos y herramientas deficiente. · Secuencia inadecuada de actividades. · Desorden en el área. · Un solo operador realiza todos los cambios y ajustes.
Acciones de mejora	<ul style="list-style-type: none"> · Implementación de metodología SMED. · Disponer de herramientas y visualizar fácilmente implementos
Objetivo	<ul style="list-style-type: none"> · Disminuir el tiempo de cambio de producto y formato. · Aumentar el tiempo disponible para la producción. · Reorganizar estación de trabajo, estantería de herramientas, placas y alzas.
Beneficio esperado	<ul style="list-style-type: none"> · Reducir el tiempo de cambio de formato como mínimo 10 minutos por cada cambio. · Reducir el tiempo de cambio de producto como mínimo 5 minutos por cada cambio. · Aportar en 100 min al día en el tiempo disponible

Elaborado por: Ayala & Salas, 2019

EJECUCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE MEJORAS

En la Tabla 19 se detallan los logros obtenidos una vez implementadas las mejoras propuestas en las tablas 15 a 18.

Tabla 19 Logros obtenidos en las propuestas de mejora

Acción general	Observaciones
Reducir tiempos de sin programa.	Al involucrar otras áreas de fabricación, se debió coordinar las operaciones de manera más eficiente. Se logró disponer de producto y reducir el tiempo de espera de producto cortado en el área de salchichería. Se optimizó el lote de horneado para que pueda ser entregado al área de empaque sin dejar el área desabastecida.
Planificación secuencial en producción.	Se evidenció una colaboración importante del área de planificación. Los lotes de producción de consolidaron por el formato de empaque del producto. Haciendo que el número de cambios de formato disminuyera de 6 a 3 en promedio y por lo tanto aumentando el tiempo disponible productivo.
Reorganización de actividades en proceso empacado.	La estructura de actividades se ejecutó a través de un evento Kaizen con un grupo piloto, supervisores y área de mantenimiento. En el cual se obtuvo una secuencia efectiva de actividades y se introdujo a la par la metodología SMED (Anexo 18)
Reducción en tiempo de cambios (SMED)	Se reunió al personal del equipo VC999 N°1 junto con los supervisores del área, el jefe de producción y el ingeniero en procesos para dar inicio al evento Kaizen. (Anexo 14) Como material didáctico se utilizó videos, dinámicas y el soporte del personal técnico de mantenimiento. (Anexo 18)
5'S en herramientas	Se adquirió las herramientas necesarias para los cambios y actividades que se deben ejecutar en el proceso de empacado, junto con un cambio de las estanterías de placas y hormas con el fin que las mismas estén más cerca de la maquinaria y evitar desperdicios en movimientos.(Anexo 23)

Elaborado por: Ayala & Salas, 2019

Metodología SMED

La metodología SMED (Single minute Exchange of die) se refiere a reducir los tiempos de cambios en un dígito. El objetivo es aumentar el tiempo disponible. La metodología se fundamenta en el trabajo en equipo y busca la contribución de cada parte. Se seleccionó la herramienta Kaizen para la implementación de SMED. Kaizen se aplica cuando existe un problema de calidad, se

requiere mejorar la distribución de áreas (orden y limpieza) o reducir la preparación de las áreas y equipos. Unos de los pasos más importantes dentro de SMED es separar las actividades internas de las externas. (Socconini, 2014) Las actividades internas son las que se pueden realizar únicamente con el equipo apagado, mientras que las actividades externas son las que se pueden ejecutar cuando el equipo todavía se encuentra encendido y en movimiento. (Socconini, 2014) Se elaboró juntamente con el personal del equipo una división de actividades con ayuda de videos recolectados que fueron analizados. En total para el cambio de formato identificaron 37 actividades (Anexo 15) de las cuales 30 son internas y son llevadas a cabo por un solo operador. Se asignaron responsables y alternos evaluando las actividades que pueden ser externas como se muestra en el Anexo 16 y se destaca que actualmente de las 37 actividades se logró disminuir a 21 actividades internas y 16 externas y principalmente se designó la ejecución de operaciones paralelas con varios operadores reduciendo el tiempo de cambios de 30 minutos a 15 minutos aproximadamente.

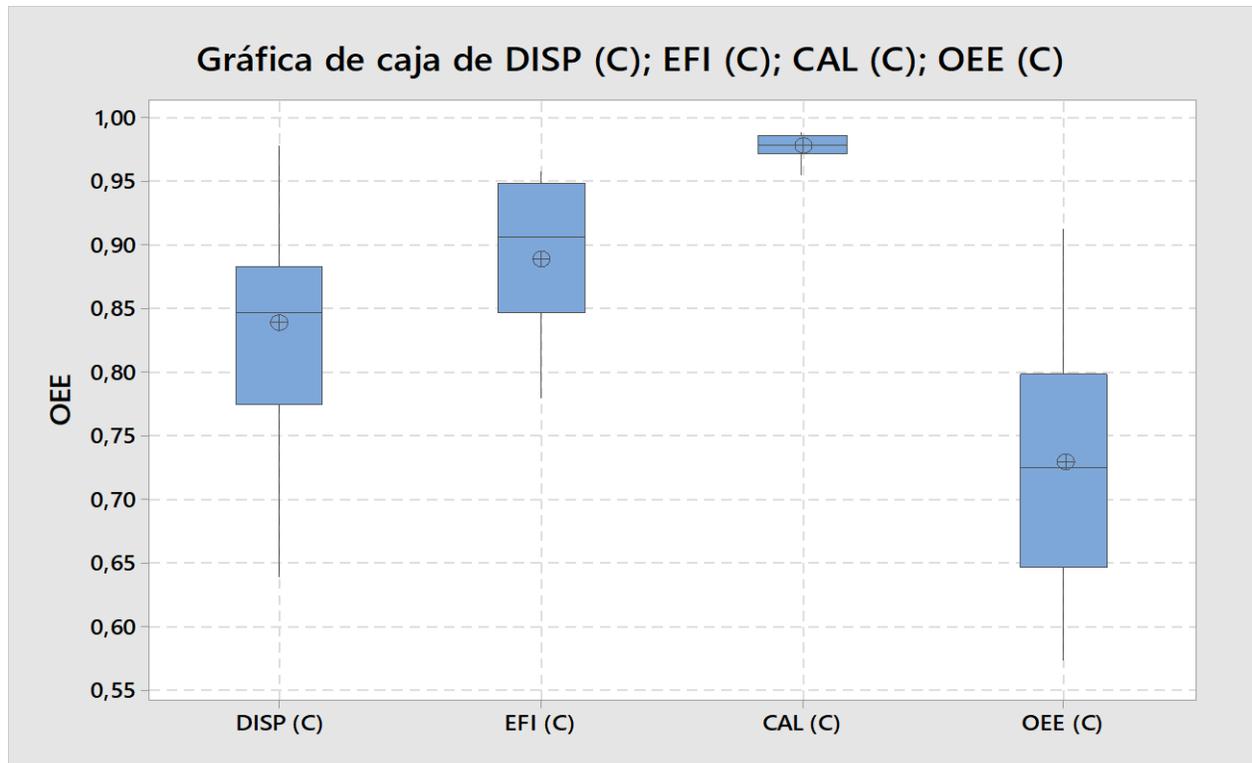
Adicional se llevó a cabo un inventario de herramientas, accesorios y equipos dentro del área de empaque para identificar la cantidad de materiales necesarios y ergonómicos, así como estructurar el layout del área de manera que las mismas estén cerca de la termoformadora para ayudar a que los cambios sean más rápidos (Anexo 17). Se siguió la filosofía de Lean Six sigma de un lugar para cada cosa y cada cosa en su lugar, facilitando al operador para que pueda realizar su proceso de la mejor manera. (Anexo 18 y 23)

Evaluación de resultados

Al finalizar la aplicación de las mejoras se contó con 5 semanas (29 días laborables) para cuantificar las mejoras en el indicador. Por lo tanto, se aplicó la Ecuación 5 de tamaño de muestra

de población finita (Anexo 19) y se tomaron los datos para el cálculo del indicador de 15 días laborables que se muestran en el Anexo 20. Se realizó la toma de datos que se observan en el Gráfico 10 definidos como Datos C, estos corresponden al registro de tiempos y cálculo de OEE por los autores una vez implementadas las mejoras.

Gráfico 10 Cálculo de OEE después de implementadas las mejoras



Elaborado por: Ayala & Salas, 2019

Se comprobó que los datos siguen una distribución normal (Anexo 21) y se continuó con la comparación entre los datos obtenidos previamente en la empacadora VC999 #1 junto con los calculados luego de las mejoras. Se planteó una prueba de hipótesis para identificar si el valor medio del indicador OEE luego de la implementación de estas es mayor al evaluado al iniciar el proyecto.

$$H_0: \mu_{\text{OEE inicial}} - \mu_{\text{OEE final}} = 0$$

$$H_1: \mu_{\text{OEE inicial}} - \mu_{\text{OEE final}} < 0$$

Se comparó mediante una prueba unilateral izquierda con una prueba T de muestras independientes (Anexo 22). Se obtuvo un *valor p* muy cercano a cero por lo que se concluye que no existe suficiente evidencia para rechazar la hipótesis nula, el valor medio del indicador OEE luego de implementar las mejoras planteadas es estadísticamente mayor que el valor medio del indicador OEE al inicio del estudio. (Montgomery, 2009) Por lo tanto, con las mejoras obtenidas se cumplió el objetivo principal del estudio, que fue incrementar el indicador OEE en el área de empaque de la planta manufacturera de productos y derivados cárnicos. Como se evidenció en el Gráfico 10 se logró incrementar los factores de Disponibilidad a 84% , Eficiencia a 88%, Calidad a 98% y finalmente un valor promedio de OEE de 73%.

