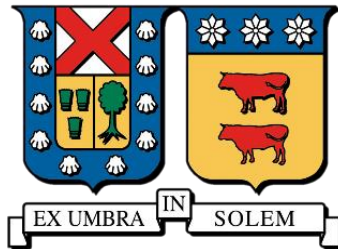


UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA
VALPARAÍSO – CHILE



**OPTIMIZACIÓN DE LA CADENA DE VALOR
DE UNA LÍNEA DE ENVASADO EN EMPRESA
DE PRODUCTOS COSMETOLÓGICOS**

MACARENA ANDREA NORAMBUENA SUAZO

**MEMORIA DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE:
INGENIERO CIVIL MECÁNICO**

PROFESOR GUÍA: Ing. LUÍS GUZMÁN BONET

PROFESOR CORREFERENTE: Ing. RAFAEL MENA YANSSEN

Marzo-2019

Agradecimientos

Quiero agradecer a toda la gente que me acompañó, apoyó, enseñó, y a quienes brindaron su amistad, su paciencia y su compañerismo en esta etapa tan importante de mi vida.

En principio quiero agradecer a mis profesores guías, ya que además de ser personas íntegras, inteligentes y capaces, son gente con una vitalidad poco comparable, otorgándome la motivación para dar lo mejor de mí tanto en mi trabajo de título, como en mi carrera futura. Agradezco infinitamente sus consejos y apoyo otorgados.

Por su apoyo y amistad quiero agradecer a todos mis compañeros de ingreso 2012 de Ingeniería Civil Mecánica Casa Central, ya que no podría haber pedido un mejor grupo de personas con las cuales haber recorrido esta etapa de mi vida. De la universidad me llevo experiencias y amistades de por vida, y es difícil explicar cuánto agradezco haberlos conocido.

También agradezco a todos mis compañeros del equipo de mantención de la empresa, en especial a Rafael Cáceres, Claudio Aguilera y José carrillo, colegas en los que encontré grandes personas, llenas de alegría, humildad, y esfuerzo. Quiero recalcar que son un ejemplo a seguir como profesionales y como personas.

En otras áreas de mi vida fue esencial y primordial el apoyo de mi familia, queriendo destacar a mis abuelos y mis tíos, tanto paternos como maternos, los cuales siempre me han acompañado y apoyado, dando su amor incondicional hacia mí.

Es necesario también agradecer a mis padres, Viviana y Luis, y a mis hermanos Luis, Paulina, Florencia y Catalina, ya que han sido y seguirán siendo lo más importante en mi vida, debido a su apoyo en mis mejores y peores momentos. Les recuerdo que pueden contar conmigo por ahora y siempre.

Por último quiero agradecer a mi pololo Eduardo Aguilar, ya que encontré en él la persona con quien quiero compartir, reír, avanzar, vivir y disfrutar toda la vida. Esta es la puerta para comenzar una vida junto a ti, y por eso estoy sumamente agradecida.

Resumen

En la presente memoria de título se describirán las mejoras realizadas para aumentar la capacidad de la línea crítica de una empresa dedicada a la generación de productos cosmetológicos. Para realizar esto se presentará en primer lugar la empresa, para luego escoger la línea crítica con la que se trabajará en el transcurso de la memoria. Después se nombrarán las variables que afectan la productividad de la línea, describiendo cada una de ellas, además de las consecuencias de la continuidad de las mismas.

Posteriormente se describirán las herramientas que se utilizarán para realizar las mejoras en la línea crítica, para después detallar su implementación. Luego de haber descrito todas las mejoras se realizará un resumen de las mismas, registrando las mejoras globales alcanzadas, tanto en el ámbito económico, como en la mejora del producto final.

Por último se presentan las mejoras que se recomienda implementar, y las falencias que continúa teniendo el sistema, las cuales son oportunidades de mejora para las personas que continúen mejorando la eficiencia de las líneas.

Abstract

In the present thesis, it will be describe the improvements made to increase the capacity of the critical line of a company dedicated to the generation of cosmetological products. To do this, the company will be presented first, and then choose the critical line with which to work in the course of the memory. Then the variables that affect the productivity of the line will be named, describing each of them, as well as the consequences of their continuity.

Subsequently, the tools that will be used to make the improvements in the critical line will be described, to then detail their implementation. After describing all the improvements, a summary of them will be made, recording the overall improvements achieved, both in the economic sphere and in the improvement of the final product.

Finally, we present the improvements that are recommended to implement, and the shortcomings that the system continues to have, which are opportunities for improvement for people who continue to improve the efficiency of the lines.

Índice

Agradecimientos	i
Resumen	ii
Abstract	iii
Índice	iv
Índice de ilustraciones.....	iv
Índice de tablas	iv
Introducción	ix
Objetivos	xi
1. Información General	1
1.1 Contexto de la Empresa	1
2. Selección de línea Crítica	5
2.1 Variables que afectan el rendimiento de las Líneas	7
2.1.1 Planificación	9
2.1.2 Bodegas y Materias primas	11
2.1.3 Calidad y Reprocesos	11
2.1.4 Averías.....	12
2.1.5 Falta de Experiencia, conocimiento o motivación por parte del personal	14
2.1.6 Implementación de planes de mejora y seguimiento	16
2.1.7 Selección de las Variables	18
2.2 Costos de producción	21
3. Marco teórico	23
3.1 Teoría de las restricciones	23
3.2 Planes de Mantenimiento.....	29
3.2.1 Mantenión Correctiva:	32
3.2.2 Mantenión Preventiva:.....	33
3.2.3 Mantenión Predictiva:.....	36
3.2.4 Costos según tipo de mantención	37

3.2.5 Confiabilidad de Equipos.....	43
3.2.6 Confiabilidad de sistemas	46
3.2.7 Mantenibilidad	49
3.3 Análisis de Datos	50
4. Análisis y mejoras de la Línea “C”	56
4.1 Horno Kallfass Super Wrap 650.....	56
4.2 Implementación de cámaras de Rechazo	60
4.3 Rediseño Boquillas de Dosificación	63
4.4 Dosificación de boquillas	68
4.5 Planes de mantenimiento.....	82
4.5.1 Equipos de cada Línea.....	85
5. Resumen	111
6. Conclusión.....	114
7. Referencias	116
8. Anexos	118
8.1 Anexo 1: OAE y comparación de precios de las distintas líneas	118
8.2 Anexo 2: Instructivo operacional horno Kallfas Super Wrap 650	134
8.3 Anexo 3: Instructivo operacional de Cámaras OMRON FQ2.....	143

Índice de Tablas

Tabla 1: OAE por línea	6
Tabla 2: Costos y Producción por líneas.....	22
Tabla 3: Clasificación Cp.....	54
Tabla 4: Beneficios Mejora del Horno.....	59
Tabla 5: Planilla Para Ajustar Cámara OMRON.....	61
Tabla 6: Beneficios Mejora de Boquillas.....	67
Tabla 7: Capacidad de las Boquillas.....	74
Tabla 8: Desviación Estándar en ajuste	76
Tabla 9: Beneficios de nuevo Rango	81
Tabla 10: Resumen de Ahorros	111

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1: Diagrama de Flujo del área Productiva	1
Ilustración 2: OAE por línea	6
Ilustración 3: Comparación entre enfoque de Costos y de Utilidades	24
Ilustración 4: TOC y manufactura lean.....	26
Ilustración 5: Mantenimiento preventivo a fecha Constante	33
Ilustración 6: Mantenimiento Preventivo a edad Constante	34
Ilustración 7: Etapas de Vida de un Equipo	44
Ilustración 8: Configuración en Serie	46
Ilustración 9: Redundancia Total.....	47
Ilustración 10: Boquilla Nueva Armada	66
Ilustración 11: Boquilla Antigua Armada	66
Ilustración 12: Despiece Boquilla Nueva.....	66
Ilustración 13: Despiece Boquilla Antigua	66
Ilustración 14: Elección de Tara.....	70
Ilustración 15: Muestreo de Dosificación	71
Ilustración 16: Muestreo de Peso de Botellas	72
Ilustración 17: Distribución de Datos	73
Ilustración 18: Comportamiento de las Botellas	75
Ilustración 19: Selección de Rango Nuevo de peso.....	78
Ilustración 20: Equipos Línea "A"	86
Ilustración 21: Equipos Línea "B"	89
Ilustración 22: Máquinas Línea "C"	90
Ilustración 23: Máquinas Línea "D"	92
Ilustración 24: Máquinas Línea "E"	93
Ilustración 25: Máquinas Línea "F"	94
Ilustración 26: Máquinas Línea "G"	96
Ilustración 27: Máquinas Línea "H"	98
Ilustración 28: Máquinas Línea "I"	99

Ilustración 29: Ejemplo de Planilla, Pág. 1	103
Ilustración 30: Ejemplo de Planilla, Pág. 2	104
Ilustración 31: Calendario de Mantenciones de Enero	106
Ilustración 32: Documento Para Las Líneas	108
Ilustración 33: Planilla de Información, primera parte	109
Ilustración 34: Planilla de información, Segunda Parte.....	109
Ilustración 35: Comparación de Costos de Producción Línea "A".....	118
Ilustración 36: OAE Mensual Línea "A"	119
Ilustración 37: Comparación de Costos de Producción Línea "B"	120
Ilustración 38: OAE Mensual Línea "B"	121
Ilustración 39: Comparación de Costos de Producción Línea "C"	122
Ilustración 40: OAE Mensual Línea "C"	123
Ilustración 41: Maquinarias y Velocidad Línea "C".....	123
Ilustración 42: Comparación de Costos de Producción Línea "D".....	124
Ilustración 43: OAE Mensual Línea "D"	125
Ilustración 44: Comparación de Costos de Producción Línea "E"	126
Ilustración 45: OAE Mensual Línea "E"	127
Ilustración 46: Comparación de Costos de Producción Línea "F"	128
Ilustración 47: OAE Mensual Línea "F"	128
Ilustración 48: Comparación de Costos de Producción Línea "G".....	129
Ilustración 49: OAE Mensual Línea "G"	130
Ilustración 50: Comparación de Costos de Producción Línea "H".....	131
Ilustración 51: OAE Mensual Línea "H"	132
Ilustración 52: Comparación de Costos de Producción Línea "I"	132
Ilustración 53: OAE Mensual Línea "I"	133

Introducción

La industria cosmetológica está teniendo cada vez más relevancia y mayores ventas, tanto a nivel país como a nivel internacional, lo que también genera mayores oportunidades de ingreso para nuevas industrias, y mayores niveles de competencia para las industrias que ya están establecidas. Debido a lo anterior se hace evidente la necesidad de mejorar los procesos y hacer que estos sean más competitivos.

La empresa en la que se desarrolla esta memoria de título es una empresa cosmetológica internacional, la cual se especializa en productos dedicados al cuidado de la piel, siendo una de las 5 mayores industrias del área a nivel internacional. Estos productos son los más importantes en la industria de la belleza y cuidado personal, teniendo ventas esperadas anuales de 130 billones de dólares para el año 2019.

La empresa productiva consta principalmente de dos áreas de trabajo, el área de fabricación, en la cual se producen las masas de producto a partir de las materias primas y recetas estandarizadas, y el área de envasado, en la cual se depositan las masas en sus respectivos recipientes, colocándoles las tapas, etiquetas, lote, y apilándolas para ser entregadas posteriormente al cliente.

Esta empresa internacional tiene un sistema competitivo bastante original, en la cual sus distintas sucursales productivas compiten entre ellas para ser compradas por las distintas sucursales comerciales a precio costo más un pequeño porcentaje, es decir, si la sucursal productiva de Chile, Alemania, y México producen el mismo tipo de cierta crema, las sucursales comerciales le comprarán a la que tenga el menor costo de producción más el costo envío. Esto significa que la competitividad de las empresas productivas no solamente se produce con las empresas externas, sino que también dentro de la misma organización.

En base a lo anterior se hace primordial reducir los costos de producción, ya que, si no se produce a costos competitivos, se podría solicitar el cierre de la empresa productiva de Chile, dejando a más de 250 personas sin empleo. La reducción de costos se puede realizar tanto disminuyendo gastos, como aumentando la producción para tener gastos fijos mejor distribuidos. Por la razón anterior la presente memoria de título se focaliza en aumentar la capacidad de la planta de envasado, planta con los mayores gastos y menores producciones.

La planta de envasado consta de 9 líneas productivas, las cuales se nombrarán en orden alfabético según su disposición en la planta. De estas 9 líneas se trabajará primordialmente con la línea crítica (Línea “C”), la cual presenta los mayores gastos y peor eficiencia de la planta. En base a lo anterior se pretende aumentar la confiabilidad de la línea “C” sin incurrir en gastos excesivos, para posteriormente replicar las mejores al resto de las líneas. También se realizarán mejoras en la mantención de la planta, ya que en la actualidad presenta un sistema de mantenimiento principalmente correctivo y poco eficaz y eficiente.

Para realizar lo previamente descrito se pretende utilizar herramientas como la teoría de restricciones para aumentar la confiabilidad de la línea, y estrategias de mantenimiento para mejorar la mantención en la planta. Todo lo anterior teniendo como principal objetivo aportar en la producción de la misma, y aumentar la disponibilidad de los equipos.

Objetivos

El objetivo general del trabajo de título es aumentar la capacidad de la línea crítica (Línea “C”), en la zona de envasado en una empresa dedicada a la creación de productos cosmetológicos, teniendo como finalidad el aumento de la confiabilidad de esta sin incurrir en grandes gastos, y replicando posteriormente las mejores prácticas al resto de las líneas productivas. También se pretende mejorar el sistema de mantención de la empresa, debido a las falencias del sistema de mantención correctivo que se aplica actualmente.

Para lograr los propósitos antes señalados se establecen los siguientes objetivos específicos:

- Analizar los principales problemas productivos de la línea crítica, para obtener las causas del bajo desempeño.
- Definir e implementar las herramientas de mejora a utilizar
- Proponer un plan de acción tendiente a mejorar la capacidad del proceso seleccionado, al igual que el plan de mejora en el sistema de mantención.
- Realizar un análisis de los resultados de las mejoras empleadas.
- Evaluar el impacto económico de la mejora planteada.
- Proponer replicar la mejora en las líneas restante.

1. Información General

1.1 Contexto de la Empresa

La empresa, ubicada en la zona industrial de la ciudad de Santiago, consta de dos áreas diferentes, el área comercial (DC), la cual se encarga de vender y distribuir los productos, y el área productiva, que se encarga del almacenamiento (Bodegas), la fabricación, y envasado de los productos. Para poder entender el funcionamiento e incidencia de las mejoras a implementar, en primer lugar se debe comprender el proceso en sí, lo cual se puede observar en la siguiente imagen y posterior explicación del diagrama de flujo del área productiva:

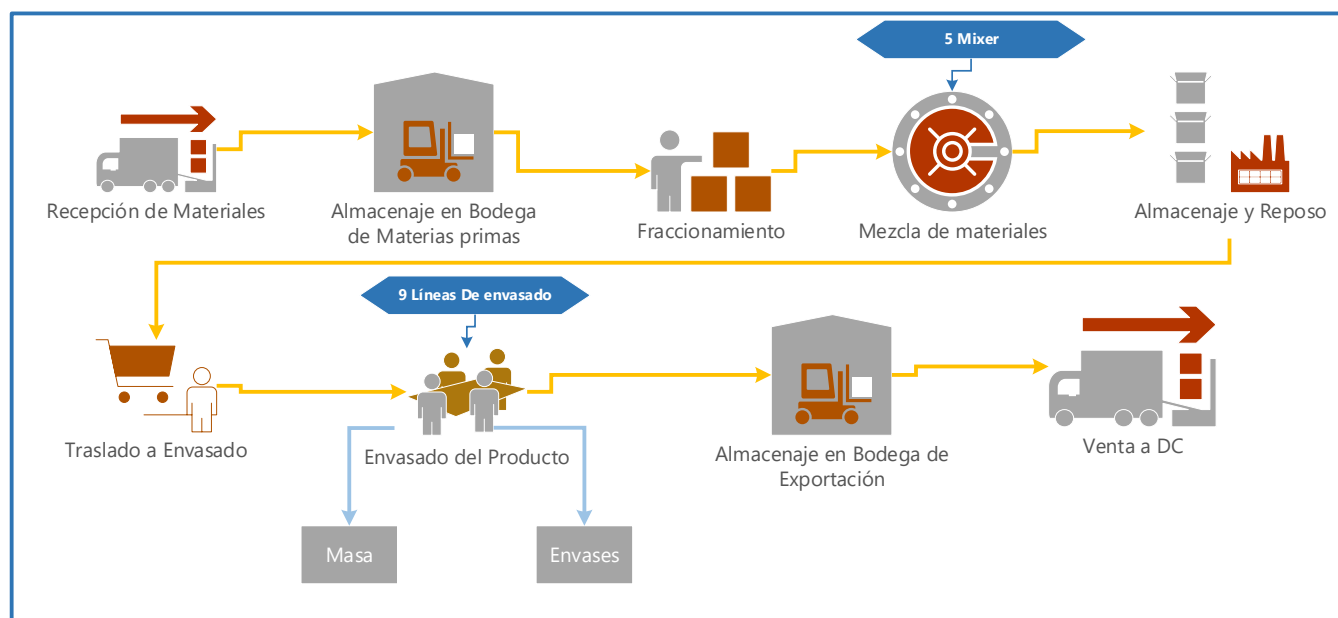


Ilustración 1: Diagrama de Flujo del área Productiva

En el diagrama se puede visualizar en primer lugar la recepción de las materias primas, tanto para el proceso de envasado como para el proceso de fabricación, las cuales constan de etiquetas, envases, materias primas para la producción de la masa (contenido de los productos), tapas, entre otras.

Las materias primas anteriores provienen de distintos proveedores, los cuales pueden ser tanto nacionales como internacionales, dependiendo del requerimiento de cada producto, por lo que el tiempo que transcurre entre el pedido y recepción de los materiales es bastante variable, estando en un rango aproximado de 70 a 300 días. Después de la recepción, estas son almacenadas en la bodega de Materias primas, con su respectivo código de ubicación, cantidad y lote, para poder hacer posteriormente un seguimiento y fácil extracción de las mismas. En el momento en que el área de fabricación requiera los materiales, estos son transportados, revisados y aprobados en dicha área, para luego fraccionar las materias primas en porciones más pequeñas y fáciles de utilizar en los respectivos mezcladores.

Luego de haber fraccionado las materias primas, estas son llevadas al mezclador correspondiente, que es la máquina que mezcla y procesa los distintos materiales para crear las masas con sus respectivas viscosidades y características. Estos mezcladores son dirigidos por un operador que debe seguir las instrucciones exactas provenientes de la sede central de la empresa, para posteriormente realizar mediciones de las características de la masa, y poder validar su idoneidad.

Después de haber realizado la mezcla, esta es almacenada en su respectivo tacho, que se escoge según la capacidad del mismo (hay tachos de 700, 1.000 y 1.200 [kg]), para luego ser almacenado hasta el momento de su utilización. Es importante considerar que hay masas que requieren de cierto tiempo de reposo, el cual puede ser de varios días, por lo que este tipo de masa es almacenada en el área de fabricación hasta su requerimiento, o incluso se pueden almacenar en la zona de envasado, en un lugar especialmente delimitado para dicha tarea.

Al llegar el momento de la utilización de las masas, estas son trasladadas al área de envasado, en específico, a una de las 9 líneas que se cuentan para este propósito, y también se trasladan desde la bodega de materias primas todos los insumos necesarios para su envasado y empaque, como lo son las botellas, tapas, etiquetas, cajas, entre otros. La línea que envasará el producto se ajusta a las especificaciones de los mismos, dependiendo del tamaño de las botellas, la densidad y viscosidad de las masas, el tipo de tapas, y otros requerimientos del país que los solicita.

En la línea de envasado se produce un cierto número de productos, determinado previamente por el área de planificación, los cuales se encargan de cumplir con los requerimientos de los clientes, y calendarizar el ingreso y cantidad de los productos solicitados. Todas las líneas tienen dos bombas y máquinas llenadoras, para que una de estas esté en proceso de lavado mientras la otra está en producción. Debido a que hay 9 líneas de envasado, las cuales tienen distintos periodos de cambio de productos, pudiendo tener un cambio cada 5 días o hasta 3 cambios al día, la zona de envasado puede tener varios equipos al mismo tiempo que necesitan ser lavados, y puede ocurrir que al momento de ser necesitados estos no estén en condiciones para su uso. Para evitar el problema anterior, la zona de lavado tiene una pizarra en donde se anotan las prioridades de cada turno, para lavar primero los equipos que se necesitarán con más anticipación.

Los productos luego de ser envasados son trasladados a la bodega de exportación. En la bodega se pueden encontrar los productos terminados, es decir, los que no necesitan un procesamiento posterior, y también se encuentran los productos que requieren cierto proceso posterior, ya sea empaquetarlo de una manera especial, agregar un folleto o cierta característica. Los productos que requieren posterior procesamiento son trasladados a una línea particularmente hecha con este fin (Línea “D”), para luego ser devueltos a la bodega de exportación como producto terminado.

Una vez que se tenga el producto final, estos son enviados al respectivo DC que haya pedido la compra, finalizando el diagrama de flujo del proceso. Es preciso destacar que en el área de envasado existen tres personas encargadas directamente de las líneas de producción, por lo que cualquier mejora o modificación debe ser aceptada previamente por las mismas. La distribución de las líneas es la siguiente:

- Grupo 1: Línea “C”, “H” e “I”.
- Grupo 2: Línea “B”, “D”, y “G”
- Grupo 3: Línea “A”, “E” y “F”

Estas líneas funcionan de lunes a sábado, trabajando de lunes a viernes por tres turnos rotativos las 24 horas, y los sábados de 0:00 a 16:00. Hasta Abril del 2017 los sábados se trabajaban las 24 horas, pero se optó por cambiar el último turno del día sábado por el compromiso de los trabajadores de llegar todos los turnos 15 minutos antes, para que las líneas no paren nunca en la transición de los turnos, y para que el turno anterior le informe al turno siguiente todos los problemas e inconvenientes que tuvieron y la manera en que los solucionaron, para que el turno siguiente tenga una reacción más rápida a dichos problemas.

2. Selección de línea Crítica

En la empresa se utiliza el indicador OAE (Overall Asset Effectiveness), para poder analizar el comportamiento y rendimiento de las respectivas líneas productivas, el cual compara la cantidad de productos que se hicieron, con la cantidad que se debieron haber hecho en el mismo rango de tiempo. La cantidad de productos que se deberían haber hecho dependen de la línea de envasado que se analice, porque la velocidad nominal máxima de cada una es diferente, variando desde las 36 [pieza/min], hasta las 120 [pieza/min].

En la ilustración 2 se puede observar el promedio del OAE por línea de envasado desde Abril a Julio del año 2017, siendo evidente el mal desempeño y poca utilización de las maquinarias, ya que el OAE de todas las líneas varía entre 32 a 48%, con excepción de la línea “D”, pero esta es una línea especial, ya que no tiene maquinarias de gran tamaño asociadas, y es completamente manual, por lo que la cantidad de piezas que se debieron haber hecho no dependen de la velocidad de cierta máquina en específico, sino que se define un número arbitrario según lo que se cree que debería generar la línea.

En la Tabla 1 se puede conocer el detalle de la Ilustración 2, agregando una numeración jerárquica de las líneas, siendo la línea número 1 la de menor desempeño en OAE, y la línea 9 la de mayor desempeño.

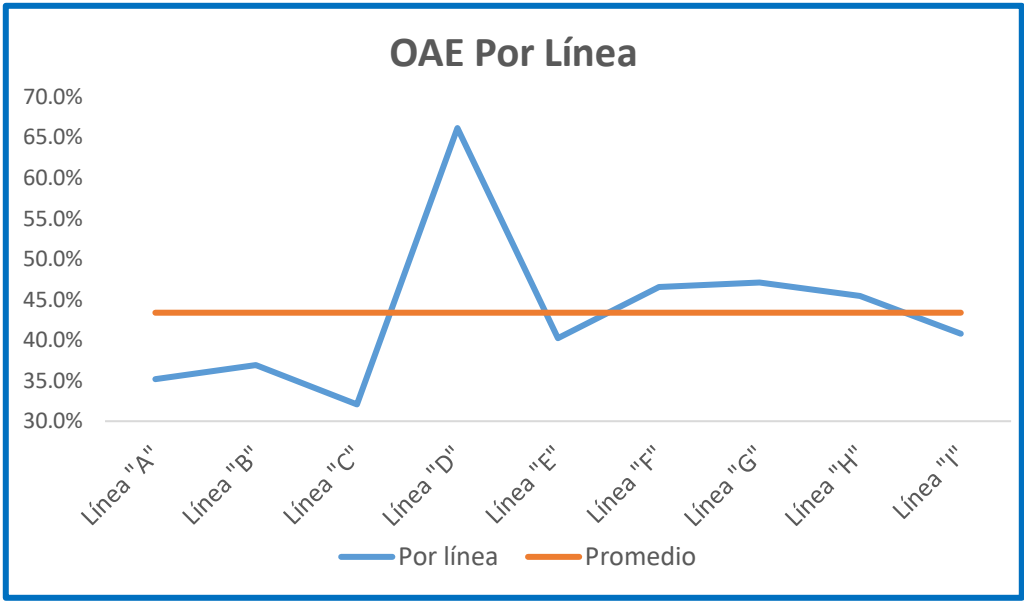


Ilustración 2: OAE por línea

Tabla 1: OAE por línea

OAE	Línea "A"	Línea "B"	Línea "C"	Línea "D"	Línea "E"	Línea "F"	Línea "G"	Línea "H"	Línea "I"
Por línea	35,2%	36,9%	32,1%	66,1%	40,2%	46,5%	47,1%	45,4%	40,8%
Promedio	43,4%	43,4%	43,4%	43,4%	43,4%	43,4%	43,4%	43,4%	43,4%
Número	2	3	1	9	4	7	8	6	5

Según la tabla anterior, la línea con menor OAE es la línea “C”, ya que produce menos de un tercio de las piezas que debería producir en la misma cantidad de tiempo. Debido a lo anterior, se obtiene que la línea crítica del proceso es la línea “C”. Para un análisis más detallado de las diversas líneas, especificando el OAE mensual, y la comparación de los precios de venta de los productos de la línea con las otras empresas productoras, se puede observar el ANEXO 1.

2.1 Variables que afectan el rendimiento de las Líneas

Existen diversas razones por las que una línea puede estar detenida, o puede tener una velocidad menor a la velocidad nominal de la misma. Debido a lo anterior se describirá a continuación, de manera general, las diversas razones de estas detenciones, para así poder realizar un plan de trabajo con algunas de estas variables, teniendo así un rango más acotado de acción y mayor focalización.

Para poder realizar el análisis siguiente, después de la describir todas las variables, se examinaron los datos extraídos del sistema de información de detenciones utilizado por la empresa, el cual es el sistema MTSolutions (MTS). Este sistema recolecta los tiempos de detención de cada línea, e incorpora la razón de dicha detención. El problema principal con dicho sistema es la poca fiabilidad que se tiene del mismo, debido a que los motivos de las detenciones son ingresados manualmente por las operadoras, las que no tienen la disciplina necesaria para agregar lo que realmente sucedió, y, ya sea por falta de tiempo o por descuido, la información entregada por ellas no es exacta.

La problemática anterior se observó al comparar la duración que se obtuvo de manera visual con la que entregó el sistema MTS de tres cambios de formatos realizados en la Línea “C”. Estos cambios se pueden observar en el gráfico en la ilustración N°3 y la tabla N°2, en donde en los días 20, 24 y 25 de Julio del año 2017 se midieron presencialmente la duración de los tres cambios de formatos realizados, y posteriormente se compararon con los datos otorgados por el sistema.

Se puede concluir fácilmente que la diferencia entre lo observado y lo entregado por el programa es considerable, obteniendo duraciones del programa desde un tercio, hasta tres veces mayores a las observadas.

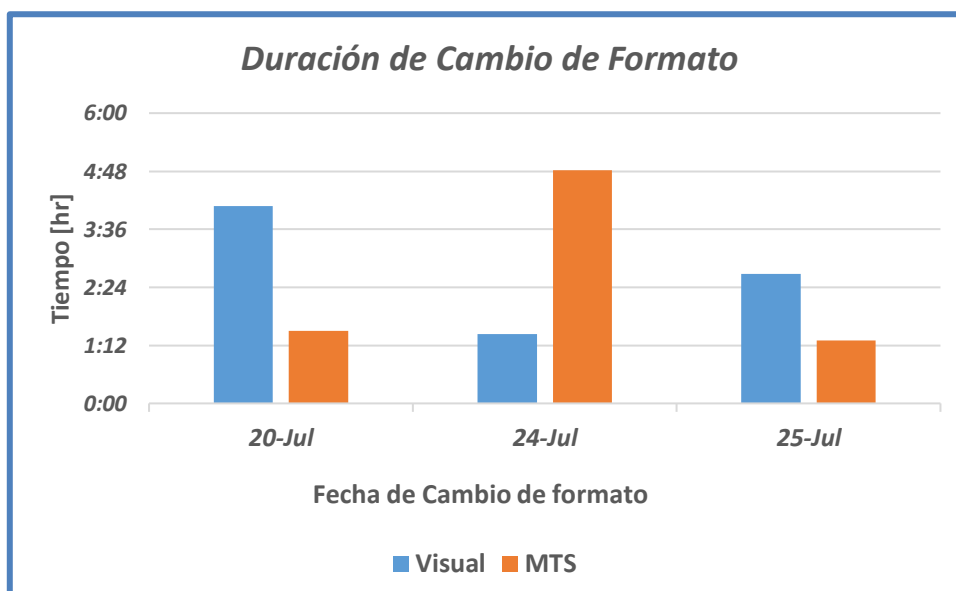


Ilustración 3: Duración cambio de Formato Línea "C"

Tabla 2: Comparación Duración Visual con MTS

	Duración		
	Visual	MTS	Diferencia
20-Jul	4:05	1:30	37%
24-Jul	1:26	4:49	336%
25-Jul	2:41	1:18	48%

En base a los resultados anteriores se informó debidamente al personal a cargo sobre la poca fiabilidad de los datos otorgados por el sistema MTS, por lo que se comprometieron a mejorar el sistema e idear una forma para facilitar el ingreso de datos por parte de las operadoras, y así tener un mejor sistema de recolección de información.

Entonces, aunque el sistema MTS no entregue datos precisos, y su fidelidad dependa de cada operadora, se utilizarán estos datos para analizar las variables que afecten el rendimiento de las líneas. Lo anterior debido a que no se necesitan datos exactos para poder ponderar la influencia de cada variable, sino que se utilizarán para entregar una noción general de las mismas. Es por este motivo que se recomienda tener en consideración la poca exactitud de los datos al observar el análisis.

2.1.1 Planificación

El área de planificación está encargada de programar tanto la generación de masas en el área de fabricación, como el calendario de producción de las 9 líneas de envasado. Para tener un buen desempeño, esta área debe poder coordinar todo lo que son materiales en bodega, disponibilidad de tachos y mixer en fabricación, y calendarios y volumen de producción en envasado, teniendo como principal función tener la mayor utilización posible de las maquinarias, y poder cumplir con los requerimientos de los clientes.

Lo anterior debido a que el compromiso de la empresa es entregar los productos a 1 mes plazo desde la generación de la solicitud por parte del cliente. Una buena calendarización del área planificación se observa cuando todas las líneas y mixer tienen plan, normalmente con 2 días de anticipación, pero también se ha hecho patente su deficiencia al tener mensualmente varios días de detención por falta de programa, es decir, cuando la línea está lista para producir, no se puede realizar el producto porque faltan materiales o porque la masa aún no está lista para su uso.

Los principales problemas con el área de planificación es la deficiente previsión de las fechas de compra de materias primas, y la baja coordinación entre los planes de envasado y fabricación, provocando reiteradas detenciones en las líneas de envasado por “falta de plan”. Otro problema proveniente de esta área es la baja eficiencia del programa otorgado para el área de envasado, generando cambios de formatos frecuentes en las líneas, y teniendo cambios de productos con dimensiones totalmente diferentes. Lo anterior hace necesario realizar cambios de gran envergadura en la línea entre un formato y otro, lo que conlleva a grandes pérdidas de tiempo y producción, ya que cada cambio de formato debería durar 1 hora nominal, pero puede abarcar hasta 5 horas de producción de la línea, dependiendo de las dificultades del mismo.

También se producen complicaciones en el área del lavado al tener cambios frecuentes de productos, ya que el lavador no alcanza a tener los componentes listos al momento de ser requeridos. El proceso de lavado implica el desarme de los componentes, el lavado de manera minuciosa para que no haya mezcla de materiales, y el posterior armado de la maquinaria, lo que conlleva grandes periodos de tiempo. Al tener requerimientos demasiado grandes, el lavador deberá pedir de la ayuda del equipo de mantención para que le desarmen y armen las máquinas mientras él las lava, lo que genera distracciones del equipo de mantención, y un desequilibrio de personal en la planta.

Entonces los cambios constantes de formato requeridos por el equipo de planificación tienen implicancias negativas grandes en la producción, tanto directas como lo son mayores tiempos de cambio de formato en la línea y el no tener las máquinas limpias al momento de solicitarlas, como indirectas, que se producen por la falta de personal del equipo de mantención cuando estos ayudan en la zona de lavado.

2.1.2 Bodegas y Materias primas

El principal problema del área de Bodegas y Materias primas es la mala información y deficiente trazabilidad de ciertos productos. En primer lugar, la mala información se produce debido a malas prácticas en la zona de bodegas, las cuales omiten ciertas veces registrar los productos extraídos, lo que genera a largo plazo un desbalance en el inventario. Este desbalance es después transmitido al área de planificación, ya que planifican en base a materiales inexistentes, que provocarán pérdidas y posteriores descoordinaciones en los calendarios de fabricación y envasado.

En segundo lugar se encuentra la problemática de la trazabilidad de las materias primas, ya que al recibir las devoluciones del área de envasado (devolución del material sobrante al término de la producción de un formato), estas materias primas son nombradas con lotes aleatorios de los que se encuentran en bodega. Esto significa que al momento de detectarse un problema en la planta de cierto material, este no puede ser analizado según su número de lote, ya que existe la incertidumbre de la veracidad de este.

2.1.3 Calidad y Reprocesos

Todo producto debe cumplir con ciertos estándares de calidad, siendo algunas variables críticas, en donde el no cumplimiento satisfactorio de las mismas es intolerable, y otras variables importantes pero no decisivas al momento de analizar el producto, por lo que en esta última se tiene mayor rango de tolerancia a las ineficiencias. Para realizar el análisis de calidad se examinan un total de 32 muestras por pallet, observando en cada una las variables críticas de las mismas. Posterior al análisis se ingresan los datos obtenidos a la tabla de variables, anotando las no conformidades encontradas.

