

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción**

“Mejora de la productividad de líneas menores (refrigerante, aditivo de combustible, aditivo de aceite y líquido de freno)”

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero Industrial

Presentado por:

Diego Saul Proaño Morocho

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2018

AGRADECIMIENTOS

A Jesús por ser mi compañero de tesis y amigo durante mi vida universitaria.

A Egshon y Claudia que dieron hasta su último esfuerzo por mi formación profesional y humana.

A mis hermanos: Anthony, Joel, Katherine, Luis, Owar y David; hermanos que tuve y adquirí durante mi camino.

A Dylan y Katherine Kruger, padrinos y mentores desde mi infancia, quienes me enseñaron como usar nuestro don.

A los profesores cuyo conocimiento, experiencia y amistad enriquecieron de gran manera este trabajo y mi formación como persona y profesional.

Diego Proaño

DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, me corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; Diego Saul Proaño Morocho, y doy mi consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”



Diego Saul Proaño Morocho

Autor

EVALUADORES



Jorge Fernando Abad M., Ph.D
PROFESOR DE LA MATERIA



Kleber Fernando Barcia V., Ph.D
PROFESOR TUTOR

RESUMEN

El proyecto de titulación fue desarrollado en una industria que envasa lubricantes, la que se encuentra ubicada en la ciudad de Guayaquil, Ecuador. Desde el mes de junio la gerencia tomó la decisión de eliminar las horas extras y de plantearse la meta de producir hasta 12.000 barriles de lubricante en promedio al mes; por lo que se vieron en la necesidad de optimizar y ser más productivos con los recursos disponibles. El proyecto tiene como finalidad mejorar el índice de productividad de 3,59 barriles/horas-hombre a uno de 4,61 barriles/horas-hombre. El objetivo de todas las líneas de la empresa es el de incrementar el índice de productividad en un 22,01%, pero en el caso de las líneas menores (detalladas en este trabajo) será de tan solo un 0,79%. Para resolver el problema se utilizó la metodología DMAIC, la cual está formado por 5 etapas: Definición, Medición, Análisis, Mejora y Control. La solución se basará en la disminución de los tiempos que no agregan valor como: el tiempo de aprobación del laboratorio, setup, limpiezas, saneos, entre otras.

Palabras Clave: Test de laboratorio, saneos, Flusheos, Aditivos, DMAIC, Refrigerante, Aditivos y Líquido de freno.

ABSTRACT

The titling project was developed in an industry that is located in the city of Guayaquil, Ecuador. Since June, management made the decision to eliminate overtime and the plant until the goal of producing up to 12,000 barrels of lubricant on average per month; for what they have seen in the need to optimize and be more productive with the available resources. The project aims to improve the productivity index of 3.59 barrels / man-hours to one of 4.61 barrels / man-hours. The objective of all the lines of the company is to increase the productivity index by 22.01%, but in the case of the smaller lines. To solve the problem, the DMAIC methodology should be used, which consists of 5 stages: Definition, Measurement, Analysis, Improvement and Control. The solution is based on the reduction of the times that do not have value such as: the approval time of the laboratory, configuration, cleaning, sanitation, among others.

Keywords: *Laboratory test, saneos, Flusheos, Additives, DMAIC, Coolant, Additives and Brake Fluid.*

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	I
<i>ABSTRACT</i>	II
ÍNDICE GENERAL	III
ABREVIATURAS.....	V
SIMBOLOGÍA.....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	VII
ÍNDICE DE TABLAS	IX
CAPÍTULO 1	1
1. Introducción	1
1.1 Descripción del problema	2
1.1.1 Variable de interés	3
1.1.2 Alcance	4
1.1.3 Restricciones	5
1.2 Justificación del problema.....	6
1.3 Objetivos.....	6
1.3.1 Objetivo general.....	6
1.3.2 Objetivos específicos	6
1.4 Marco teórico.....	6
CAPÍTULO 2	10
2. Metodología	10
2.1 Medición	10
2.1.1 Plan de recolección de datos	10
2.1.2 Verificación de datos.....	11
2.1.3 Verificación estadística	12
2.1.4 Verificación en la estación de trabajo (Gemba).....	18