Fase controlar

Para esta etapa se implementó de manera documental los siguientes registros y procedimientos con el fin de mantener las mejoras.

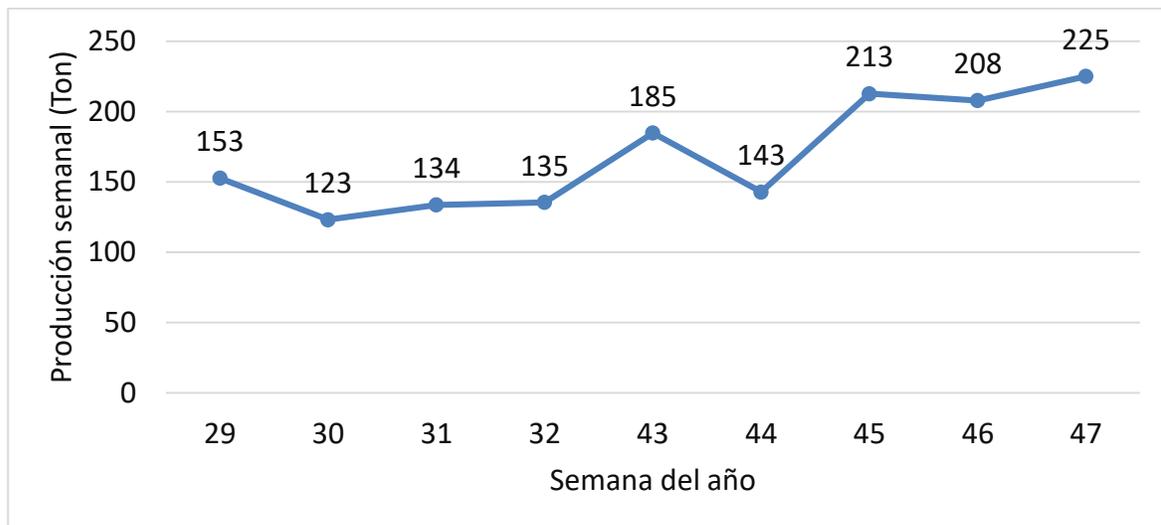
- Procedimiento operativo estándar de cambios de formato y producto, el mismo detalla las actividades a ejecutarse al realizar de acuerdo con el tipo de cambio de igual manera la cantidad de personas necesarias para la actividad.
- Check list de herramientas, el cual permite verificar la entrega de herramientas al cambiar el turno, con el fin de evitar la pérdida de estas o se confundan con las herramientas de las demás maquinarias

- Check list de responsables, donde se evidencia los responsables de cada actividad y su respectivo respaldo, al existir rotación del personal esto es importante para no tener problemas al realizar los cambios y se quede una posición vacía o actividad sin ejecutar
- Se realizó una propuesta de nueva plantilla para cálculo y registro de OEE respecto a la utilizada por la organización de manera que la misma sea más dinámica y fácil para su registro por parte del personal operativo, la misma se encuentra en revisión y aprobación por parte del departamento de operaciones.

Análisis costo-beneficio

Se evidenció que en el factor de disponibilidad existe un incremento de tiempo disponible de 40 minutos por día debido a las mejoras en la coordinación, orden de la producción y de la participación conjunta del área previa. Por esta razón, se redujo el tiempo que se consideraba como *Sin Programa*. También se demostró que los cambios rápidos implementados con SMED disminuyeron tiempos de cambio de formato, cambios de lámina base y tapa, así como los cambios de producto, lo que generó un aumento de minutos disponibles para la producción de 80 al día. En conjunto las mejoras agregaron alrededor de 120 minutos diarios productivos al proceso de empaque.

Esto disminuyó las horas extras del personal y permitió aumentar la productividad en toneladas producidas desde que se implementaron las mejoras descritas en el Gráfico 11. Junto con el aumento de productividad causado por el aumento de tiempo disponible productivo se enlazó la reducción de pago de horas extras para proyectar el ahorro en 6 meses de producción. Este monto asciende a \$25 000 mensuales en promedio y en los seis meses ascendería entre \$80 000 a \$150 000.

Gráfico 11 Incremento de producción en toneladas producidos por semana

Elaborado por: Ayala & Salas, 2019

Análisis de la inversión realizada

Para el cálculo de la inversión se consideró el tiempo del personal de planta que asistió a la capacitación y que por lo tanto pararon sus actividades laborales. Además, se estableció una base económica por préstamo, lavado de la indumentaria y equipo de protección personal. Adicional, se analizaron gastos de logística invertidos en recolección y análisis de información en las instalaciones de la planta. Esta inversión asciende a \$8 268 como se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 20 Inversión para el proyecto.

Rubro	Valor (\$)
Mano de obra del personal operativo.	100
Indumentaria y equipo de protección.	1 680
Herramientas y estantería.	1 668
Logística.	4 820
Inversión total.	8 268

Elaborado por: Ayala & Salas, 2019

CONCLUSIONES

Para el presente trabajo se siguió la metodología DMAIC de la filosofía Lean Manufacturing Six Sigma. Para cada etapa de la metodología se definieron objetivos cumplidos a cabalidad mediante diferentes actividades ejecutadas.

Se definió el problema y se estableció la línea base del proceso en el área de empaque de la Planta Sangolquí manufacturera de derivados cárnicos. Se cuantificó un valor medio del indicador OEE de 61% en la termoformadora VC999 #1.

A partir de la información obtenida en la fase medir, se analizaron las principales causas que afectan al OEE y de forma conjunta con el personal del área como operarios, supervisores de producción, jefe de producción y personal de mantenimiento se definieron las propuestas a implementar.

Se implementó satisfactoriamente SMED mediante un evento Kaizen junto con el grupo piloto perteneciente a la máquina VC999 #1, reduciendo tiempos de cambio de 30 a 15 minutos. Además, se realizaron mejoras en la disponibilidad de herramientas y utensilios para el personal, así como también la adquisición de un juego de herramientas que complemente los requerimientos de cambios de formato.

Se aumentó el tiempo disponible productivo gracias a una mejor organización de la producción y colaboración de áreas previas y otros departamentos. Se impactó positivamente a los factores de disponibilidad al reducir el tiempo de sin programa y al factor de eficiencia al reducir el tiempo destinado a los diferentes cambios de producto, empaque y formato, obteniéndose un incremento de OEE de 61% a 73%. Este nuevo valor se puede incrementar el ranking dentro de la

comparación con otras plantas sigmas y subir de posición dentro de los KPIs en al menos 4 posiciones.

Se realizó una proyección de ahorro a 6 meses de producción con las mejoras implementadas en el área de empaque, las cuales demuestran un ahorro de entre \$80.000 y \$150.000 de dólares por la reducción de horas extras junto con el aumento de kilos posibles de producción.

Se calculó la inversión de adquisición de herramientas y estanterías. Se consideró el tiempo de capacitación del personal, logística y movilización, la indumentaria y equipo de protección personal de las autoras del proyecto. De esta forma se estableció la inversión del proyecto en \$8 268.

Se incrementó el indicador de la eficiencia general de los equipos gracias a la aplicación exitosa y correcta de cada etapa de la metodología DMAIC.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda continuar con la implementación SMED en las demás máquinas termoformadoras, juntamente con todo el personal del área de empaque de ambos turnos y así generar un impacto positivo en la posición de los KPIs en la comparación con otras plantas del consorcio, permitiendo que la planta esté en los 3 primeros lugares.
- Evaluar la planificación enfocada al cliente final, y consolidar los productos de manera que se incrementen los tamaños de lote, así como evaluar la factibilidad de la reducción de cartera de productos que generan gasto y no rentabilidad.
- Se sugiere capacitación constante a todo el personal, es primordial su entrenamiento una vez que ingresan a trabajar en el área. Sin embargo, se debe reentrenar al personal en sus actividades considerando las cuales de las que son respaldo de otros operarios y brindar flexibilidad a la estructura del área cuando por cualquier motivo el personal se encuentre ausente. La capacitación de forma continua ayudará a comprometer y empoderar al personal sobre las oportunidades de mejora.
- Eliminar reprocesos y desperdicios en todas las áreas en el proceso de fabricación desde la recepción de materia prima hasta el despacho de producto terminado. Evitar desperdicio de producto y actividades, retrasos, demoras e incremento de horas extras del personal, actividades que se traducen en pérdidas monetarias importantes.
- Considerar tiempos de ciclos en áreas anteriores y tiempo medio entre fallas de equipos para tener una planificación en todas las áreas más acertada y precisa.

- Enlazar el presente proyecto con las etapas iniciales de TPM y finalmente continuar con el estudio de incremento del OEE y demás indicadores estratégicos importantes para la organización.

LIMITACIONES

Respecto a las limitaciones encontradas a lo largo del desarrollo del estudio se puede destacar la planificación de actividades en el área de producción. Con el fin de llevar a cabo los objetivos se planificaron diferentes actividades junto con el personal de la máquina termoformadora VC999 # 1. Sin embargo, en algunas ocasiones debieron ser pospuestas o eliminadas debido a órdenes de producción de último minuto. A la par los supervisores de producción siempre priorizaron el tiempo de producción al tiempo de capacitación. Esto finalmente disminuyó el tiempo necesario para el desarrollo de actividades requeridas durante la implementación junto con el personal operativo

La falta de comunicación efectiva en cascada o jerarquizada entre la jefatura, supervisores y operadores de producción se evidenció durante el desarrollo del presente proyecto. Los diferentes turnos y los cambios de personal agudizaron el problema. Usualmente los supervisores no estaban al tanto entre ellos de las disposiciones o solicitudes generadas.