Luego de haber ingresado los datos se obtiene la aprobación o rechazo del pallet, lo que puede conllevar a un análisis completo del mismo, a un reproceso, en donde el pallet se devuelve a la línea de origen para arreglar la variable defectuosa, o su total eliminación.

Obviamente cualquier tipo de rechazo y posterior acción conlleva mayores gastos, tanto en costos de mano de obra, de ineficiencia al detener una línea por reproceso, o directamente por la eliminación del producto. A pesar de lo anterior, en base a lo observado se puede decir que este problema no es tan frecuente, debido a que normalmente se encuentran los problemas en la línea, antes de entregar el pallet terminado para su análisis, y se realiza el re procesamiento previo a su posible rechazo. Aun así la frecuencia de este tipo de problemas es en promedio semanal, utilizando varias horas en el procesamiento del mismo.

2.1.4 Averías

La empresa tiene al equipo de mantención, el cual está distribuido en 6 mecánicos en turnos rotativos, es decir, 2 mecánicos por turno (Mañana-Tarde-Noche), y 3 mecánicos dedicados a la mejora continua de las líneas. Estos últimos se dedican a mejorar el diseño de las maquinarias en las líneas, aumentar la automatización, y mejorar la confiabilidad de estas a partir de rediseño de componentes, implementación de sensores y el reconocimiento de oportunidades de mejora. El problema que se observa en esta área es la constante falla de las maquinarias, ya que los mecánicos están continuamente ocupados en sus turnos, y muchas veces no alcanzan a abarcar todas las necesidades de las líneas.

Varias veces en el turno de mañana, los mecánicos de mejora continua tienen que apoyar a sus compañeros en la mantención, lo que produce que estos últimos se distraigan de sus actividades, y se demoren más en terminar sus proyectos de mejora. Lo anterior implica que actualmente se concentran los mayores esfuerzos en controlar las urgencias, más que evitarlas a mediano o largo plazo.

El mantenimiento preventivo de las líneas en el área de envasado se realiza de manera intuitiva, ejecutándose de manera esporádica, y en base a lo que cada mecánico encuentre idóneo para la misma, ya que no hay procedimientos establecidos. Además de lo anterior, no se tienen registros ni de las mantenciones realizadas, ni de las fallas específicas producidas en las líneas, por lo que no se puede hacer un seguimiento acotado de la efectividad de las mismas.

Los principales problemas por parte del área de mantención son las detenciones producto de las fallas en las maquinarias, y la dificultad en el ajuste y capacidad debido a la inestabilidad del sistema, o por tener componentes en mal estado sin tener conciencia de ello. Estos problemas son sumamente frecuentes en la planta, lo que genera grandes tiempos de detenciones y costos asociados a los mismos.

Además de lo anterior se tiene la problemática de no tener un análisis de repuestos, ya que estos normalmente se solicitan al momento de ser requeridos, pidiendo una cantidad arbitraria mayor a la solicitada, para tener repuestos para la próxima falla. Este procedimiento tiene varias falencias implicadas, las cuales dependerán del tipo de repuesto solicitado, ya que, si el repuesto no puede ser comprado en Santiago o en una ciudad cercana, los tiempos de espera son sumamente elevados, lo que genera grandes tiempos de detenciones de equipos.

Si el componente puede ser solicitado en Santiago o a algún proveedor local, estos igual tienen tiempos de demora, los cuales pueden ser de horas o hasta 2 días, lo que también produce tiempos de detención de las líneas. Además de lo anterior, al solicitar materiales con poco tiempo de anticipación produce que los costos aumenten en gran medida, siendo normalmente un sobre costo de hasta el 30% del valor del componente. Esta práctica es sumamente frecuente, lo que genera costos adicionales de grandes proporciones, disminuyendo el presupuesto disponible de mantención. Es difícil cuantificar los costos adicionales implicados, debido a que no existen registros de estas transacciones, ya que las tramitaciones de dichas compras se realizan de la misma forma en que se tramitan las compras programadas.

2.1.5 Falta de Experiencia, conocimiento o motivación por parte del personal

En el área personal, es sumamente importante la motivación y compromiso del personal, puesto que la empresa es poco automática, en donde la rapidez de la gente es un factor fundamental en la producción. Se ha comprobado que un empleado motivado y feliz tiene un aumento promedio en su productividad del 12%, y que el trabajador infeliz o con grandes preocupaciones baja su productividad en un 10%, por lo que este factor es de suma importancia para el desempeño de la empresa (Oswald, Proto & Sgroi 2015).

La influencia de la motivación de los empleados en la productividad se hace más evidente en ciertos momentos, como lo son los cambios de formato, en donde las operadoras cumplen un rol principal en el mismo, ya que si no hay inconvenientes externos, la duración de estos depende solo de ellas. También se manifiesta cuando hay que reprocesar el material, o cuando se debe poner en funcionamiento la línea.

Asimismo, es fundamental la participación de las operadoras en caso de haber problemas en la línea, ya que su rapidez de reacción agilizará o ralentizará su solución. Además de lo anterior, es importante el cumplimiento de los tiempos de “breaks” y de colación, ya que el alargue de los mismos significa una improductividad no planificada. Todos los operadores tienen derecho a dos “breaks” y una colación durante su turno, los que tienen una duración de 10 y 45 minutos respectivamente, los cuales se cuentan desde la detención de la línea, hasta su posterior reactivación. Si las operadoras no cumplen con estos horarios (lo cual ocurre frecuentemente), los jefes de las líneas deberían animarlas y presionarlas para su correcto cumplimiento, lo cual casi nunca sucede.

Otro problema asociado a las trabajadoras es que casi nunca cumplen con los horarios y funciones del traslape, ya que, además de llegar algunas veces más tarde de su horario de ingreso, al ingresar a la planta no se comunican los problemas frecuentes, sino que paran la línea y conversan sobre temas personales. Si se supone que se pierden 10 de los 15 minutos del traslape, significa una detención de 30 minutos al día, lo que implica de 1.050 a 7.200 piezas perdidas por línea, lo cual es una suma considerable.

Por último es fundamental la experiencia y conocimiento de las operadoras, puesto que este factor las independiza del servicio de mantención en casos innecesarios, como lo son en ajustes básicos de la maquinaria. Esta problemática es sumamente frecuente en la empresa, por no decir generalizada, ya que la gran mayoría del personal no sabe cómo ajustar correctamente las máquinas, y no siente la necesidad o motivación por aprender.

2.1.6 Implementación de planes de mejora y seguimiento

En la empresa existen marcadas deficiencias en la forma en que se planifican y realizan las mejoras, ya que adquiere mayor importancia la entrega de una mayor cantidad de proyectos, que su correcta implementación y seguimiento. Esto tiene resultados sumamente negativos, porque además de generar todos los costos que implican las mejoras y cambios estructurales de las líneas, estos no son correctamente explicados al personal y al equipo de mantención a cargo, por lo que normalmente estos planes generar mayores fallas y tiempo de detención que los que existían previos a su implementación.

Otro de los principales problemas ocurre cuando, si la mejora quedó mal implementada o no cumple la función por la cual fue adquirida, la persona que se encargó de su adquisición no se preocupa del problema, o se preocupa de una forma sumamente lenta, lo que produce múltiples fallas, y la generación de inversiones sin utilidades asociadas.

Para ejemplificar el problema anterior se explicarán brevemente dos “mejoras” implementadas en la línea “C”. En primer lugar se expone el caso del horno, el cual fue adquirido aproximadamente en julio, y el que consiste en la obtención del horno más moderno de la planta, con un costo aproximado de 60 millones de pesos (el doble del costo de un horno convencional). Este horno debería tener una velocidad nominal de 80 a 90 piezas por minuto, la cual es mayor a la velocidad de la línea (60 piezas por minuto), y debía asegurar la continuidad en la producción. A pesar de lo anterior, el horno en la realidad producía a velocidades de 30 a 60 piezas por minuto, además de tener fallas constantes que paraban continuamente la producción, las cuales no se podían solucionar ni por las operadoras ni por el equipo de mantención, ya que a nadie se capacitó en esta máquina.

Esto produjo que este punto se convirtiera en el cuello de botella de la línea, además de necesitar continuamente 2 hornos para poder producir a la velocidad exigida. En el tiempo en que se realizó la memoria (Julio del 2017 a Febrero del 2018), no se efectuó ninguna mejora significativa con respecto al equipo en sí, ya que la persona encargada de la adquisición no se comunicó nunca con el proveedor.

Otro caso es el del “quita envases”, el cual es una máquina de menor tamaño, con costos aproximados de 5 millones, y que se implementó también cerca de Julio del 2017. Esta máquina tenía la función de separar el envase del porta envase, ya que antes para esta función se utilizaba una operadora.

Al instalarse el mecanismo, cuando caía el porta envase al ser separado del envase, este se volteaba y trababa el flujo de la línea, lo que producía que una operadora dejara su puesto de trabajo para sacar el porta envase de manera manual. Este problema, además de requerir tiempo por parte de la operadora, era riesgoso, ya que la operadora tenía que sacar el porta envase de manera manual con la cadena transportadora funcionando, lo que implicaba riesgos de atrapamiento de los dedos. Debido a que este problema era sumamente frecuente (ocurría cada 5 a 10 minutos), se optó por volver a colocar al personal que estaba previo a realizar la mejora, por lo que no se obtuvo ningún beneficio, pero sí los costos implicados. Además de lo anterior, la persona que investigó e instaló el mecanismo no tuvo preocupación por los problemas, ya que no entregó soporte alguno para solucionarlos.

2.1.7 Selección de las Variables

Habiendo descrito todas las variables anteriores, se procede a realizar un análisis de la influencia de cada una de estas en las detenciones de la planta, utilizando los datos otorgados por el sistema MTS. Para ejecutar este análisis se consideraron solamente los datos de la línea “C”, ya que esta es la línea crítica de la planta, y de la cual se basa la presente memoria.

En la ilustración 4 se puede observar el gráfico de influencia de los diversos factores para los meses de enero a mayo, en donde se muestran los días de detención de la línea “C” que fueron ocasionados por cada variable durante el mes. Las variables de planificación y bodegas se unificaron en un mismo factor debido a que normalmente las negligencias ocasionadas por el área de bodegas impactan el rendimiento de planificación, por lo que no se pueden separar una de la otra. En este factor se encuentra también el tiempo dedicado a la realización y ajustes ocasionados por los cambios de formatos, debido a que la dificultad y la cantidad de los mismos están directamente relacionados con la efectividad del plan realizado por el área de planificación. Con respecto al área de calidad y reprocesos, en el MTS no se encuentra este motivo como causa posible de detención de las líneas, por lo que no se puede realizar su análisis cuantitativo.

La problemática concerniente a la implementación de los planes de mejora tampoco se puede cuantificar, debido a que no se describe este como el problema raíz, sino que los problemas ocasionados por esta razón son descritos como problemas de mantención o problemas de ajuste de maquinaria. Debido a lo anterior, las dificultades de los planes de mejoras se encuentran distribuidos en las variables de averías y de personal.

El componente de detención debido a la avería solamente considera las fallas de las maquinarias, que deberían ser los únicos problemas de los cuales se preocupe el área de mantención, y no considera el tiempo implicado en el ajuste de las máquinas (las cuales están insertas en el factor del personal). A pesar de lo anterior, en la realidad el equipo de mantención utiliza gran parte de su tiempo en ajustar las máquinas de las líneas, debido a que las trabajadoras no son capaces de hacerlo de una manera rápida y oportuna, por lo que la carga en el área de mantención es mucho mayor de lo que se muestra en el gráfico.

El factor de detención por el personal considera la realización de ajustes en las maquinarias, la falta de personal (debido a que la falta de personal ocurre por su retraso a la hora de llegada al trabajo), el tiempo que se pierde al cambiar de turno, y el procesamiento de productos acumulados en la línea. Este último se refiere al procesamiento de productos que se hayan quedado acumulados en algún punto de la línea, debido a que la parte subsiguiente de la misma se encuentra en proceso de ajuste o de mantención.

Lo anterior se considera como un factor del personal debido a que la detención de una parte de la línea por ajuste es responsabilidad de las trabajadoras, y porque el lugar de la línea que tiene la menor velocidad nominal es la llenadora, por lo que, en caso de haber acumulado material en cualquier otro punto de la línea, este se puede procesar sin detener la parte precedente. Entonces la eficacia de la eliminación del material acumulado sin la detención de la producción solamente depende del personal. Por último el factor de “Otros” considera la mantención preventiva (debido a que son detenciones planificadas, y no averías), el tiempo “No asignado”, es decir, las detenciones a las que no se les ingresaron los motivos de las mismas, las reuniones informativas organizacionales, las capacitaciones y simulacros de seguridad, y los breaks y colaciones de los turnos.

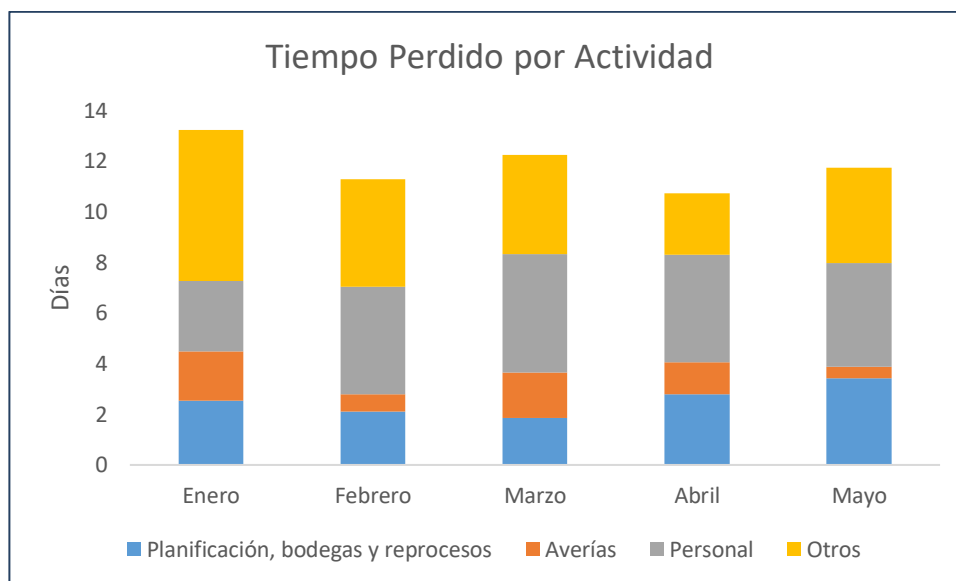


Ilustración 4: Influencia de las variables en las Detenciones

En la tabla siguiente se muestra el porcentaje de influencia de cada una de estas variables en las detenciones de cada mes.

Tabla 3: Influencia de las variables en las Detenciones

Problema	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo
Planificación, bodegas y materias primas	19%	19%	15%	26%	29%
Averías	15%	6%	15%	12%	4%
Personal	21%	37%	38%	40%	35%
Otros	45%	38%	32%	23%	32%
Total	100%	100%	100%	100%	100%

Debido a que la planificación y la bodega son áreas separadas con respecto a la ejecución en la planta, y su sistema de gestión depende de personal totalmente diferente, se escoge focalizar la mejora continua en las averías y la falta de experiencia por parte de las operadoras, por lo que se pretende mejorar la capacidad del proceso, y realizar mejoras en los planes de mantención. Todo lo anterior teniendo como principal prioridad las mejoras en la línea “C”, pero pudiendo realizar mejoras en todas las líneas al implementar planes de mejora globales a la planta.

2.2 Costos de producción

Para realizar los cálculos de los costos implicados, en el caso de los costos fijos la empresa junta todos los costos asociados a cierta área, y después los divide por las horas trabajadas y por el número de operadores que trabajan por turno. Para ejemplificar, si en el área de envasado se gasta \$1.000 al mes, se trabajan 100 horas mensuales, y trabajan 10 operadores en el área, el costo fijo implicado en el área de envasado será de 1 [\$/operario/hora]. En el caso de los costos variables, se tienen principalmente el costo de los materiales que se están utilizando. Debido a que el análisis del trabajo de título se centra en el área de envasado, será esta el área en donde se detallarán los costos.

Los costos fijos del área de envasado consideran todos los sueldos de operación del área de envasado, los sueldos del equipo de control de calidad y planificación, los servicios externos que se solicitan para su correcto funcionamiento, los fletes de maquila (fletes de materias primas provenientes del exterior), los costos del taller de envasado, el sueldo de los jefes de línea, los sueldos del equipo de mantención, el costo de almacenamiento en bodega, entre otros costos. Para el año 2017, considerando todos los costos anteriormente nombrados, el costo fijo fue de 11.614 [\$/operario/hora]. A continuación se presentará una tabla con el número de operadoras de cada línea, los costos de producción por hora, los costos de producción diarios, la cantidad de productos diarios que se generan en la actualidad (Promedio de Enero a Junio), y por último, el costo de cada producto.

Tabla 4: Costos y Producción por líneas

Línea	N° de operadoras	Costo por hora (M\$)	Costo diario(M\$)	Producción diaria	Costo del producto (\$/u)
"A"	7	81,3	1.951	66.360	29,4
"B"	8	92,9	2.230	53.425	41,7
"C"	7	81,3	1.951	28.498	68,5
"D"	13	151,0	3.624	38.519	94,1
"E"	3	34,8	836	37.601	22,2
"F"	4	46,5	1.115	27.842	40,0
"G"	5	58,1	1.394	36.210	38,5
"H"	3	34,8	836	30.723	27,2
"I"	6	69,7	1.672	17.220	97,1

Con los datos anteriores se podrán analizar los beneficios de las distintas oportunidades de mejora, comparándolos así con los costos de su implementación, para poder obtener el beneficio neto de los mismos. Los costos por producto de cada línea no son muy comparables entre sí, ya que cada una tiene distintos requerimientos de personal dependiendo de su nivel de automatización, y cada una tiene distintos niveles de producción, por lo que las líneas que tienen los mayores costos no son necesariamente las más ineficientes, y las de menores costos no son necesariamente más eficientes.

A pesar de lo anterior, la Línea "C" es la tercera línea con los mayores costos por producto, después de la Línea "I", que es la línea que tiene la menor velocidad de producción en la planta, y la Línea "D", que es la que necesita de mayor cantidad de personal al ser totalmente manual. Estos costos elevados se deben al bajo valor del OAE de la línea, ya que representa la poca utilización que tiene el personal y las máquinas de la misma, lo que vuelve a justificar la elección de la línea "C" como la línea crítica a analizar.

3. Marco teórico

3.1 Teoría de las restricciones

Esta teoría, también llamada TOC (theory of Constraints), fue ideada por el Dr. Eliyahu Goldratt, quien reclamaba que cada sistema tenía por lo menos una restricción, y utiliza la idea de que “una cadena no es fuerte que su eslabón más débil”. La teoría tiene como principal propósito encontrar las restricciones del sistema, para que los recursos se enfoquen en mejorar dichos puntos de interés, ya que son los que tendrán mayores repercusiones en la mejora de la producción, por lo que busca responder las preguntas “¿Qué cambiar?”, “¿A qué cambiarlo?”, y “¿Cómo causar el cambio?” (Lakshmi y Ramakrishna, 2012).

Para aumentar las ganancias de un sistema productivo se tienen varias opciones, entre las que se encuentran reducir los costos de las materias primas, procedimientos, fuerza laboral, etc. También se pueden reducir los costos de inventario, disminuyendo este sin afectar la productividad o calidad de los productos, o asimismo se pueden aumentar las utilidades del sistema. El TOC se focaliza en esta última, aumentando las ganancias a través del aumento de las utilidades, teniendo mayores volúmenes de producción.

El mayor problema con disminuir los costos en un sistema es que son mejoras que entregan resultados buenos y rápidos a corto plazo, pero a largo plazo son insostenibles, puesto que se llega a un punto óptimo en donde no se pueden reducir más los costos sin que se vea afectada la producción. Por otro lado la mejora de las utilidades en un sistema tiene resultados iniciales inferiores, pero estos se prolongan y amplifican en el tiempo, puesto que siempre se puede mejorar y aumentar la capacidad de la producción.

Lo anterior se puede visualizar en la ilustración 5, en donde el enfoque en la reducción de costos tiene una rápida mejora, pero después de un punto óptimo comienza a declinar, mientras que el enfoque en el aumento de las utilidades tiene una mejora más lenta que con el tiempo tiende a seguir subiendo (Aguilera, 1994).

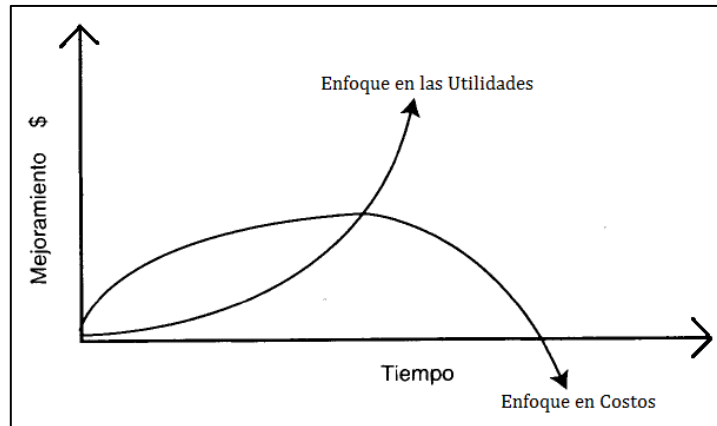


Ilustración 5: Comparación entre enfoque de Costos y de Utilidades

Para realizar la teoría de restricciones se tienen que efectuar los siguientes 5 pasos focales cíclicos (Mabin, 2012):

- 1) Identificar los factores limitantes del sistema, los cuales deberían ser pocos (de 1 a 3 normalmente).
- 2) Explotar: intentar que el cuello de botella funcione a su máxima capacidad, sin tener una inversión adicional. Normalmente estos cambios ocurren en los procedimientos, hábitos laborales, motivación, etc.
- 3) Subordinar: Revisar todas las actividades para asegurar que estas estén alineadas y soporten al cuello de botella
- 4) Elevar la capacidad del cuello de botella: Si no se ha movido el cuello de botella, hacer cada vez más esfuerzos para que este deje de ser el cuello de botella. Normalmente este paso requiere inversión de capital, ya que si el factor limitante ha llegado a su máxima capacidad, y este no ha cambiado, para seguir aumentando la capacidad del sistema se deben realizar cambios estructurales.

- 5) Repetir: Al moverse el cuello de botella, otro sector empieza a ser prioridad, y se deben repetir los cuatro pasos anteriores.

Antes de realizar los cinco pasos anteriores, se sugiere realizar dos pasos de focalización, en donde el primero define la meta a lograr, y el segundo define la forma en que se medirá dicha meta. Con respecto a los tipos de restricciones de los sistemas, estas se pueden clasificar en los siguientes grupos:

- Físicas: Son las maquinarias en sí, pero también pueden ser falta de materiales, falta de personal, etc. Son los bienes tangibles que producen el retraso de la producción.
- Políticas: Son las maneras recomendadas u obligadas de trabajar, por ejemplo, los breaks, procedimientos, etc. Estas pueden haber sido adoptadas de manera voluntaria, o por obligaciones legales.
- Paradigmas: Son creencias y hábitos arraigados en los trabajadores y organización, es decir son ideas que se consideran verdaderas sin una justificación real.
- Mercado: Ocurre cuando la capacidad del sistema supera a la demanda, por lo que no importa cuánto se produzca, si no hay clientes a los cuales vender el producto.

Hay actividades básicas y simples que se pueden implementar para mejorar y asegurar el funcionamiento más continuo del componente restrictivo:

- Colocar un buffer justo después de la restricción, para que esta no pare si otras actividades paran. Este buffer normalmente tiene una capacidad medida en tiempo, es decir, que pueda soportar la producción de la restricción por cierto rango de tiempo, mientras se arregla el problema generado posteriormente en la línea.

- Asegurar que esta maquinaria siempre funcione, incluso en los breaks, por lo que siempre deben haber operadores capacitados para continuar operando.
- Realizar las mantenciones fuera del tiempo productivo, como en los cambios de formato, horas extras, etc.

Además de las ideas básicas presentadas anteriormente, se pueden aplicar múltiples herramientas para poder cumplir con los 5 pasos del TOC, lo que se puede observar en la ilustración 6.

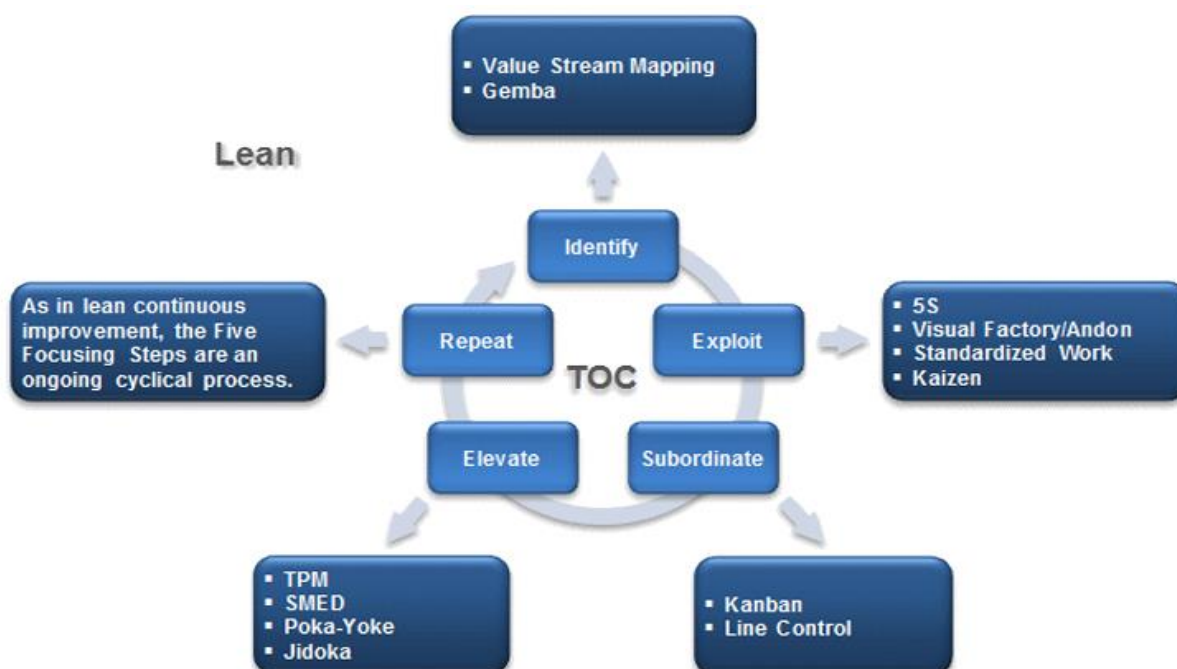


Ilustración 6: TOC y manufactura lean

La figura anterior relaciona herramientas utilizadas en la metodología lean, para poder ejecutar los 5 pasos del TOC. Esta correlación entre metodologías ayuda a aprovechar los mayores beneficios de ambas, obteniendo así los mejores resultados. A continuación se resumirán brevemente las distintas herramientas expuestas en la figura (Tejeda, 2011):

1) Identificar

- a. Mapas de valor (Value Stream Mapping o VSM): Mapea el flujo del producto y puede identificar las partes que tienen menor velocidad de producción (cuello de botella). También permite revelar las actividades que no agregan valor al proceso, y al tiempo que se invierte en las mismas.
- b. Gemba: significa “ir a observar, preguntar por qué, y mostrar respeto”. Permite conocer en profundidad el proceso, puesto que para obtener una completa comprensión del mismo, se tiene que preguntar y analizar en conjunto con los operadores. También se deben entender las limitantes de las opiniones de los trabajadores, ya que a veces opinan de temas que no son de su comprensión, como lo son mantenciones y arreglos mecánicos.

2) Explotar:

- a. 5s: Consta de cinco pasos para su realización, eliminar, organizar, limpiar, estandarizar y disciplina. Estos pasos ayudan a optimizar el proceso, ya que al tener un lugar de trabajo más limpio, ordenado y estandarizado, la velocidad en el proceso aumenta, ya que no se desperdicia el tiempo en buscar y encontrar el material necesario.
- b. Visual Factory/Andon: La gestión visual entrega información de una manera clara, certera, eficiente, y organizada, normalmente en forma de signos, gráficos y fotografías. Esto permite agilizar la recepción de información y ajustes, sin tener la necesidad de buscar la información entre gran cantidad de material.
- c. Estandarización: Se estandarizan las mejores prácticas de trabajo, las cuales deben ser aplicadas frecuentemente por los trabajadores, y deben ser constantemente actualizadas. Esto permite que los trabajadores que conocen las mejores técnicas de trabajo, le enseñen a los que tienen peores metodologías.

- d. Kaizen: Es una filosofía de mejora continua, que utiliza el círculo de Deming para su metodología, PHVA (planificar, hacer, verificar, actuar). Se fundamenta en que toda la organización debe tener compromiso, disciplina y constancia, y así poder detectar y solucionar los problemas que surjan en la producción. Les ofrecen a los operarios la oportunidad de hacer sugerencias y promover mejoras.

3) Subordinar:

- a. Kanban: Mediante señales se identifica cuando se necesita más material en alguna parte del proceso antes de que este se acabe, y así se evita el retraso en la producción. Permite un sistema “Pull” de producción, lo que significa que los productos se piden cuando se requieren en una parte inferior de la línea de producción, lo que faculta a su vez evitar acumulación en las distintas partes del proceso.
- b. Line Control: sirve para monitorear la tasa de producción en la línea, y reaccionar al momento que haya un problema.

4) Elevar:

- a. TPM (total productive maintenance): Entrega un acercamiento holístico a la mantención, el cual se enfoca en una mantención preventiva y proactiva, para maximizar el tiempo de trabajo de la máquina, incrementando el tiempo de funcionamiento, y eliminando los defectos. Se busca prevenir los problemas en lugar de corregirlos y maximizar la disponibilidad del equipo.
- b. SMED (single Minute Exchange of dies): Incrementa el tiempo de uso de la restricción y permite tamaños de lotes menores, lo que mejora la entrega de la demanda del cliente. Su objetivo es reducir considerablemente el tiempo que se demora la máquina en hacer el cambio de formato, externalizando tareas y simplificándolas.

- c. Poka- Yoke: Es un sistema “A prueba de error”, que diseña detectores de defectos y formas de preverlos, para alcanzar una meta de cero defectos, y optimizando los tiempos que demora la detección y mejora de los mismos.
- d. Jidoka: Significa automatización inteligente, y tiene como objetivo detectar los problemas y errores cuando están ocurriendo en el proceso, antes de que estos estén en el producto final, y con esto se pueden eliminar y mejorar.

Con las definiciones anteriores se puede reconocer que existe una gran variedad y cantidad de herramientas de mejora que se pueden implementar en la planta productiva, y así mejorar la producción de su línea crítica.

3.2 Planes de Mantenimiento

Para realizar un programa de mantenimiento efectivo, normalmente se desarrollan los siguientes 9 pasos (Dhillon, 2002):

- 1) Identificar las deficiencias existentes: Esto se realiza usualmente visitando la planta, y entrevistando al personal de mantención. Aquí se deben analizar también los métodos de recopilación de datos, y comprobar que los procedimientos se realicen de la manera expuesta en los informes laborales.
- 2) Decretar los objetivos: Deben identificar los puntos de mejora y los resultados que se quieren obtener. En esta sección se deben transformar las prioridades del negocio en prioridades de mantenimiento, y se pueden utilizar herramientas de priorización como el diagrama de Pareto.
- 3) Establecer las prioridades: se deben listar los proyectos de mantención según su capacidad de reducción de costos, o según otro parámetro relevante para la empresa.

- 4) Fijar los parámetros y medidas de logro: En esta sección se cuantifican todos los objetivos, tanto los resultados esperados, como la inversión necesaria para realizarlos.
- 5) Establecer los planes a corto y largo plazo: Los planes de corto plazo usualmente consideran 1 año de programación, y se enfocan en las metas de mayor prioridad, mientras que los planes a largo plazo identifica las metas importantes que se deben alcanzar de 3 a 5 años.
- 6) Documentar los planes a corto plazo y darle una copia a todos los involucrados: esto para que todo el personal esté alineado con las necesidades de la empresa, y se puedan comprometer para lograr dichos objetivos.
- 7) Implementar el plan
- 8) Realizar reportes que identifiquen los cambios realizados al calendario de corto plazo, y las razones de estos cambios: Esta sección se realiza para entregar un seguimiento y control de los objetivos, y para poder actuar en caso de desviaciones considerables.
- 9) Examinar el progreso anual, y realizar un nuevo plan a corto plazo para el año siguiente, considerando el plan a largo plazo

Entonces, según el procedimiento anterior, en la segunda sección se establecen los objetivos, y es también en ese punto en donde se disponen las posibles estrategias de mantenimiento a utilizar, analizando las reducciones de costos probables con respecto al sistema actual. Es también útil destacar que para alcanzar el éxito en cualquier programa de mantenimiento, es necesario tener un personal comprometido, con formación y capacitación adecuada para su cargo, y también que cada trabajador tenga una misión definida con un plazo determinado, puesto que así se aumenta la productividad del personal. También se deben considerar las normativas ambientales y de seguridad, tanto para la implementación de los objetivos, como para realizar los planes de mantenimiento.

Debido a que el tiempo de la memoria de título es acotado (6 meses), y ya que esta se focalizará en realizar mejoras en la línea “C”, se podrá lograr de forma óptima solamente hasta el comienzo de la implementación del paso 7, por lo que seguir con la implementación de los otros pasos será labor del equipo de mantención.

Otro punto importante a destacar es la recaudación de información necesaria para realizar planes de mantenimiento. En general la información puede provenir de diversas fuentes, entre ellas registros históricos de los equipos, recomendaciones o manual del creador, datos pasados de equipos similares que hayan estado en funcionamiento, experiencia del personal a cargo del equipo, etc. Con excepción de los manuales del equipo, los otros tipos de información son recaudados por el personal a cargo, para posteriormente almacenarlos en el tipo de registro utilizado por la empresa.

Debido a lo anterior, es de suma importancia capacitar al personal a cargo de recaudar la información, puesto que muchas veces no se le entrega el valor necesario a esta etapa del proceso, siendo que servirá de base para todo el análisis posterior. Hay que tener principal precaución de que los encargados conozcan la terminología utilizada, y que sean lo suficientemente diligentes para escribirla de la manera debida, con el detalle necesario para cada ocasión. Para evitar confusiones y poder estandarizar la información, se pueden realizar guías que orienten al operario, las cuales deberán ser controladas por el supervisor para garantizar la fidelidad de las mismas.