2.1.5	Procesos Detallados	19
2.1.6	Mapeo de la cadena de valor (VSM)	20
2.2	Análisis	22
2.2.1	Análisis de causas	22
2.2.2	Plan de verificación de causas	27
2.2.3	Determinación de causas raíces	27
2.2.4	Verificación de causas	29
2.2.5	Listado de causas raíces	31
2.3	Propuesta de mejoras	32
2.3.1	Lluvia de ideas de soluciones	32
2.3.2	Priorización de las soluciones	33
2.4	Implementación	35
2.4.1	Explicación de la solución	35
2.4.2	Plan de implementación	36
2.4.3	Automatización	40
2.4.4	Simulación	42
2.4.5	Barriles Ganados	43
CAPÍTULO 3		44
3.	Resultados	44
3.1	Productividad	44
3.2	Análisis Financiero	45
CAPÍTULO 4		47
4.	Conclusiones Y Recomendaciones	47
4.1	Conclusiones	47
4.2	Recomendaciones	47
BIBLIOGRAFÍA		48

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
OEE	Eficiencia General de los Equipos
SIPOC	Suppliers, Inputs, Process, Outputs and Customers (Herramienta SixSigma)
VOC	Voice of Customers (Herramienta SixSigma)
DMAIC	Define, Measure, Analyze, Improve and Control (Metodología)
CTQ	Critical to Quality (Herramienta SixSigma)
VSM	Value Stream Mapping (Herramienta SixSigma)
TPM	Mantenimiento Preventivo Total (Metodología)
SMED	Single-Minute Exchange of Die (Herramienta SixSigma)
VAN	Valor Anual Neto (Herramienta Financiera)
TIR	Tasa Interna de Retorno (Herramienta SixSigma)
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition

SIMBOLOGÍA

K	Mil
\$	Dólar
u	Unidad
σ	Desviación estándar
μ	Promedio
h	Horas
min	Minutos
n	Número de pruebas
barr	Barriles
hh	Horas-Hombre
%	Porcentaje

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Llenado de envases de líquido de freno.....	1
Figura 1.2 Productividad de la planta desde Julio 2017 hasta septiembre 2018.....	2
Figura 1.3 Porcentaje de productividad objetivo del proyecto (Jul17-Sep18).....	3
Figura 1.4 Árbol de variables críticas (CTQ)	4
Figura 1.5 Diagrama SIPOC para el proceso de mezcla y envasado.....	5
Figura 2.1 Bitácora de tiempos.....	12
Figura 2.2 Análisis de Capacidad.....	13
Figura 2.3 Prueba de Normalidad de los datos.....	13
Figura 2.4 Comparación productividad actual y objetivo.....	14
Figura 2.5 Prueba de Normalidad de los datos por línea.....	14
Figura 2.6 Análisis de capacidad por línea.....	15
Figura 2.7 Líneas a estudiar durante el proyecto.....	15
Figura 2.8 Tiempos máximos de espera de laboratorio por tipo de producto.....	17
Figura 2.9 Prueba de diferencia de medias (Real vs Esperado)	17
Figura 2.10 Visita y registro de un Setup en la línea de refrigerante.....	19
Figura 2.11 Diagrama funcional del proceso.....	19
Figura 2.12 VSM del proceso de Envasado de un pallet de Refrigerante	21
Figura 2.13 Reunión con líderes de las otras líneas.....	22
Figura 2.14 Lluvia de ideas de baja productividad.....	22
Figura 2.15 Ishikawa de baja productividad.....	23
Figura 2.16 Reunión de análisis de causas.....	23
Figura 2.17 Ishikawa final acerca de la baja productividad de las líneas.....	24
Figura 2.18 Pareto de principales causas.....	25
Figura 2.19 Matriz impacto vs control.....	26
Figura 2.20 Diagrama 5 ¿Por qué?	28
Figura 2.21 Revisión de los tiempos de laboratorio y causas principales de demora....	29
Figura 2.22 Error en la formulación del tiempo.....	29
Figura 2.23 Verificación de causas.....	30
Figura 2.24 Ausencia de boquillas de máquina llenadora.....	30
Figura 2.25 Explicación sobre el diseño del envase.....	31

Figura 2.26 Reunión de propuesta de soluciones.....	32
Figura 2.27 Lluvia de ideas de soluciones.....	32
Figura 2.28 Impacto vs Esfuerzo.....	34
Figura 2.29 Explicación de la solución.....	35
Figura 2.30 Diagrama de Gantt.....	37
Figura 2.31 Acta de reunión de mejora continua.....	37
Figura 2.32 Comparación gráfica del antes y después de los tiempos de laboratorio...39	
Figura 2.33 Prueba: “Diferencia de medias”	39
Figura 2.34 Diferencia de medias del antes y después de los tiempos de laboratorio..40	
Figura 2.35 Sensores y válvulas.....	41
Figura 2.36 Coronadoras.....	41
Figura 2.35 Pantalla de inicio de SCADA.....	41
Figura 2.36 Simulación de las mejoras.....	42
Figura 3.1 Productividad obtenida.....	43
Figura 3.2 Productividad actual vs objetiva.....	43
Figura 3.3 Costos de las soluciones.....	44
Figura 3.4 Beneficios de las soluciones.....	44
Figura 3.5 Flujo de caja (1 año)	45
Figura 3.6 VAN y TIR.....	45