A partir del mes de septiembre se trabajó en el área de empaque con un tercer turno debido a una falla en una máquina rebanadora, por lo que se dispuso a la mitad del personal en un tercer turno. Esto afectó la disponibilidad del personal para las capacitaciones. La rotación del personal provocó que se inicie nuevamente la capacitación con el personal recién integrado al equipo VC999 N°1. Las actividades y funciones debieron ser reasignadas.

La temporada de implementación del proyecto y medición de las mejoras coincidió con el un proyecto anterior de unificación de plantas y con la temporada de mayor producción del año. El incremento de la cartera de productos se dio de manera que cada semana ingrese paulatinamente un producto. Sin embargo, se evidenció una disminución del tiempo para las

capacitaciones con el personal y la flexibilidad de trabajar con el personal de las otras termoformadoras.

Sin embargo, gracias a la colaboración y compromiso del personal operativo se logró llevar a cabo las actividades programadas y cumplir a con los objetivos propuestos.

LECCIONES APRENDIDAS

- Se comprendió que la coordinación previa de actividades e introducción adecuada de la metodología a todo el personal relacionado con el área de empaque es vital al iniciar un proyecto de aplicación ya que al no conocer se generó un poco de resistencia y confusión por parte del personal al iniciar las actividades.
- Se aprendió a mejorar la comunicación efectiva de manera constantemente en especial con los supervisores del área y empoderar de manera que puedan aportar de una manera más adecuada y multiplicar los resultados o beneficios obtenidos.
- Se entendió que al seleccionar el grupo piloto se debe solicitar que en el equipo no haya rotación del personal del grupo piloto durante el desarrollo del proyecto. Para evitar retrabajo en las capacitaciones, reasignación de actividades y responsabilidades.
- El trabajo con un equipo multidisciplinario con diferentes aptitudes y habilidades se debe llevar de una manera acertada para que no se generen retrasos o resultados inesperados, empoderando al mismo para su total colaboración. Conforme se desarrolló el proyecto se valoró lo primordial que es el analizar y utilizar estrategias que faciliten la colaboración, compromiso y apoyo de los líderes de producción y mantenimiento al ser los principales beneficiarios del proyecto.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Anup, A. A., & Shende, P. N. (2011). Minimization of rework in belt industry using Dmaic. *International Journal of Applied Research in Mechanical Engineering*, 1(1), 54.
- Aval. (2018). *Información financiera SIGMA*. Quito: <https://www.aval.ec/nosotros/>.
- Badhury, B. (2000). Management of Productivity Through TPM. *41(2)*, 240-251.
- Bizerba. (2019). Maquina Rebanadora Bizerba 550. *Bizerba Iberia Espana*, 1. Obtenido de https://www.bizerba.com/es_es/productos/cortadoras/cortadoras-industriales/a550/a550.html
- Brue, G. (2002). *Six Sigma for Managers*. New York: Mac Graw Hill.
- CFN. (2017). *Sector manufacturero, alimentos , preparados y bebidas*. Quito: Corporacion Financiera Nacional.
- EMIS. (2019). *Fabrica Juris Cia Ltda*. Quito: EMIS Business Report.
- Humberto, P. (2010). *Calidad Total y Productiva*. México D.F: Días Dos Santos.
- INEC. (2017). *Encuesta estructural empresarial ENESEM*. Quito: INEC.
- INEN Norma técnica Ecuatoriana . (30 de 09 de 2011). Rotulado de Productos Alimenticios para Consumo Humano. *Norma técnica Ecuatoriana*. Quito, Ecuador: Instituto Ecuatoriano de Normalización .
- Juran, J., & Gryna, F. (1995). *Análisis y Planeación de la Calidaad*. México D.F: Mc Graw Hill.
- Lanza , G., Stoll, J., Stricker , N., Peters, S., & Lorenz, C. (2013). Measuring Global production effectiveness. *Procedia CIRP* , 31-36.
- Mainea , M. (2006). *Quality management. Design, implementation and development of the quality system in industrial enterprises*. PhD Thesis, Polytechnic University of Bucharest.
- Muchiri, P., & Pintelon, L. (2008). Performance Measurement using Overall Equipment Effectiveness: Literature Review and Practical Application Discussion. *International Journal of Production*, 46(13), 3517-3535.
- Nachiappan, R. M., & Anantharaman, N. (2006). Evaluation of overral line effectiveness (OLE) in a continuous product line manufacturing system. *Journal of manufacturing Technology*.
- Registro Oficial, 6. (2002). Reglamento de Buenas Prácticas para Alimentos Procesados. *Decreto Ejecutivo 3253* (págs. 1-26). Quito: Ecuador.
- Sigma Ecuador . (2019). *Reporte de pedidos de segundo trimestre 2019*. Quito: Sigma Ecuador
- Sigma Ecuador . (2019). *Reporte de pedidos de tercer trimestre 2019*. Quito: Sigma Ecuador
- Sigma Ecuador . (2019). *Reporte de producción de segundo trimestre 2019*. Quito: Sigma Ecuador
- Sigma Ecuador . (2019). *Reporte de producción de tercer trimestre 2019*. Quito: Sigma Ecuador
- Sigma Ecuador . (2019). *Reporte de OEE de segundo trimestre 2019*. Quito: Sigma Ecuador
- Sigma Ecuador . (2019). *Reporte de OEE de tercer trimestre 2019*. Quito: Sigma Ecuador

- Sigma Ecuador . (2019). *Reporte de MOR de segundo trimestre 2019*. Quito: Sigma Ecuador
- Sigma Ecuador . (2019). *Reporte de MOR de tercer trimestre 2019*. Quito: Sigma Ecuador
- Socconini, L. (2014). *Certificacion Lean Six Sigma Yellow Belt para la excelencia en los negocios* (Primera ed.). Barcelona: ICG Marge SL.
- Socconini, L. (2015). *Certificacion Lean Six Sigma Green Belt para la excelencia en los negocios*. Barcelona: ICG Marge SL.
- Terán, P., & Alvarado, A. (2016). Mejoramiento de la competitividad en empresas PYMES del Ecuador aplicando Lean Six Sigma: Caso de Estudio. *Gaceta Sansana*, 5-18.
- VC999 Packaging System. (2019). La Termoformadora Compacta Perfecta S. Kansas: VC 999.
- Virmani, V., & Zuo , M. j. (1998). Scheduling a Meat Packing Production line with simulation. *International Journal of Modelling and Simulation*, 54-59.
- Wang, H. (2008). A review of six sigma approach: methodology, Implementation and future research. *Zhejiang Normal University*, 2.
- Webber, G. L. (2019). Rebanadora 405. *Weber Group Latina S.A. de C.V.*, 5.
- Andersson, C., & Bellgran, M. (2015). On the complexity of using performance measures: Enhancing sustained production improvement capability by combining OEE and productivity. *Journal of Manufacturing Systems*, 35, 144–154. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2014.12.003>
- Bocanegra-herrera, C. C. (2017). *Modelo metodológico de*. (83), 51–71.
- Hassani, L., & Hashemzadeh, G. (2015). The impact of overall equipment effectiveness on production losses in Moghan Cable & Wire manufacturing. *International Journal for Quality Research*, 9(4), 565–576.
- He, F., Shen, K., Lu, L., & Tong, Y. (2018). Model for improvement of overall equipment effectiveness of beerfilling lines. *Advances in Mechanical Engineering*, 10(8). <https://doi.org/10.1177/1687814018789247>
- Hedman, R., Subramaniyan, M., & Almström, P. (2016). Analysis of Critical Factors for Automatic Measurement of OEE. *Procedia CIRP*, 57, 128–133. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.11.023>
- Jauregui Becker, J. M., Borst, J., & Van Der Veen, A. (2015). Improving the overall equipment effectiveness in high-mix-low-volume manufacturing environments. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 64(1), 419–422. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2015.04.126>
- Kumar Sharma, R., & Gopal Sharma, R. (2014). Integrating six sigma culture and TPM framework to improve manufacturing performance in SMEs. *Quality and Reliability Engineering International*, 30(5), 745–765. <https://doi.org/10.1002/qre.1525>
- Nallusamy, S. (2016). Enhancement of Productivity and Efficiency of CNC Machines in a Small Scale Industry Using Total Productive Maintenance. *International Journal of Engineering Research in Africa*, 25, 119–126. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/jera.25.119>
- Nallusamy, S., Kumar, V., Yadav, V., Kumar Prasad, U., & Suman, S. K. (2018). *Implementation of Total Productive Maintenance to Enhance the Overall Equipment Effectiveness in Medium Scale Industries*. Retrieved from www.tjprc.orNallusamy, S., & Majumdar, G. (2017).

- Enhancement of overall equipment effectiveness using total productive maintenance in a manufacturing industry. *International Journal of Performability Engineering*, 13(2), 1–16.
- Puvanasvaran, P., Teoh, Y. S., & Tay, C. C. (2013). Consideration of demand rate in Overall Equipment Effectiveness (OEE) on equipment with constant process time. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 6(2), 507–524. <https://doi.org/10.3926/jiem.537>
- Rimawan, E., Kholil, M., & Hendri, H. (2018). Measurement value analysis overall equipment effectiveness (OEE) packaging process in line 2 (Case Study of PT. MBI Tbk). *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 343(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/343/1/012021>
- Sonmez, V., Testik, M. C., & Testik, O. M. (2018). Overall equipment effectiveness when production speeds and stoppage durations are uncertain. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 95(1–4), 121–130. <https://doi.org/10.1007/s00170-017-1170-8>
- Tang, H. (2019). A new method of bottleneck analysis for manufacturing systems. *Manufacturing Letters*, 19, 21–24. <https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2019.01.003>

ANEXOS

Anexo 1 Formulario de Registro de tiempos para cálculo de OEE

	Planta Sangolquí	N° hoja:
	Formulario de registro de tiempos	Versión 01
	OEE	

Fecha:		Turno:				
Nombre:		Máquina:				
Producto:		Unidades por Gavetas:				
Formato:		# de Gavetas:				
Presentación:		Ciclos /min:				
Hora inicio	Hora fin	Duración (min)	Actividad	N° Paquetes		
				Vacios	Falta de sellado	Rotos

Elaborado por: Ayala & Salas, 2019.