En el caso particular de esta empresa, actualmente no hay métodos y formas de recaudar información de las fallas de los equipos, y el único sistema de recaudación de información en la planta se realiza con el Software “MT Solution”, pero que tiene una finalidad enfocada en la productividad.

Este programa entrega información de las piezas producidas en el turno, los tiempos de detención de la máquina, y los motivos de estas detenciones, pero este último ítem es labor de las operadoras de la línea, las cuales escriben de manera poco específica los problemas, y usualmente los inventan, o colocan aleatoriamente. Lo anterior compromete la veracidad de los datos, y por tanto, el uso de los mismos para un análisis de frecuencias de falla.

Al momento de hacer un plan de mantención también se deben conocer los distintos tipos de mantención posibles, los cuales son (Arata, 2009):

3.2.1 Mantención Correctiva:

Este tipo de mantención se utiliza cuando la falla de un componente no es de gran riesgo para los trabajadores o para otros componentes del sistema, o cuando su utilización no genera costos mucho más elevados que los que tendrían los otros tipos de mantenciones. Esta mantención proviene de una falla no planificada, por lo que en general es de carácter urgente y participa más gente de la necesaria en su mantención, ya que no se sabe la raíz o razón de la falla, y puede producir altos costos.

Cuando se tienen mantenciones correctivas no se tiene control de los tiempos, del uso del personal o de los costos. Este tipo de mantenciones también ocurren en las otras estrategias de mantenimiento, pero en menor medida, y su probabilidad de ocurrencia está controlada.

3.2.2 Mantenimiento Preventiva:

Este tipo de mantenimiento se usa cuando la falla inesperada del componente supone daños hacia el personal, el medio ambiente, o hacia el sistema y componentes de la cadena de producción. Se debe destacar que en este tipo de mantenimiento las fallas inesperadas que conlleven mantenimientos correctivos no desaparecen, sino que disminuye su cantidad. La proporción de las mantenimientos preventivos y correctivos está directamente relacionada con los costos y efectos que produzca una falla inesperada por sobre una programada.

Las mantenimientos preventivos corresponden a reparaciones o cambios de componentes de manera cíclica, aunque los componentes no estén muy cerca de la falla y puedan seguir operando. Se pueden observar dos formas principales de la mantenimiento preventiva:

- Mantenimiento preventivo a fecha constante: Se elige un periodo K constante para realizar las mantenimientos preventivos, sin importar si hay o no mantenimientos correctivos entre medio de las preventivos. Como se observa en la figura, en el tercer periodo ocurrió una falla, pero esta falla no altera los tiempos de mantenimiento del elemento.



Ilustración 7: Mantenimiento preventivo a fecha Constante

Lo bueno de este tipo de mantención es su simplicidad, ya que es más fácil programar y ejecutar a tiempos constantes. Los costos totales por unidad de tiempo, dependerán del número de fallas de emergencia que se espera tener en el periodo K ($H(K)$):

$$C(K) = \frac{|C_p + C_c \times H(K)|}{K}$$

En donde $C(K)$ es el costo total en la unidad de tiempo K , C_p es el costo de tener una mantención preventiva, C_c es el costo de tener una mantención correctiva, $H(K)$ es la probabilidad de tener una mantención correctiva en el rango de tiempo K , y K es el rango de tiempo que transcurre entre mantenciones preventivas.

- Mantención preventiva a edad constante: En este tipo de mantención sí importa si ha habido una mantención correctiva dentro del periodo, ya que con cada mantención, sea correctiva o preventiva, el periodo t_p se reinicia.

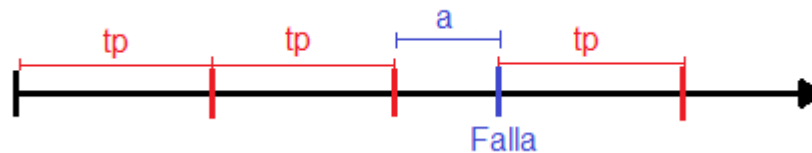


Ilustración 8: Mantención Preventiva a edad Constante

Para calcular el tiempo promedio del periodo primero se tiene que calcular la duración media cuando falla ($MTBF_{t_p}$), es decir, en la figura sería la duración promedio de “a”.

$$MTBF_{t_p} = \int_{-\infty}^{t_p} t \times f(t) dt$$

En donde t es tiempo, y $f(t)$ es la función de densidad de falla del componente. Con lo anterior se puede calcular el periodo promedio, o tiempo medio entre intervenciones (Mean Time Between Maintenance o MTBM), que es simplemente el periodo preventivo y correctivo, ponderado con su respectiva probabilidad de ocurrencia:

$$MTBM_{tp} = tp \times R(tp) + MTBF_{tp} \times [1 - R(tp)]$$

En donde $R(tp)$ es la probabilidad de que se complete el rango de tiempo tp sin fallas correctivas, por lo que es la probabilidad de que se realice una mantención preventiva. Por tanto $[1 - R(tp)]$ es la probabilidad de que ocurra una falla antes de haber finalizado el rango de tiempo tp , por lo que se necesite una mantención correctiva.

El tiempo de mantención promedio también dependerá de la naturaleza de la intervención, puesto que normalmente las mantenciones preventivas son de menor duración:

$$MTTR_{tp} = MTTR_p \times R(tp) + MTTR_c \times [1 - R(tp)]$$

En donde $MTTR_{tp}$ es la duración promedio de los tiempos de mantención, $MTTR_p$ es la duración de una mantención preventiva, y $MTTR_c$ es la duración de una mantención correctiva.

3.2.3 Mantenimiento Predictiva:

Es un tipo de mantenimiento preventivo, ya que se previene la falla, pero se diferencia por el uso periódico de inspecciones del componente. Cada inspección predice el comportamiento del componente en el próximo periodo, y así se puede pronosticar la falla y programar la mantención. Este tipo de mantención tiene ciertas exigencias para poder realizarse, entre ellas se encuentran:

- Que el componente tenga características medibles, que al variar puedan predecir que la falla ocurrirá en un tiempo cercano.
- Que estas características sean asequibles por el operador, es decir, que este pueda medir sin necesidad de desarmar la maquinaria.

También se puede utilizar este tipo de mantención cuando la falla del componente puede conllevar riesgos para los trabajadores, para el medio ambiente, o para otros componentes, y cuando los costos económicos de su implementación sean menores a los beneficios que esta otorgue. También se debe considerar que en caso de que el componente sea de sumo riesgo o que su implementación necesite la máxima confiabilidad en su uso (como sucede normalmente en la industria aeronáutica), este tipo de mantención es la más recomendable. Si se tiene un contexto de implementación crítico como los nombrados anteriormente, y las características del componente son medibles pero no asequibles, se puede considerar un rediseño del sistema o de la maquinaria, ya que su falla inesperada implicaría costos y consecuencias mucho mayores.

En la actualidad la empresa funciona solamente con un plan de mantenimiento correctivo, y las pocas mantenciones preventivas que se realizan en las líneas son esporádicas, y no se llevan registros de cuándo se hicieron y qué es lo que se hizo en cada una de ellas. Entonces, para poder proseguir con la selección y aplicación del plan de mantenimiento, se debe tener conocimiento de los costos implicados en cada una de estos tipos de mantención, puesto que estos serán los factores determinantes para escoger entre una y otra. Debido a lo anterior, a continuación se presentará una sección acotada sobre los costos relacionados a cada plan de mantención.

3.2.4 Costos según tipo de mantención

Los costos del mantenimiento dependerán de la estrategia de mantenimiento escogida, del elemento a analizar (su criticidad, mantenibilidad, y el efecto de su falla en el sistema o entorno), de factores externos, entre otros. Para poder generalizar los costos asociados a cada estrategia de mantenimiento, se presentarán los efectos principales que tienen cada una en la distribución de costos (Márquez, 2007).

- **Mantenimiento Correctivo:**

Al esperar la falla natural del componente, aquí no se tienen costos de implementación de un plan de mantenimiento, entonces no se tienen que pagar los costos de mano de obra y administrativos que estos conllevan. No obstante a lo anterior, este tipo de mantenimiento si tiene varios costos asociados, de los cuales se nombran:

- ✓ Mano de obra: Normalmente, y dependiendo del equipo al cual se le realizará la mantención, las fallas correctivas implican un tiempo mayor de mantención que las fallas preventivas, y pueden necesitar mayor cantidad de personal para su aplicación, debido a que no se tiene conocimiento previo de la causa raíz de la falla.

En primer lugar, al ser una falla inesperada se tendrá que buscar la razón de la falla del componente, y en segundo lugar, se tendrán que identificar los componentes dañados por la falla inicial (en caso de haber), los cuales se tendrán que reponer o reparar, alargando el tiempo de mantenimiento de la falla inicial.

Otro punto importante a considerar es la posibilidad de que el equipo, si no tiene un lugar único de trabajo, podría fallar lejos de la zona de reparación, como por ejemplo en camiones mineros que fallen en la mina, antes de llegar al lugar donde estos se mantienen. Todos los tiempos antes descritos dependerán de la naturaleza del componente y del sistema, y los costos de mano de obra dependerán del tiempo total de reparación, de la especialización necesaria de la mano de obra, y de los costos de esta a nivel nacional.

- ✓ Costos de ineficiencia: Los tiempos antes nombrados en la mano de obra, tienen repercusión directa en los costos de ineficiencia, ya que el equipo no estará produciendo el tiempo que esté en reparación. Estos costos se incrementan si la falla del equipo es una falla crítica, y esta implica la detención de una línea completa o incluso de la producción general.
- ✓ Costos de componentes: Se debe considerar el componente directamente dañado, y los componentes que fallaron debido a la falla inicial del componente principal, y que necesiten ser repuestos y no reparados.
- ✓ Costos de accidentes: Como en este tipo de mantención no se evita la falla, esta falla no programada, dependiendo del contexto de trabajo y de la naturaleza de la misma, puede producir daños al personal o al medio ambiente, los cuales generan costos sumamente elevados a la empresa, además de descontento y desconfianza por parte de los otros trabajadores.

Debido a lo anterior, no se suele utilizar este tipo de método de mantención cuando los riesgos sean muy elevados.

- **Mantenimiento preventivo a tiempo constante o a horas de trabajo constantes:**

Aquí las mantenciones son más frecuentes que en el caso anterior, ya que se mantiene antes de la falla. A pesar de tener un mantenimiento tipo preventivo, pueden haber fallas inesperadas entre los tiempos de mantenimiento, por lo que también hay mantenciones correctivas, pero estas serán mucho menores que en el mantenimiento tipo correctivo. Para obtener los mayores beneficios de esta estrategia de mantenimiento se debe encontrar el tiempo de mantención óptimo, para minimizar los costos generales de cada sistema:

- ✓ **Mano de obra:** Hay que considerar que en este tipo de estrategia se pueden tener mantenciones correctivas o preventivas, las cuales tienen una probabilidad de ocurrencia asociada según el tiempo preventivo entre mantenciones, es decir, si el tiempo entre mantenciones aumenta se tendrá una mayor probabilidad de tener mantenciones correctivas, en cambio, si el tiempo entre mantenciones disminuye, se tendrá mayor cantidad de mantenciones preventivas, pero la frecuencia de mantención también aumentará. Al encontrar el tiempo preventivo óptimo se podrá calcular el tiempo medio entre fallas, y el tiempo medio de reparación, ponderando cada tiempo (tiempo preventivo o correctivo), con su respectiva probabilidad.

Hay que considerar que en este tipo de estrategia de mantenimiento se tendrán menores fallas alejadas de los lugares de mantención, por lo que se disminuye el costo y el tiempo de llevar el equipo al lugar de mantenimiento, o de enviar al personal con las herramientas necesarias para la reparación (lo cual no siempre es posible).

También se debe valorar la mejora en la disposición de los tiempos del equipo de mantención, ya que con esta mantención es menos probable que ocurran fallas correctivas simultáneas, y el tiempo del equipo se podrá distribuir para disminuir los tiempos inactivos, al igual que los tiempos en donde los requerimientos superan la capacidad del equipo. Al igual que en el caso de mantención correctiva, los costos de mano de obra dependerán de los tiempos totales y del contexto de operación del componente.

- ✓ Costos de ineficiencia: Esta estrategia de mantenimiento usualmente disminuye los costos de ineficiencia, ya que, cuando las fallas son de tipo preventivo, no se dañan otros componentes del sistema. Además de lo anterior se puede programar la reparación, disminuyendo los efectos de la detención de la maquina o componente lo mayor posible.
Estos costos también se deberán ponderar con la probabilidad de que la falla sea de tipo preventivo o de tipo correctivo.
- ✓ Costos de los componentes: Se tienen menores costos de componentes dañados indirectamente, y los componentes podrán ser reparados en vez de repuestos en más ocasiones, ya que se podrán identificar las zonas peligrosas de estos antes de que estos fallen irreparablemente.
- ✓ Costos de accidentes: En este tipo de estrategia hay mantenciones tanto preventivas como correctivas, por lo que si las fallas inesperadas pueden generar daños al personal o al medio ambiente, el riesgo debe ser calculado. Este ítem es de suma importancia, debido a que las normas medio ambientales chilenas cada vez son más exigentes, aumentando las multas a aquellas empresas que las infrinjan, y más aún si esta infracción no es aislada sino que ha tenido varios hechos precedentes.

También siempre hay que considerar la seguridad del personal, no solamente por los grandes costos que implica su incumplimiento, sino por la confianza de los empleados, ya que un detrimento de esta puede conllevar a la improductividad, a la renuncia, o a enfermedades psicológicas.

- ✓ Realización del plan: Para poder realizar este tipo de programa se deben considerar los costos de la mano de obra especializada, tanto para analizar los tiempos óptimos de mantención y los costos del programa, como para recaudar y analizar los datos históricos de la maquinaria. También se deben considerar los costos posteriores de controlar el sistema, ya que se debe comprobar que el programa funciona de forma eficaz, según los objetivos definidos.

- **Mantenimiento Predictivo:**

Este tipo de mantenimiento considera inspecciones periódicas, lo que maximiza el tiempo de utilización del componente sin que este falle, por lo que se puede utilizar solo en componentes y maquinarias en donde se observen ciertas características que logren predecir fielmente la falla próxima. Estas inspecciones se realizan para predecir de manera correcta el momento de falla, pero intentando disminuir los costos asociados a la inspección. Los costos asociados a este plan de mantenimiento se pueden apreciar a continuación:

- ✓ Costos de inspección: Estos costos consideran la mano de obra que se debe utilizar para cada inspección, las herramientas necesarias para el control de las características de los componentes, la calibración de dichas herramientas, y la capacitación inicial del personal que tendrá que realizar las inspecciones.

- ✓ Mano de obra: Refiriéndose solamente a la mano de obra de mantención, es decir, apartando la mano de obra de la inspección y del desarrollo del programa, esta disminuye normalmente, debido a que los tiempos entre mantención son menores que en la mantención correctiva, además de disminuir la probabilidad de ocurrencia de una falla correctiva entre las mantenciones, y así evitar todas las desventajas que estas conllevan.
- ✓ Costos de ineficiencias: si no es necesario detener el componente o maquinaria para analizar las características preventivas, los tiempos de trabajo se optimizan, y se pueden programar adecuadamente las mantenciones, disminuyendo los efectos negativos en el sistema. Además de lo anterior, se tiene una menor cantidad de mantenciones correctivas, lo que disminuye la cantidad de detenciones inesperadas del sistema y se evita el dañar otros componentes al ocurrir la falla.
- ✓ Costos de los componentes: Estos costos serán optimizados en esta estrategia de mantenimiento porque, al tener la menor cantidad posible de mantenciones correctivas, y al aumentar los intervalos de mantención con respecto a las mantenciones preventivas, se tiene una frecuencia menor de mantención, por lo que hay menos cambios de componentes. Además de lo anterior, las fallas cuando son previstas no dañan otros componentes del sistema.
- ✓ Costos por accidentes: este tipo de estrategia de mantenimiento minimiza la probabilidad de haber fallas inesperadas, por lo que es la más recomendable cuando el riesgo al personal o al medio ambiente es elevado.

- ✓ Realización del plan: Se debe analizar los mismos factores que los realizados en el mantenimiento preventivo, pero también se deben estudiar los intervalos de tiempos en que se debe hacer los análisis predictivos, y deducir el estado en que deben encontrarse las características del componente para que estas indiquen que una falla está próxima. Debido a lo anterior, esta variable es más costosa que en los otros tipos de planes, y su realización dependerá de los beneficios que este conlleve.

Después de haber realizado los análisis de costos correspondientes, se debe escoger la opción que considere la menor cantidad de costos globales. Para poder escoger correctamente el plan de mantenimiento a utilizar, se debe tener entendimiento de la confiabilidad de los equipos y la confiabilidad de los sistemas, por lo que, para finalizar el estudio de los planes de mantención, se realizará un breve resumen de estos.

3.2.5 Confiabilidad de Equipos

Para mejorar la mantenibilidad y confiabilidad de los equipos, o la confiabilidad del proceso se pueden incrementar los costos de inversión de un proyecto, ya sea incorporando nuevos equipos o realizando diseños que mejoren la continuidad de la operación. La confiabilidad de un elemento puede ser caracterizada por distintos modelos probabilísticos, dependiendo de su etapa de vida, por lo que a continuación se mostrarán los tres tipos de modelos principales:

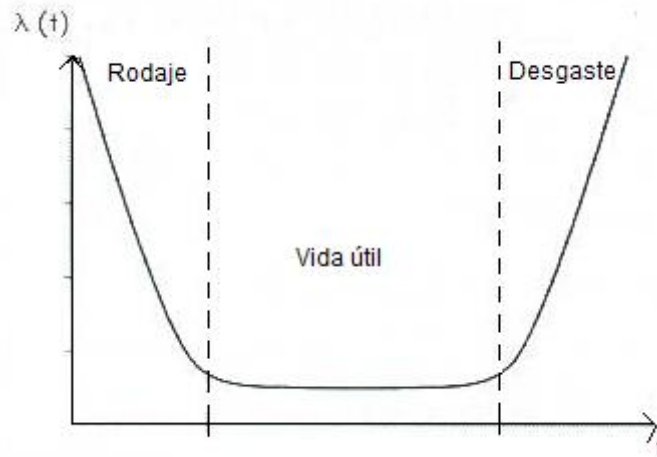


Ilustración 9: Etapas de Vida de un Equipo

En la figura se pueden identificar tres tipos de etapa de vida, en donde $\lambda(t)$ es la tasa de falla del elemento, es decir, la probabilidad de tener una falla en el rango de tiempo infinitesimal t a $(t + dt)$, sabiendo que el sistema ha sobrevivido hasta el tiempo t . En términos generales se puede encontrar la relación entre la tasa de falla $\lambda(t)$ y la confiabilidad del sistema $R(t)$ ((Arata, 2009):

$$R(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t)dt}$$

Otro elemento importante en el análisis de confiabilidad de un sistema es el tiempo medio entre falla (Mean Time Between Failure o MTBF), que es el tiempo promedio que funcionará el elemento sin fallar:

$$MTBF = \int_0^{\infty} t \times f(t)dt = \int_0^{\infty} R(t)dt$$

En donde $f(t)$ es la función de falla o la función de densidad de falla. Con las fórmulas anteriores se pueden obtener las tasas de falla para cada etapa del elemento, y el tiempo medio entre falla de cada uno.

- Fase de rodaje: En esta etapa del elemento, las fallas siguen la distribución de probabilidad tipo Weibull, con $\beta > 1$:

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\alpha} \times \left(\frac{t-\gamma}{\alpha}\right)^{\beta-1} ; \quad MTBF = \gamma + \alpha \times \Gamma\left(\frac{\beta+1}{\beta}\right)$$

- Fase de vida útil: En esta etapa se sigue un modelo de distribución exponencial, con tasa de falla constante, con $\beta = 1$:

$$R(t) = e^{-\lambda t} ; \quad MTBF = \frac{1}{\lambda}$$

- Fase de desgaste: En esta etapa se utiliza una distribución normal para modelar las fallas, con $\beta < 1$:

$$\lambda(t) = \frac{e^{-0.5 \left[\frac{t-\mu}{\sigma}\right]^2}}{\int_t^{\infty} e^{-0.5 \left[\frac{t-\mu}{\sigma}\right]^2} dt} ; \quad MTBF = \mu ; \quad \sigma = \text{Desviación Estándar}$$

Entonces, la forma de descubrir en qué etapa de su vida se encuentra el equipo es a través de la recolección de la información de falla, y así poder encontrar el valor de β .

3.2.6 Confiabilidad de sistemas

Es la probabilidad de buen funcionamiento, es decir, la probabilidad de que funcione el sistema sin detenciones. Otra definición utilizada es la probabilidad de que un elemento funcione sin fallar, durante un tiempo determinado, bajo condiciones ambientales y un entorno preestablecidos. Para analizar esta confiabilidad se deben considerar todos los equipos interrelacionados para generar un producto o pieza, y así encontrar la probabilidad de que todo el sistema funcione sin fallar, a la capacidad deseada. Entonces, a continuación se nombrarán las configuraciones típicas que pueden tener los elementos dentro de un sistema, otorgando la fórmula para encontrar la confiabilidad en cada caso (Arata, 2009).

- Configuración en Serie: Como se puede observar en la figura, es cuando un componente precede directamente a otro.

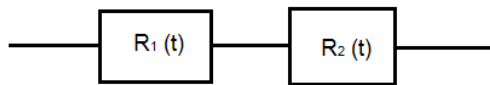


Ilustración 10: Configuración en Serie

$$R_s(t) = R_1(t) \times R_2(t) \times \dots \times R_n(t) = \prod_{i=1}^n R_i(t) \quad ; \quad \lambda_s(t) = \sum_{i=1}^n \lambda_i(t)$$

- Configuración en Paralelo: Existen 2 tipos de redundancias en paralelo:
 - ✓ Redundancia Parcial: En este tipo de configuración, un grupo de elementos del total de elementos que están en paralelo, es capaz de soportar el buen funcionamiento del sistema, es decir, pueden fallar cierta cantidad de elementos sin que el sistema sea comprometido.

Entonces, cuando se tiene un total de “n” elementos en paralelo, y para el correcto funcionamiento del sistema se necesita que por lo menos estén funcionando “r” de manera debida, la confiabilidad de la configuración será:

$$R_s(t) = \sum_{j=r}^n \binom{n}{j} R^j (1-R)^{n-j}, \text{ con } r \leq j \leq n$$

- ✓ Redundancia total: Ocurre cuando un elemento por sí solo es capaz de soportar el buen funcionamiento del sistema, pero en operación funcionan los dos al mismo tiempo. En este tipo de configuración es usual que hayan solamente 2 elementos en paralelo.

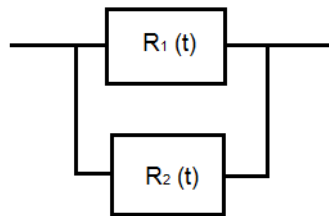


Ilustración 11: Redundancia Total

$$R_s(t) = 1 - \prod_{i=1}^n F_i(t)$$

- Stand by: En este tipo de configuración se tienen dos elementos, de los cuales normalmente solo funciona uno, y el otro comienza a funcionar cuando el primero falla. El cambio de un elemento de trabajo a otro lo realiza un conmutador o switch, que también puede tener una probabilidad de falla asociada, por lo que la confiabilidad del sistema queda:

$$R_s(t) = e^{-\lambda t} (1 + \lambda t) ; R'_s(t) = R_s(t) \times R_c(t) ; MTBF = \frac{2}{\lambda}$$

En donde $R'_s(t)$ es la confiabilidad del sistema cuando se considera la confiabilidad del conmutador $R_c(t)$, y $R_s(t)$ es la confiabilidad de los dos equipos. Se puede observar que el conmutador está en serie con los dos elementos en stand by. La configuración analizada anteriormente se llama stand by en frío, pero existe una variación a esta, que es el stand by en caliente, en donde el segundo elemento ya no está en reposo, sino que también está trabajando, lo que disminuye su confiabilidad, pero también disminuye el setup del elemento.

Hay veces en que no se pueden describir fácilmente los sistemas en base a las configuraciones anteriores, por lo que se pueden utilizar otras técnicas de análisis en dichos casos. Entre estas técnicas se encuentran el Cut Set, el árbol de fallas, la aproximación por probabilidad condicional, la matriz de conexión, etc. Los cuales no se especificarán en este texto.

Para terminar el análisis de la confiabilidad, se debe resaltar la importancia que tiene la confiabilidad del personal para alcanzar las metas deseadas en este ámbito, puesto que si no se tiene un personal capacitado, aunque el programa y planificación de las mantenciones sea óptimo, fallará en la implementación y no se obtendrán los resultados buscados. Los errores humanos se pueden clasificar en 3 formas:

- ✓ Errores técnicos: Estos se generan por la falta de formación, o por la escasa habilidad para realizar un trabajo. Este tipo de error se puede disminuir con la correcta capacitación de los trabajadores.
- ✓ Errores inadvertidos: Ocurren debido a la falta de atención, o por exceso de confianza. Estos errores son peligrosos por que los trabajadores no se dan cuenta cuando los cometen. Se pueden evitar en cierta medida con la correcta supervisión en las zonas de trabajo.

- ✓ Errores consientes: Cuando la dirección elige opciones desacertadas, o cuando hay actitudes fraudulentas, sabotajes, entre otros.

Para evitar en lo más posible cualquiera de las situaciones antes nombradas, la empresa debe otorgar un ambiente saludable de trabajo, en donde se promueva el aprendizaje continuo y las buenas prácticas, para así entrar al círculo virtuoso de la producción.

3.2.7 Mantenibilidad

Es la probabilidad que tiene un objeto o maquinaria fallada, para volver a ser adecuado para su trabajo, es decir, la probabilidad de reparación a un tiempo determinado. También se le define como la distribución de probabilidad que tiene un elemento para ejecutar la tarea de mantención en cierto tiempo, la cual sigue un comportamiento normal-logarítmico (Arata, 2009).

Su importancia radica en que su modelación permite encontrar el tiempo medio de reparación del elemento (Mean time to repair o MTTR), que es fundamental para el análisis del comportamiento del equipo, y puede llegar a ser parte importante del ciclo del tiempo de funcionamiento del componente.

Para poder encontrar el MTTR de un componente primero se debe calcular la media de los logaritmos de los tiempos de reparación (μ), y la varianza relativa de la distribución (σ^2), que se muestran a continuación:

$$\mu = \sum_{i=1}^n \frac{\ln(Tr_i)}{N} \quad ; \quad \sigma^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(\ln(Tr_i) - \mu)^2}{N - 1} \quad ; \quad MTTR = e^{(\mu + \frac{\sigma^2}{2})}$$

En donde Tr_i son los tiempos de reparación de cada medición, y N es el número total de mediciones hechas del componente. La mantenibilidad es la probabilidad de reparar al elemento en un tiempo Tr, y viene dada por la probabilidad acumulada de la distribución normal – logarítmica en el tiempo Tr.

$$F(Tr) = \int_0^{\infty} f(Tr) dTr \quad ; \quad f(Tr) = \frac{\exp\left\{\frac{[\ln(Tr) - \mu]^2}{2\sigma^2}\right\}}{\sigma \times Tr \sqrt{2\pi}}$$

En donde $F(Tr)$ es la probabilidad acumulada y $f(Tr)$ es la función densidad de probabilidad. Definidos los conceptos de mantenibilidad y confiabilidad, se puede encontrar la disponibilidad de componentes y sistemas:

$$Disponibilidad Esperada = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

Con todas las variables analizadas previamente, se puede comenzar con el análisis del sistema en sí, buscando los planes óptimos de mantenimiento, y la manera adecuada para realizar su implementación.

3.3 Análisis de Datos

La última herramienta que se describirá es el análisis de datos, el cual se utiliza para obtener conclusiones del funcionamiento y comportamiento de las distintas máquinas, específicamente de su variabilidad intrínseca. Esta herramienta será de utilidad cuando se analice la capacidad y variabilidad de la llenadora de la línea “C”. En esta sección solo se describirán las herramientas analíticas que se emplearán posteriormente, y no se entregará un resumen total de las herramientas existentes en esta área (Hines y Montgomery, 1993).

Todo análisis de datos surge en un principio de la recolección misma de los datos, los cuales serán en este caso la dosificación de masa que entreguen las distintas boquillas (peso). Se puede decir que la dosificación de las distintas boquillas serán experimentos aleatorios, es decir, que se obtendrán resultados que no se pueden predecir con certeza, pero de los cuales se puede describir un conjunto de resultados posibles, si se mantienen las condiciones invariables. Cada boquilla se estudiará independiente de las demás, debido a que el ajuste de peso de las mismas es individual.

Debido a que la variable a analizar es el peso de dosificación, se trabajará con variables aleatorias continuas, las cuales se asumen que se distribuyen de manera normal (lo cual se comprobará posteriormente). Debido a que no se podrá jamás tener la información de la población, ya que se necesitaría recolectar una cantidad infinita de datos, se obtendrán conclusiones a partir de muestras que representen de manera correcta el comportamiento de las boquillas. De las muestras se podrán obtener los indicadores que se muestran a continuación.

- **Promedio o media de la muestra:**

Es una medida de tendencia central, en donde se ponderan todos los datos obtenidos en la muestra:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

En donde n es la cantidad total de datos en la muestra, y x_i son los valores de dichos datos.

○ **Varianza de la muestra y desviación estándar:**

Son medidas de dispersión que muestra que tan alejados o cercanos se encuentran los datos con respecto a la media. A continuación se muestran sus respectivas fórmulas:

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1} \quad ; \quad s = \sqrt{s^2}$$

En donde s^2 es la varianza y s es la desviación estándar. También es importante saber que la varianza de un sistema es igual a la suma de las varianzas que lo compone, por lo que:

$$Var [X + Y] = Var[X] + Var[Y]$$

○ **Estimación del promedio de la población:**

Como se mencionó anteriormente, para poder obtener el promedio real de la población (en este caso de la dosificación de la llenadora), se necesitaría una cantidad infinita de datos, lo cual no es posible.

Para poder solucionar el problema anterior se puede realizar una estimación de un rango de valores en donde es más posible que esté el promedio real, en base al promedio de la muestra, de la cantidad de muestras extraídas, y de la precisión que tendrá el rango de valores, como se observa en la siguiente fórmula:

$$P \left\{ \bar{x} - t_{\frac{\alpha}{2}, n-1} \times \frac{s}{\sqrt{n}} \leq \mu \leq \bar{x} + t_{\frac{\alpha}{2}, n-1} \times \frac{s}{\sqrt{n}} \right\} = 1 - \alpha$$

En donde P es la probabilidad de que la media de la población se encuentre en el rango, α es la probabilidad de que la media de la población se encuentre fuera del rango, $t_{\frac{\alpha}{2}, n-1}$ es la distribución t-student con $\frac{\alpha}{2}$, $n-1$ grados de libertad, la cual está tabulada, y μ es el promedio real de la población. Con la fórmula anterior se puede observar que entre mayor sea la cantidad de datos recolectados, y menor sea P , se tendrá un rango posible más acotado.

○ **Estimación del promedio de la población:**

Similar al análisis realizado con el promedio, también se puede encontrar un rango posible de la varianza, como se muestra a continuación:

$$P \left\{ \frac{(n-1)s^2}{X_{\frac{\alpha}{2}, n-1}^2} \leq \sigma^2 \leq \frac{(n-1)s^2}{X_{1-\frac{\alpha}{2}, n-1}^2} \right\} = 1-\alpha$$

En donde $X_{\frac{\alpha}{2}, n-1}^2$ es la distribución Xi cuadrado con $\frac{\alpha}{2}$, $n-1$ grados de libertad, y σ^2 es la varianza real de la población. La distribución Xi cuadrado también se encuentra tabulada.

○ **Capacidad del proceso:**

Los índices de capacidad de un proceso entregan la medida en que la variabilidad natural del mismo cumple con los requerimientos exigidos, por lo que entre mayor sea el índice, menor será la variabilidad natural en comparación a la variabilidad máxima permitida en el proceso. Hay distintos índices de capacidad, pero el que más nos interesa para el análisis es el índice de capacidad potencial (C_p), ya que solo nos interesa la variabilidad del sistema, y no su centrado, debido a que este cambia cada vez que se ajustan las boquillas.

El C_p relaciona los límites tolerables del producto, con su desviación estándar multiplicada por 6. Lo anterior debido a que en sistemas que se comportan según la distribución normal, el rango que se encuentra a 3 desviaciones estándar de la media deberían contener el 99,73% de los datos, por lo que los datos que salgan de este margen serían escasos. A continuación se presenta la fórmula del C_p :

$$C_p = \frac{ES - EI}{6 \times \sigma}$$

En donde ES es la especificación superior o el límite superior admisible, y EI es la especificación inferior o límite inferior admisible. Según el valor que se obtenga de la capacidad, este proceso se podrá clasificar en distintas clases, las cuales se resumen en la tabla 5 (Gutiérrez, 2010).

Tabla 5: Clasificación C_p

Rango de C_p	Clase del proceso	Especificación
$C_p > 2$	Clase Mundial	Tiene calidad 6 sigma
$1,33 \leq C_p \leq 2$	1	Más que adecuado
$1 \leq C_p < 1,33$	2	Adecuado pero requiere control
$0,67 \leq C_p < 1$	3	No es adecuado, el proceso requiere modificaciones
$C_p < 0,67$	4	No es adecuado, el proceso requiere modificaciones serias

Se recomienda que la capacidad del proceso sea mayor a 1,33, ya que esto asegura el rendimiento del proceso sin tener que estar controlándolo continuamente. Una capacidad mayor a dos implica tener un proceso de clase mundial, es decir, que se encuentran menos de 3,4 defectos por un millón de piezas producidas, lo cual es el objetivo de múltiples empresas intensivas de productos.

Por último, siempre se debe tener en cuenta que entre mayor sea el número de muestras extraídas, más se acercarán los indicadores al valor real de la población, pero también se deben considerar los costos implicados en las recaudaciones de muestras, por lo que se debe optimizar el número de muestras, según la precisión que se quiera tener, y los costos que se puedan permitir.

4. Análisis y mejoras de la Línea “C”

En base de lo expuesto anteriormente con respecto a las herramientas a utilizar, se procura analizar la línea “C”, para ir mejorando y optimizando sus puntos críticos. Lo anterior con el apoyo del encargado del grupo 1, ya que dependen de él las aprobaciones o rechazos de las mejoras en la línea. A continuación se irán nombrando las mejoras aplicadas en la línea de manera cronológica, y la razón de implementación de las mismas.