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Plan de recolección de datos.....	11
Tabla 2.2 Datos recolectados a través de la bitácora.....	16
Tabla 2.3 Porcentaje de cumplimiento de laboratorio.....	18
Tabla 2.4 Causas de cumplimiento.....	18
Tabla 2.5 Velocidades de todas las etapas de la línea en cajas/hora.....	20
Tabla 2.6 Nivel de Relación de Causas.....	24
Tabla 2.7 Matriz de causa y efecto.....	25
Tabla 2.8 Matriz de calificación de impacto vs control.....	26
Tabla 2.9 Plan de verificación de causas.....	27
Tabla 2.10 Listado de causas raíces.....	31
Tabla 2.11 Análisis de costos de soluciones.....	33
Tabla 2.12 Análisis impacto vs esfuerzo.....	34
Tabla 2.13 Plan de implementación.....	36
Tabla 2.14 Nuevos tiempos de laboratorio.....	38
Tabla 2.15 Pruebas eliminadas.....	38
Tabla 2.16 Barriles ganados por laboratorio.....	40
Tabla 2.17 Barriles ganados por setup.....	42
Tabla 2.18 Barriles ganados simulados.....	43
Tabla 2.19 Barriles ganados en total.....	43

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad las industrias de lubricantes, aceites y derivados de combustibles fósiles están mejorando y optimizando los recursos que utilizan para transformar, envasar y transportar sus productos hasta sus principales distribuidores (Figura 1.1), con el fin de disminuir costos y entregar un producto ágil y de calidad a sus miles de clientes; Las empresas de lubricantes están adaptándose a este pensamiento y buscan maneras de aumentar su producción manteniendo o disminuyendo el tiempo que utilizan para producirlos.

Como el mercado es cambiante debido a las fluctuaciones del precio del petróleo en el mercado, se debe mantener una capacidad controlada y disponible para poder cumplir con la demanda que se presente en el tiempo, ya sea automatizando las líneas, eliminando actividades que no agregan valor, produciendo procesos más esbeltos, etc. Para esto se requiere utilizar conceptos de SixSigma para mejorar los procesos, teniendo como pauta un indicador OEE (Medidor de la eficiencia de la máquina) que provea de información acerca del estado actual y futuro de este proyecto de mejora, de manera que podemos tomar decisiones, en cuanto a las acciones que se deben realizar para que el proceso sea más eficaz y eficiente que el proceso actual.



Figura 1.1 Proaño D. (Área de Líneas Menores, 2018), Llenado de envases de líquido de freno.

1.1 Descripción del problema

En la compañía se tomó la decisión de eliminar las horas extras y de optimizar los recursos que se tienen actualmente, ya sea automatizando las líneas, mejorando los procesos actuales y eliminando todas las actividades que no agreguen valor al proceso productivo.

Además, se pretende elevar el índice de productividad de toda la planta, el que actualmente es de 3,59 barriles/horas-hombre; a uno de 4,61 barriles/horas-hombre; con la finalidad de producir mensualmente 12.000 barriles, manteniendo o disminuyendo las horas-hombre invertidas para realizar dicha producción.

En la Figura 1.2 se muestra la diferencia entre la productividad actual, (basada en datos históricos de la producción desde julio del 2017 hasta septiembre del 2018) y la productividad objetivo que busca el proyecto.

	2017-07	2017-08	2017-09	2017-10	2017-11	2017-12	2018-01	2018-02
Horas/Hombre Trabajadas	2516.00	2981.20	3158.00	3138.50	2659.00	3553.50	2839.50	3000.00
Barriles/Mes	11015.80	12549.21	6969.56	11680.12	14188.12	7964.92	9304.88	8044.28
Productividad (Barriles/Horas-Hombre)	4.38	4.21	2.21	3.72	5.34	2.24	3.28	2.68

	2018-03	2018-04	2018-05	2018-06	2018-07	2018-08	2018-09
Horas/Hombre Trabajadas	2660.50	3071.00	3287.00	3274.50	3111.50	2705.00	3137.00
Barriles/Mes	11265.83	9063.41	12695.11	11901.02	12319.35	10505.43	10545.88
Productividad (Barriles/Horas-Hombre)	4.23	2.95	3.86	3.63	3.96	3.88	3.36