Anexo 2 Carta de Definición de Proyectos Lean Six Sigma

CARTA DE DEFINICIÓN DE PROYECTOS LEAN SIX SIGMA

Nombre del iniciador: Monica Salas

PROYECTO # OEE 001

Fecha inicio 01/07/2019

Fecha: 01/07/2019

Fecha

esperada fin 25/11/2019

Documento # 1

Fecha real fin

1. CASO DE NEGOCIO

Como compañía, la eficiencia general de los equipos OEE para el área de Empaque no está cumpliendo la meta de 75% proyectada para este año, esto está causando problemas de retrasos en los tiempos de entrega a bodega y despacho los cuales cuestan alrededor de 189120 dólares por año.

2. PROPÓSITO (CTQ's a mejorar)

CTQ'S	Línea base
Tiempo de entrega a despacho de producto empacado OEE	60%

3. OBJETIVOS DEL PROYECTO

CTQ'S	Línea base	Objetivo	Ahorro
OEE	60%	70 - 75%	94,560.00

4. ALCANCE

Proceso de empaque de producto final de la máquina de mayor producción.

5. ROLES Y RESPONSABILIDADES

	Nombre	e-mail	Teléfono/Movil
Campeón:	Carlos Cruz	cacruz@sigma-alimentos.com	
Patrocinadores:	Julio Mijares	jmijares@sigma-alimentos.com	
Líder:	Mónica Salas	msalas@sigma-alimentos.com	0986177288
Miembros del equipo:	Jorge Salas	jorsalas@sigma-alimentos.com	
	Luis Llumitasig	llumitasig@sigma-alimentos.com	
	Jonny Barreno	jbarreno@sigma-alimentos.com	
	Luis Acosta	lmacosta@sigma-alimentos.com	
	Sandra Ayala	sayalav@stud.usfq.edu.ec	0995074491

6. RECURSOS

Acceso a la base de datos de perdidas por calidad desde enero hasta actualidad
 Acceso a la base de datos de registro de OEE desde enero hasta actualidad
 Acceso a la base de datos de la demanda del producto desde enero hasta la actualidad
 Acceso a la base de datos de la planificación de producción del producto desde enero hasta actualidad
 Acceso al área de empaque para la toma de datos e implementación de mejoras
 Implementación y uniformes correspondientes al área de empaque, transporte y alimentación.

7 METRICOS

No	Métrico	Actual	Objetivo
1	OEE de Termoformadora VC9!	60%	70 a 75%

Elaborado por:

Sandra Ayala

Aprobado por:

Carlos Cruz

Fecha:

01/07/2019

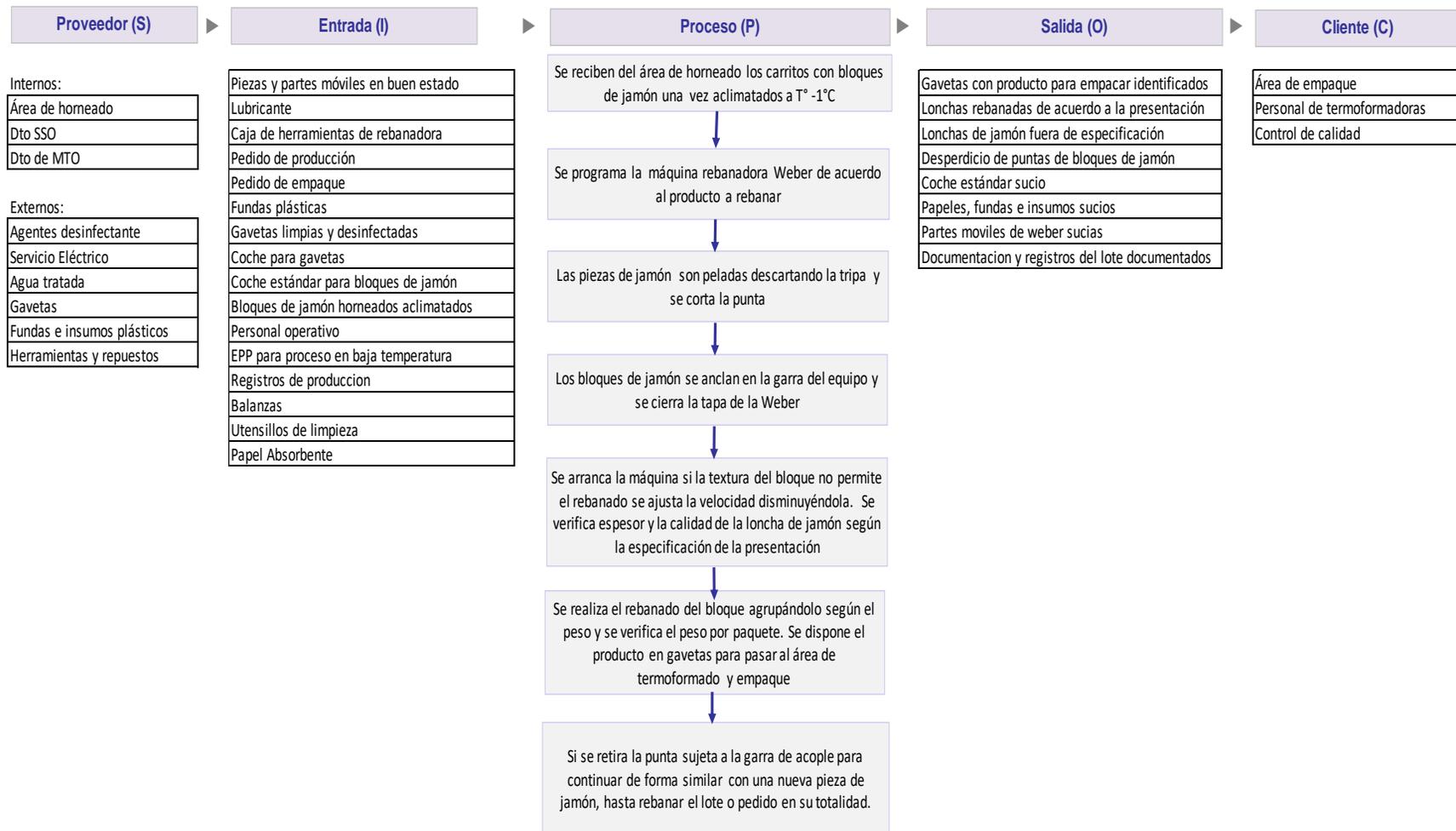
Fecha:

01/07/2019

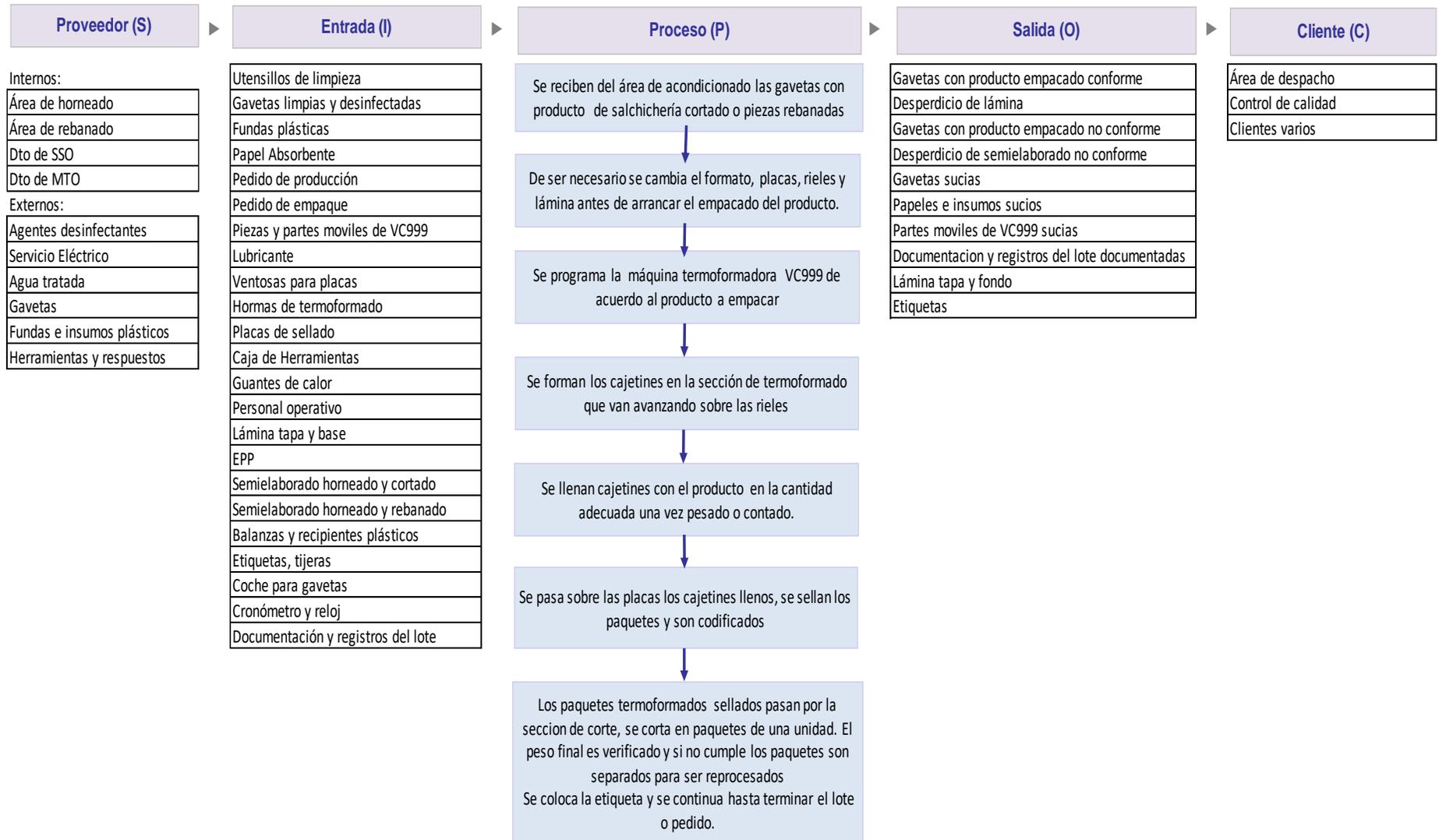
Firma:

Firma:

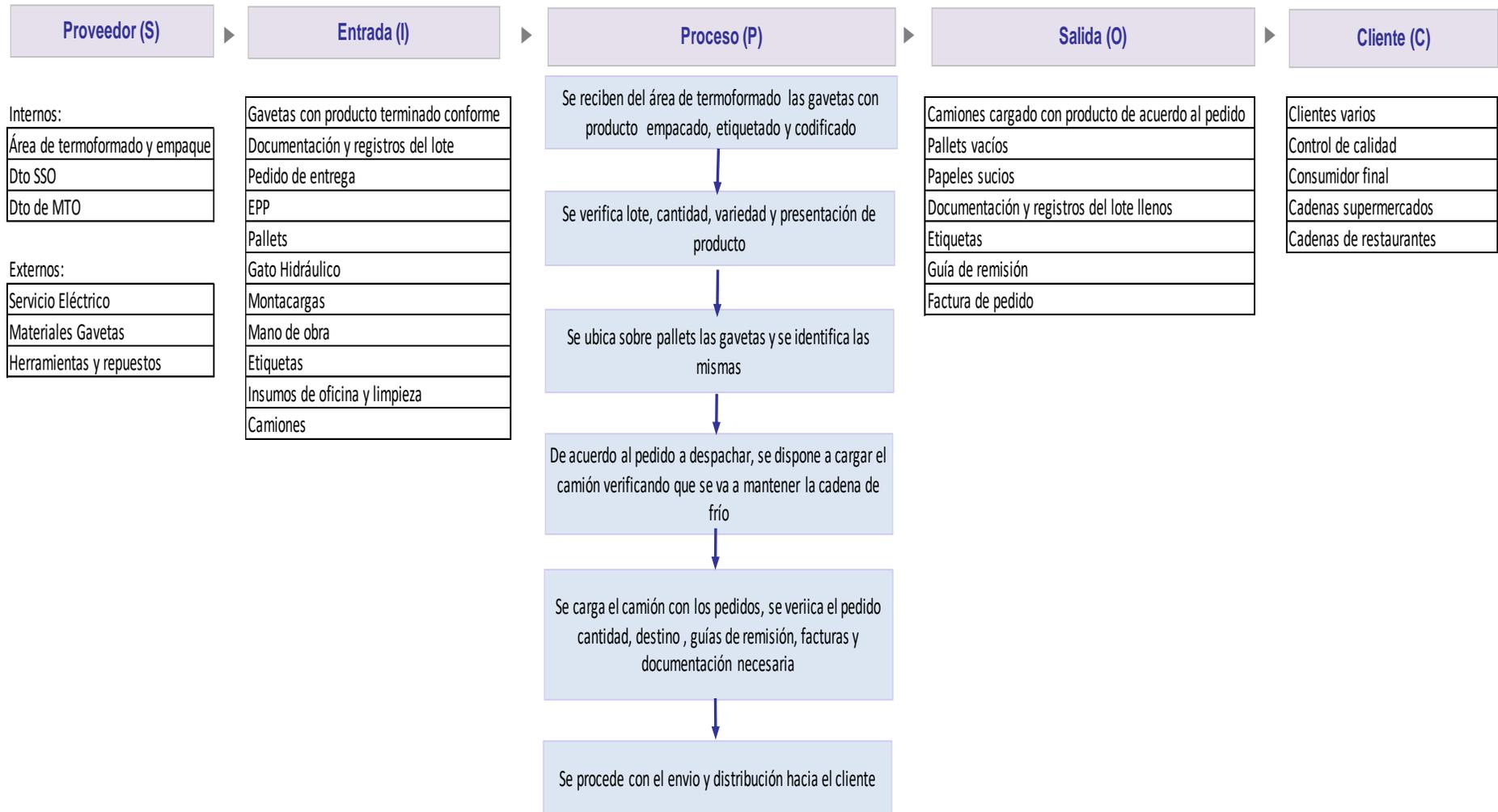
Anexo 3 Diagrama SIPOC área de rebanado



Anexo 4. Diagrama SIPOC del Área de termoformado y empaque

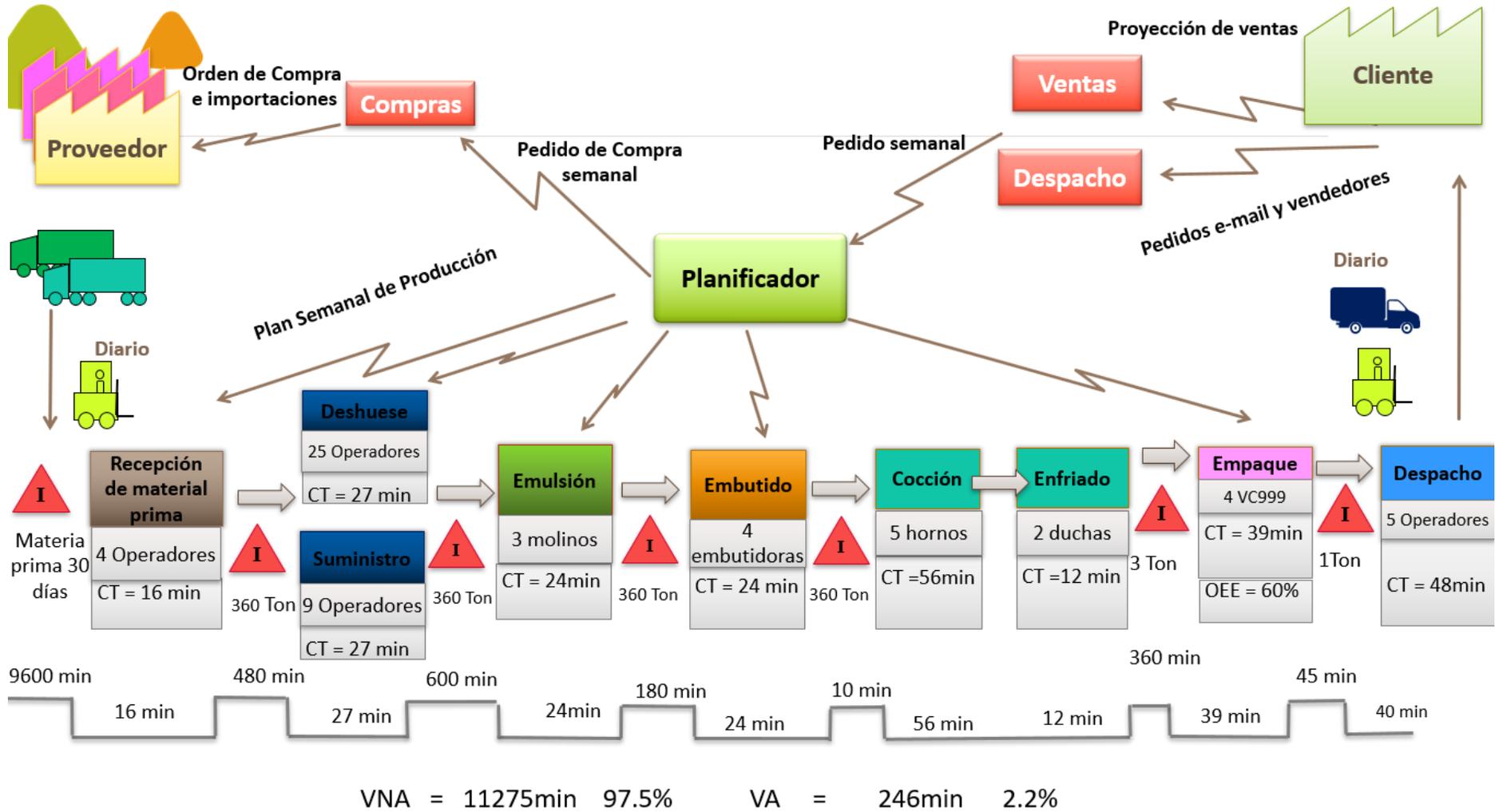


Anexo 5 Diagrama SIPOC del Área de despacho



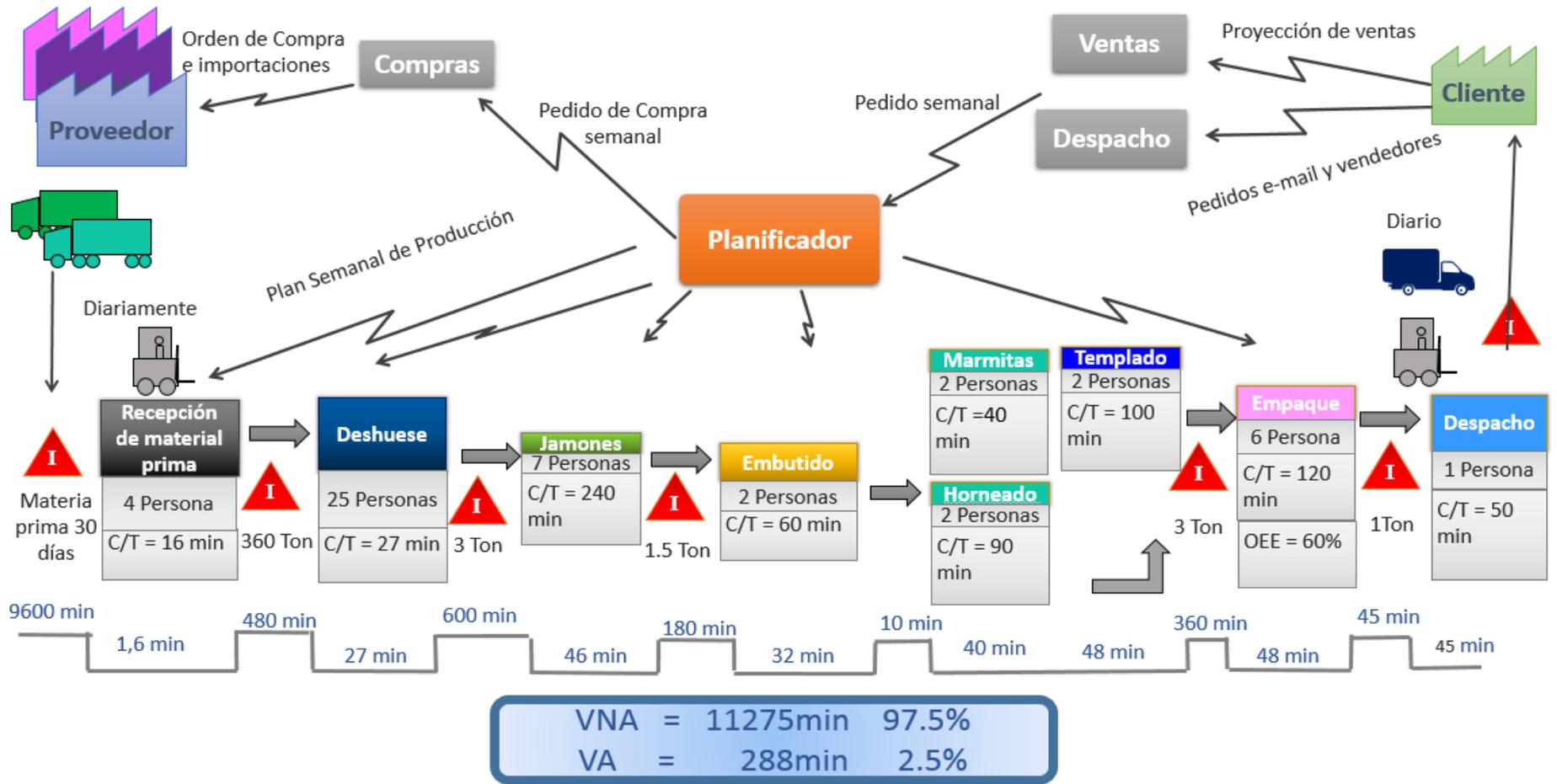
Elaborado por: Ayala & Salas, 2019

Anexo 6 Mapa de cadena de valor de familia de salchichería

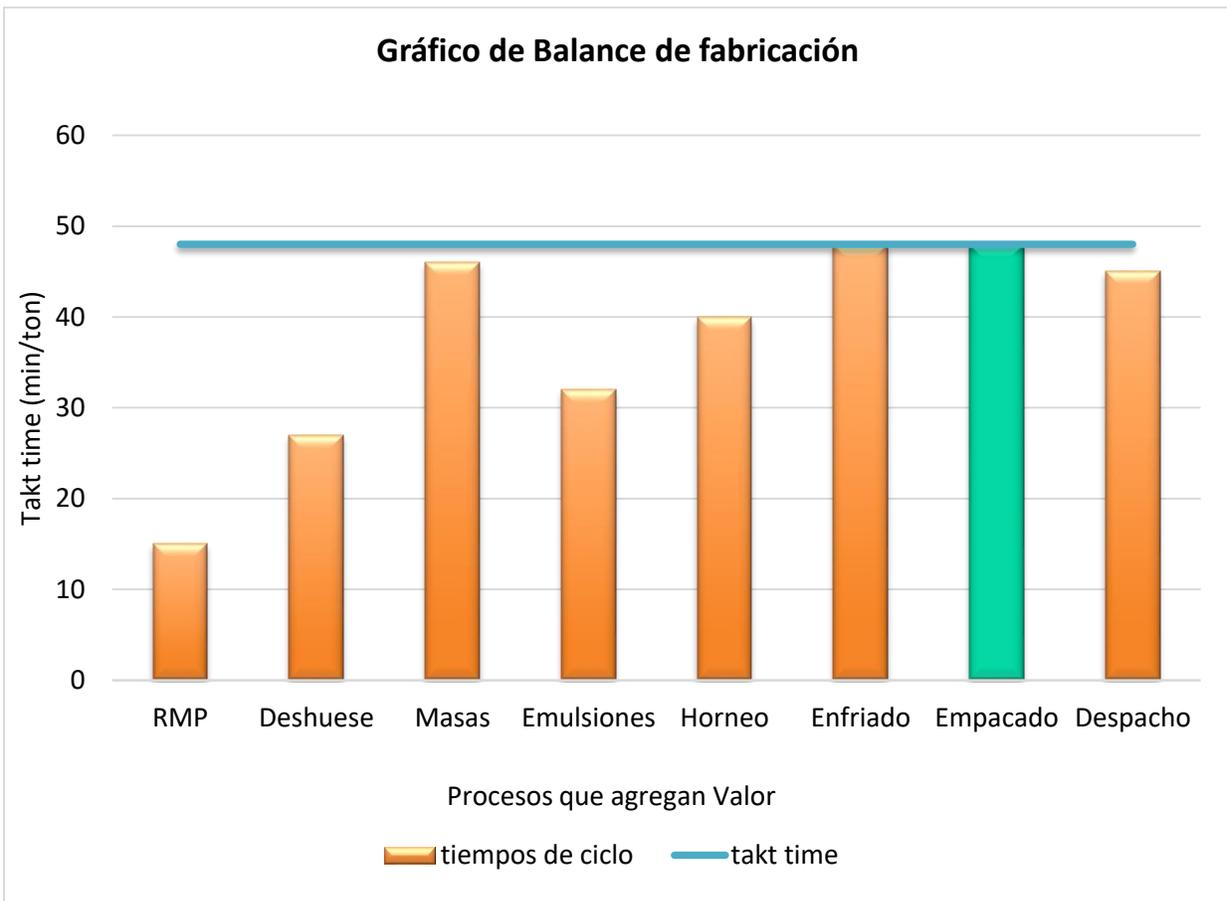


Elaborado por: Ayala & Salas, 2019

Anexo 7 Mapa de cadena de valor de familia de rebanados