4.1 Horno Kalfass Super Wrap 650

Este es un equipo que consta de una enfardadora y horno, y es el más reciente y tecnológico de la planta. Su uso es exclusivo para la línea “C”, en contraste con la mayoría de los otros, que deben ser compartidos por las demás líneas de envasado, con excepción de la línea “A” y “B”, que también tienen hornos particulares. Este equipo cuenta con sistemas de protección para las operadoras, en donde se restringe el ingreso de las mismas cuando se esté ejecutando el ciclo de trabajo, evitando así quemaduras y apriete de extremidades.

Su funcionamiento consta del ingreso de los productos de manera manual por parte de las operadoras, y su posterior accionamiento del ciclo a través de una botonera doble del panel. Los productos deben ser ingresados cuando la luz “Básico Inserción” esté encendida, y no antes, puesto que la infracción de esto provoca la generación de un fallo en el sistema, y paro de la máquina de manera temporal.

Al momento de comenzar el análisis de la línea esta máquina producía los mayores tiempos de detención y retraso (punto crítico), como se describió en la sección 2.1.6, por lo que fue el primer factor limitante a analizar. Estas ineficiencias se debían en primer lugar al desconocimiento de los parámetros y la forma óptima de ajuste para poder cambiar de un formato a otro, lo que se debía principalmente a la novedad del equipo, que era ajeno a las operadoras, las cuales estaban acostumbradas al uso de los hornos antiguos que diferían de manera sustancial al nuevo debido a su mayor tecnología. En segundo lugar, las detenciones ocurrían por fallas propias al equipo en sí, ajenas a la operación, las cuales se tuvieron que conversar con el proveedor, debido a que no se estaba entregando el servicio que se estableció al comprar el equipo.

Para poder solucionar la primera problemática se diseñó un instructivo operacional para el horno, el cual fue entregado a las operadoras de la línea, y el que se muestra en el anexo 2. También se comprendieron la totalidad de los parámetros implicados en el cambio de formato para poder así capacitar al equipo de mantención, y para que estos a su vez soporten a la línea en caso de cualquier desconfiguración del mismo.

Con respecto al segundo problema, se entregó el soporte necesario para eliminar los factores correspondientes al ajuste de la máquina, y así establecer cuáles de los problemas que se estaban manifestando eran problemas propios del equipo, y así determinar en qué problemáticas se necesitaba el aporte del proveedor.

Después de haber realizado las mejoras anteriores, las cuales no tuvieron costos implicados, además del costo de la impresión, papel y anillado, se pudo mejorar la velocidad de la línea a 55 - 60 piezas por minuto.

Lo anterior se obtuvo con excepción del producto crítico, el cual al tener una forma particular de envase, se desbalanceaba y caía. A pesar de haber subido de 30 a 40 - 50 piezas por minuto, sigue por debajo de la velocidad nominal de la línea (60 piezas por minuto). Esto es aún más inaceptable considerando que el horno se compró específicamente para este producto.

También se debe destacar que aún hay problemas en la máquina, ya que entrega mensajes recurrentes de error, lo que ralentiza aún más la línea, y genera acumulación de productos. Estas problemáticas son problemas del equipo en sí, por lo que se derivó a otra área en donde podrán dialogar con el proveedor.

Aproximando la mejora de la velocidad de la línea a 10 piezas más por minuto (600 piezas por hora), debido a la mejora en la operación y la mejora en los tiempos de ajuste y arreglo de la máquina por parte de mantención, y asumiendo que el horno se utiliza las dos terceras partes del tiempo de producción, se tiene un aumento de:

$$600 \left[\frac{\text{pieza}}{\text{hr}} \right] \times 24 \left[\frac{\text{hr}}{\text{día}} \right] \times \frac{2}{3} = 9.600 \left[\frac{\text{pieza}}{\text{día}} \right]$$

Este aumento en la productividad sería el real en el caso de no haber otras detenciones en la línea, pero debido a que al mejorar el horno aparecen otras restricciones diferentes, se asumirá que la mejora real de la línea es una tercera parte de la mejora ideal (la aproximación anterior se aplicará a todas las mejoras realizadas en la línea). En base a lo anterior, se determina que la mejora real del horno implica un aumento de 3.200 [piezas/día], por lo que, a 25 días laborales al mes (horarios de trabajo de lunes a viernes 24 horas, y los sábados de 0:00 a 16:00), la mejora real fue de:

Tabla 6: Beneficios Mejora del Horno

Mejora	Producción diaria	Costo del producto (\$/u)	Ahorro por producto (\$)	Ahorro diario (\$)	Ahorro mensual (\$)	Costo (\$)	Ahorro de dos meses
<i>Antes</i>	28.498	68,5					
<i>Después</i>	31.698	61,6	6,9	219.092	5.477.302	0	10.954.604

Entonces la mejora en los procedimientos de producción y ajuste del horno, implican un ahorro de 5,5 millones de pesos mensuales. No se puede asumir que esta mejora implica un ahorro por un tiempo indefinido, ya que si no se hubiese acelerado el tiempo de aprendizaje, en algún momento las operadoras y el equipo de mantención hubiesen aprendido los parámetros y su forma óptima de aplicación. Debido a lo anterior se asume que se aceleró el aprendizaje por un tiempo de 2 meses, por lo que el ahorro anual, y único ahorro será de 11 millones, y los otros años no se tendrán ahorros extra.

4.2 Implementación de cámaras de Rechazo

En las Líneas “A”, “B” y “C” siempre debe haber un operador revisando los productos cuando estos salen de la etiquetadora, debido a que esta maquinaria tiene grandes variaciones, y aunque esté bien ajustada con los parámetros correctos, pueden pasar envases con las etiquetas desviadas, con arrugas, o desfasadas. Para utilizar a este operador en actividades más valiosas, y asegurar la calidad del producto final ya que el error humano es frecuente, y normalmente pasan etiquetas desviadas, se realizó el proyecto de implementación de las cámaras OMRON FQ2, el cual inspeccionará automáticamente todas las piezas que pasen delante de ella, y rechazará los productos que estén fuera de las tolerancias permitidas.

Para su implementación, estas cámaras fueron instaladas por el proveedor, pero la generación de la imagen de cada formato, la comprensión de las herramientas y parámetros implicados, y las enseñanzas de la metodología, tuvo que ser desarrollada por el equipo de mantención. Para poder lograr esto se resumió en primer lugar el manual entregado por el proveedor, para tener así una lista con todas las herramientas útiles para el ajuste de la cámara. Después de lo anterior se realizaron pruebas en terreno de ciertos formatos, probando las herramientas seleccionadas previamente, y observando cuales eran más útiles en la realidad de la planta.

Luego de haber obtenido las herramientas útiles para la ejecución de las cámaras, se guardaron y probaron todos los formatos de las Líneas “A”, “B”, y “C” a medida que estos se fuesen fabricando. También se anotaron las tolerancias y se realizaron pruebas para comprobar el correcto funcionamiento de las cámaras. Por último, después de haber realizado todos los ajustes, se desarrolló un instructivo operacional, el cual se encuentra en el Anexo 3, para que los operadores pudiesen comprender y manejar las herramientas empleadas.

Como la cámara OMRON FQ2 genera todas las tolerancias en base a pixeles, el ajuste era un poco complicado, por lo que se generó un procedimiento de ajuste sencillo para los operarios. Al momento del ajuste el jefe de línea le debía facilitar a los operarios 4 envases con las etiquetas desplazadas justo hasta su tolerancia máxima, por lo que se tenía una etiqueta con desplazamiento máximo hacia arriba, hacia abajo, hacia la derecha y hacia la izquierda, tanto para la etiqueta anversa como para la reversa. Después estos envases se colocaban delante de las cámaras en una posición definida, y se anotaban los pixeles que leía la cámara en una planilla para cada herramienta y para cada desplazamiento, la cual era otorgada por el equipo de mantención. Con los datos anteriores se podían ajustar las tolerancias en pixeles en la máquina para dicho formato, y así quedar operativa.

A continuación se presenta la planilla en donde los operarios anotan los resultados de cada formato, realizándose 3 iteraciones por cada etiqueta desplazada, para después calcular el promedio de cada una.

Tabla 7: Planilla Para Ajustar Cámara OMRON

Producto:			Formato N°:		
Etiqueta	Parámetro	Desviación	Medición N° 1	Medición N° 2	Medición N° 3
Anversa	Posición X	Arriba			
		Abajo			
	Posición Y	Izquierdo			
		Derecho			
Reversa	Posición X	Arriba			
		Abajo			
	Posición Y	Izquierdo			
		Derecho			

Se debe destacar que con esta mejora no solamente se libera la atención continua de una operadora, la cual ahora puede ayudar a mejorar la productividad de la línea, sino que también se evita entregar un producto que no cumple con los requerimientos del cliente. No son pocas las veces que por motivos de inspección del departamento de calidad, se rechazan lotes enteros de productos debido a que la etiqueta no cumple con los estándares exigidos. En el caso anterior normalmente se pide el reproceso e inspección completa del lote o pallet, lo que genera grandes costos asociados, tanto por el uso de la mano de obra, como el costo de ineficiencia al tener que parar una línea para su reproceso.

4.3 Rediseño Boquillas de Dosificación

Uno de los problemas más recurrentes de la línea “C” ocurría en la primera parte de la misma, en la zona de la llenadora, pero no se observaba acopio de material al ser la primera parte en donde ingresaba el producto a la línea, aunque sí se podía observar a las operadoras desocupadas por periodos prolongados de tiempo en etapas posteriores de trabajo. Este problema surgía normalmente al cambiar el formato, en donde instalaban la nueva unidad de llenado con sus respectivas 6 boquillas. Al comenzar con la operación de la llenadora, era recurrente observar que una o más de las 6 boquillas empezara a filtrar por alguna zona.

La filtración de producto es inadmisibles porque esta puede contaminar el área de trabajo, lo cual no es permitido por parte del área de calidad, además produce variación en el volumen de dosificación del producto, lo que podría provocar que se generen productos con un peso menor al requerido. También es usual que una pequeña filtración al comienzo de la operación crezca, y se termine convirtiendo en una filtración mayor difícil de controlar.

Entonces, si un elemento está filtrando, su control rápido y efectivo es fundamental. La persona a cargo de resolver este problema es la maquinista de la línea, la cual usualmente llama al equipo de mantención mientras intenta resolver el problema por su cuenta. En ese instante lo que normalmente ocurría era que la maquinista sacaba la o las boquillas que se encontraban filtrando, las abría, revisaba los 4 O’ring en su interior, sacaba los que a su opinión estuviesen malos (podían incluso sacar los 4 O’rings por motivos de precaución), y volvían a armar las boquillas.

Después de haber hecho el procedimiento previo revisaban que las cánulas (parte interior de las boquillas), tuviesen el punto final de su recorrido al ras con la boquilla. Si la cánula estuviese con el recorrido corto (su punto final no alcanzaba a estar al ras), podía indicar que el O’ring inferior no alcanzaba a ser apretado contra la pared de la boquilla, por lo que no permitía cortar el flujo correcto del producto. Si la situación anterior ocurría, se tenía que volver a desarmar la boquilla, y ajustar el largo de la cánula con una tuerca que permite el ajuste. También podía ocurrir que la pieza de Technyl tuviese rodado el hilo en su interior, lo que requería que mantención fuese al pañol a buscar un repuesto del material, lo que podía demorar 10 minutos o más si el equipo de mantención estuviese ocupado con otras prioridades al momento.

Si luego de haber realizado los procedimientos anteriores la boquilla continuaba con filtración, la maquinista se dirigía a la zona de lavado y pedía que le entregaran una boquilla limpia. El problema surge aquí cuando el lavador se encontraba ocupado con otras prioridades, por lo que no podía lavar y armar las boquillas que se necesitaban. En la situación anterior usualmente la maquinista iba a lavar una de las boquillas y las armaba por su cuenta, o esperaba a que el lavador tuviese tiempo para solucionar su problema.

Después de obtener la boquilla limpia, la maquinista cambia la boquilla en la llenadora y la prueba. No era poco frecuente visualizar que después de haber cambiado la boquilla el problema continuase, debido a un mal armado de la boquilla nueva, o a que los O’rings no se encontraban operativos. En este caso se repiten los pasos previos, hasta finalizar el proceso con 6 boquillas funcionales sin filtraciones. Se debe destacar que las maquinistas usualmente no tenían apuro en arreglar la maquinaria, por lo que se demoraban bastante tiempo en el arreglo de las boquillas.

El tiempo de reparación de las boquillas podía demorar de 10 a 30 minutos usualmente, lo que dependía de la rapidez de la maquinista, de la disponibilidad del equipo de mantención, de la disponibilidad del lavador, entre otros. Este problema ocurría a diario, por lo que el tiempo de reparación era de 20 minutos al día. También se deben considerar los costos asociados a los cambios continuos de O’rings y de la pieza de technyl, los cuales se aproximarán a que se cambian 2 O’rings por falla, y una pieza de technyl cada 4 fallas.

Debido a los costos antes mencionados, se hacía patente la necesidad de hacer un rediseño en las boquillas de llenado, para poder disminuir las frecuencias de las fallas, y a su vez, poder tener una velocidad de reacción más rápida del problema. Para poder lograr esto se trabajó en conjunto al equipo de mantención en un diseño más simple de la boquilla de llenado, el cual disminuiese en gran medida sus piezas de armado y su cantidad de O’Rings. También se quería reemplazar la pieza de Technyl por una con un material más firme, para evitar así el rodamiento de su hilo interior.

A través de algunas iteraciones de diseño se obtuvo el diseño final, el cual generaba un armado más simple de las boquillas, además de disminuir la cantidad de O’rings a la mitad (de 4 se disminuyeron a 2). También cambiaba la pieza de technyl por una de acero inoxidable, y se eliminó la golilla. Por último, también se fabricaron 2 boquillas Backup, las cuales estarán disponibles en los cambios de formato, y así poder asegurar que en caso de haber filtraciones en alguna boquilla, esta pueda ser cambiada inmediatamente por la maquinista, sin preocuparse esta por la causa de la filtración, y dejando ese trabajo para que sea luego examinado por el lavador o el equipo de mantención. La implementación de las boquillas Backup disminuiría el tiempo de detención a 5 minutos en los peores casos, debido a que la boquilla tiene un ensamble rápido.

En las ilustraciones de 12 a 15 se puede observar la boquilla antigua y la nueva en dos formas, la primera es totalmente armada, y la segunda es a través de un despiece de la misma, en donde se puede apreciar la disminución de piezas y los cambios implementados entre cada una.



Ilustración 13: Boquilla Antigua Armada



Ilustración 12: Boquilla Nueva Armada



Ilustración 15: Despiece Boquilla Antigua



Ilustración 14: Despiece Boquilla Nueva

Entonces, con los cambios que se realizaron se disminuyó la frecuencia de falla a un tercio de la frecuencia original, y los tiempos de falla disminuyeron de 20 a 5 minutos. En la actualidad, con la mejora de diseño, la falla se produce un tercio del tiempo, es decir, cada 3 días, y por un rango de tiempo de 5 minutos, por lo que el costo diario es de 1,67 minutos, lo que se aproxima a 2 minutos diarios.

También se debe considerar el costo asociado del rediseño de las boquillas, el cual fue de 120.000 por boquilla para su mejora, y de 300.000 por cada boquilla Backup. Se rediseñaron 12 boquillas, es decir, dos juegos de 6 boquillas cada uno, y se generaron 2 boquillas Backup, lo que implica un costo total de:

$$12 \times 120.000 + 2 \times 300.000 = \$2.040.000$$

Entonces, los beneficios de la aplicación de las nuevas boquillas es la reducción de 18 minutos diarios, lo que implica una producción de 1.080 piezas al día, pero, como surgen nuevas restricciones al mejorar las antiguas, se asume una mejora de un tercio la mejora ideal, lo que implica 360 piezas por día. Como se puede observar en la tabla siguiente, el ahorro mensual es de 553 mil pesos, lo que implica que la inversión se paga en aproximadamente 4 meses, logrando un ahorro el primer año de 4,6 millones. Después del primer año el ahorro será de 6,6 millones anuales, ya que ya se habrá pagado la inversión inicial.

Tabla 8: Beneficios Mejora de Boquillas

Mejora	Producción diaria	Costo del producto (\$/u)	Ahorro por producto (\$)	Ahorro diario (\$)	Ahorro mensual (\$)	Costo (\$)	Ahorro Primer Año
<i>Antes</i>	31.698	61,6					
<i>Después</i>	32.058	60,9	0,7	22.160	553.990	2.040.000	4.607.877

4.4 Dosificación de boquillas

Existe una gran cantidad de problemas asociados con la dosificación de las boquillas de la máquina llenadora en la Línea “C”, ya que esta línea es la única que tiene más de una boquilla en donde cada una se ajusta de manera individual, por lo que las dosificaciones de las boquillas son independientes entre sí. Esto produce grandes variaciones de peso entre las boquillas y dificultad en su ajuste.

El procedimiento que se realiza actualmente para ajustar las boquillas es dejar pasar dos grupos de 6 envases sin pesar, ya que cada vez que se ajustan las boquillas los primeros 12 envases tienen peso inestable, y luego se pasan uno o dos grupos de 6 envases más, los cuales son pesados individualmente, mientras que la maquinista ajusta la máquina según el peso que le van dictando las operadoras. Este tipo de ajuste se realiza de manera iterativa hasta que todos los envases se encuentren dentro de las especificaciones. Para pesar los envases normalmente se extrae un envase del contenedor, de donde se dispensan todos los envases vacíos, y este se utiliza como la tara del envase, para que al pesarlos solamente se pese el contenido de los mismos.

Con respecto a los procedimientos anteriores, al ser analizados se observaron múltiples falencias, las cuales fueron posteriormente medidas y comprobadas. Estas falencias se nombran a continuación:

- Los envases al ser en su gran mayoría de plásticos soplados, tienen una gran variación de peso entre ellos, lo que puede generar rangos de hasta 3 gramos de diferencia entre unos y otros.

El hecho anterior tiene grandes implicancias negativas asociadas, ya que generalmente los rangos de tolerancia de los productos no superan los 3 gramos de diferencia, por lo que solamente en el peso de los envases se puede encontrar la variabilidad máxima permitida.

Lo previamente descrito genera a su vez una sobre reacción por parte de las operadoras, ya que al tener rangos tan altos de variación, piensan que la dosificación de masa es la que se comporta de manera variable, por lo que ajustan muchas veces las boquillas. Esto implica una gran cantidad de productos desperdiciados (como mínimo 12 envases por ajuste), y pérdidas de tiempo considerables al ajustar, ya que la maquinista se debe levantar de su lugar de trabajo, ajustar las boquillas y volver a sentar, además de tener que volver a pesar los envases al terminar el ajuste.

- Otro problema ocurre al momento de elegir el envase “Tara”, ya que este es escogido de manera aleatoria, y se mantiene normalmente por todo el turno, e incluso por toda la ficha. Lo anterior implica que al tener una Tara más liviana que el promedio de los envases, los envases van a ser llenados con menos productos del que deberían, pudiendo así tener problemas por la no conformidad de los clientes, o en caso contrario, si la Tara es más pesada que el promedio de los envases, los envases se llenarán más de lo necesario, lo que genera pérdidas de producto y dinero por parte de la empresa. Este es un punto sumamente delicado, ya que al vender productos con bajo peso se puede tener denuncias del SERNAC (Servicio Nacional del Consumidor) a nivel nacional, pérdidas de clientes, e incluso devoluciones o pérdidas de lotes y productos enteros.

En la imagen siguiente se muestra una representación de los problemas mencionados anteriormente, en donde la barra azul representa la tara, y la barra morada y celeste representa el peso promedio de los envases para cada situación.

Se puede observar que al tener envases más livianos (barra morada), los envases se tienden a llenar más de lo que se debería, puesto que la masa tiene que compensar el peso que le falta a los envases. Por otro lado, al tener envases más pesados (barra celeste), el mayor peso del envase hace suponer que se necesita menos masa de la que de verdad se necesita, por lo que los envases se llenan por debajo de su requerimiento mínimo. Los pesos fueron exagerados para esquematizar de mejor forma el problema.

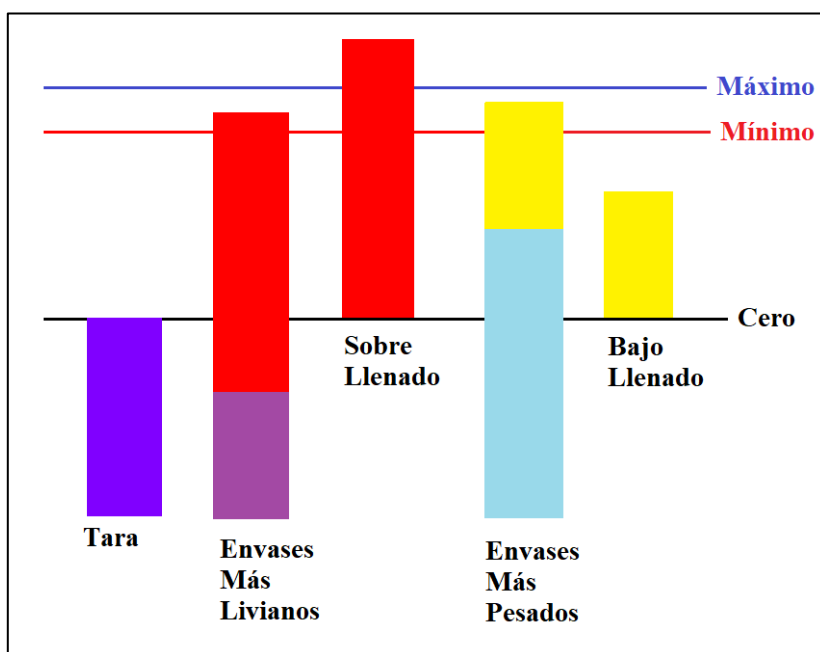


Ilustración 16: Elección de Tara

- Otro problema identificado fue que en la línea transcurrían grandes periodos de tiempo sin realizar mediciones ni pesar las botellas, por lo que si habían boquillas que estaban dosificando más o menos de lo solicitado, no se percataban del problema hasta que ya habían generado una gran cantidad de productos.

- El último gran problema que se observó en la línea fue que para ajustar las boquillas se pesaban solamente de uno a dos grupos de 6 boquillas, y sin una razón estadística que respalde esta situación. Esto se agravaba debido a que la dosificación de las boquillas se aceptaba cuando estas se encontraban dentro del rango, aunque estuviesen muy cercanos a los límites permitidos. Para ejemplificar la situación anterior se asume un rango de peso permitido entre 100 y 102 gramos, por lo que al proceder a pesar las boquillas se obtiene que la boquilla N°1 pesó 100,3 y 100,5 gramos. Con el resultado anterior se asumía que la boquilla estaba buena, aunque estadísticamente, debido a la variabilidad del sistema, había una alta probabilidad de que la boquilla N°1 dosificara envases con pesos inferiores a los 100 gramos.

A continuación se muestra la imagen de un muestreo de la dosificación de las 6 boquillas para cierto producto, en donde se puede observar un comportamiento variable del peso. Se debe destacar que una de las boquillas estaba dosificando con bajo peso, por lo que en la muestra N°220 se ajustan todas las boquillas, generando una obvia sobre dosificación del producto. También es notorio el comportamiento variable entre las mediciones 157 y 220, el cual se comprobó posteriormente que se debía a la gran variación en el peso de las botellas, ya que se midieron variaciones de peso 1,64 gramos entre ellas, siendo que el rango de tolerancia del producto total era de 3,1 gramos, es decir, más de la mitad de la variabilidad admisible se debía al peso de las botellas.

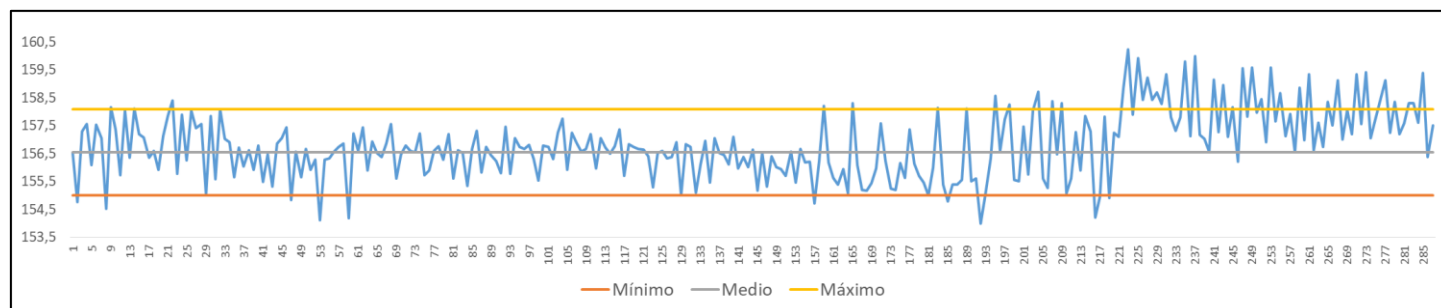


Ilustración 17: Muestreo de Dosificación

En la ilustración 17 se pueden observar los rangos de pesos admitidos, siendo el Mínimo y Máximo el peso mínimo y máximos admisibles para dicho producto. Para comprender la variabilidad del peso de las botellas vacías, en la ilustración 18 se presenta un gráfico con el muestreo de peso de las mismas, en donde se puede observar el peso de la tara que se utilizaba para ajustar la balanza, y la tara real promedio de las botellas. La tara que se utilizó era bastante más pesada que el promedio de las botellas, por lo que los envases muestreados en la ilustración 17 tenían en realidad más masa de la que se midió.

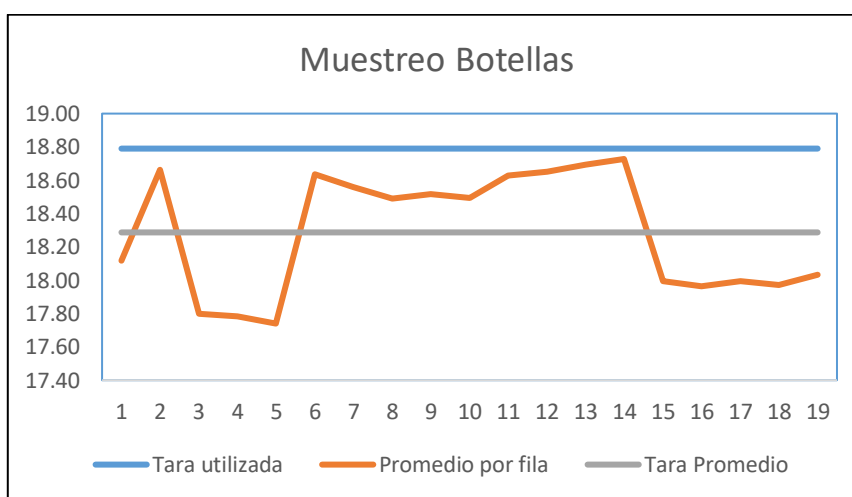


Ilustración 18: Muestreo de Peso de Botellas

Debido a todos los problemas presentados anteriormente, es evidente la necesidad de reformular los procedimientos de ajuste y medición que se aplican actualmente en las líneas. Para lograr lo anterior se utilizarán modelos estadísticos para poder esquematizar el comportamiento de la llenadora, y así poder minimizar los problemas observados previamente.

En primer lugar se debe comprobar el comportamiento de la dosificación de la masa, para verificar que la conducta de los datos sigue la distribución normal.

Para realizar lo anterior se utilizaron los datos obtenidos en la ilustración 17, y se graficó la distribución normal según el promedio y desviación estándar obtenidos de la muestra (Línea azul). Después se realizaron rangos de peso a razón de 0,4 gramos, y se anotaron las frecuencias relativas acumuladas, para realizar un gráfico de puntos (Puntos naranjas), sobre el gráfico anterior. Se puede observar notoriamente que los puntos se asemejan a la distribución normal, debiéndose las desviaciones posiblemente a la falta de datos, pero mostrando una clara tendencia. Con lo anterior se puede comprobar el comportamiento aleatorio normal de la dosificación de las botellas.

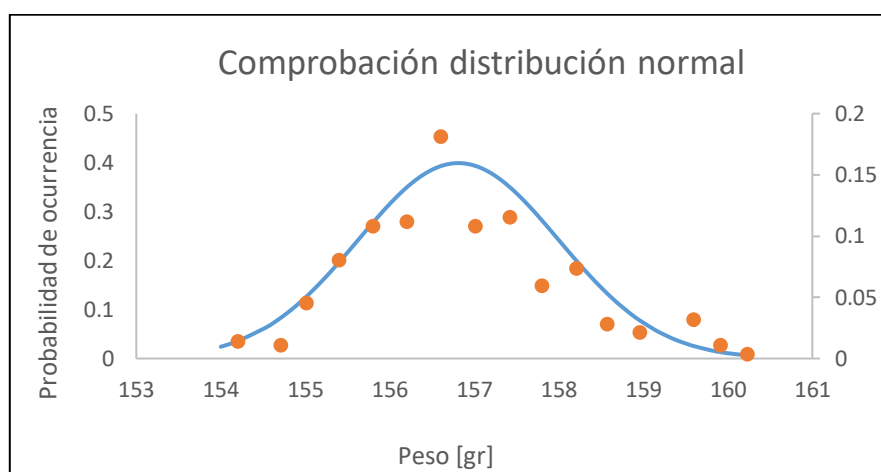


Ilustración 19: Distribución de Datos

Después de haber analizado el gráfico previo se procede a estudiar los datos recaudados. Se debe destacar que cada boquilla será estudiada de manera individual. En la tabla 9 se muestra los resultados obtenidos al analizar 48 muestras de las 6 boquillas de la máquina llenadora de la línea “C”, de donde se obtiene el promedio de las dosificaciones (siendo que el promedio según especificación debe ser de 156,55 [gr]), la desviación estándar total del peso, es decir, considera la desviación estándar de la dosificación y la desviación estándar del peso de las botellas, el C_p si se considera la desviación estándar total, la desviación estándar solo considerando la dosificación, y el C_p solo considerando la dosificación.

Tabla 9: Capacidad de las Boquillas

Pistón	Promedio [gr]	Desv. Est. total [gr]	Cp total	Desv. Dosificación [gr]	Est. Cp Dosificación
Pistón 1	156,77	0,58	0,89	0,46	1,12
Pistón 2	157,61	0,43	1,20	0,25	2,08
Pistón 3	157,34	0,40	1,29	0,20	2,61
Pistón 4	157,68	0,44	1,17	0,27	1,90
Pistón 5	156,89	0,45	1,15	0,28	1,83
Pistón 6	157,27	0,56	0,93	0,43	1,20

La desviación estándar de la dosificación se calculó a partir de la desviación estándar de las botellas, la cual se obtuvo de 76 pesajes de botellas, teniendo una desviación de 0,35 [gr]. Si se considera la desviación estándar total (como se analizaba en la empresa previamente), el proceso no era adecuado o necesitaba constante supervisión, en cambio, si se descarta la desviación estándar de las botellas, la capacidad del proceso, además de ser adecuada, obtiene valores mundiales en los pistones 2 y 3. Los pistones 1 y 6 tienen una capacidad menor a la de los otros pistones, lo que se puede deber a pequeñas filtraciones en las boquillas. La variabilidad del proceso debido a estas filtraciones tiene implicancias bastante negativas, ya que al aumentar la variabilidad aumenta aún más la sobrerreacción de las operarias, sin embargo este punto se trabajará en la sección siguiente.

Entonces, al tener un proceso adecuado, la sobrerreacción de las operarias y el constante pesaje de envases queda injustificado si las condiciones del entorno no cambian. Basándose en el análisis previo, se puede afirmar que el proceso es controlable, y no se necesitan modificaciones de la máquina en sí, sino que se necesitan modificaciones en los procedimientos y metodologías.

Para mejorar los procedimientos se estudiará la viabilidad de generar un nuevo rango de control, que sea más acotado que el rango admisible que se está utilizando en la actualidad, con propósito de que las operadoras controlen la dosificación de las boquillas sobre este nuevo rango, evitando tener productos que no cumplan con los requerimientos de los clientes.

Para realizar lo anteriormente planteado en primer lugar se debe controlar el peso de los envases, ya que es poco práctico pesar en cada ajuste todos los envases vacíos, y después pesar las mismas botellas llenas.

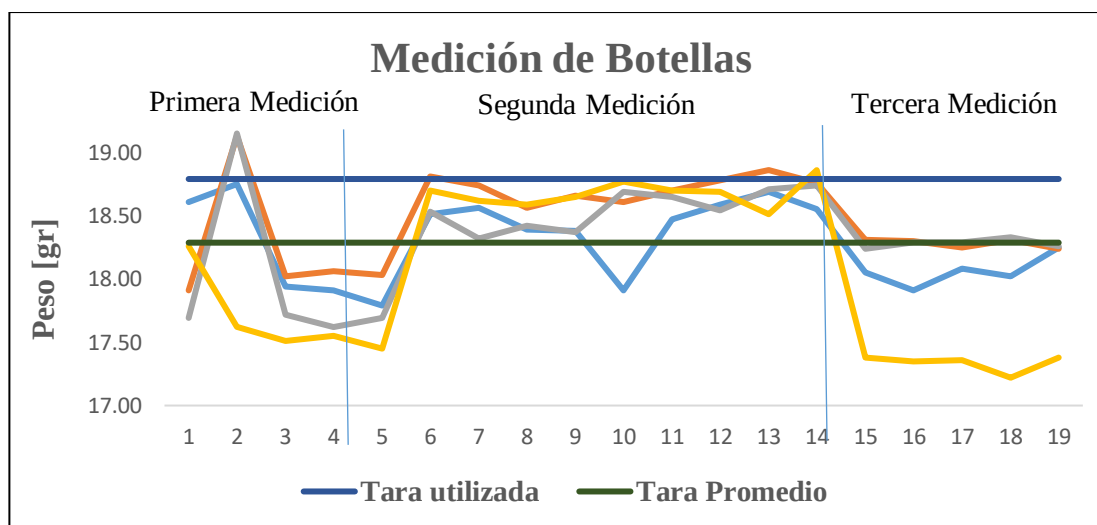


Ilustración 20: Comportamiento de las Botellas

En la ilustración 20 se muestra un gráfico con los distintos pesos de las botellas obtenidos en 3 mediciones de botellas vacías sacadas directamente del contenedor que las dispensa, en donde cada línea representa el mismo código de botella, lo que indica que la botella fue hecha en el mismo molde del proveedor, exceptuando las líneas que muestran la tara utilizada y la que muestra el peso promedio de las botellas.

Se puede comprobar que las botellas tienen pesos sumamente distintos considerando la totalidad de las muestras, pero en cada medición estos son similares entre los distintos códigos. Lo anterior se debe a que las botellas que provienen del mismo lote tienen poca variación entre ellas, pero cuando se comparan lotes distintos se encuentra una gran variación de peso.