PRODUCTIVIDAD ACTUAL PROMEDIO	3,59	
PRODUCTIVIDAD ACTUAL OBJETIVO	4,61	
DIFERENCIA	1,02	22,07%

Figura 1.2 Proaño D. (Datos de Líneas Menores.xls, 2018), Productividad de la planta desde Julio 2017 hasta septiembre 2018

Este 1.02 de diferencia representa un incremento de la productividad general en un 22.07%; sin embargo, las líneas objetivos de este proyecto tienen un determinado peso en la producción global y productividad de la planta, lo cual representa solo un 0.79% del porcentaje general (Figura 1.3), calculado en base a las órdenes que se han envasado desde septiembre de 2017 hasta octubre de 2018, proporcionando un porcentaje aproximado a elevar por parte de las líneas (Refrigerante, Aditivos y Líquido de freno).

Barriles producidos por líneas menores	8001.78
Barriles producidos en global	224521.45
Ponderación líneas menores*	3.56%
Objetivo global	22.07%
Objetivo del proyecto**	0.79%

Figura 1.3 Proaño D. (Datos de Líneas Menores.xls, 2018), Porcentaje de productividad objetivo del proyecto (Jul17-Sep18)

$$Ponderación\ líneas\ menores = \frac{8001.78}{224521.45} * 100\%$$

$$Ponderación\ líneas\ menores = 3.56\%$$

La producción de líneas menores representa tan solo un 3.56% del total producido durante este periodo; con esto validamos que el objetivo a alcanzar es de 0.79%. Basado en estos datos, se deduce la siguiente afirmación:

“Según los registros, en la industria fabricante de lubricantes la productividad general promedio para todas las líneas es de 3.59 barriles / horas hombre, desde julio de 2017 hasta septiembre de 2018, cuando el cliente espera al menos 4.61 barriles / horas hombre mensuales”

1.1.1 Variable de interés

Una vez que se ha escuchado la voz del cliente respecto a los problemas que le afectan al proceso productivo de la empresa, se procede a elaborar el árbol de variables críticas para la calidad (CTQ). Esta herramienta permitió traducir las necesidades del cliente en variables medibles (Drivers), que finalmente se traducen en variables críticas del problema, tal como se muestra en la figura 1.4.