Elaborado por: Ayala & Salas, 2019

Anexo 8 Diagrama de Balance

Elaborado por: Ayala & Salas, 2019

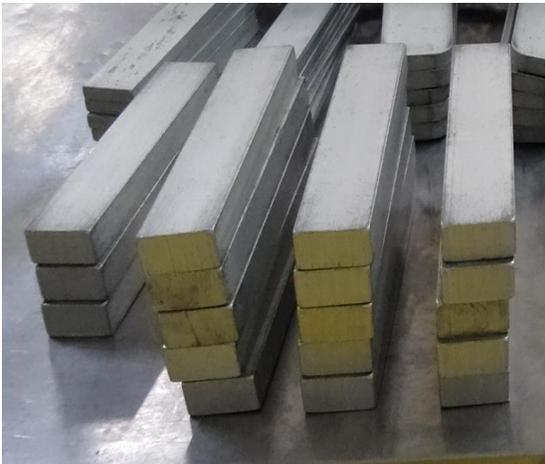
Anexo 9 Ejemplos de Hormas, formatos y alzas



Horma de formado (formar cajetines con lámina base)



Placas de sellado (sellar paquetes lámina base + lámina tapa)



Alzas de formado de aluminio (formar cajetines de diferentes profundidades, 3 diferentes espesores)



Alzas de sellado de teflón (sellar cajetines de diferentes profundidades, 3 diferentes espesores)