Para estudiar la variabilidad dentro y entre los lotes, se realizaron dos mediciones de dos lotes distintos de botellas vacías extraídos directamente de la bodega, de 72 y 64 muestras cada una, y se observó que cada lote tenía una desviación estándar de 0,17 [gr], pero la desviación estándar considerando todas las muestras era de 1,34 [gr]. Lo anterior implica que para minimizar la variabilidad en el momento de ajustar la máquina, se deben utilizar solamente botellas del mismo lote, y después de que se haya ajustado la máquina mezclar los lotes en el dispensador.

Entonces, teniendo la desviación estándar de las botellas al ser del mismo lote (0,17 [gr]), y al tener la desviación estándar promedio de la dosificación, se puede calcular la desviación estándar total de la operación al utilizar botellas de un único lote.

Tabla 10: Desviación Estándar en ajuste

Des. Est. Dosificación	0,32
Desv. Est. Botella	0,17
Desv. Est. Total	0,36

Por lo tanto, la desviación estándar que tendrá el sistema al momento de ajustar será de 0,36 [gr], lo cual es mucho menor a la desviación estándar que se tenía previamente en el proceso, por lo que se pudo controlar la variabilidad del mismo al momento de su ajuste. Entonces, para poder calcular el nuevo rango de trabajo de ajuste de pistones, se tiene que realizar un análisis estadístico para minimizar los productos fuera de rango, y poder estabilizar las dosificaciones.

Para realizar lo anterior se debe comprender en primer lugar la situación en la que está inmerso el sistema. Como se describió previamente, al iniciar un nuevo formato la maquinista debe ir ajustando independientemente los 6 pistones de llenado de la máquina, lo cual puede tener varias iteraciones. Además, como las dosificaciones pueden estar muy cercanas a los límites permitidos, muchas veces se dosifican botellas con baja o sobre dosificación, entregando un producto deficiente a los clientes. Por último, al estar las dosificaciones en el límite permitido, muchas veces se tienen que reajustar los límites de llenado a mitad de la operación lo que genera pérdidas de producto, botellas y tiempo de producción.

El procedimiento que se pretende implementar para el ajuste de pistones consiste en primer lugar realizar un ajuste rápido en donde, después de sacar de la línea las primeras dos tandas de 6 muestras (ya que estas tienen peso inestable), se pesen las siguientes 2 tandas y se promedian los resultados de cada pistón. Según los promedios obtenidos se mantienen los pistones con resultados “cercaños” al rango nuevo, y se ajustan los pistones con resultados “lejanos”, clasificándose estos mismos según el criterio de cada operadora. Se realizará el procedimiento anterior hasta que todos los pistones estén con un peso “cercano” al rango nuevo. Después se pesará cierto número de tandas, las cuales se determinarán según la precisión que se quiera obtener, sin aumentar demasiado el número de muestras, para luego calcular el promedio, y volver a ajustar los pistones que no estén dentro del nuevo rango.

Realizado el procedimiento, solamente falta encontrar el nuevo rango de trabajo. Ya que el rango nuevo se definió a través de una serie de iteraciones, por lo que solo se describirá el resultado obtenido. En la siguiente ilustración se muestra el esquema para encontrar el nuevo rango, el cual tiene límite inferior y superior $\bar{X}_{\min}$ y $\bar{X}_{\max}$ respectivamente.

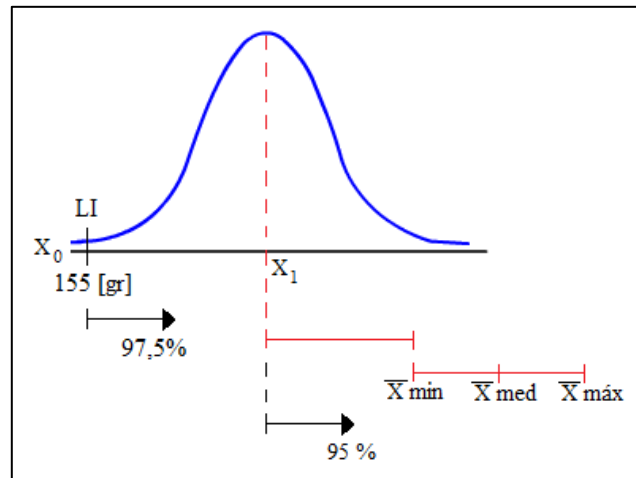


Ilustración 21: Selección de Rango Nuevo de peso

Para obtener el nuevo rango en primer lugar se debe definir el número de muestras que se utilizarán para calcular el promedio muestral de dosificación por pistón. A través de una serie de iteraciones se definió que el número de muestras óptimo es de 4, ya que un mayor número de muestras aumenta excesivamente el tiempo de pesaje de las mismas, y un número menor implica tener mayores imprecisiones, lo que disminuye el rango nuevo de trabajo, provocando que el ajuste de los pistones sea más complicado y que se necesiten más iteraciones para lograrlo.

En segundo lugar se debe encontrar en donde debe estar el promedio de la población para que el 97,5 % de las botellas dosificadas estén sobre la dosificación mínima (155 [gr]), lo cual se calculará a través de la distribución normal. Buscando este porcentaje en la tabla de distribución normal, el Z debe ser igual a -1,96, por lo que:

$$Z = \frac{X - \mu}{\sigma} = \frac{155 - \mu}{0,32} = -1,96 \rightarrow \mu = 155,63 \text{ [gr]}$$

Entonces la media de la población debe ser igual a 155,63 [gr]. Debido a que no se sabe la media de la población, sino que solamente se conoce la media de cierta cantidad de muestras, la cual es representado por X_1 en la ilustración 21, se tiene que calcular el rango en donde el promedio de la población se encuentra realmente, en base al promedio de la muestra. Para realizar lo anterior se utilizará lo presentado en la sección 3.3, en donde a través de la distribución T-Student se puede calcular dicho rango. Para que exista un 95% de certeza de que el promedio real se encuentre sobre X_1 , ya que si el promedio se encuentra bajo X_1 la cantidad de botellas infra dosificadas aumenta, el valor de α tiene que ser de 0,1, y los grados de libertad deben ser de 3, ya que los grados de libertad son un número inferior al número de muestras.

Con las consideraciones anteriores se obtiene un valor de $t_{\frac{\alpha}{2}, n-1} = 2,35$, y un valor de $t_{\frac{\alpha}{2}, n-1} \times \frac{S}{\sqrt{n}} = 0,38$, lo que implica que para tener un 95% de certeza de que el promedio real esté sobre X_1 , se debe tener el siguiente valor para $\bar{X}_{\min}$:

$$\bar{X}_{\min} = X_1 + t_{\frac{\alpha}{2}, n-1} \times \frac{S}{\sqrt{n}} = 155,63 + 0,38 = 156,01 \sim 156 \text{ [gr]}$$

Debido a que $\bar{X}_{med}$ corresponde a la media entre el límite máximo y el límite mínimo permitido, el cual es 156,55 [gr] según las especificaciones del producto, la diferencia entre $\bar{X}_{\min}$ y $\bar{X}_{med}$ es:

$$\bar{X}_{med} - \bar{X}_{\min} = 156,55 - 156 = 0,55 \text{ [gr]}$$

Como la diferencia entre $\bar{X}_{\max}$ y $\bar{X}_{med}$ debe ser también igual a 0,55 [gr], el nuevo rango de trabajo será de:

$$[\bar{X}_{\min} ; \bar{X}_{\max}] = [156 ; 157,1]$$

Analizando el resultado anterior, si en el peor de los casos un pistón tiene su promedio muestras de 156 [gr], para que la dosificación sea menor al límite permitido (155 [gr]), significa que el promedio real del pistón es menor a 156,55 [gr] (5% de probabilidad), y que la dosificación se encuentre bajo el límite inferior de la distribución normal para tener un $Z = -1,96$ (2,5% de probabilidad), lo que implica que la probabilidad de que esto suceda sea de 0,125%. Si en el día se producen 30.000 unidades divididas en los 6 pistones, es decir, 5.000 unidades por pistón, la cantidad esperada de muestras con dosificación bajo el mínimo será de 6 unidades. El resultado anterior es sumamente satisfactorio, ya que disminuirían en gran medida la cantidad de productos fuera de especificación.

Se debe destacar la necesidad de realizar seguimiento a la metodología empleada, para que esta pueda expandirse a otros productos y líneas, dependiendo de la variabilidad natural de cada una de ellas. También se quiere señalar oportunidades de mejoras existentes en esta metodología, ya que se debe validar la dificultad o facilidad con que las operadoras ajusten al nuevo rango de trabajo. Si la dificultad es demasiado grande se tendrán que replantear los porcentajes de riesgo, aumentando la probabilidad de tener productos fuera de especificación, o aumentar la cantidad de productos sobre dosificados, y así tener que aumentar las pérdidas y los costos. También se tendría que evaluar realizar cambios estructurales en la maquinaria para facilitar así el ajuste, o disminuir la variabilidad del sistema.

Si la dificultad de ajuste es demasiado baja se podría plantear disminuir la cantidad de muestras necesarias, o se podría acortar el nuevo rango manteniendo el límite inferior $\bar{X}_{\min}$, y así disminuir la cantidad de masa utilizada para llenar los productos, generando un ahorro en los costos variables. No se podrán implementar dichas mejoras en la presente memoria debido al tiempo acotado de la misma, priorizando la finalización de todos los proyectos abarcados.

Analizando el beneficio económico de la implementación, en primer lugar se debe considerar el tiempo extra en que se demora la aplicación de la nueva metodología, y en segundo lugar el tiempo de ahorro de la misma. Debido a que la aplicación de la metodología se realizará solamente en el cambio de formato, y ya que el ajuste de la etiquetadora siempre implica mayores tiempos que en la llenadora a menos de que haya una situación extraordinaria, no existirán tiempos extra en la implementación. Con respecto al ahorro de la misma, considerando que los cambios de formato son diarios, y que por lo menos se vuelven a ajustar los pistones una vez por turno, y que el reajuste de los pistones demoran aproximadamente 20 minutos, la mejora implica un aumento productivo de 3.600 piezas por día.

Considerando que cuando se mejora cierta parte de la línea aparecen nuevas restricciones, se estimará que finalmente se produce un tercio de la piezas que se debieron haber producido en el mismo periodo de tiempo, por lo que implica un aumento de productividad neta de 1.200 piezas al día.

Tabla 11: Beneficios de nuevo Rango

Mejora	Producción diaria	Costo del producto (\$/u)	Ahorro por producto (\$)	Ahorro diario (\$)	Ahorro mensual (\$)	Costo (\$)	Ahorro Primer Año
<i>Antes</i>	32.058	60,9					
<i>Después</i>	32.458	58,7	2,2	73.168	1.829.200	0	21.950.400

El análisis anterior indica que la mejora implica un ahorro de veintidós millones anuales, lo cual es considerable. Además de los beneficios económicos se debe destacar la mejora en el producto final, ya que con los cambios de puede asegurar un producto que contenga la cantidad indicada de masa. Por último se debe destacar que esta mejora no conlleva costos.

4.5 Planes de mantenimiento

Utilizando como base los 9 pasos para realizar un plan de mantenimiento preventivo, los cuales se presentaron con anterioridad, se generará el plan para la mantención de las distintas líneas y maquinarias implicadas.

En primer lugar, observando las deficiencias existentes, se puede destacar la nula recolección de información por parte del equipo de mantención, ya que en general arreglan las máquinas sin dejar registro de qué hicieron, cuánto tiempo demoraron, ni qué repuestos utilizaron. El único registro que controlan es un apunte entregado vía correo, en donde cada turno le comunica al turno siguiente qué es lo que se hizo de manera muy general, y cuánto tiempo se utilizó para cada reparación. Con respecto a los apuntes anteriores se debe destacar que estos son realizados al finalizar cada turno, de manera rápida, con poco detalle y precisión, además de que estos no son almacenados de ninguna forma, por lo que tampoco son útiles para estudios posteriores.

Las deficiencias del modo de mantención en sí recaen en que no existe ningún tipo de plan de mantención a parte de la mantención correctiva, la cual es escogida por defecto, y no por haber realizado algún estudio de los beneficios implicados en su aplicación. También se deben destacar las grandes frecuencias de falla en la planta, en donde, además de ser frecuentes, pueden ser de larga duración, demorando incluso horas o días su solución. Con respecto a lo anterior se debe destacar que al haber tantas fallas correctivas, son muchas las veces en que no hay personal suficiente para solucionar todas las fallas que ocurren simultáneamente, y también hay otras veces en las que los mecánicos no tienen fallas que arreglar, por lo que tienen momentos en donde no tienen nada que hacer.

Correspondiente a todos los puntos previos, se pretende mejorar el sistema de mantención actual, implementando un plan de mantención transitorio, mientras se aplica a su vez un sistema de registro de información. El registro antes mencionado podrá ser utilizado en el futuro para realizar el estudio de los beneficios relacionados con cada plan de mantención, y así poder escoger el plan que realmente sea mejor para cada situación. Para realizar lo anterior se pretende implementar en el registro todos los datos que sean necesarios para un posterior análisis, pero que a su vez sean fáciles de recolectar y que se ajusten el método actual de trabajo, e implementarlo de forma que se asegure la veracidad de los mismos. También se quiere instaurar el plan de mantención provisorio focalizándose en prevenir el desgaste y deterioro apresurado de las máquinas, además de disminuir en alguna medida la frecuencia de las fallas de los equipos, y así poder distribuir mejor los tiempos de trabajo del equipo de mantención, y también minimizar los tiempos de detención en las líneas debido a las averías.

Para disminuir los tiempos de detención de las líneas, el equipo de mantención se puede beneficiar de los tiempos de detención propias de las líneas, es decir, se pueden realizar actividades de mantenciones de equipos cuando la línea se encuentra realizando un cambio de formato, o cuando la línea esté sin programa (cuando no tienen material para producir). Reparar y realizar mantenciones de las líneas fuera del horario laboral (sábados después de las 16:00 y domingos todo el día), es una solución que se intentará evadir, debido a que el equipo de mantención es reacio a trabajar en estos horarios.

Entonces se pretende diseñar en primer lugar un plan de mantención preventiva a fecha constante, por ser el plan de mantención más simple de realizar, centrándose en la lubricación de los equipos, la limpieza mecánica de los componentes, la revisión de los componentes eléctricos y mecánicos, etc. Para poder prolongar la vida útil de los mismos. En segundo lugar se implementará el método de recolección de información, para que sea utilizado a un año plazo.

Con la implementación del plan anterior se espera poder percibir una disminución en la frecuencia de falla de los equipos, y un aumento en la utilización del personal, para que sus cargas laborales sean mejor distribuidas. También se pretende obtener una fuente de datos verídica, con todos los parámetros necesarios para realizar un análisis detallado de los distintos planes de mantención apropiados para el caso.

El plan a corto plazo es la implementación del plan provisorio y la recolección de datos, para que al finalizar el año se tenga todo lo necesario para su posterior análisis. A largo plazo se procura implementar el plan de mantención óptimo, para disminuir en la mayor medida posible las consecuencias monetarias negativas para la empresa, aumentando así la disponibilidad de las líneas.

Para su implementación se esquematizaron todas las líneas con sus respectivas maquinarias, al igual que las máquinas que se comparten entre las líneas, como son los hornos y los inkjet. Después de haber hecho lo anterior se realizaron plantillas de mantención básicas para cada una de ellas, centrándose en su lubricación y examinación más que en mantenciones de partes específicas. Luego se elaboró un calendario anual con las diversas mantenciones a realizar, para que estas sean conocidas tanto por el equipo de mantención, como por los jefes de línea, ya que de estos dependerá la disposición de las líneas para la mantención de las mismas. Por último se desarrolló la planilla de registro de información, la cual fue entregada al jefe de mantenimiento para su posterior aplicación y seguimiento.

Se comenzará esquematizando cada línea, para después identificar las máquinas que las constituyen, junto a una descripción resumida de sus componentes. Hay tipos de maquinarias que son compartidas por todas las líneas, por lo que, para no repetir su descripción, se realizará una reseña general de ellas al finalizar la descripción de las líneas.

También parecerá que muchas máquinas tienen componentes y partes que se repiten, pero esto ocurre debido a la generalidad de la inspección, ya que se enfoca en la lubricación e inspección de partes mecánicas y eléctricas, y no a los detalles de cada una.

4.5.1 Equipos de cada Línea

Línea “A”:

Equipos:

- Etiquetadora PAGO: Después de colocar los envases en la línea de manera manual por tres operadoras, los envases pasan por la etiquetadora la cual le proporciona las etiquetas anversa y reversa. Lo anterior se produce a través de un sistema de rodillos, cabezales, una correa superior para mantener la estabilidad del envase, y un tablero eléctrico asociado, en conjunto de sensores de identificación de llegada del envase y de las etiquetas.
- Tolke, transferidor hacia arriba: esta máquina invierte la posición de los envases de desodorante, dejando el envase que estaba inicialmente con la tapa hacia arriba, con la tapa hacia abajo, para que pueda ser posteriormente llenado por la parte en donde se mueve la barra de desodorante. Esta máquina tiene rodamientos y levas, cadenas transportadoras, sistema neumático asociado, rótulas y juntas mecánicas, parada de emergencia, y tablero eléctrico.

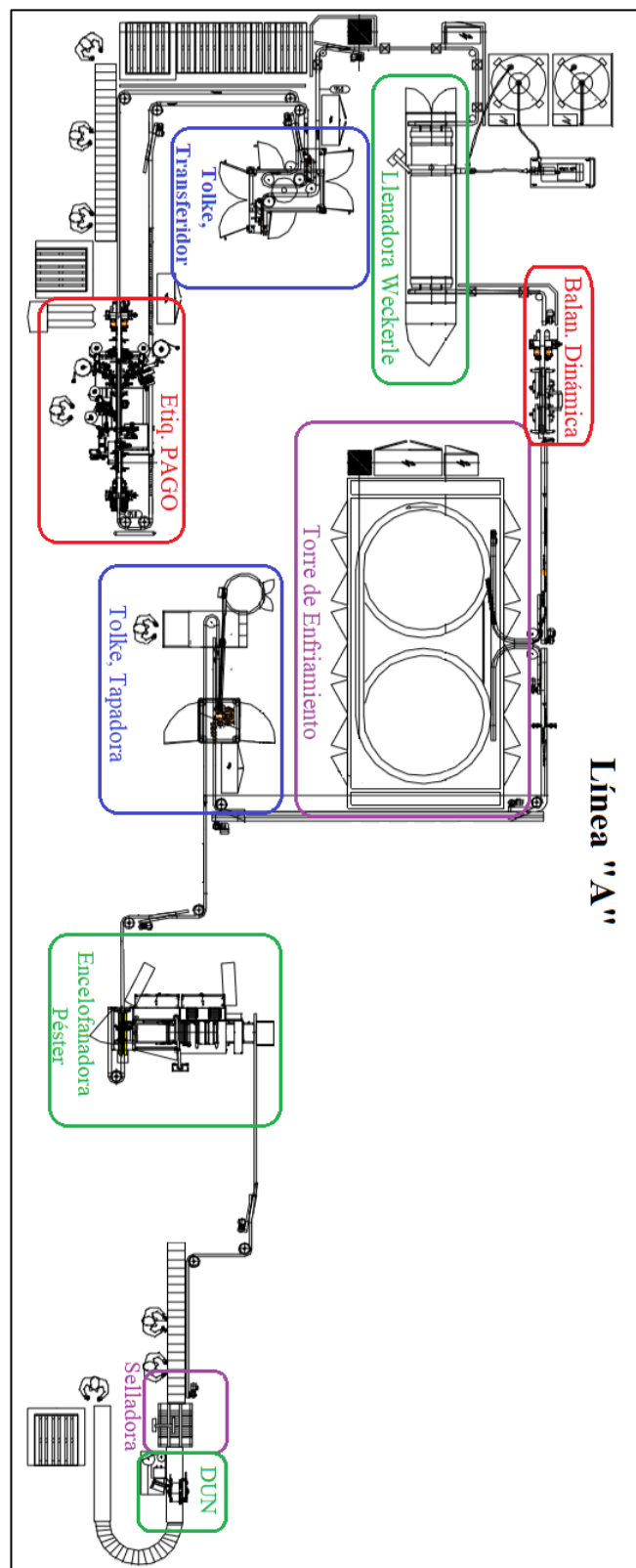


Ilustración 22: Equipos Línea "A"

- Llenadora Weckerle: Consta de 10 boquillas que llenan los envases simultáneamente, cada cual con sus respectivas válvulas de llenado. Esta llenadora es distinta a la de las otras líneas debido a que la masa se debe dosificar a altas temperaturas, para que así esta se encuentre en estado líquido y posteriormente se solidifique. El equipo consta de cadenas transportadoras, garras de sujeción para los envases, depósito de líquido refrigerante, ejes y guías, y paradas de emergencia.
- Balanza dinámica: Esta balanza se encarga de pesar los envases después de haber sido llenados, y rechazar automáticamente los que estén fuera del rango establecido de peso. En este equipo se debe considerar la parte eléctrica, como lo es el tablero eléctrico, las terminales, los sensores, y las paradas de emergencia, además de las cintas transportadoras.
- Torre de enfriamiento: Después de haber llenado los envases en estado líquido, estos se deben solidificar, por lo que son transportados lentamente por un equipo con movimiento espiral, en donde son conducidos por dos torres con un ambiente cerrado a temperaturas bajas, los cuales constan de una gran capacidad de envases. La velocidad de ingreso y salida de los envases está diseñada para que estos se mantengan en enfriamiento por un periodo mínimo de 30 minutos, y así poder asegurar la integridad de la barra de desodorante. En este equipo se debe poner énfasis en su parte eléctrica, en su tablero, sus sensores, y la parada de emergencia.
- Tolke, Tapadora: Su función es tapar la parte inferior del envase con un movimiento rotativo. También tiene cadena transportadora, rodamientos, levas, rótulas, correas, tablero eléctrico, parada de emergencia, y un sistema neumático asociado para su movimiento.

- Encelofanadora Péster: Este equipo se encarga de volver a voltear los envases, agarrándolos en grupos de seis, para después colocarlos en papel Film y retractilarlos, pasando posteriormente por el horno. Esta encelofanadora y horno son exclusivos de la línea, por lo que no se comparten con las demás, y es uno de los dos únicos hornos que están acoplados de manera automática a las líneas, es decir, no necesitan personal para dispensar los productos.

Línea B:

Equipos:

- Llenadora: Esta llenadora consta de ocho boquillas, las cuales llenas simultáneamente, y está compuesta de cadenas transportadoras, rodamientos, levas, rótulas, el sistema de llenado, de freno y neumático, además de tener el tablero eléctrico, con su sistema de ventilación, terminales, sensores, paradas de emergencia y componentes asociados.
- Tapadora: Se encarga de poner las tapas en los envases a través de garras de sujeción y un movimiento rotatorio. En el caso de tener formatos de envases con bomba, la tapadora no puede colocar la tapa, ya que tiene incluido el tubo de dispensación, lo que dificulta la tarea. En la situación anterior las bombas son colocadas de manera manual por las operadoras y después son apretadas por la tapadora, necesitando la ayuda de 2 operadoras extra y disminuyendo la velocidad de la línea de 120 a 80 piezas por minuto. Este equipo consta de cadenas transportadoras, rodamientos, levas, sistema de tapado, sistema neumático, rótulas y correas, además de tener el tablero eléctrico, con sus respectivos terminales, sensores, y parada de emergencia.

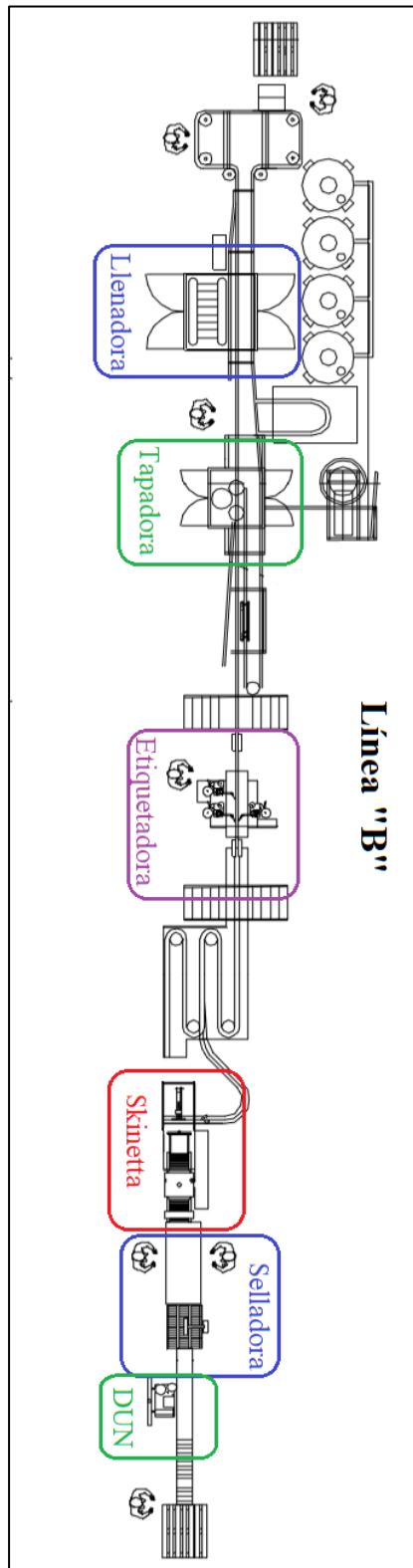


Ilustración 23: Equipos Línea "B"

- Etiketadora: Se encarga de dispensar las etiquetas anversa y reversa, constando con sus respectivos cabezales, cintas transportadoras, correas para mantener la estabilidad del producto mientras se dispensan las etiquetas, repasadores y aplicadores, y el tablero eléctrico, con sus terminales, sensores y paradas de emergencia.
- Skinetta: Este también es un horno con encelofanadora propios de la línea, y es el segundo en la planta que funciona de manera automática, aunque es menos moderno que el que se utiliza en la Línea "A". Este equipo cuenta con basculantes superiores e inferiores, cintas transportadoras, sistema neumático, correas, calefactores, y elementos rodantes. Además tiene su respectivo tablero eléctrico, con sus terminales, sensores, y paradas de emergencia.

Línea C:

Equipos

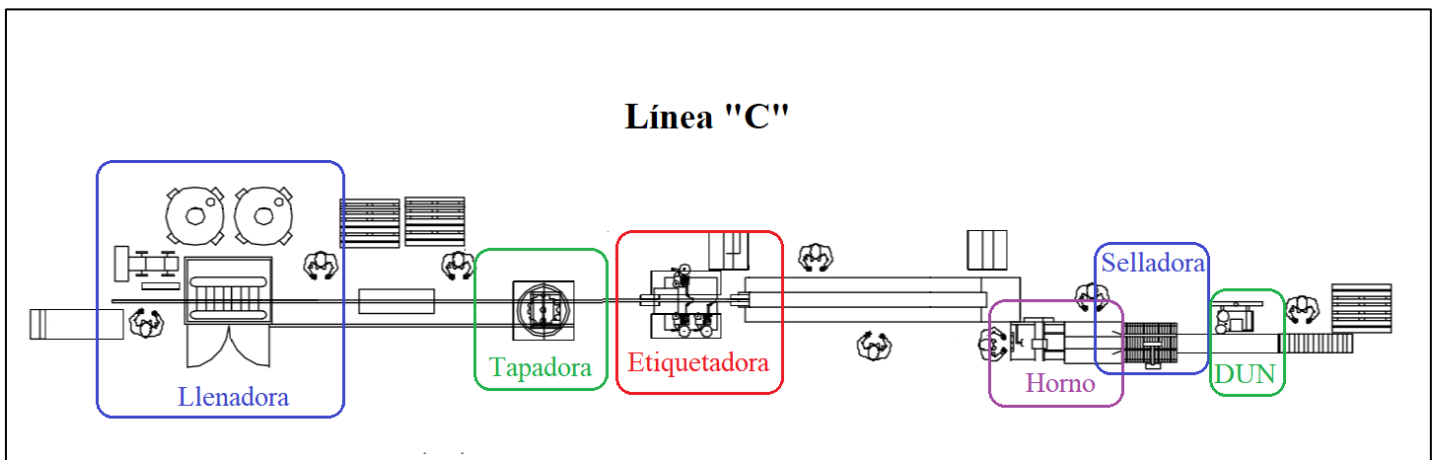


Ilustración 24: Máquinas Línea "C"

- Llenadora: La llenadora en esta línea consta de seis boquillas, las cuales se ajustan de manera independiente, en contraste a las primeras dos líneas en donde se ajustan todas las boquillas de manera simultánea. En este equipo se deben revisar las cadenas, el sistema neumático, los elementos rodantes, las cadenas, las rótulas, y su tablero, con su respectiva ventilación, terminales eléctricas y paradas de emergencia. También se debe inspeccionar cuando el sistema esté en funcionamiento la aparición de fugas, sonidos agudos (chirridos), y la presencia de desgaste en las piezas mecánicas.
- Tapadora: En esta máquina las tapas se dispensan de manera manual (en contraste de la línea “B” que se dispensaban de manera automática), y luego la tapadora las aprieta afirmándolas con las garras y aplicando un movimiento rotatorio con un torque regulado. Este equipo tiene cintas transportadoras, uniones mecánicas, componentes neumáticos, elementos rodantes, y su respectivo tablero eléctrico, con sus sensores, terminales y paradas de emergencia.
- Etiquetadora: Su función es dispensar etiquetas tanto anversa como reversa, y está constituida por la cinta transportadora, componentes neumáticos, elementos rodantes, correas, y el encoder, además de poseer el tablero eléctrico, con sus terminales, sensores y paradas de emergencia.

Línea D:

Equipos:

Esta línea no tiene maquinarias propias asociadas, además de la selladora que se describirá posteriormente, debido a que la línea funciona de manera manual.

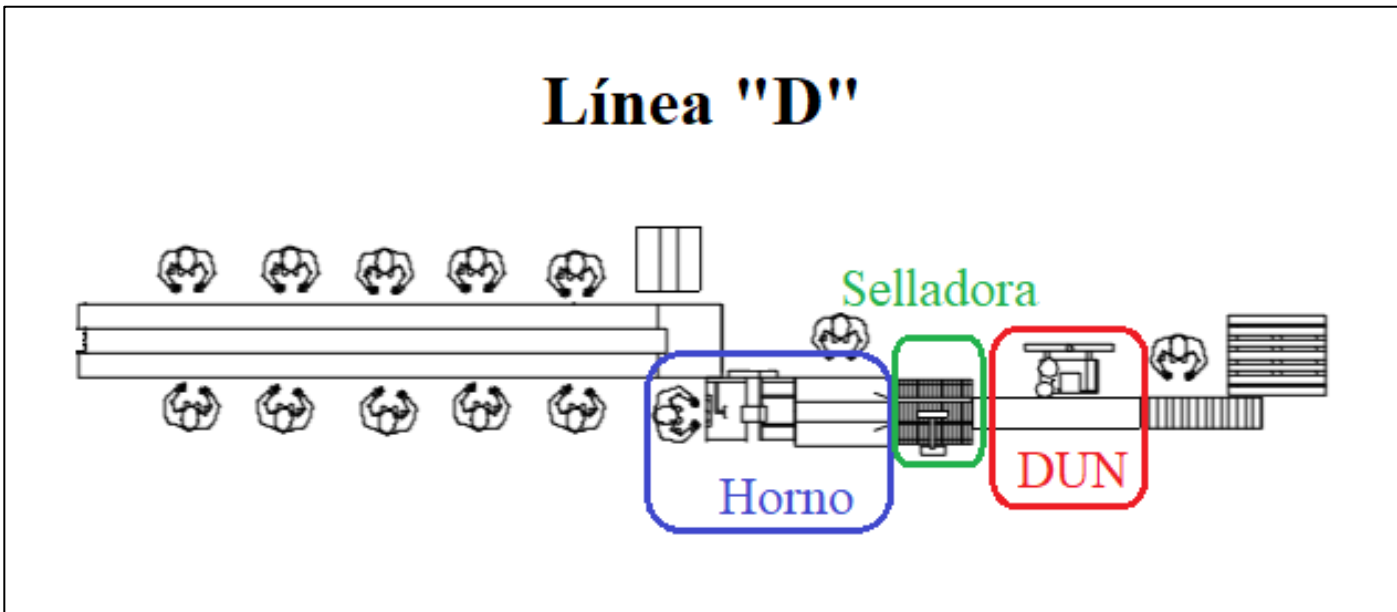


Ilustración 25: Máquinas Línea "D"

Línea E:

Equipos:

- Llenadora: Esta llenadora es de una boquilla y tiene una velocidad de 60 piezas por minuto. Las latas son dispensadas de manera semi automática, ya que tienen que ser descargadas al depósito, para luego ser repartidas de manera automática a la máquina llenadora. Después se les dosifica la crema para posteriormente colocarles un film que las sella. Esta máquina consta de componentes neumáticos, rótulas, elementos rodantes, cintas transportadoras, y tableros eléctricos.

- Sorting: Se encarga de dispensar y colocar las tapas en las latas, y está constituida por cintas transportadoras, componentes neumáticos, elementos rodantes y correas, además del tablero eléctrico, con sus respectivos sensores y paradas de emergencia.

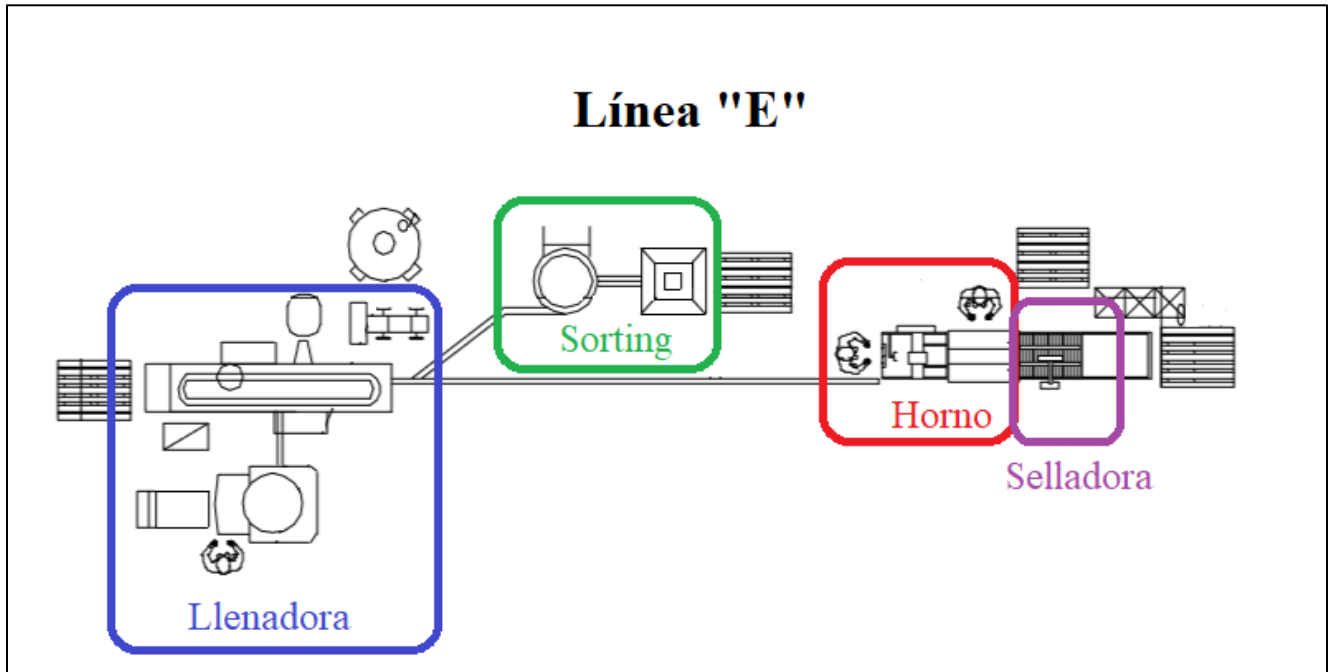


Ilustración 26: Máquinas Línea "E"

Línea F:

Equipos:

- Llenadora: Consta de una boquilla de llenado, la cual alcanza una velocidad de 60 piezas por minuto, y los envases se dispensan de manera semi automática. Esta máquina tiene elementos rodantes, correas, componentes neumáticos y uniones mecánicas.