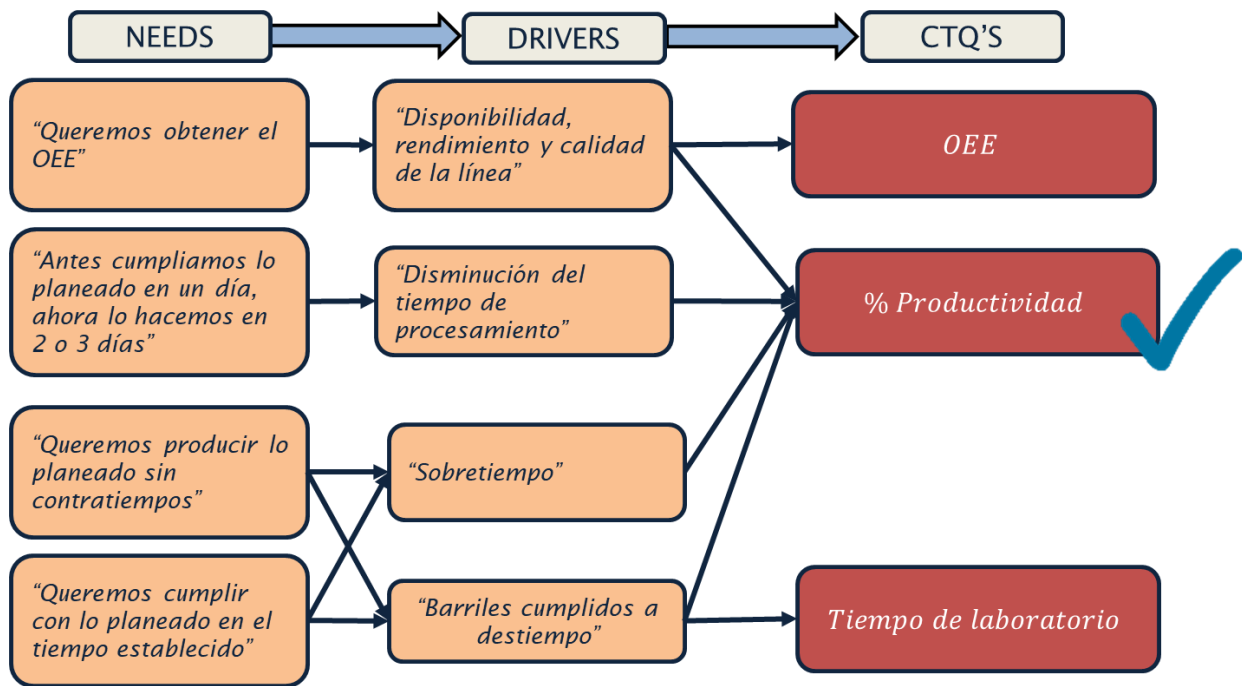


Figura 1.4 Proaño D. (Datos de Líneas Menores.xls, 2018), Árbol de variables críticas (CTQ)

Una vez determinadas las variables críticas del problema a resolver, se procede a determinar la variable respuesta del proyecto; la cual se basó en la productividad, medida como la cantidad de barriles envasados con el número de horas hombre utilizadas.

$$\% \text{ Productividad} = \frac{\text{Barriles Producidos}}{\text{Horas – hombre utilizadas}}$$

Para la parte de automatización de la línea se pidió que otra variable de medición que se debe tener en cuenta para todas las etapas del procesamiento de la línea será el indicador OEE, con el fin de determinar el impacto de las soluciones en los parámetros de calidad, rendimiento y disponibilidad.

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

$$\%OEE = \frac{\text{Tiempo Inactivo}}{\text{Tiempo Disponible}} * \frac{\text{Velocidad Actual de producción}}{\text{Velocidad Teorica de producción}} * \frac{\text{Unidades Defectuosas}}{\text{Unidades Producidas}}$$

1.1.2 Alcance

Basado en las restricciones presentes de tiempo y recursos para la realización del proyecto y con el fin de dar un mejor enfoque a la resolución del problema y poder así

obtener los resultados esperados, se determina el alcance del proyecto con la ayuda de la herramienta SIPOC (por su acrónimo en inglés Supplier, Input, Process, Output and Customer). Esta herramienta permitirá observar un mapeo general del proceso a atacar, junto con las entradas requeridas y salidas esperadas del proceso en estudio, para de esta forma conocer las delimitantes del proyecto. (Figura 1.5.)

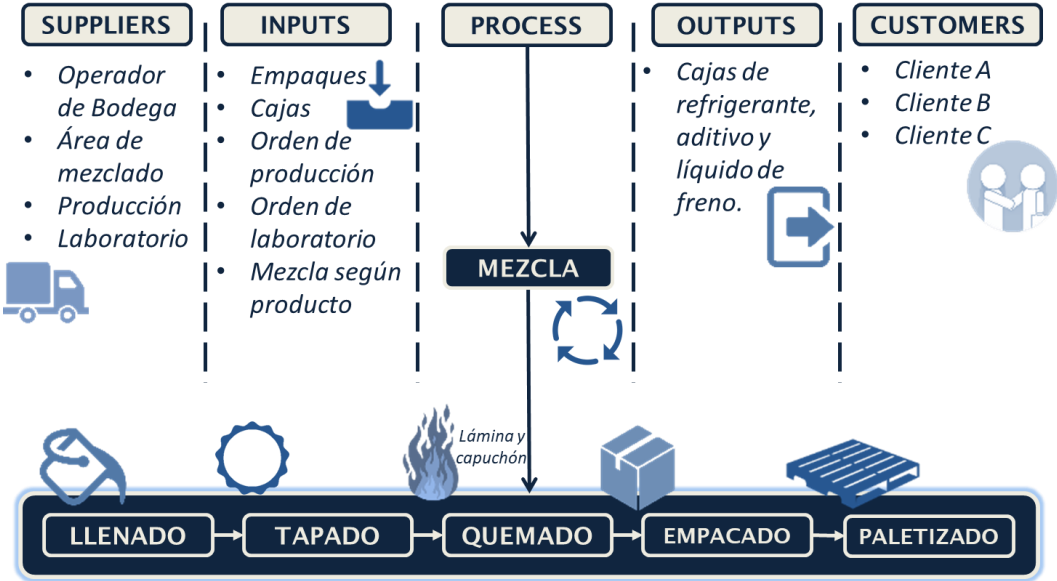


Figura 1.5 Proaño D. (Datos de Líneas Menores.xls, 2018), Diagrama SIPOC para el proceso de mezcla y envasado

Del diagrama SIPOC se puede observar que el proyecto se enfoca en el proceso de mezcla y envasado de las diferentes presentaciones de los envases de líneas menores. Este proceso se basa en la mezcla de diferentes componentes y soluciones, con el fin de obtener un producto, que será utilizado en motores de distintas máquinas; para luego envasar la mezcla y distribuirlo a los diferentes clientes.