Elaborado por: Ayala & Salas, 2019

Anexo 10 OEE evaluado por día Datos A

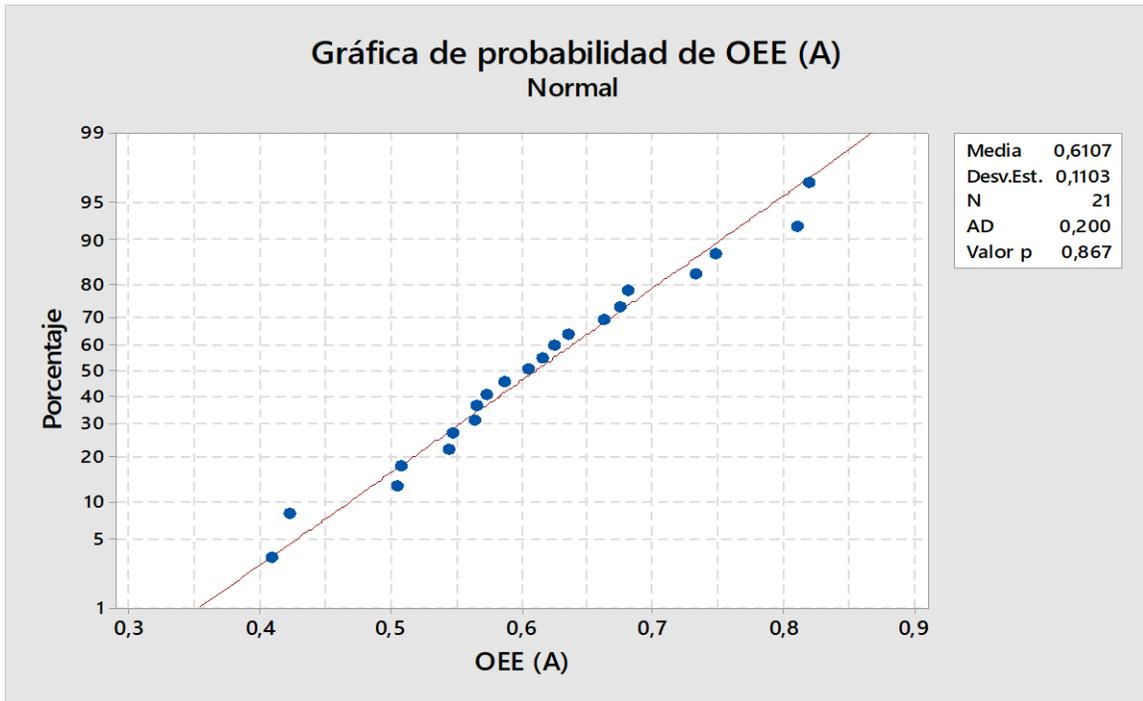
FECHA	DISPONIBILIDAD (A)	EFICIENCIA (A)	CALIDAD (A)	OEE (A)
16/07/2019	0,825	0,843	0,952	0,662
17/07/2019	0,756	0,918	0,981	0,681
18/07/2019	0,660	0,862	0,991	0,564
19/07/2019	0,876	0,940	0,984	0,810
22/07/2019	0,761	0,870	0,958	0,635
23/07/2019	0,854	0,897	0,977	0,748
24/07/2019	0,869	0,958	0,985	0,819
25/07/2019	0,722	0,812	0,964	0,565
29/07/2019	0,771	0,893	0,893	0,615
30/07/2019	0,749	0,806	0,835	0,504
31/07/2019	0,788	0,876	0,976	0,674
01/08/2019	0,647	0,981	0,985	0,625
05/08/2019	0,726	0,855	0,974	0,605
06/08/2019	0,590	0,741	0,965	0,422
07/08/2019	0,609	0,685	0,977	0,408
08/08/2019	0,705	0,842	0,987	0,586
12/08/2019	0,734	0,766	0,972	0,546
13/08/2019	0,744	0,756	0,966	0,544
14/08/2019	0,728	0,807	0,975	0,573
15/08/2019	0,793	0,936	0,987	0,733
16/08/2019	0,670	0,785	0,963	0,507
PROMEDIO	0,742	0,849	0,964	0,611
MEDIANA	0,744	0,855	0,975	0,605
MAXIMO	0,876	0,981	0,991	0,819
MINIMO	0,590	0,685	0,835	0,408
VARIANZA	0,006	0,006	0,001	0,012
DESVIACION	0,079	0,077	0,036	0,110

Anexo 11 OEE registrado por Planta Sangolquí Datos B

FECHA	DISPONIBILIDAD (B)	EFICIENCIA(B)	CALIDAD (B)	OEE (B)
16/07/2019	0,825	0,843	0,898	0,620
17/07/2019	0,856	0,910	0,946	0,740
18/07/2019	0,869	0,591	0,955	0,490
19/07/2019	0,840	0,940	0,969	0,770
22/07/2019	0,893	0,836	0,956	0,710
23/07/2019	0,854	0,896	0,917	0,700
24/07/2019	0,924	0,928	0,983	0,840
25/07/2019	0,922	0,811	0,961	0,719
29/07/2019	0,871	0,883	0,962	0,741
30/07/2019	0,849	0,806	0,954	0,653
31/07/2019	0,888	0,876	0,963	0,749
01/08/2019	0,802	0,850	0,951	0,648
05/08/2019	0,871	0,911	0,977	0,775
06/08/2019	0,755	0,864	0,967	0,631
07/08/2019	0,809	0,823	0,965	0,642
08/08/2019	0,804	0,903	0,984	0,714
12/08/2019	0,913	0,900	0,977	0,802
13/08/2019	0,791	0,717	0,967	0,549
14/08/2019	0,769	0,854	0,980	0,643
15/08/2019	0,919	0,988	0,987	0,896
16/08/2019	0,866	0,875	0,967	0,733
PROMEDIO	0,856	0,875	0,965	0,714
MEDIANA	0,852	0,857	0,961	0,703
MAXIMO	0,924	0,988	0,987	0,896
MINIMO	0,755	0,591	0,898	0,490
VARIANZA	0,050	0,083	0,021	0,094
DESVIACION	0,003	0,007	0,000	0,009

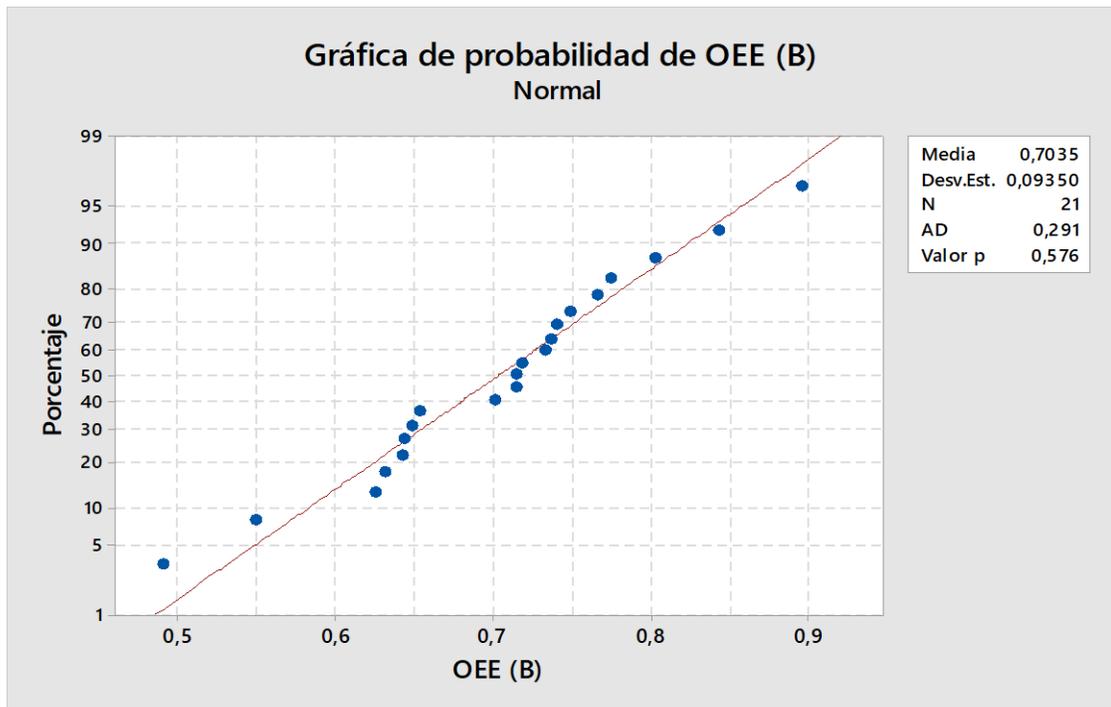
Elaborado por: Ayala & Salas, 2019

Anexo 12 Prueba de normalidad de datos obtenidos de OEE (A)



Elaborado por: Ayala & Salas, 2019

Anexo 13 Prueba de normalidad de datos registrados de OEE por Planta Sangolquí (B)



Elaborado por: Ayala & Salas, 2019

Anexo 14 Evento Kaizen



Reunión con personal directivo y operativo



Socialización de metodología SMED



Identificación de actividades



Separar actividades internas de externas

Elaborado por: Ayala & Salas, 2019.

Anexo 15 Actividades internas y externas identificadas al iniciar la implementación

N	ACTIVIDADES	INTERNA	EXTERNA	RESPONSABLE
1	Desatornillar y alzar la placa de estación de formado	x		Operador de la máquina
2	Desatornillar y alzar la placa de estación de sellado	x		Operador de la máquina
3	Traer alzas	x		Operador de la máquina
4	Traer placas (formato)	x		Operador de la máquina
5	Alistar herramientas	x		Operador de la máquina
6	Sacar la lámina tapa	x		Operador de la máquina
7	Medir la lámina diámetro inicial	x		Operador de la máquina
8	Medir la lámina diámetro final	x		Operador de la máquina
9	Traer lámina	x		Operador de la máquina
10	Colocar lámina tapa	x		Operador de la máquina
11	Ajustar lámina base con la tapa	x		Operador de la máquina
12	Unir lámina tapa con lámina base	x		Operador de la máquina
13	Ajustar lámina	x		Operador de la máquina
14	Cuadrar cuchillas para el formato que se va a empacar	x		Operador de la máquina
15	Cambio de las alzas para formar el cajetín	x		Operador de la máquina
16	Sacar alzas termoformado	x		Operador de la máquina
17	Poner alzas termoformado	x		Operador de la máquina
18	Sacar alzas sellado	x		Operador de la máquina
19	Poner alzas sellado	x		Operador de la máquina
20	Sacar placa de formato termoformadora	x		Operador de la máquina
21	Poner placa de formato termoformadora	x		Operador de la máquina
22	Sacar placa de formato selladora	x		Operador de la máquina
23	Poner placa de formato selladora	x		Operador de la máquina
24	Programar la VC99	x		Operador de la máquina
25	Ingresar fecha y lote codificadora	x		Operador de la máquina
26	Traer etiquetas		x	Operador 2
27	Traer gavetas vacías		x	Operador 3,4,5
28	Traer fundas para la basura		x	Operador 6
29	Limpieza del área		x	Operador 7
30	Pelar y cortar reprocesos		x	Operador 3,4,5
31	Pesar reproceso		x	Operador 3,4,5
32	Registrar tiempo	x		Operador de la máquina
33	Registrar número de paquetes malos	x		Operador de la máquina
34	Lavado de manos		x	Todos
35	Enfriar placas	x		Operador de la máquina
36	Calentar placas	x		Operador de la máquina
37	Ajustes varios	x		Operador de la máquina

Elaborado por: Ayala & Salas, 2019.