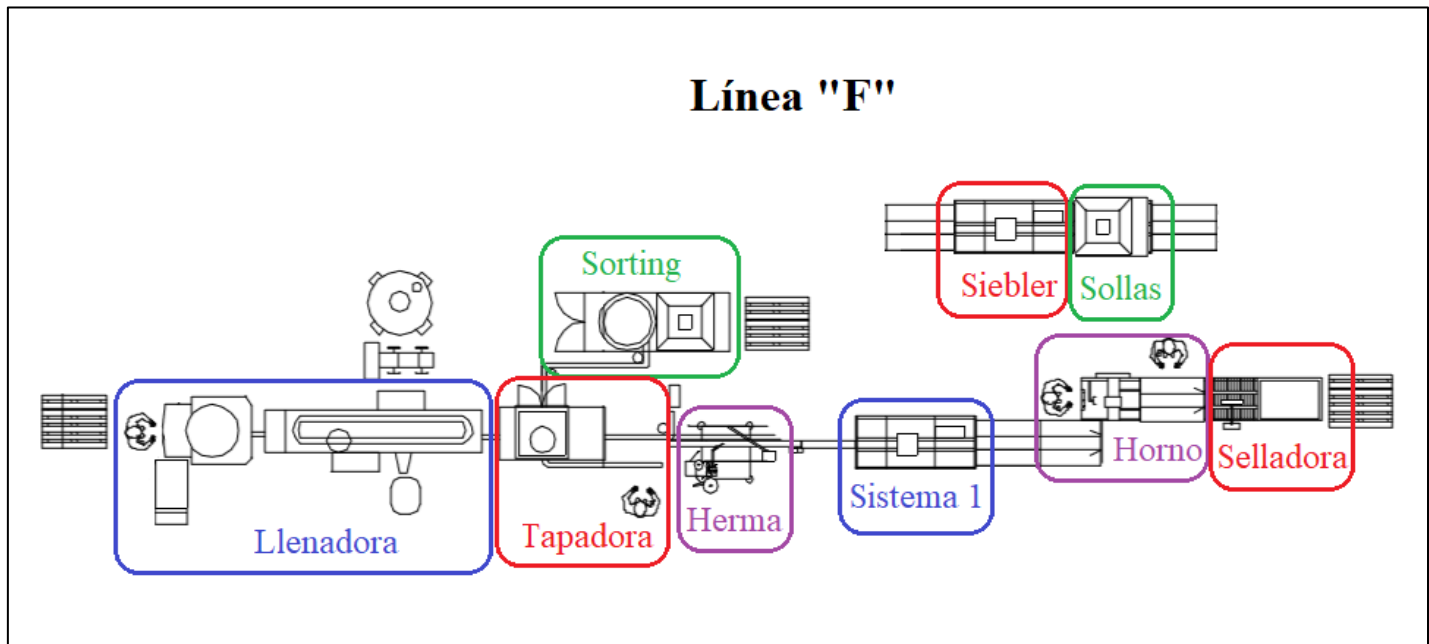


Ilustración 27: Máquinas Línea "F"

- Sorting: Su función es dispensar las tapas para que la tapadora pueda enroscarlas. Se conforma de un plato, cintas transportadoras, uniones y componentes mecánicos, elementos rodantes, y correas, además de su respectivo tablero, con sus terminales, sensores y paradas de emergencia.
- Tapadora: Se encarga de enroscar las tapas entregadas por el Sorting, y está constituida por cintas transportadoras, uniones mecánicas, componentes neumáticos, elementos rodantes y cadenas, además del tablero eléctrico, que tiene terminales, sensores y paradas de emergencia.
- Herma: Se encarga de etiquetar los productos a partir de un sistema que dispensa las etiquetas mientras el envase se encuentra rotando a una velocidad regulada. Está conformada por elementos rodantes, correas, uniones mecánicas, componentes neumáticos y el tablero eléctrico, con su sistema de ventilación, terminales eléctricos y paradas de emergencia.

- Sistema 1: Está compuesto por la Fabrima y la Pester, en donde la primera máquina arma estuches de cartón a partir de moldes pre doblados, y deposita el producto en los mismos, mientras la segunda máquina los encelofana, es decir, envuelve los estuches en papel film. Tiene componentes neumáticos, elementos rodantes, correas, uniones mecánicas, y el tablero eléctrico, con su sistema de ventilación, componentes, terminales y paradas de emergencia.
- Siebler: Realiza la misma función que la fabrima, pero es para un tamaño de molde distinto, para así no tener que ajustar la máquina, ya que solamente trabaja con estos dos tamaños de moldes. Está constituido por elementos rodantes, cintas transportadoras, uniones mecánicas, correas, componentes neumáticos, y el tablero eléctrico, con sus terminales, sensores y paradas de emergencia.
- Sollas: Cumple la misma función que la Pester, pero par aun formato distinto, por las mismas razones que se presentan en la descripción anterior. Está conformada por elementos rodantes, cintas transportadoras, componentes neumáticos, correas, uniones mecánicas, y el tablero eléctrico, con sus respectivas terminales, sensores y paradas de emergencia.

Línea G:

Equipos:

- Llenadora: Está conformada por una boquilla que dosifica a una velocidad de 60 piezas por minuto, y está constituida por uniones mecánicas, componentes neumáticos, elementos rodantes, bomba de vacío, correas, y su tablero eléctrico, con sus terminales, sensores y paradas de emergencia.

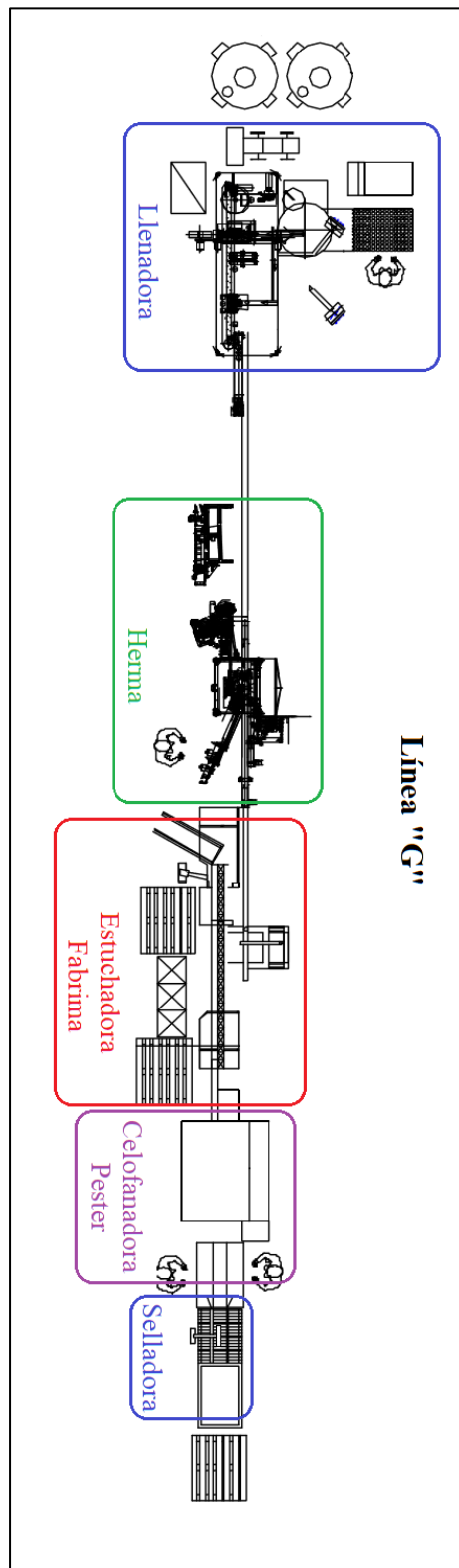


Ilustración 28: Máquinas Línea "G"

- Herma: Esta máquina se encarga de etiquetar los envases circulares a partir de un movimiento rotatorio, dispensando las etiquetas anversa y reversa con el mismo dispositivo, ajustando la distancia de las mismas a partir de la velocidad de rotación y el tiempo de entrega entre etiquetas. Esta consta del basculante porta etiquetas, cinta transportadora, estrella de arrastre, componentes neumáticos, elementos rodantes, rodillo aplicador de etiqueta, y el tablero eléctrico, con sus terminales eléctricas, sensores, paradas de emergencia, y servo motores
- Estuchadora Fabrima: Su función es colocar los productos en cajas pequeñas de cartón, armando la caja a partir de su forma plana, luego depositando el producto dentro de ella, para finalmente cerrarla. Está conformada por el pick and place, servomotores, poleas, rótulas, descansos, rodamientos, guías, cadenas, y el tablero eléctrico, con sus sensores, terminales y paradas de emergencia.
- Celofanadora Pester: Esta máquina se encarga de empaquetar la caja con el producto de una manera elegante, ya que este producto requiere de una buena presentación. Tiene cintas transportadoras, componentes neumáticos, elementos rodantes, correas, y un tablero eléctrico, con sus respectivas terminales, sensores y paradas de emergencia.

Línea H:

Equipos:

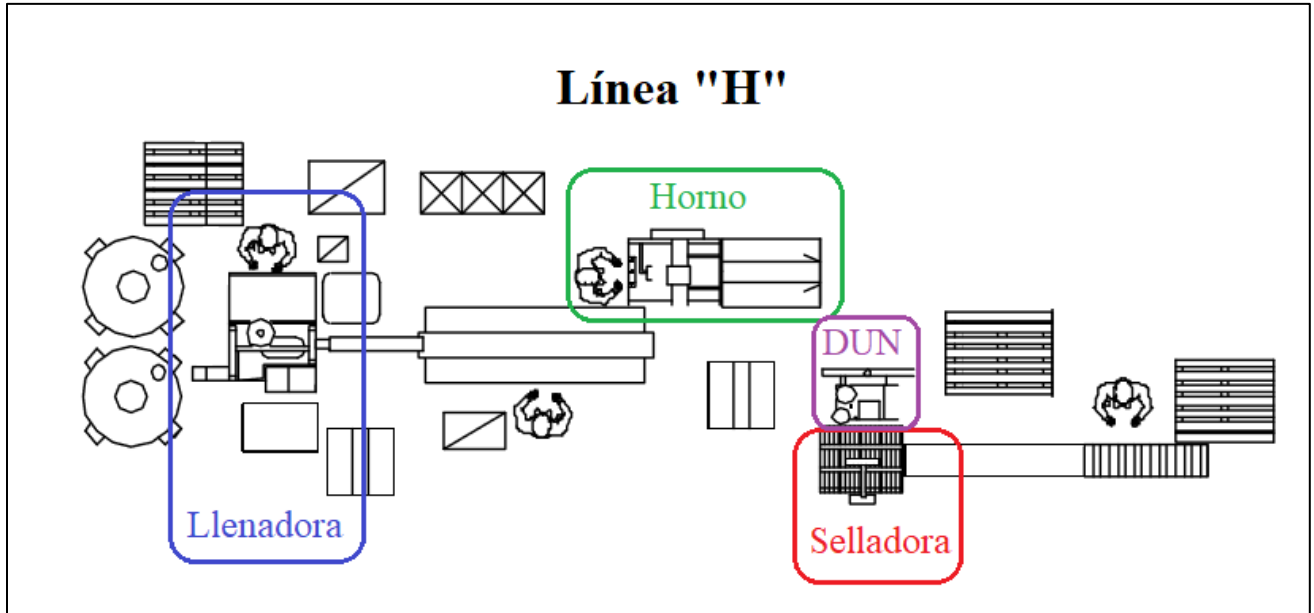


Ilustración 29: Máquinas Línea "H"

- Llenadora: Este equipo se encarga de llenar los pomos, los cuales son dispensados de manera manual por el maquinista de las líneas. Esta es una de las máquinas más antiguas de la planta, y consta de un dosificador, un calefactor, una unidad de corte y de sellado, un sistema porta envases, uniones mecánicas, elementos rodantes, componentes neumáticos, y correas. Además tiene el tablero eléctrico, son su sistema de ventilación, botoneras y componentes, y tiene el equipo de enfriamiento, que tiene uniones mecánicas, selector de encendido, y líquido refrigerante.

Línea I:

Equipos:

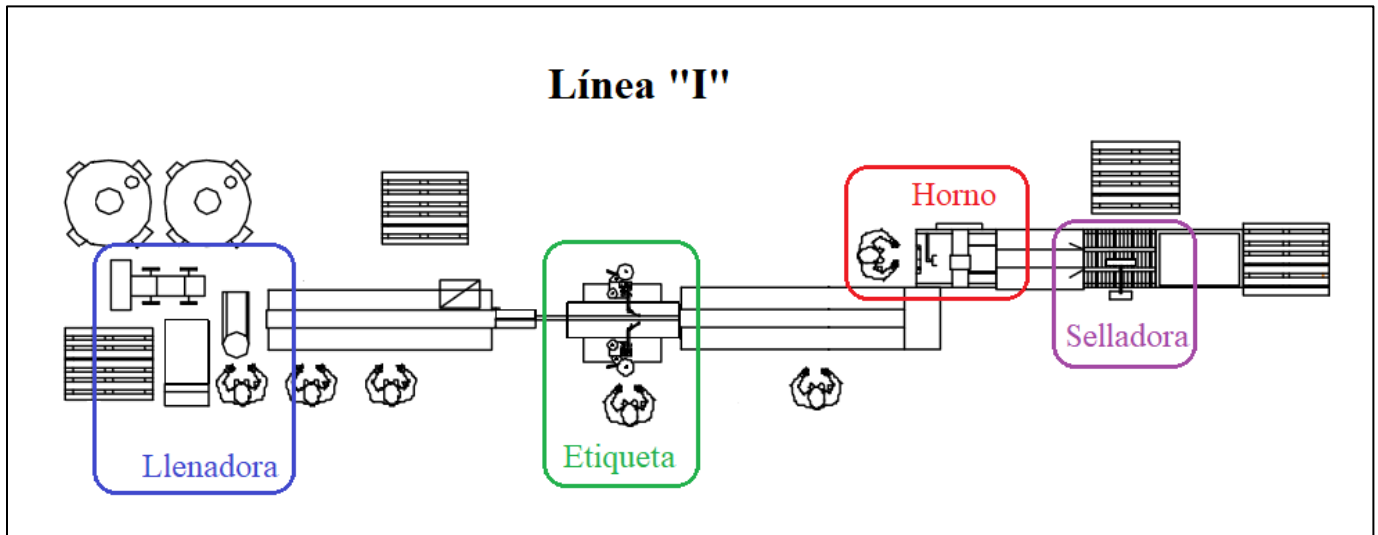


Ilustración 30: Máquinas Línea "I"

- Llenadora 1: Consta de una boquilla de dosificación, además de tener uniones mecánicas, componentes neumáticos, O'rings, elementos rodantes, tableros eléctricos con su respectivo sistema de ventilación, terminales eléctricos y paradas de emergencia.
- Llenadora 2: Dosifica a través de una boquilla, y está constituida por los mismos componentes básicos que constituyen la llenadora 1. La diferencia entre las dos llenadoras es que dosifican productos diferentes, ya que esta línea tiene un menor nivel de producción, pero es la que tiene productos más distintos entre sí.

- Etiquetadora 5/3: Se encarga de etiquetar los productos tanto de manera anversa como reversa, y está formado por elementos rodantes, sistemas de freno, cabezales, uniones mecánicas, componentes neumáticos, enrolladores, cadenas de acero inoxidable, y su tablero eléctrico, con su sistema de ventilación, componentes, terminales y paradas de emergencia.

Equipos compartidos:

- Hornos: En la empresa existen varios hornos y encelofanadoras, los que no son propiedad de alguna línea en específico, y los cuales presentan fallas continuas. El único horno que es propiedad actual de la Línea “C” es el Horno Kallfass Super Wrap 650, y los otros se deben compartir con las otras líneas. Se tienen a disposición el Enfardadora/Horno N°1, Enfardadora/Horno N°2, Enfardadora/Horno N°3, Horno N°1, Horno N°2, Enfardadora N°1 y Enfardadora N°2, en donde las Enfardadoras/Hornos se trabajan siempre juntos, y los Hornos y Enfardadoras N°1 y N°2 son intercambiables y combinables entre sí.

Existen entonces un total de cinco hornos con enfardadoras para las 5 líneas restantes que las utilizan, pero el problema es que casi nunca se encuentran los 5 hornos funcionales al momento de requerirlos, o presentan tantas fallas en su operación que requieren cambiarlos por otros. También hay que considerar que no todos los productos necesitan hornos y enfardadoras, por lo que en general hay un horno Backup en caso de necesidad, pero no siempre este es el caso, e incluso pasa recurrentemente que hornos fallen simultáneamente, lo que genera una falta de disponibilidad de los mismos.

Las enfardadoras están constituidas por las barras de sellado, cuchillos selladores, ejes, sistema neumático, barras del empujador, cintas transportadoras junto a su sistema motriz, y su tablero eléctrico, con sus botoneras, terminales, paradas de emergencia y enchufe macho de alimentación. Los hornos tienen cintas transportadoras con su respectivo sistema motriz, y el tablero eléctrico, con sus respectivos componentes, botoneras, terminales, paradas de emergencia, y enchufe macho de alimentación.

- Selladoras: Después de haberse retractilado los productos en el horno, estos son colocados de manera manual en cajas, las cuales son selladas por cinta adhesiva, tanto en la parte superior como inferior, por las selladoras. Estas están constituidas por los cabezales inferiores y superiores, con sus respectivos elementos rodantes, cuchillos y gomas, y por las cintas laterales, con el reductor y su parada de emergencia. Existen 11 Selladoras actualmente en la planta, por lo que hay una selladora para cada línea, y 2 selladoras Backup.
- Inkjet: Esta máquina se encarga de colocarle el lote a las etiquetas antes de ser dispensadas, pero no son necesarias en todas las líneas, sino que se presentan en las líneas “C”, “D”, “F”, “G”, “H” e “I”. Se tienen 7 selladoras en total, por lo que hay una para cada línea, y una queda como el Inkjet Backup, lo que debería mejorar la disponibilidad y funcionamiento de los equipos. Están conformados por el cabezal, imán de tapa, la tinta, el solvente, y el sensor del envase.
- Etiquetadoras DUN: Son las que le colocan el código a la caja final, después de que esta haya pasado por la máquina selladora. Estos equipos no necesitan plan de mantenimiento interno, ya que una empresa externa va cada dos meses a la empresa para realizarle la mantención respectiva.

Luego de haber obtenido el inventario con todas las maquinarias y componentes, se deben realizar las planillas de mantención de cada una de ellos, con soporte de los mecánicos con más proyección de la empresa. La planilla se realizó con la finalidad de ser completada en terreno a medida que se vaya realizando la mantención, después esta debe ser traspasada al computador y guardada, para así llevar un registro de la fecha, duración, y actividades que se realizaron en la mantención. Para que los registros sean estandarizados conforme a los requerimientos de la empresa, se tuvieron que crear las máquinas en el Software SAP, para luego generar las actividades de mantenimiento para cada fecha de mantención. A continuación se presenta un ejemplo de las planillas utilizadas en la implementación del mantenimiento preventivo a fecha constante.

Mantenición Línea "H" ①			
Mantenición Mecánica llenadora			
	Cumple	No Cumple	No Amerita
③ { Limpieza unidad de vacío			
Desarme de calefactor			
Desmontaje de fleje porta envases (ver fisuras)			
Inspección estación de sellado (fugas ,chirrido, desgaste)			
Inspección estación de corte (fugas , chirrido, desgaste)			
Inspección y reapreté de uniones mecánicas			
Lubricación de componentes neumáticos			
Cambio de elemtos rodantes			
Revisión de tensión de correas			

Mantenición Eléctrica llenadora			
	Cumple	No Cumple	No Amerita
Limpieza de tableros			
Limpieza de ventilación			
Inspección de estado componentes			
Cambio de componentes			
Reaprete de terminales eléctricas			
Medición de tensión			
Inspección de botoneras e interruptor general			

Equipo de enfriamiento			
	Cumple	No Cumple	No Amerita
Limpieza			
Inspección de fugas, chirrido, desgaste			
Inspección líquido refrigerante			
Reaprete de uniones mecánicas			
Inspección de selector de encendido			

Ilustración 31: Ejemplo de Planilla, Pág. 1

Mantenición Llenadora Línea "H"			
Observaciones			
6	7	8	9
Aviso SAP	Mantenimiento preventivo	Fecha	Horas
110002774	Llenadora		
10			11
Jose Carrillo	Electromecánico		
Rafael Caceres	Ingeniero de soporte		
Claudio Aguilera	Supervisor		

Ilustración 32: Ejemplo de Planilla, Pág. 2

A continuación se realizará una pequeña reseña explicativa de la planilla de mantenimiento, utilizando las demarcaciones numerales de las imágenes anteriores:

- 1: En el título se escribe el nombre de la línea a la cual se le realizará la mantención, para que sea fácil de buscar por parte del operador que la ejecutará.
- 2: Cada ítem de la planilla se debe llenar con un ticket de una de las tres opciones, en donde “Cumple” significa que se realizó el ítem con éxito, “No Cumple” significa que no se realizó el ítem, y “No Amerita” significa que se revisó el ítem, pero su ejecución no es necesaria. Esta última alternativa se usa normalmente cuando se pregunta si se cambiaron componentes del sistema.

- 3: En esa columna se anotan los ítems de mantención que se deben realizar.
- 4: En los subtítulos se anotan los componentes de la línea a analizar.
- 5: En las observaciones se anota todo lo que se realizó y que no se encontraba en los ítems de actividades, además de todo lo que parece estar fuera de lo normal, piezas gastadas, ruidos, etc.
- 6: Los “Avisos SAP” son los códigos de la actividad de mantención en el Software SAP, los cuales deben ser pre-creados. Luego de haber realizado la actividad de mantención, y haber rellenado la planilla, el documento en PDF es cargado a la plataforma de SAP a la actividad asociada con dicho código.
- 7: En “Mantenimiento Preventivo” se escribe el nombre de los componentes a los cuales se le realizó la mantención.
- 8: En “Fecha” se escribe la fecha real en que se realizó la mantención, ya que no es necesariamente igual a la fecha puesta en el calendario.
- 9: En “Horas” se anota el tiempo total que demoró la realización de la mantención.
- 10: Los tres nombres que aparecen en la parte inferior izquierda de la hoja son los encargados de la implementación de mejora continua en el equipo de mantención, por lo que cada mantención preventiva realizada debe ser aprobada por ellos.
- 11: En esta sección van las firmas de cada miembro del equipo de mantención preventiva.

Después de haber realizado las planillas de mantención de todos los componentes, se realizó un calendario de mantenciones anual, y se crearon todos los avisos SAP respectivos para cada actividad de mantención. Luego se imprimieron todas las planillas y se archivaron, para que estas sean de fácil acceso, y se puedan actualizar las actividades mensualmente en la zona del equipo de mantención. A continuación se presenta el calendario de mantenciones de Enero.

Enero 2018						
Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
1	2 Línea "F"	3	4 Línea "C"	5	6	7
8 Inkjet Línea "C"	9 Línea "B"	10 Enfardadora N°1	11 Línea "E"	12 Selladora Línea "D"	13	14
15 Inkjet Línea "H"	16 Línea "F"	17 Enfar / Horno N°1	18 Línea "I"	19 Selladora Línea "G"	20	21
22	23 Línea "G"	24 Horno N°1	25 Línea "H"	26 Selladora Línea "A"	27	28
29	30 Línea "A"	31				

Ilustración 33: Calendario de Mantenciones de Enero

Las mantenciones que necesitan mayor tiempo para su realización son las mantenciones de las líneas en sí, por lo que por ese motivo se calendarizaron todas esas mantenciones para los días Martes y Jueves de la semana, porque en caso de que haya cualquier inconveniente, las fechas de los mismos se pueden cambiar para un día antes o un día después.

También se debe destacar que el calendario mensual es flexible, es decir, si el día Martes 9 de Enero la línea “A” no tenía programa, es más conveniente realizar su mantención preventiva en dicha fecha, y cambiar la mantención preventiva de la Línea “B” para el Martes 30.

También los Inkjet y las selladoras, al ser máquinas de menor tamaño, son rápidas de mantener, por lo que los mecánicos de línea pueden arreglarlas en sus tiempos libres, aumentando así su utilización. Es importante a su vez ir recordándoles a los jefes de líneas que se realizarán las mantenciones preventivas, para que estos puedan organizar los tiempos de su gente y asegurar la disponibilidad de las líneas.

Entonces, luego de haber realizado el plan de mantención preventiva a fecha constante, se puede proceder a realizar el método de recolección de información. Este debe ser simple, ya que en general los mecánicos son reacios a seguir rutinas de inspección y rellenar planillas, pero también debe tener toda la información necesaria para realizar el posterior análisis de los datos. Para lograr lo anterior se realizaron dos documentos, uno que debe ser rellenado en las líneas por parte de los mecánicos que están haciendo las mantenciones, y otro que debe ser rellenado en el computador en una planilla Excel por parte de la persona encargada de esta actividad.

A continuación se presenta el documento que debe ser rellenado en las líneas, el que tiene los elementos básicos necesarios para la recolección de información, como lo son la fecha, la línea que se está manteniendo, el mecánico que está realizando la mantención, la máquina específica de la línea que está con problemas, el componente de la máquina que se está reparando, el tipo de mantención (preventiva o correctiva), el tiempo total que demoró la mantención, el tiempo que la línea no produjo debido a la mantención (que puede ser igual o menor al tiempo total de mantención), los repuestos que se utilizaron o repararon para realizarla, y los comentarios, en donde se

hace énfasis a que describan el problema específico de la máquina, y cómo fue su resolución.

Línea: _____ Fecha: _____ Mecánico a cargo: _____ Máquina: _____ Componente específico que se reparó: _____ Tipo de Mantenimiento (Correctiva o preventiva): _____ Tiempo total de la mantención (en minutos): _____ Tiempo que la línea no produjo DEBIDO a la mantención (en minutos): _____ Repuestos utilizados o reparados: _____		
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="padding: 5px; text-align: center;">Comentarios (Problema y resolución específicos)</th> </tr> <tr> <td style="height: 150px;"></td> </tr> </table>	Comentarios (Problema y resolución específicos)	
Comentarios (Problema y resolución específicos)		

Ilustración 34: Documento Para Las Líneas

Se debe tener en cuenta que la implementación de cualquier plan de mantención tiene un periodo de adaptación, en donde los mecánicos aprenderán y obtendrán la rutina de anotar las mantenciones que realicen en las líneas, y también aprenderán la manera adecuada de hacerlo. Después de haber rellenado el documento anterior este debe ser traspasado al archivo Excel que se muestra en las imágenes a continuación.

Fecha	Línea	Máquina	Componente	Tipo de Mantenimiento	Producción de la línea (p/min)	Tiempo total de reparación en (min)	Tiempo de Línea Detenida por Falla (min)
					0		
					0		
					0		
					0		
					0		
					0		
					0		
					0		
					0		
					0		

Ilustración 35: Planilla de Información, primera parte

Nombres de Mecánicos implicados	No producción por línea Detenida	Costo de Repuestos Usados	Costo de Tener la línea Detenida	Costo Total	Problema	Resolución
	0		\$0	\$0		
	0		\$0	\$0		
	0		\$0	\$0		
	0		\$0	\$0		
	0		\$0	\$0		
	0		\$0	\$0		
	0		\$0	\$0		
	0		\$0	\$0		
	0		\$0	\$0		
	0		\$0	\$0		

Ilustración 36: Planilla de información, Segunda Parte

Las columnas “Línea”, “Máquina”, y “Tipo de Mantenimiento”, tienen listas desplegables para facilitar el uso de la planilla, y para evitar errores al momento de transcribir los datos. Esta planilla de Excel entrega el costo de cada mantención realizada, según el tiempo en que estuvo detenida la línea y los repuestos empleados.

También entrega la cantidad de piezas que no se produjeron por el tiempo en que se realizó la mantención, por lo que, a partir de los datos anteriores, se pueden implementar indicadores tanto económicos como productivos para medir el rendimiento del equipo de mantención.

Si se le realiza un buen seguimiento a la implementación del plan de mantención, al finalizar el año 2018 se tendrán suficientes datos para realizar el análisis de mantención, obteniendo así el MTTR correctivo, MTTR preventivo, MTBF, la confiabilidad de las máquinas particulares, la confiabilidad de las líneas (y sistemas), la tasa de falla de los elementos, y la fase de vida útil en la que se encuentra cada elemento. Además de lo anterior, con los indicadores que se implementarán en base a los datos recopilados, se podrá realizar un seguimiento de la productividad del equipo de mantención, y de los proyectos que implemente el equipo de mejora continua.

Por último se debe destacar que todas las líneas funcionan según un sistema en serie, por lo que la falla de un componente implica la detención de toda la línea, mostrando la importancia de evitar los tiempos de detención y de disminuir la frecuencia de falla.

5. Resumen

En primer lugar se comenzará analizando el impacto económico que tuvieron tres de las cinco mejoras implementadas. En la tabla 12 se puede observar un resumen económico del primer año de implementación de estas tres mejoras, en donde se obtiene una ganancia de 37,5 millones de pesos. Debido a que la mejora del horno deja de tener efecto en el balance final, ya que aceleraba el proceso de adaptación de las operadoras, y debido a que los costos del diseño de las boquillas ya fue pagado, a partir del segundo año, las ganancias esperadas serán de 36,6 millones de pesos aproximadamente. Entonces se puede concluir que estas mejoras si lograron tener cambios significativos en los procesos, incurriendo a costos bajos de inversión.

Tabla 12: Resumen de Ahorros

	Mejora	Producción diaria	Costo del producto (\$/u)	Ahorro por producto (\$)	Ahorro diario (\$)	Ahorro mensual (\$)	Costo (\$)	Ahorro Primer Año
Horno	<i>Antes</i>	28.498	68,5					
	<i>Después</i>	31.698	61,6	6,9	219.092	5.477.302	0	10.954.605
Diseño de Boquillas	<i>Antes</i>	31.698	61,6					
	<i>Después</i>	32.058	60,9	0,7	22.160	553.990	2.040.000	4.607.877
Nuevo Rango	<i>Antes</i>	32.058	60,9					
	<i>Después</i>	32.458	58,7	2,2	73.168	1.829.299	0	21.950.400
							Total	37.512.882

Además de las mejoras económicas, se debe resaltar que tanto el diseño de las nuevas boquillas como el desarrollo del nuevo rango de medición lograron disminuir la variabilidad del proceso, aparte de asegurar un producto de mejor calidad para el consumidor final.

También se pudo disminuir la sobrerreacción de las operadoras y maquinistas con respecto a la dosificación de las botellas, logrando focalizar su atención en la producción. Esto reduce en gran medida la frecuencia de los errores humanos, y la dependencia de la rapidez de respuesta de los mismos, porque es sabido que en los turnos de la tarde y de la noche, cuando se tienen que realizar ajustes en la producción, estos se realizan de manera bastante más lenta, en comparación con el turno diurno.

Considerando la mejora de la implementación de las cámaras de rechazo, la consecuencia económica es difícil de estimar, debido a que la empresa no tiene información guardada de los costos implicados en los reprocesos o controles exhaustivos de calidad, ni tampoco de la frecuencia de los mismos. A pesar de lo anterior, se considera que la mejora fue exitosa en términos de la producción y calidad del producto final, ya que ahora los productos que llegan al final del proceso son satisfactorios según los estándares de la empresa. Además de lo anterior en este caso también se pudo disminuir la sobrerreacción de las coordinadoras de las líneas (las encargadas de ver las etiquetas), ya que antes de haber implementado las cámaras, estas veían la inclinación o desviación de la etiqueta de manera visual, por lo que muchas veces reprocesaban productos buenos, y otras dejaban pasar productos malos.

También, si ellas creían que los productos estaban malos, aún si estos estuviesen dentro de los límites permitidos, volvían a ajustar la máquina etiquetadora, lo que, además de producir una detención en la línea, podía conllevar problemas aún mayores, ya que se podría perder el ajuste anterior, y podría significar tiempos largos de inversión para volver al estado inicial.

Por último, considerando la mejora de la mantención de los equipos, no se pueden tener conclusiones de los resultados, debido a que estos son a largo plazo. Lo que sí se puede estipular es que era necesaria la implementación de un sistema verídico y confiable de recaudación de la información, ya que el sistema de mantención actual estaba generando muchas reparaciones inesperadas, las que podían conllevar una gran cantidad de horas y de personal utilizado, descuidando las otras líneas que necesitan atención, y teniendo grandes rangos de tiempos perdidos por este motivo. También se logró realizar un sistema ameno para los trabajadores, facilitando la anotación de los sucesos, y posterior traspaso al computador.

A pesar de los óptimos resultados obtenidos, aún hay muchos factores que se pueden mejorar, tanto en la línea crítica, como en las demás líneas. En primer lugar se podrían replicar las mejoras como lo son los nuevos rangos de medición para las otras líneas, pudiendo generar grandes ahorros de material en las líneas que tienen poca variabilidad, ya que el nuevo rango podría estar más cercano al límite inferior que al superior, y se podría asegurar el peso del producto en líneas que tengan una gran variabilidad.