Uno de los procesos adicionales es el de laboratorio, quien, a través de pruebas con equipo especializado, determina la calidad del producto a envasar y mantiene los parámetros del cliente bajo control; este proceso también será analizado y mejorado durante el proyecto.

1.1.3 Restricciones

Entre las principales restricciones del proyecto, se tiene:

- La producción de las 2 líneas de aditivos y la línea de líquido de frenos se debe realizar el mismo día que se mezcla la orden, por seguridad del componente, el cual es muy inflamable.
- Los 6 operadores de las líneas menores se eligen de las otras líneas, excepto la línea de refrigerante que tiene personal permanente.
- Para iniciar la producción, se necesita la aprobación de la mezcla por parte del laboratorio.

1.2 Justificación del problema

La no existencia de horas extras hace plantear realizar las actividades productivas de manera más eficiente, y a tratar de realizar estas actividades en el menor tiempo posible y con menos recurso; esto conlleva a ser más productivos eliminando todo aquello que no agregue valor al proceso.

Actualmente existe una corriente de mejora continua en la mayoría de grandes empresas, por lo que agregar valor a los procesos se ha convertido en un punto a favor al momento compararse con la competencia, y otorga un mayor margen de ganancia al final de la cadena de valor.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Aumentar hasta 0.79% la productividad de las líneas menores, eliminando las actividades que no agreguen valor a la cadena, para poder cumplir con los 12,000 barriles por mes que la administración espera del global de todas las líneas.

1.3.2 Objetivos específicos

1. Mejorar el OEE eliminando los desperdicios de tiempo y dinero de la línea, y controlando dicho parámetro en el tiempo para futuras tomas de decisiones.
2. Automatizar las actividades manuales, que actualmente son cuellos de botella de las líneas, permitiendo usar esa fuerza productiva en otras líneas de producción.

1.4 Marco teórico

Six Sigma

Es una metodología para la resolución de problemas utilizada comúnmente en calidad y en la mejora de procesos utilizando herramientas estructuradas y análisis estadísticos

para evaluar los procesos y tomar decisiones para tener un desarrollo con menor desperdicio de recursos. Ref. [La rentabilidad a través de la excelencia. (2017/01). DMAIC: Las 5 fases del proceso productivo]

DMAIC

DMAIC (por sus siglas en inglés Define, Measure, Analysis, Implementation and Control) es el acrónimo de las etapas Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar. Esta metodología es una estructura de fases que dependen una de la otra; y está enfocada en las mejoras de procesos y/o resolución de problemas a largo plazo, esta metodología es comúnmente combinada con herramientas y análisis estadísticos de SixSigma. Ref. [La rentabilidad a través de la excelencia. (2017/01). DMAIC: Las 5 fases del proceso productivo]

Definición

En esta primera etapa de la metodología se espera tener la definición del problema a atacar con la variable de respuesta que determinará el éxito al final del proyecto, el alcance del proyecto esperado por la empresa, las restricciones bajo las cuales tendrá que ser sometido el proyecto, así como los objetivos generales y específicos.

Las herramientas más comunes utilizadas en esta etapa del proyecto son:

- Diagrama SIPOC: Herramienta comúnmente utilizada para fijar el alcance del proyecto.
- Voice of Customer (VOC): esta herramienta permite conocer las expectativas y/o preferencias de todos los involucrados o afectados por el proyecto con el fin de priorizar y tener una solución que resuelva de forma integral el problema.

Ref. [La rentabilidad a través de la excelencia. (2017/01). DMAIC: Las 5 fases del proceso productivo]

Medición

En esta etapa se pretende tener toda la información relevante al problema a atacar con el fin de ser analizada posteriormente y encontrar las causas potenciales, en esta etapa se utilizan herramientas como:

- Plan de recolección de datos: Formato que describe todos los datos que se necesitan medir o recolectar con su respectiva justificación del por qué debe ser medido, como se medirá, los responsables de las mediciones, cuando y donde se medirá.
- Mapa de la Cadena de Valor: Herramienta que utiliza un flujo detallado del proceso que permite tener un mejor entendimiento del proceso, así como el análisis de cada una de las etapas que agregan y no agregan valor, para luego ser analizadas y discutidas con el fin de encontrar posibles causas raíces de los problemas para ser resueltos posteriormente.