Anexo 16 Actividades internas y externas identificadas tras la implementación de SMED

#	ACTIVIDADES	INTERNA	EXTERNA	RESPONSABLE
1	Desatornillar y alzar la placa de estación de formado	x		Operador 2
2	Desatornillar y alzar la placa de estación de sellado	x		Operador de la máquina
3	Traer alzas		x	Operador 3, 4
4	Traer placas (formato)		x	Operador 3, 4
5	Alistar herramientas		x	Operador 5
6	Sacar la lámina tapa	x		Operador de la máquina
7	Medir la lámina diámetro inicial		x	Operador 2
8	Medir la lámina diámetro final	x		Operador de la máquina
9	Traer lámina		x	Operador 6
10	Colocar lámina tapa	x		Operador de la máquina
11	<i>Ajustar lámina base con la tapa</i>	x		Operador de la máquina
12	Unir lámina tapa con lámina base	x		Operador 2
13	Ajustar lámina		x	Operador 7
14	Cuadrar cuchillas para el formato que se va a empacar	x		Operador de la máquina
15	Cambio de las alzas para formar el cajetín	x		Operador 3, 4
16	Sacar alzas termoformado	x		Operador 3, 4
17	Poner alzas termoformado	x		Operador 3, 4
18	Sacar alzas sellado	x		Operador de la máquina
19	Poner alzas sellado	x		Operador 2
20	Sacar placa de formato termoformadora	x		Operador 3, 4
21	Poner placa de formato termoformadora	x		Operador 3, 4
22	Sacar placa de formato selladora	x		Operador de la máquina
23	Poner placa de formato selladora	x		Operador 2
24	Programar la VC99	x		Operador de la máquina
25	Ingresar fecha y lote codificadora		x	Operador 6
26	Traer etiquetas		x	Operador 2
27	Traer gavetas vacías		x	Operador 7,8,9
28	Traer fundas para la basura		x	Operador 6
29	Limpieza del área		x	Operador 7
30	Pelar y cortar reprocesos		x	Operador 7,8,9
31	Pesar reproceso		x	Operador 7,8,9
32	Registrar tiempo		x	Operador de la máquina
33	Registrar número de paquetes malos		x	Operador 2
34	Lavado de manos		x	Todos
35	Enfriar placas	x		Operador 3, 4
36	Calentar placas	x		Operador 3, 4
37	Ajustes varios	x		Operador de la máquina

Elaborado por: Ayala & Salas, 2019.

Anexo 17 Inventario herramientas y materiales de máquinas termoformadoras



Conteo y clasificación de alzas de aluminio y teflón diferentes formatos y espesores



Conteo y clasificación placas y hormas diferentes formatos



Organización de placa y horma del mismo formato.



Conteo y clasificación de Herramientas usadas para cambio de placas y hormas

Elaborado por: Ayala & Salas, 2019

Anexo 18 Actividades desarrollada en evento KAIZEN

N° de reunión	Temas Tratados	Actividades realizadas durante la capacitación	Actividades realizas en piso
1	Introducción a la metodología Kaizen de cambiar para mejorar. Conceptos básicos	Presentación de conceptos claves y de la situación actual del área de trabajo. (Anexo 14)	Evaluación de procesos, actividades. Entrevistas con los involucrados
2	Introducción a SMED. Terminología.	Visualización de videos sobre cambios rápidos. Identificación de actividades internas y externas.	Medición cualitativa los procesos. Se encuentran definidos y estandarizados
3	Cambios dentro del área. Responsabilidades y actividades.	Juego de ordenar las actividades, de forma internas y externas.	Se separa en piso actividades internas externas bajo responsables.
4	Actividades del departamento de MTO Mantenimiento del equipo. Recomendaciones por parte del fabricante del equipo.	Actividades en conjunto con el área de mantenimiento. Deficiencia en equipos y herramientas. Evaluación de la ejecución de la implementación SMED	Junto con mantenimiento, se hacer el requerimiento de herramientas y diseño de estanterías. Corrección de actividades.
5	Actividades del departamento de mantenimiento Mantenimiento del equipo. Recomendaciones por parte del fabricante del equipo.	Evaluación de conocimientos, lección de un solo punto.	

Elaborado por: Ayala & Salas, 2019

Anexo 19 Cálculo de tamaño de muestra para la recolección de datos posteriores a las mejoras implementadas

$$n = \frac{(Z_{\alpha/2})^2 \sigma^2 N}{(Z_{\alpha/2})^2 \sigma^2 + E^2(N - 1)}$$

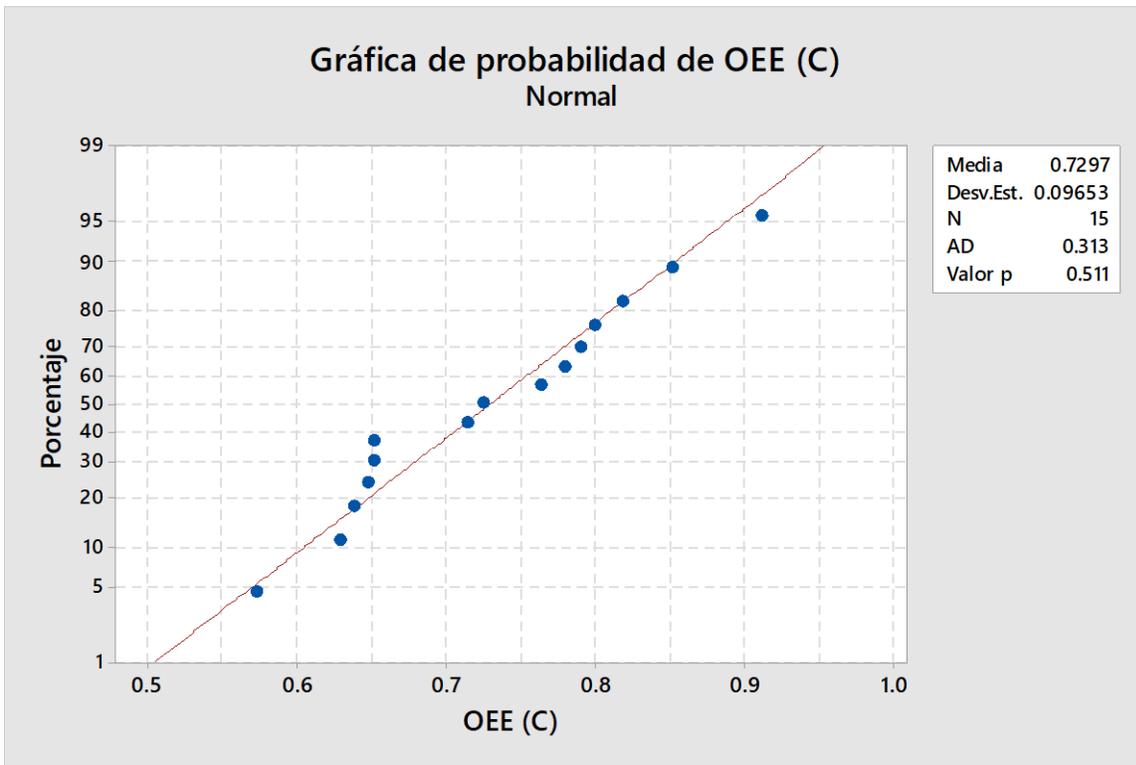
$$n = \frac{(2.17)^2 (0.072)^2 29}{(2.17)^2 (0.072)^2 + 0.03^2 (29 - 1)}$$

$$n = 15$$

Anexo 20 Datos registrados luego de las mejoras implementados

Fecha	DISP (C)	EFI (C)	CAL (C)	OEE (C)
1/10/2019	0.640	0.914	0.979	0.573
10/10/2019	0.813	0.950	0.988	0.763
17/10/2019	0.870	0.848	0.969	0.715
18/10/2019	0.766	0.839	0.978	0.629
19/10/2019	0.830	0.780	0.986	0.639
21/10/2019	0.776	0.854	0.983	0.652
22/10/2019	0.883	0.907	0.974	0.779
24/10/2019	0.847	0.800	0.955	0.647
28/10/2019	0.876	0.922	0.990	0.799
5/11/2019	0.847	0.949	0.984	0.791
6/11/2019	0.903	0.958	0.984	0.852
7/11/2019	0.978	0.959	0.972	0.912
8/11/2019	0.774	0.867	0.972	0.652
12/11/2019	0.935	0.909	0.962	0.818
15/11/2019	0.848	0.866	0.986	0.725

Elaborado por: Ayala & Salas, 2019

Anexo 21 Evaluación de los supuestos de normalidad de los datos OEE (C)

Elaborado por: Ayala & Salas, 2019

Anexo 22 Prueba T entre los datos A y C

Inicial	Final
OEE (A)	OEE (C)
0.662	0.573
0.681	0.763
0.564	0.715
0.81	0.629
0.635	0.639
0.748	0.652
0.819	0.779
0.565	0.647
0.615	0.799
0.504	0.791
0.674	0.852
0.625	0.912
0.605	0.652
0.422	0.818
0.408	0.725
0.586	
0.546	
0.544	
0.573	
0.733	
0.507	

Diferencia	Límite superior de 97% para la diferencia
-0,1190	-0,0514

PruebaHipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$ Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 < 0$

Valor T	GL	Valor p
-3,43	32	0,001

Anexo 23 Adquisición de herramientas para cada maquinaria



Compra de herramientas para cada termoformadora en función de lo solicitado por el personal operativo y de mantenimiento



Entrega de las herramientas