En segundo lugar se debe realizar el análisis de los datos de las mantenciones obtenidos posterior a un año, y así generar un sistema de mantención óptimo, que minimice los costos y maximice la disponibilidad de las líneas. En tercer y último lugar se recomienda realizar un estudio para mejorar el rendimiento y motivación de los operadores de la planta, ya que muchas veces los planes de mejora no tienen resultados positivos porque la gente que debe implementarlos no está interesada en los mismos.

6. Conclusión

Se puede concluir que sí se generó un aumento en la capacidad de la línea crítica, ya que se disminuyeron los tiempos perdidos por derrame de productos en las boquillas, por la sobreacción de las operadoras, y por realizar malos ajustes en la máquina llenadora. También se aceleraron procesos de adaptación, lo que generó una mejora a corto plazo en el caso del horno, además de realizar planes de mejora a largo plazo, como es en el caso de los planes de mantención, los cuales deberán ser continuados por parte de la empresa.

Detallando los alcances de esta memoria de título se puede estipular lo siguiente:

- Se pudieron analizar los principales problemas productivos de la línea crítica, y por lo tanto, se obtuvieron las causas del bajo desempeño de la misma. A pesar de tener varios problemas de desempeño, se focalizaron las mejoras en una cantidad reducida de los mismos, para poder asegurar el desarrollo óptimo de los proyectos.
- Se definieron e implementaron todas las herramientas de mejoras, entre las cuales algunas se utilizaron explícitamente, como en el cálculo de la capacidad del sistema por ejemplo, y otras se utilizaron con poca profundidad. Este último es el caso de los planes de mantención, ya que las herramientas se utilizaron para observar que tipo de información era la más importante de recaudar para realizar con posterioridad los análisis y fórmulas descritas.
- Se propuso un plan de acción con más detalle en la implementación del plan de mantención, debido a que este es un proyecto a largo plazo, con varios pasos implicados para poder tener un buen resultado final. Obviamente este plan de acción no se finalizó, debido al tiempo limitado de la memoria, pero se dejaron todas las herramientas necesarias para su continuidad.

- Se realizó un análisis de los resultados obtenidos, alcanzando resultados destacables tanto a corto como a largo plazo, generando reducciones de costos y aumentando la calidad de los productos.
- Los impactos económicos fueron apreciables, considerando más aún la poca inversión que se necesitó para realizar las mejoras. También se espera que los impactos de la implementación a largo plazo del sistema de mantención genere un ahorro de costos aún mayor, ya que aumentará la disponibilidad de los equipos, disminuirán los costos de repuestos (ya que se podrá prever la necesidad de los mismos), y optimizará el tiempo del equipo de mantención.
- De las mejoras implementadas se propone replicar la mejora de los nuevos rangos de dosificación, debido a que esta puede aumentar la calidad del producto final de toda la empresa, y se pueden disminuir los costos en materias primas, ya que se optimizará el uso de masa para llenar las botellas. Además se generará una mayor continuidad en los procesos, ya que no se deberán pesar los envases de manera tan frecuente como se realiza en la actualidad.

Entonces se puede concluir de manera general que se obtuvieron resultados satisfactorios en la implementación de las mejoras, pero aún hay una gran cantidad de oportunidades para seguir mejorando la empresa.

7. Referencias

- (1) TREFIS, T. Some Of The Keys Trends That Will Drive Sales In The Skincare Segment In 2017. [en línea]. Forbes Estados Unidos, 2017. [Consulta: 10-Ene.2018]. Disponible en: <<https://www.forbes.com/sites/greatspeculations/2017/02/02/some-of-the-key-trends-that-will-drive-sales-in-the-skincare-segment-in-2017/#ab4b8edbb788>>
- (2) OSWALD, A., PROTO, E., SGROI, D. Happiness and Productivity, *Journal of Labor Economics*. 2015, vol. 33. No 4.
- (3) LAKSHMI, Ch. RAMAKRISHNA, A. Review on Theory of Constraints. *International Journal on advances in Engineering & Technology*, 2012. 11p.
- (4) AGUILERA, Iván. Un enfoque gerencial de la teoría de las restricciones. *Um Pouco Além do Just In Time: Uma Abordagem a Teoría das Restrições*, 1994, vol. 34, n° 5, p. 53 - 69.
- (5) MABIN, Victoria. Goldratt's "Theory of Constraints" Thinking Processes: A Systems Methodology linking Soft with Hard. *School of Business and Public Management*. 2002. 12p.
- (6) TEJEDA, Anne. Mejoras de Lean Manufacturing en los sistemas productivos. Vol. 36. *Ciencia y Sociedad*. Santo Domingo, República Dominicana, 2011. 310p.
- (7) DHILLON. B. Engineering maintenance: A modern approach. 1ª ed. Estados Unidos: CRC press LLC, 2002. 222p.

- (8) MÁRQUEZ, A. C. *The Maintenance Management Framework: Models and Methods for Complex Systems Maintenance*. 1ª ed. London: Springer London, 2007. 356p.
- (9) ARATA Andreani, Adolfo. *Ingeniería y gestión de la confiabilidad operacional en plantas industriales: Aplicación de la plataforma R-MES*. 1ª ed. Santiago: RIL Editores, 2009. 439p.
- (10) GUTIÉRREZ Pulido, Humberto. *Calidad total y productividad*. 3ª ed. México: Mc. Graw Hill, 2010. 359p.
- (11) HINES, William, MONTGOMERY, Douglas. *Probabilidad y estadística para Ingeniería*. 2ª ed. México: Compañía Editorial Continental, 1993. 834p.

8. Anexos

8.1 Anexo 1: OAE y comparación de precios de las distintas líneas

Línea “A”:

Esta es la línea más nueva de la planta, ya que lleva 3 años funcionando (en comparación de los 10 a 20 años que llevan en funcionamiento las otras líneas), por lo que sus detenciones no son debido al desgaste del sistema. Además de lo anterior, la línea “A” tiene la mayor capacidad de producción junto a la línea “B”, ya que ambas alcanzan las 120 piezas por minuto.

La siguiente figura muestra la comparación de los costos de producción de los distintos productos de la línea, observándose que los costos de producción son en promedio entre 8 a 23% más costosos en la fábrica chilena que los de su competencia internacional, y puede llegar a ser 35% más costoso que el producto más barato producido internacionalmente.

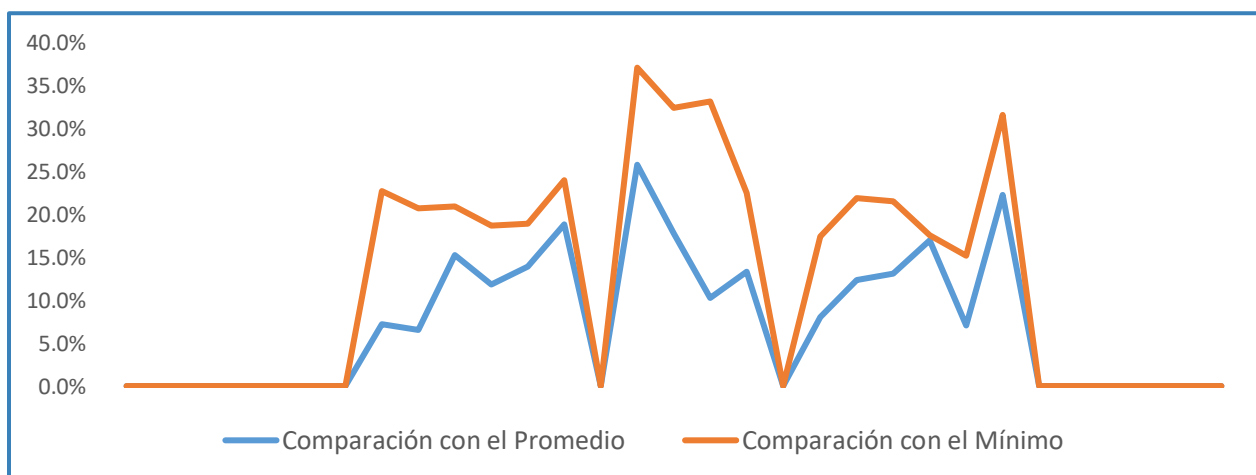


Ilustración 37: Comparación de Costos de Producción Línea "A"

A pesar de ser una línea con pocos formatos tiene costos elevados, lo cual se puede deber a las detenciones frecuentes, malas prácticas, y poca motivación por parte de los trabajadores. Esta línea está constituida por la etiquetadora, la volteadora de envases, la llenadora de 10 boquillas, el cooling Tower, la tapadora, la enfardadora y la selladora, siendo el Cooling tower una máquina enfriadora con movimiento espiral, la cual enfría los desodorantes en un tiempo de 30 minutos. En la línea trabajan 7 personas, 3 operadores colocando envases, el coordinador, que además de ajustar y arreglar las etiquetas, vigila la línea, el maquinista que se encarga de disminuir las detenciones en la línea lo más posible, una persona encargada de guardar los productos en las cajas, y al final de la línea una persona haciendo los pallets de cajas.

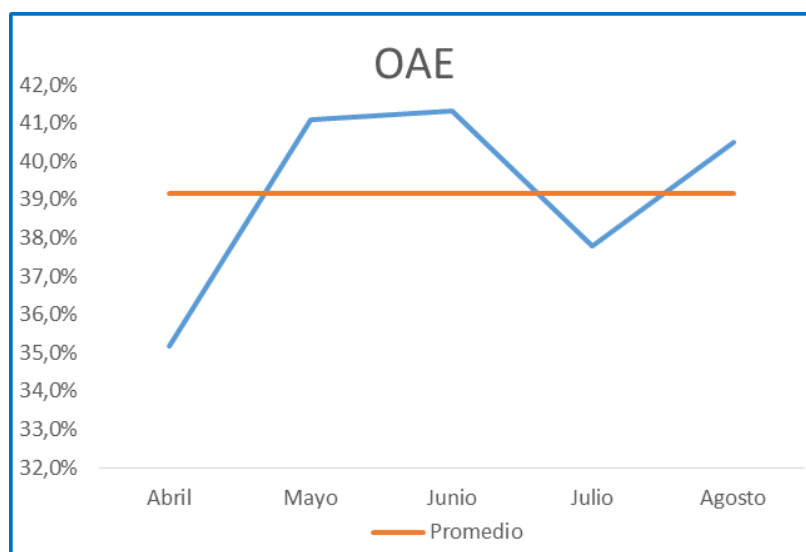


Ilustración 38: OAE Mensual Línea "A"

Con respecto al OAE, esta línea tiene el segundo lugar del peor comportamiento, variando entre los 35,2 a 41,3%, lo que justifica los costos elevados de producción. Esto es principalmente preocupante debido a que esta línea tiene mayor tecnología, por lo que debería tener los mejores desempeños.

Línea “B”:

Esta línea tiene hartos productos, pero tiene poca variedad de tamaños y formas, por lo que se pueden producir varios productos con el mismo ajuste, ahorrando tiempo. Esta línea consta de la llenadora de 8 boquillas, la tapadora automática, la etiquetadora, el horno y la selladora. Tiene una velocidad productiva de 120 piezas por minuto cuando genera productos sin bomba, y de 78 piezas por minuto cuando trabaja productos con bomba.

Esta línea tiene costos entre 3 a 35% mayores al promedio de los mismos productos en las otras empresas productivas, lo cual es sumamente considerable. También puede llegar a costar 60% más que el producto más económico elaborado en otro país productor, por lo que ese producto cuesta 1,6 veces más hacerlo en Chile que en el otro país, lo cual nos coloca en una posición sumamente baja a nivel competitivo.

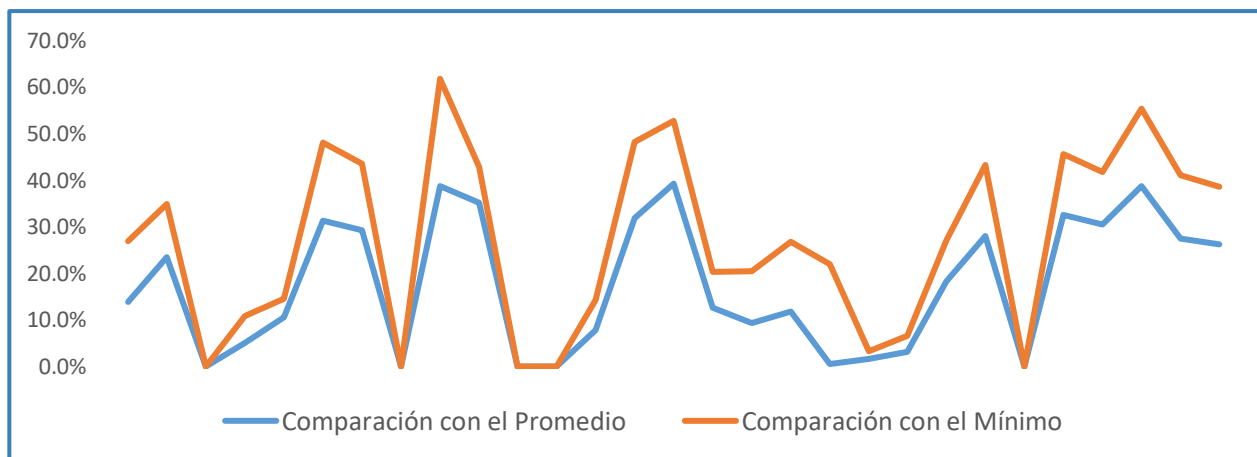


Ilustración 39: Comparación de Costos de Producción Línea "B"

Con respecto al OAE, se puede observar que tiene un desempeño bastante bajo, siendo la tercera línea con el peor desempeño, ya que produce aproximadamente un tercio de lo que podría producir en condiciones perfectas. Esto genera grandes oportunidades de mejora, lo que se plasmaría en una disminución en los costos de producción.

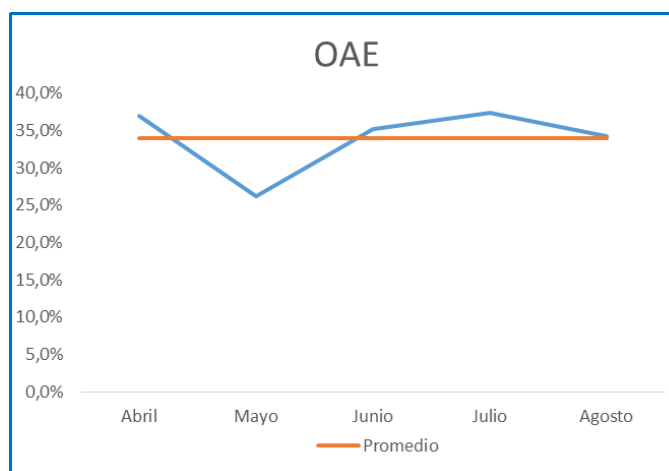


Ilustración 40: OAE Mensual Línea "B"

Línea "C":

Esta línea tiene una velocidad nominal de 60 [pieza/min], y consta de una llenadora de 6 boquillas, una tapadora semiautomática (se dispensan las tapas de manera manual), una etiquetadora, un horno y una selladora, siendo el horno más nuevo y moderno adquirido en la planta, formando parte de la misma recién en junio del 2017 pasado, en comparación a los otros hornos, los cuales tienen entre 7 y 14 años de antigüedad. Esta línea está constituida por 7 trabajadores, el maquinista, dos personas poniendo tapas, la coordinadora y tres apoyos. Lo particular y especialmente complicado de esta línea es que tiene que trabajar una gran variedad de productos, con formas, volúmenes y materiales muy diferentes, por lo que requiere de frecuentes cambios de formato, lo que genera grandes pérdidas de tiempo y dinero.

Se puede observar que solamente un producto tiene un costo de producción inferior al promedio de los costos de las otras empresas, mientras que la gran mayoría de los productos tienen costos considerablemente más altos (hasta 35% más costoso que el producto más económico producido).

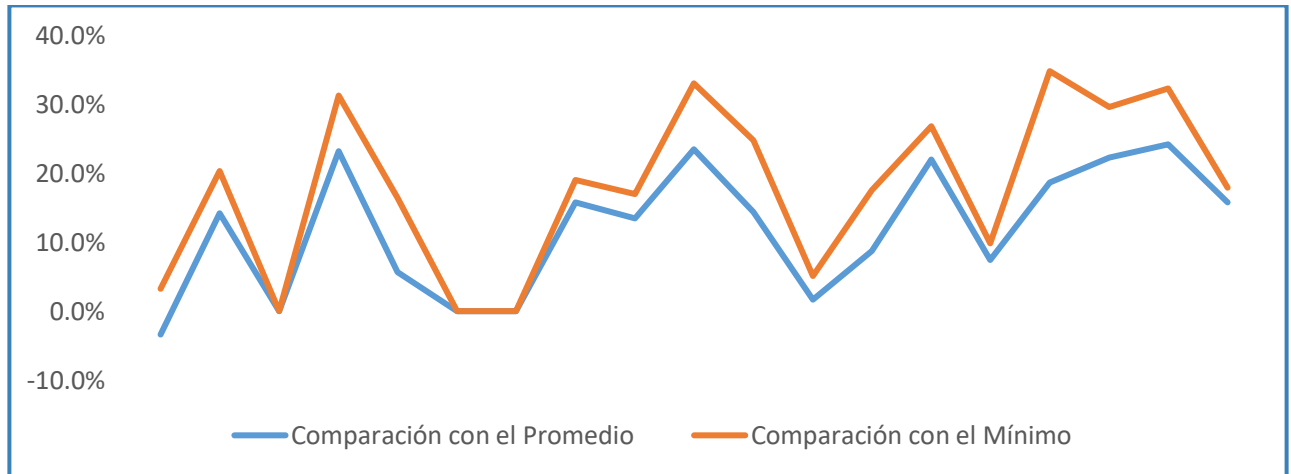


Ilustración 41: Comparación de Costos de Producción Línea "C"

En cuanto al rendimiento de la línea, se puede observar que el OAE es sumamente bajo siendo la línea con peor OAE de la planta, lo que genera una baja utilización de los equipos y del personal. Este bajo rendimiento tiene muchos factores, entre los que se encuentran una gran frecuencia de averías en la línea, ajustes mal realizados que requieren posteriores detenciones, cambios de formato lentos, mala operación, entre otros.

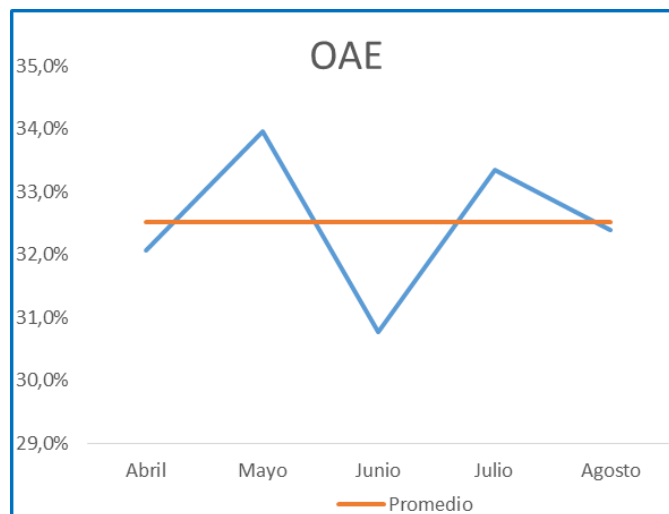


Ilustración 42: OAE Mensual Línea "C"

Por último se muestra a continuación la distribución de maquinarias en la línea, con sus respectivas velocidades de producción, en las que se puede observar notoriamente que en un funcionamiento óptimo la maquinaria limitante sería la llenadora. También se debe considerar la velocidad del horno en los formatos más complejos, ya que en estos su velocidad disminuye a 60 piezas por minuto.

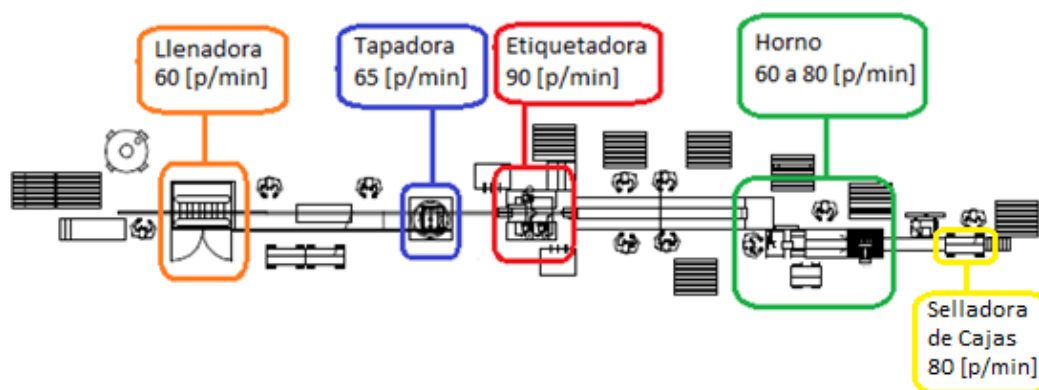


Ilustración 43: Maquinarias y Velocidad Línea "C"

Esta es la única línea que tiene un análisis detallado de las maquinarias, puesto que es la línea crítica, por lo que se requiere mayor análisis y detalles que las demás.

Línea “D”:

Esta línea se encarga de terminar de procesar los productos provenientes de otras líneas, prioritariamente de la línea Tema 500, por lo que no tiene máquinas asociadas. Esta es la línea con mayor cantidad de personal, ya que consta de la coordinadora y 12 apoyos.

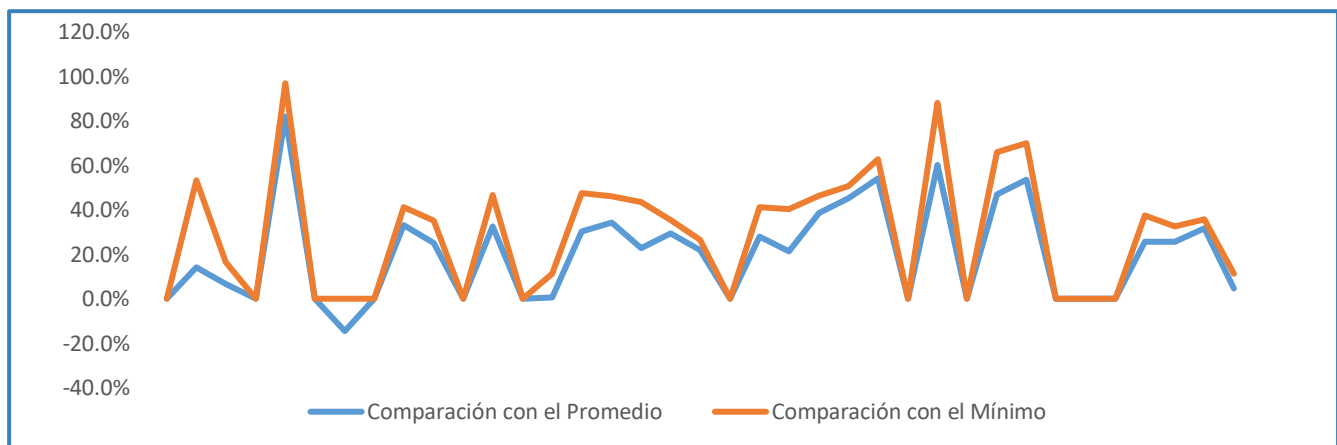


Ilustración 44: Comparación de Costos de Producción Línea "D"

Se puede observar que los productos de esta línea son considerablemente más costosos que los de las otras empresas productoras. Lo anterior se puede deber a la poca motivación que tienen las operadoras al momento de trabajar, ya que no hay una máquina que les entregue una frecuencia de trabajo, sino que trabajan al tiempo de cada trabajador.

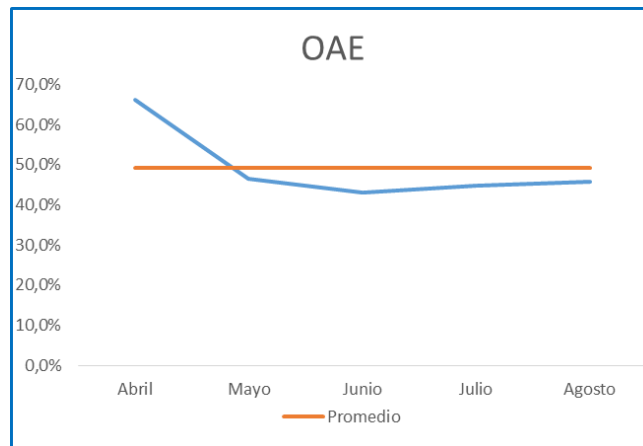


Ilustración 45: OAE Mensual Línea "D"

También se puede ver en la figura del OAE que esta línea tiene el OAE más alto de la planta, pero esto se debe a que su naturaleza completamente manual, por lo que no hay máquinas que ajustar, preparar, o que detengan la producción, ya que solamente cuentan con selladora, y algunas veces de horno. Hay que considerar que esta línea debería tener un mejor desempeño aún, ya que la productividad depende solamente de la motivación de las operadoras, la cual es actualmente deficiente. Para calcular el OAE de la línea se considera una rapidez de 60 piezas por minuto.

Línea “E”:

Esta línea se encarga de producir la gran mayoría de los productos en lata de la planta, con excepción del formato de 400 [ml], que se produce en la línea “I”, ya que la llenadora no tiene la capacidad necesaria para producirlo.

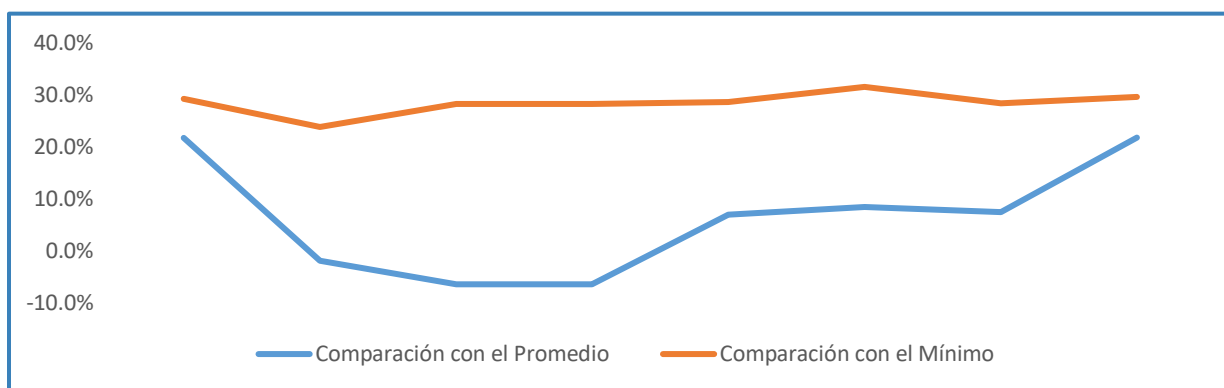


Ilustración 46: Comparación de Costos de Producción Línea “E”

Se puede observar que 3 de los 8 formatos producidos tienen un costo menor al promedio de las otras empresas productivas, lo que se puede deber a la continuidad de la línea, ya que al tener pocos formatos diferentes, en general elaboran el mismo producto por rangos elevados de tiempo. Lo anterior es sumamente importante al considerar que no gastan tiempo en los cambios y lavados de pieza, ajustes, etc.

El OAE de esta línea no se encuentra entre los más críticos de la planta, siendo la tercera línea con mejor desempeño, y teniendo una velocidad de 60 piezas por minuto, pero si es bastante bajo, ya que se produce la mitad de lo que se podría producir si se tuviese un desempeño perfecto. Lo anterior se agrava considerando que la llenadora tiene solamente una boquilla, por lo que tiene una regulación de peso más sencilla, y en general tiene un comportamiento estable en el tiempo.

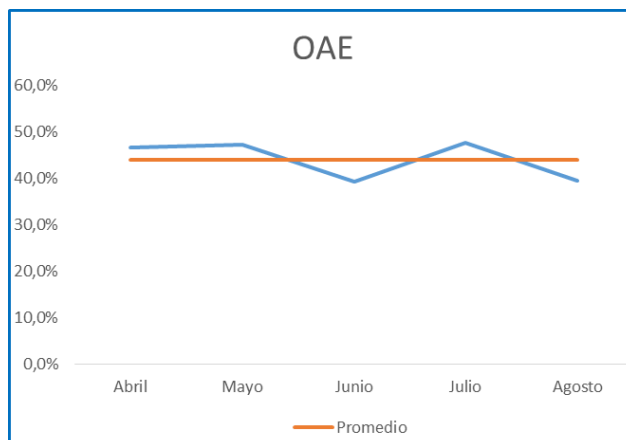


Ilustración 47: OAE Mensual Línea "E"

Línea “F”:

Esta línea es sumamente similar a la Línea “E”, ya que principalmente solo cambia el tipo de envase procesado, siendo este de plástico. La velocidad de producción de la línea es de 60 piezas por minuto.

Se puede observar en la siguiente figura que el costo de producción es sumamente alto en comparación al de la competencia, a pesar de que se trata de una línea relativamente simple, con una llenadora de una sola boquilla, además de tener un sistema de ajuste sencillo, y una variación de peso baja entre llenados.

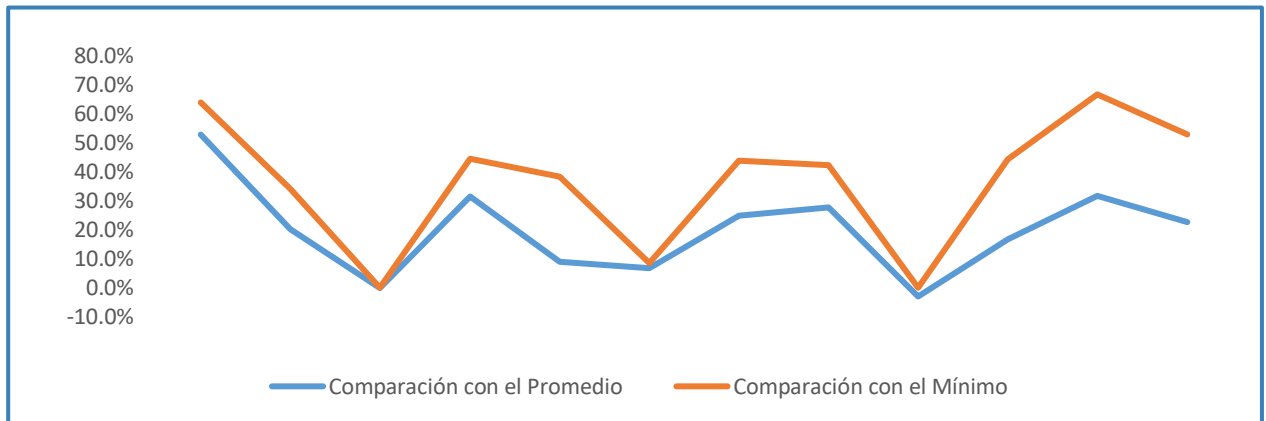


Ilustración 48: Comparación de Costos de Producción Línea "F"

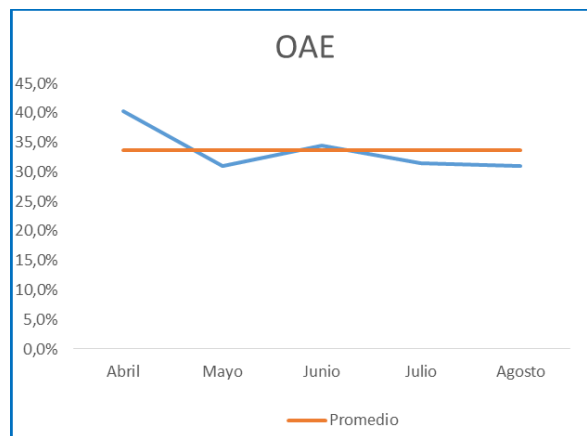


Ilustración 49: OAE Mensual Línea "F"

En el gráfico del OAE, se puede observar que el desempeño de la línea se encuentra entre los peores de la planta, siendo el cuarto peor, por lo que se producen menos de la mitad de los productos que se podrían producir en condiciones perfectas. Esta línea tiene la particularidad de contar con una máquina que guarda los productos en cajas de cartón, y posteriormente las enfarda.

Línea “G”:

Esta línea también es similar a las líneas “E” y “F”, ya que también tiene una llenadora de una boquilla, y consta de una cantidad de personal parecido. También tiene una velocidad productiva de 60 piezas por minuto, al igual que la línea “C”, “D”, “E”, y “F”.

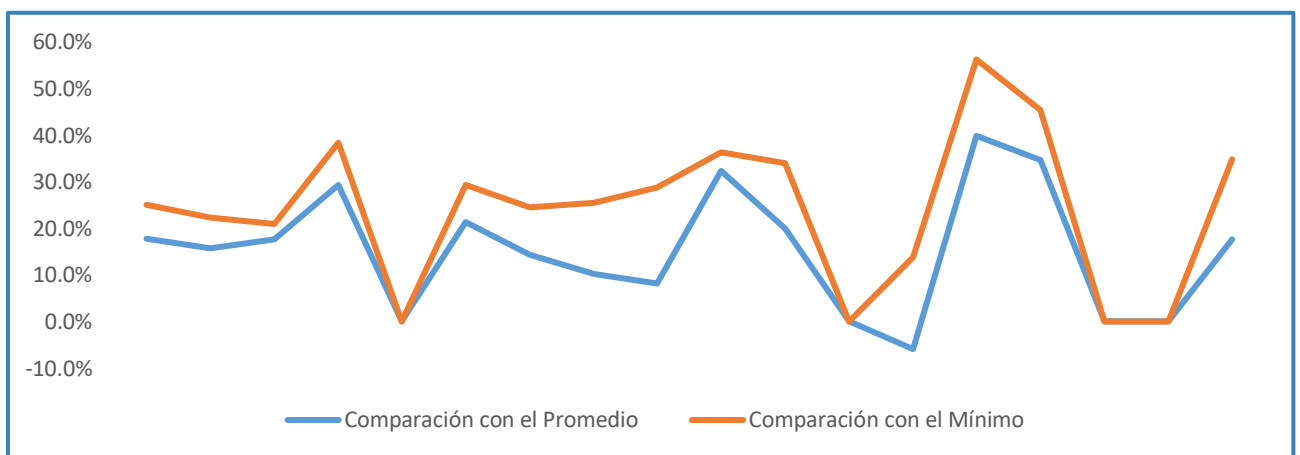


Ilustración 50: Comparación de Costos de Producción Línea "G"

Se puede observar que tiene costos de producción menores que otras líneas, pero aun así es sumamente alto. Esto resulta extraño ya que esta línea es generalmente simple y sencilla de ajustar.