Ref. [La rentabilidad a través de la excelencia. (2017/01). DMAIC: Las 5 fases del proceso productivo]

Análisis

Una vez obtenida toda la información necesitada, relevante al problema planteado, mediante herramienta de análisis se procede a obtener causas potenciales o hipótesis que impactan sobre el problema y con la ayuda de herramientas de verificación y priorización se obtienen las causas raíces de más alto impacto sobre el problema planteado. En esta etapa las herramientas que comúnmente se utilizan son:

- Lluvia de ideas.
- Diagrama de causa efecto o Ishikawa.
- Pareto de causas.
- Matriz de Impacto vs Control.
- 5 ¿Porqués?

Ref. [La rentabilidad a través de la excelencia. (2017/01). DMAIC: Las 5 fases del proceso productivo]

Mejora

Ya habiendo tenido las causas raíces del problema planteado en la etapa de definición, se proponen diferentes alternativas para atacarlas, que, mediante una evaluación de estas, se procede a elegir las alternativas que ayuden a alcanzar los objetivos. Para verificar los resultados de las mejoras se realizan pruebas piloto o simulaciones para evaluar y de ser el caso, tomar medidas de corrección de las mejoras. Ref. [La

rentabilidad a través de la excelencia. (2017/01). DMAIC: Las 5 fases del proceso productivo]

Control

Una vez se obtuvieron los resultados de la mejora, se deben establecer procesos para poder medir y monitorear los resultados obtenidos, con el fin de obtener más oportunidades de mejora y garantizar la sostenibilidad del proyecto a lo largo del tiempo.

Líquidos analizados

Refrigerante: También conocido por fluido frigorífero, es utilizado en la transmisión de calor en un sistema de refrigeración; en el que absorbe calor a bajas temperatura y presión, cediéndolo a temperatura y presión más alta (Sucede en los cambios de fase de fluidos).

Aditivo de combustible: Es una sustancia (generalmente producto de una mezcla) que al agregarse a otros productos llega a mejorar todas sus propiedades, generalmente se agrega en los combustibles, en pequeñas cantidades, para mejorar su desarrollo en el motor de combustión. Ref. [SwissOil. Tipos de refrigerantes y aditivos de combustible. (2018/10). Catalogo y especificaciones de productos automotrices]

Referencias del CIB

Los autores Ocampo y Pavón utilizaron la metodología DMAIC para realizar simulaciones con datos discretos en el programa Flexsim; Macías utilizo el indicador OEE para medir el resultado de su mejora, así mismo Morán uso la técnica de Redes Neuronales para crear un programa Excel en Visual Basic para que el OEE se calcule de manera automática cada mes.

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

Con el fin de poder resolver el problema previamente definido en el Capítulo 1 de una manera estructurada, se utilizó la metodología DMAIC, la cual está conformada por las fases de Definición, Medición, Análisis, Mejora e Implementación y Control. Dado que en el capítulo anterior ya se definió el problema a resolver, a continuación, se detallarán las actividades realizadas correspondientes a cada una de las fases posteriores a la definición, con sus respectivos elementos.

En la etapa de Medición se encontrarán elementos que permitirán conocer con mayor detalle el comportamiento de las variables independientes y dependientes del problema a atacar, con su respectiva verificación. La etapa de Análisis mostrará el proceso con el cual se determinaron las causas raíces del problema, mientras que en las etapas de Mejora, Implementación y Control se encontrarán detalles de las soluciones que fueron llevadas a cabo para resolver el problema, así como medidas de control que garanticen la sostenibilidad de la solución implementada.

2.1 Medición

Una vez definido el problema a atacar, con su respectivo objetivo, alcance y variable de respuesta, se procede a levantar información sobre el proceso de mezclado y llenado de las diferentes soluciones que se envasan en las líneas menores.

2.1.1 Plan de recolección de datos

Con el fin de levantar información de las variables de interés del problema a resolver, se establece un plan de recolección de datos que permita obtener dicha información de manera estructurada, con objetivos y responsables bien definidos. Para el desarrollo del plan de recolección de datos, básicamente se tomó en cuenta la medición de las variables respuesta, variables dependientes, restricciones y los datos requeridos para la elaboración del mapeo de la cadena de valor del proceso estudiado, tal como se muestra en la tabla 2.1.