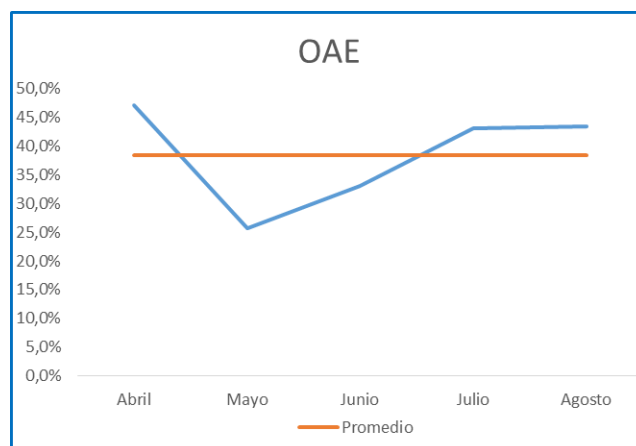


Ilustración 51: OAE Mensual Línea "G"

Con respecto al desempeño del OAE se puede observar que en esta línea se produce menos de la mitad de los productos que se harían en el mismo tiempo en condiciones ideales, lo que otra vez demuestra oportunidades grandes de mejora debido a la naturaleza sencilla de la línea. A pesar de no tener un buen desempeño, es la segunda mejor línea de la planta, y la primera si se consideran solamente las líneas que tienen máquinas de gran tamaño asociadas a su producción.

Línea "H":

Esta línea produce exclusivamente Pomos, los cuales pueden ser de diversos tamaños y formas, además de ser una de las que tiene más baja velocidad de producción, ya que la llenadora produce a una velocidad máxima de 40 piezas por minuto. También es la línea con menor cantidad de personal, puesto que se compone de 4 operadores, el maquinista, que se encarga de colocar los pomos en la llenadora y asegurarse de que esta funcione bien, la coordinadora, la cual ayuda y vigila todo el proceso de la línea, y se preocupa de que esta funcione adecuadamente, y dos apoyos, uno manejando el horno, y el otro realizando cajas y pallets.

Se puede observar en la figura de comparación de costos que esta línea tiene en general pocos productos, y que tres de ellos tienen costos de producción menores a los de la competencia, lo cual es sumamente positivo. El problema de esta línea, más allá de su velocidad de producción, es la calidad de sus productos, debido a que un producto defectuoso que se entregó en el pasado le generó un mal prestigio, lo que conlleva a tener menor demanda de productos en la actualidad.

Con respecto al OAE se puede observar que es el cuarto mejor del total de 9 líneas, pero aun así no tiene un buen desempeño, ya que produce en general la mitad de los productos que debería producir en el mismo rango de tiempo. En la actualidad (Septiembre 2017), este desempeño es inclusive más bajo, debido a que al tener menor volumen de demanda, hay días en que esta línea no tiene programa para producir.

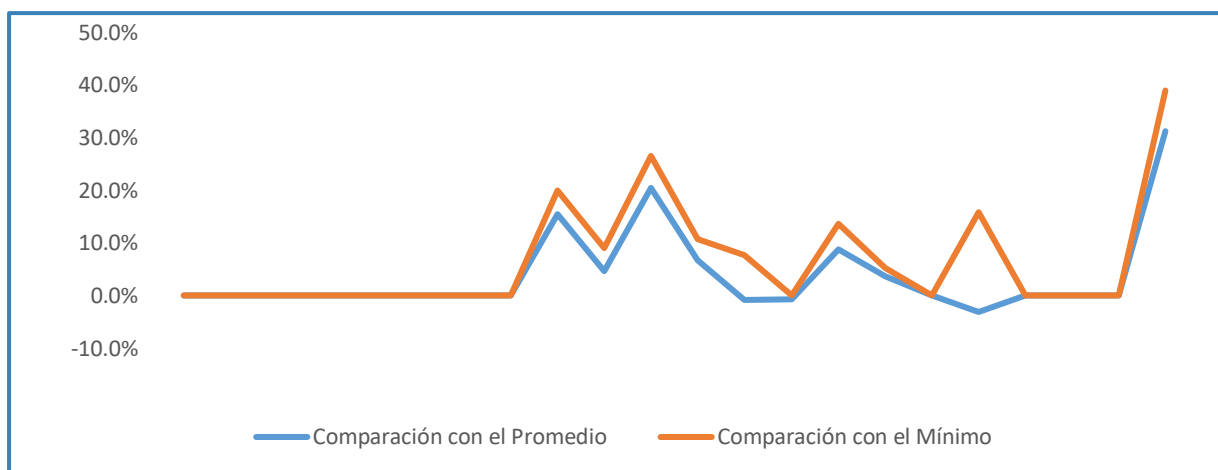


Ilustración 52: Comparación de Costos de Producción Línea "H"

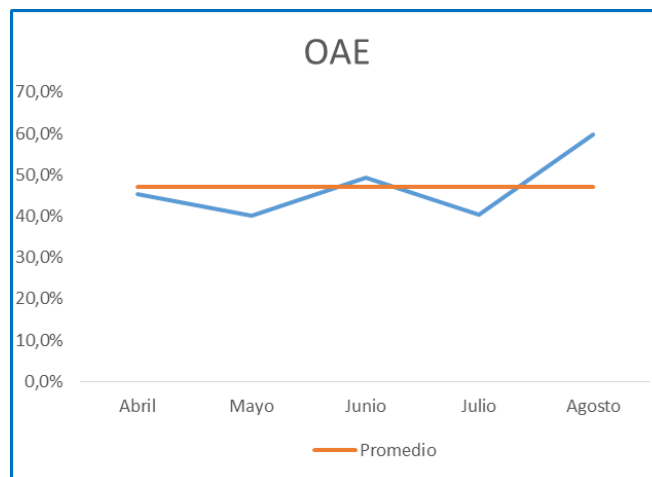


Ilustración 53: OAE Mensual Línea "H"

Línea "I":

Esta es la línea más lenta de la planta, teniendo una velocidad de 38 piezas por minuto para productos sin bomba, y de 28 piezas por minuto para productos con bomba. Es una línea relativamente simple, con una llenadora de una boquilla, y una etiquetadora.

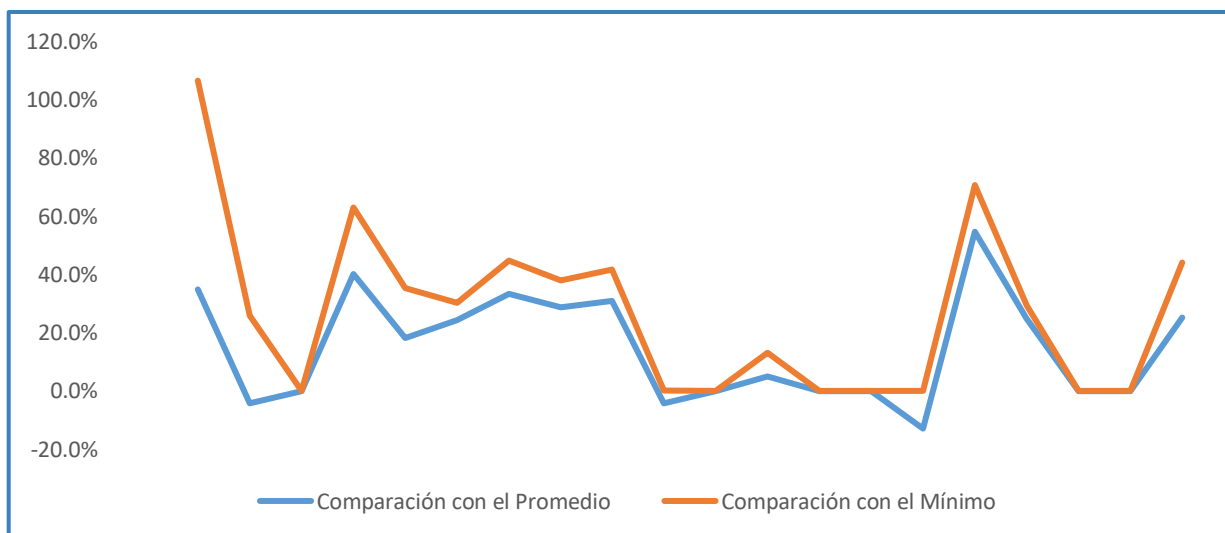


Ilustración 54: Comparación de Costos de Producción Línea "I"

Se puede observar que varios de los productos de la línea tienen costos bastante altos, destacando algunos que tienen costos de 40 a 60% más elevados que el promedio de las otras empresas productoras.

Esta línea es la cuarta con mejor desempeño en la zona de envasado, pero aun así se puede notar una clara deficiencia en los resultados, produciéndose un poco más de un tercio de lo que se podría producir de manera ideal.

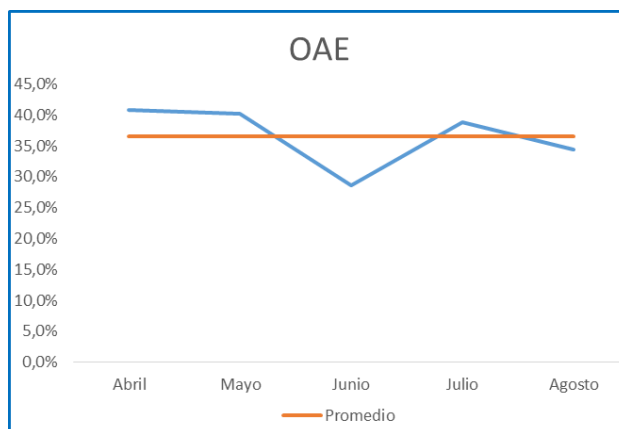


Ilustración 55: OAE Mensual Línea "I"

8.2 Anexo 2: Instructivo operacional horno Kalfas Super Wrap 650

Manual Cambio de Formato Horno

Tema 500

Elaborado por:
Nombre: Macarena Norambuena
Cargo: Practicante
Fecha: 27/07/2017
Firma: _____

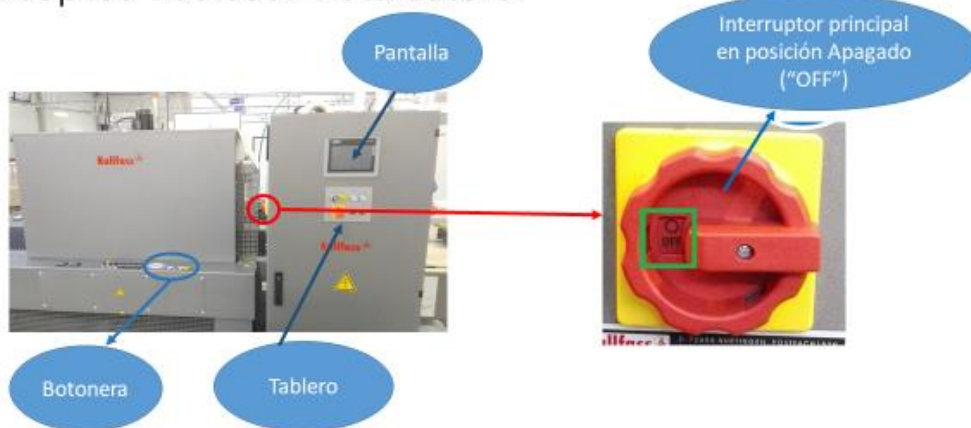
Revisado por:
Nombre:
Cargo:
Fecha:
Firma: _____

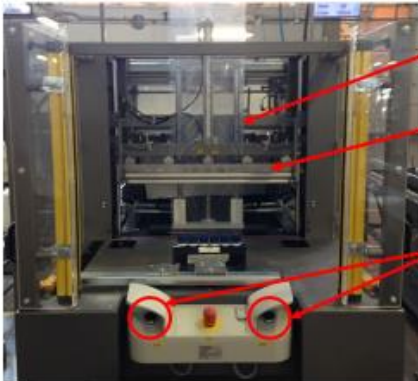
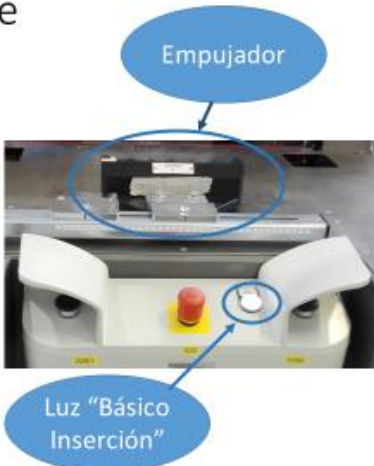
Aprobado por:
Nombre:
Cargo:
Fecha:
Firma: _____

Horno Super Wrac 650 Kalfass

Revisión 1
Pág. 1 de 17

Conceptos Básicos: Vista Lateral



Horno Super Wrac 650 Kallfass	Revisión 1 Pág. 2 de 17
Conceptos Básicos: Vista de Frente	
	

Horno Super Wrac 650 Kallfass	Revisión 1 Pág. 3 de 17
Paso 1: Buscar Empujador	
Buscar en el Mueble de insumos 	 Buscar el empujador del producto, según el nombre escrito

Horno Super Wrac 650 Kallfass	Revisión 1 Pág. 4 de 17
Paso 2: Buscar Llave  Ir a la caja de herramientas  Buscar la llave número 13  N° de llave	

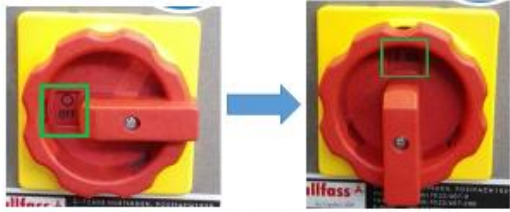
Horno Super Wrac 650 Kallfass	Revisión 1 Pág. 5 de 17
Paso 3: Cambiar el empujador y colocar productos  Desatornillar los 2 tornillos Delanteros con la llave N° 13 	

Horno Super Wrac 650 Kalfass

Revisión 1
Pág. 6 de 17

Paso 4: Encender la pantalla

1



2

Cambiar Interruptor principal de la posición OFF a la posición ON

3



Esperar que se encienda la pantalla principal

Horno Super Wrac 650 Kalfass

Revisión 1
Pág. 7 de 17

Paso 5: Elegir producto

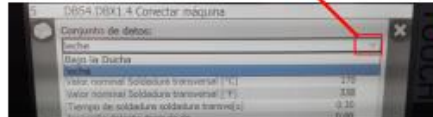
1



Tocar en la pantalla "Datos del Producto"

2

Elegir Producto



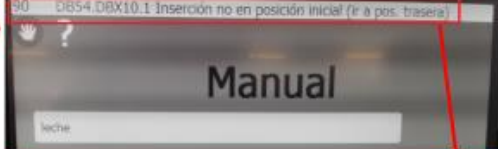
3



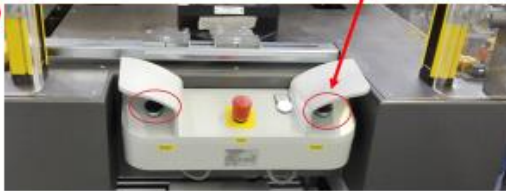
Cargar el Programa

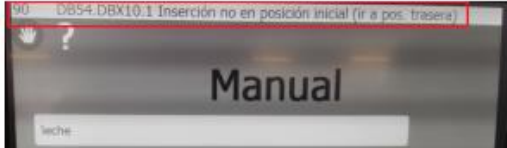
Horno Super Wrac 650 Kallfass	Revisión 1 Pág. 8 de 17
Paso 6: Encender Horno	
1  Bajar el papel Film con la mano 2  Colocar Objeto Contundente para que el film no se caiga	3  Apretar "Conectar Máquina" en la botonera

Horno Super Wrac 650 Kallfass	Revisión 1 Pág. 9 de 17
Paso 7: Encender modo Manual	
 1 Volver a la Página principal  2 Conectar modo Manual	 3 Apretar Botón en Tablero

Horno Super Wrac 650 Kallfass	Revisión 1 Pág. 10 de 17
Paso 8: Cortar Film	
1  Esperar que el valor Nominal sea igual al Valor Real	2  Apretar Botón en Tablero, para cortar Film 3  Si aparece "Inserción no en posición inicial", Ir a solucionario al final del texto

Horno Super Wrac 650 Kallfass	Revisión 1 Pág. 11 de 17
Paso 9: Encender modo automático	
1  Conectar modo Automático 2  Apretar Botón en Tablero	3  Esperar a que la pantalla esté en verde

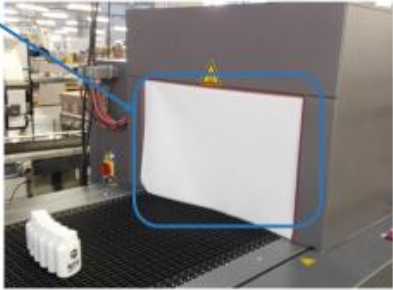
Horno Super Wrac 650 Kallfass	Revisión 1 Pág. 12 de 17
Paso 10: Iniciar Producción	
1  2 	3  CUIDADO: no se pueden ingresar las manos dentro de la máquina, a menos que esté encendida la luz "Básico Inserción"

Horno Super Wrac 650 Kallfass	Revisión 1 Pág. 13 de 17
SOLUCIONARIO: Si no funciona la máquina	
Usar el solucionario si ocurren las siguientes situaciones:	
1  2 	Si aparece "Inserción no en posición inicial" en la pantalla Si ingresaste las manos antes de estar encendida la luz "Básico Inserción" y para el modo automático

Horno Super Wrac 650 Kallfass	Revisión 1 Pág. 14 de 17
SOLUCIONARIO ①  Conectar modo manual ③  Esperar que el Empujador vuelva a su posición inicial ②  Apretar Botón en Tablero  La luz "básico Inserción" DEBE estar encendida	

Horno Super Wrac 650 Kallfass	Revisión 1 Pág. 15 de 17
SOLUCIONARIO  Volver a conectar Modo automático	

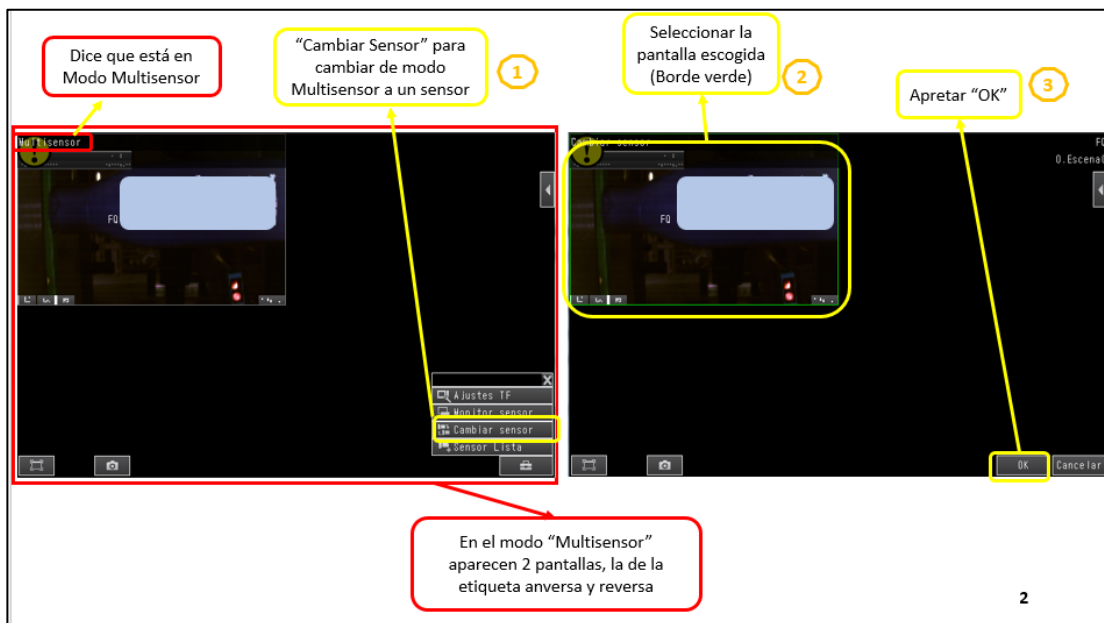
Horno Super Wrac 650 Kallfass	Revisión 1 Pág. 16 de 17
Peligros  Peligro de Atrapamiento en la zona de salida del producto 	

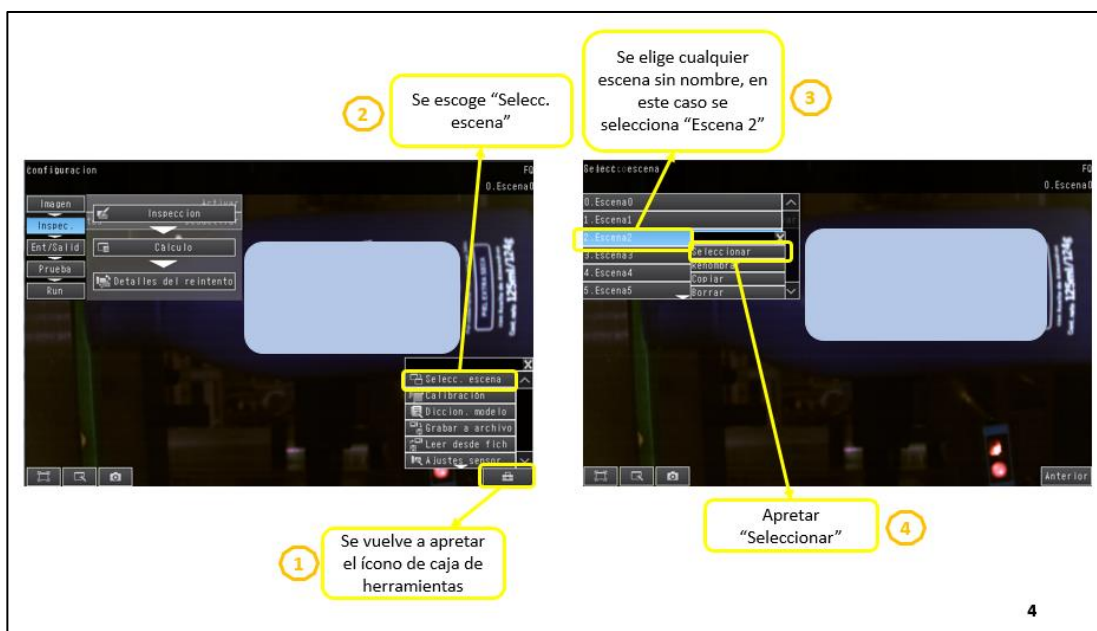
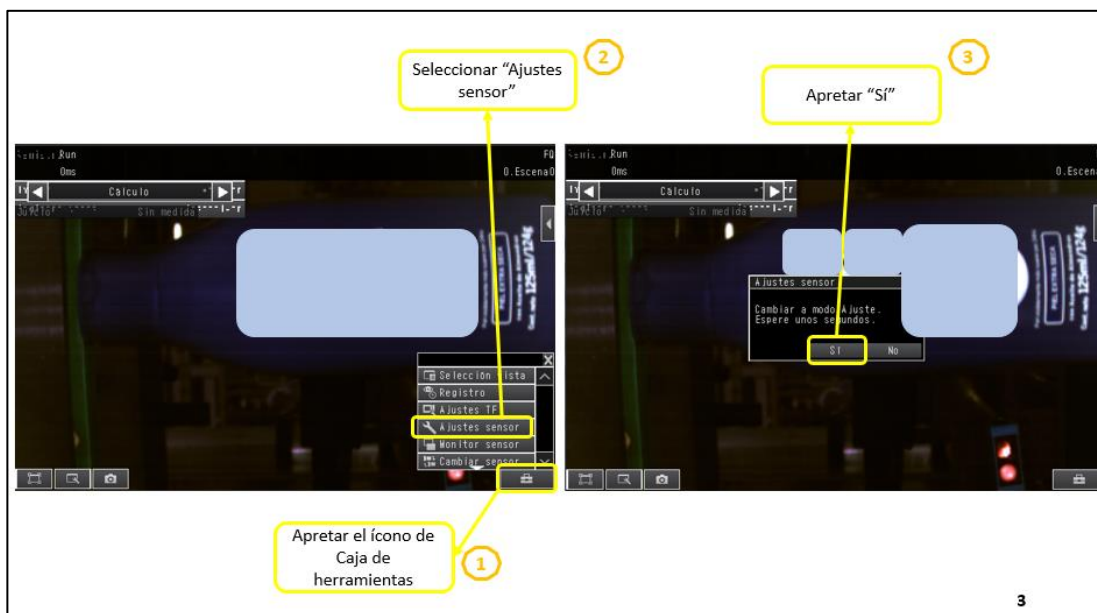
Horno Super Wrac 650 Kallfass	Revisión 1 Pág. 17 de 17
Peligros  Zonas de a Alta temperatura, NO tocar o ingresar las manos  	

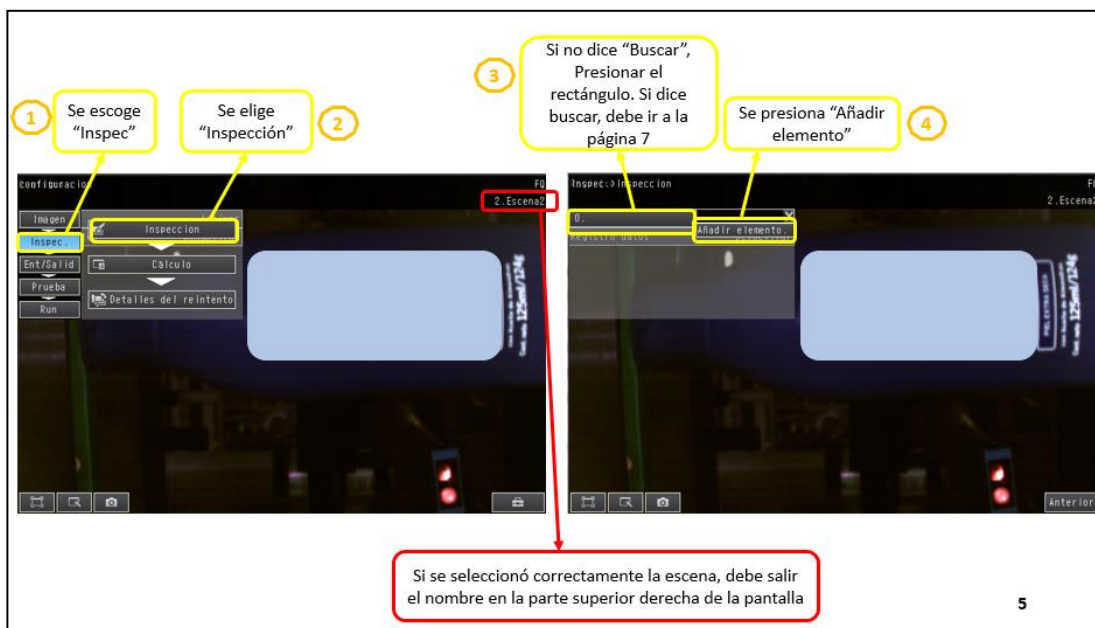
8.3 Anexo 3: Instructivo operacional de Cámaras OMRON FQ2

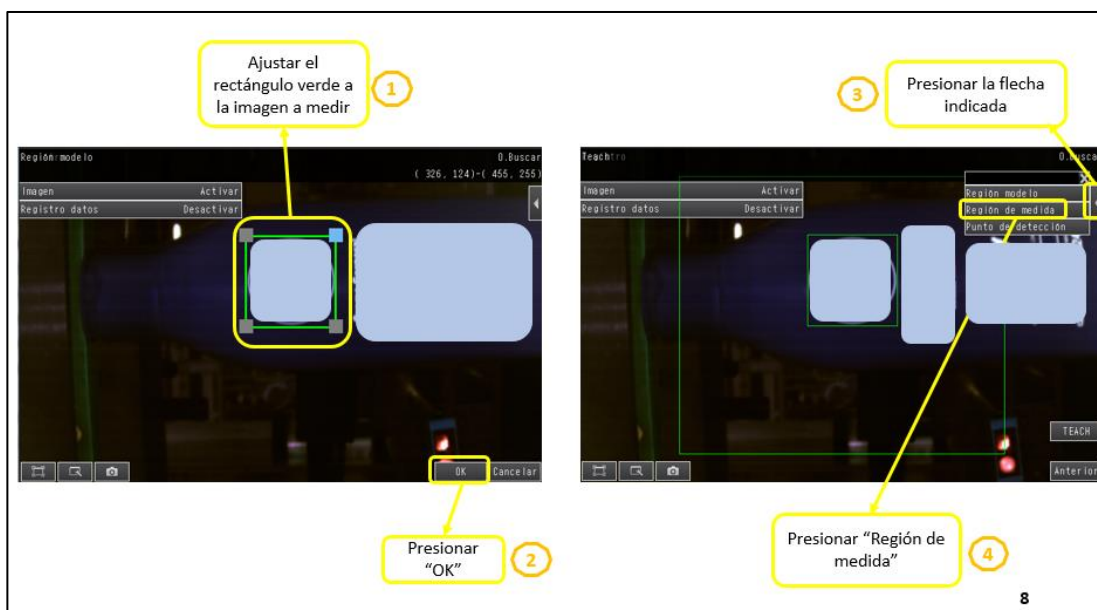
Instructivo Cámara

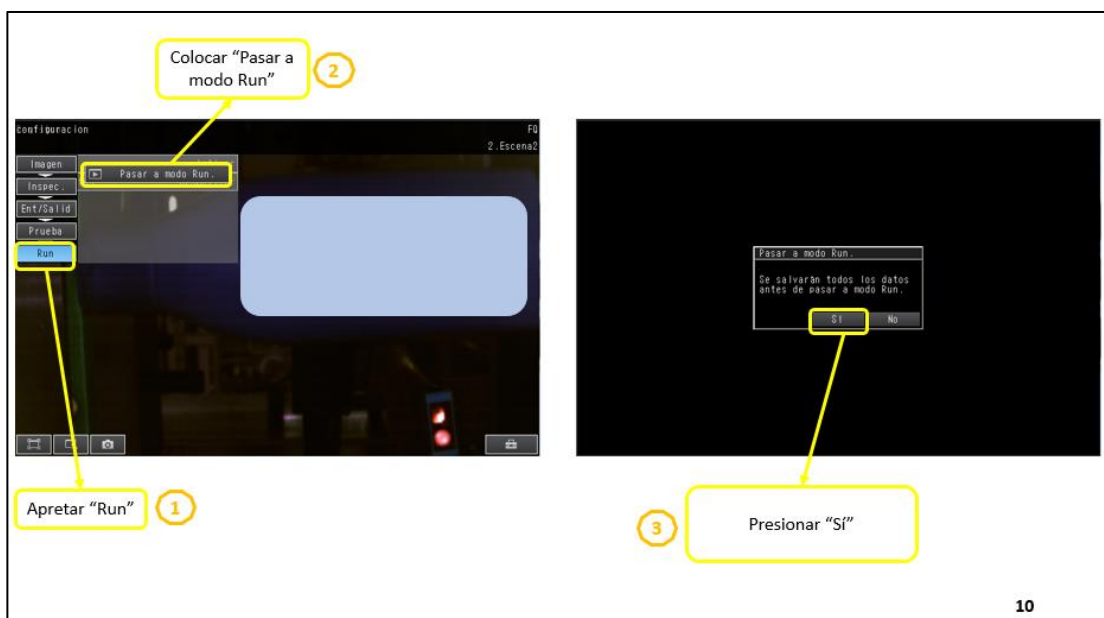
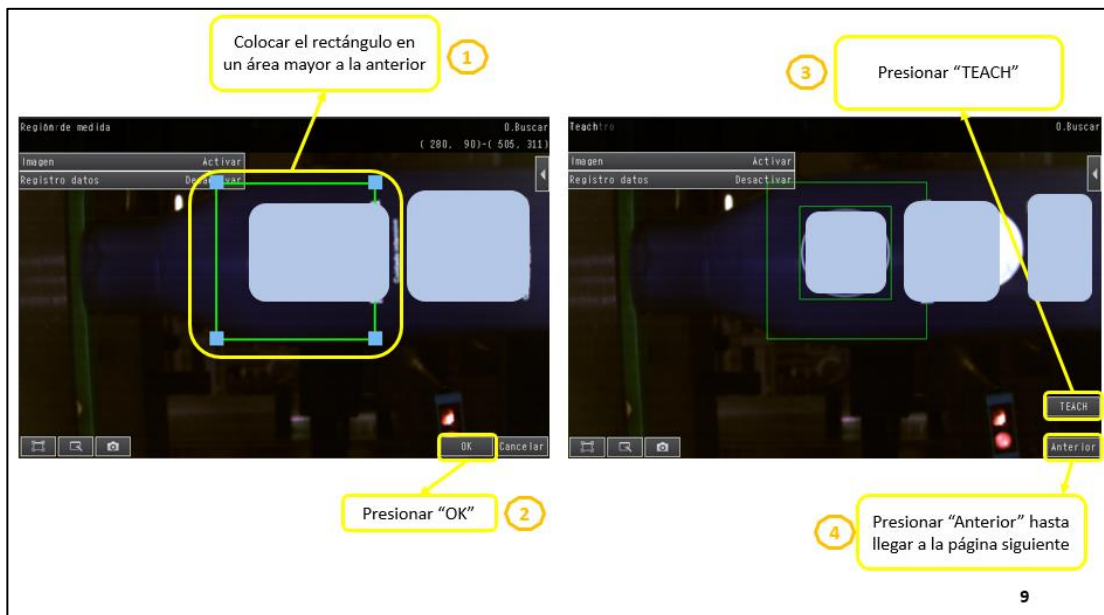
Deo Stick











Los 4 modelos del formato (desplazado a la derecha, a la izquierda, hacia arriba y hacia abajo), se deben pasar por la cámara un total de 3 veces cada uno en "Modo Run", anotando los valores de la "Posición X" (desplazamiento hacia arriba y hacia abajo), y la "Posición Y" (Desplazamiento hacia la izquierda y hacia la derecha).

0. buscar logo niv

Correlación 100.0000 OK

Posición X 392.0000

Posición Y 190.0000

Angulo 0.0000

OK Cancelar

L 60 H 100

Etiqueta	Parámetro	Desviación	Medición N° 1	Medición N° 2	Medición N° 3
Anversa	Posición X	Arriba			
		Abajo			
	Posición Y	Izquierdo			
		Derecho			
Reversa	Posición X	Arriba			
		Abajo			
	Posición Y	Izquierdo			
		Derecho			

11

Con los datos anteriores se ingresa a "Inspección", "Inspección", "Ajuste", y luego "Juicio", como se muestra en la imagen.

Luego se selecciona "Correlación", que debe estar entre 10 y 100, después se selecciona "Posición X" y "Posición Y", y se coloca el promedio de los rangos obtenidos en la página anterior

0. buscar logo niv

Ajustes

OK

OK Cancelar

L 60 H 100

0. buscar logo niv

Correlación 100.0000 OK

Posición X 392.0000

Posición Y 190.0000

Angulo 0.0000

OK Cancelar

L 60 H 100

12