Tabla 2.1 Plan de recolección de datos

¿Qué?			¿Dónde?	¿Cuándo?	¿Cómo?		¿Por qué?	¿Quién?
Dato a recolectar	Unidad de medida	Tipo de dato	¿Dónde recolectar?	¿Cuándo recolectar?	Método de observación	Método de recolección	Razón de recolección	Persona a cargo
Tasa de salida de la máquina	Envases / hora	Cuantitativo continuo	Base de datos / Toma de tiempos	Al inicio de la fase de medición	Entrevista	Históricos / Toma de tiempos	Para poder medir la variable de rendimiento	Luis Ricaurte
Ordenes de producción	N° de Cajas	Cuantitativo discreto	Base de datos	Al inicio de la fase de medición	Entrevista	Históricos	Para poder medir la productividad	Luis Ricaurte
Tiempo productivo	Horas	Cuantitativo continuo	Bitácora de tiempo	Al inicio de la fase de medición	Entrevista	Históricos / Toma de tiempos	Para poder medir el uso de tiempos	Cristian Paredes
Productividad	Barriles / Horas-Hombre	Cuantitativo continuo	Base de datos	Durante la fase de definición	Entrevista	Históricos	Para poder medir la variable de productividad	Guillermo Valencia
Tiempos de laboratorio	Horas	Cuantitativo continuo	Base de datos	Durante la fase de medición	Entrevista	Históricos	Para poder medir el tiempo de respuesta de laboratorio	Guillermo Valencia

2.1.2 Verificación de datos

Para el levantamiento de la información se realizó una bitácora de tiempos (Figura 2.1), que fue llenada por el jefe de línea todos los días que se realizó la producción en las líneas menores, con la finalidad de recolectar y validar datos que por lo general no se tenía en consideración por la empresa antes del proyecto.

La bitácora tenía una codificación de las actividades realizadas a lo largo del día con su duración, su objetivo era determinar las actividades que se realizaban y su duración a lo largo de la jornada productiva.

BITÁCORA DE TIEMPO DE OPERACIÓN

Nombre Proyecto: _____

FECHA	HORA	DESCRIPCIÓN DE LA OPERACIÓN	TIEMPO DE EJECUCIÓN	REMARKS
15/11/18	08:00	...	...	...
15/11/18	08:30	...	...	...
15/11/18	09:00	...	...	...
15/11/18	09:30	...	...	...
15/11/18	10:00	...	...	...
15/11/18	10:30	...	...	...
15/11/18	11:00	...	...	...
15/11/18	11:30	...	...	...
15/11/18	12:00	...	...	...
15/11/18	12:30	...	...	...
15/11/18	13:00	...	...	...
15/11/18	13:30	...	...	...
15/11/18	14:00	...	...	...
15/11/18	14:30	...	...	...
15/11/18	15:00	...	...	...
15/11/18	15:30	...	...	...
15/11/18	16:00	...	...	...
15/11/18	16:30	...	...	...
15/11/18	17:00	...	...	...
15/11/18	17:30	...	...	...
15/11/18	18:00	...	...	...
15/11/18	18:30	...	...	...
15/11/18	19:00	...	...	...
15/11/18	19:30	...	...	...
15/11/18	20:00	...	...	...
15/11/18	20:30	...	...	...
15/11/18	21:00	...	...	...
15/11/18	21:30	...	...	...
15/11/18	22:00	...	...	...
15/11/18	22:30	...	...	...
15/11/18	23:00	...	...	...
15/11/18	23:30	...	...	...
15/11/18	00:00	...	...	...

Observaciones: _____

Validación: _____

Figura 2.1 Proaño D. (Planta de Líneas Menores, 2018), Bitácora de tiempos

Una vez levantada la información del plan de recolección de datos, fue necesario realizar una verificación de la confiabilidad de los datos que carecían de algún soporte estadístico. Los datos que fueron considerados para el proceso de verificación son:

- Productividad (Basado en ordenes de producción)
- Tiempo de la bitácora (Especificado anteriormente)
- Tiempo de respuesta del laboratorio

Para ello, se utilizaron dos métodos de verificación acorde al tipo de dato: Verificación en gemba (Visita a la línea) y verificación estadística. Como medida para hacer un contraste entre lo entregado por gerencia y lo que se visualiza en la bitácora registrada.

2.1.3 Verificación estadística

2.1.3.1 Productividad

Se utilizó la prueba “Análisis de capacidad” (Figura 2.2.) y de “Normalidad” (Figura 2.3.) en Minitab 17 para comprobar la productividad actual de la línea, y con un factor P de 0,91 se determinó que el proceso actual de todas las líneas menores no es capaz de lograr la meta requerida por la empresa.

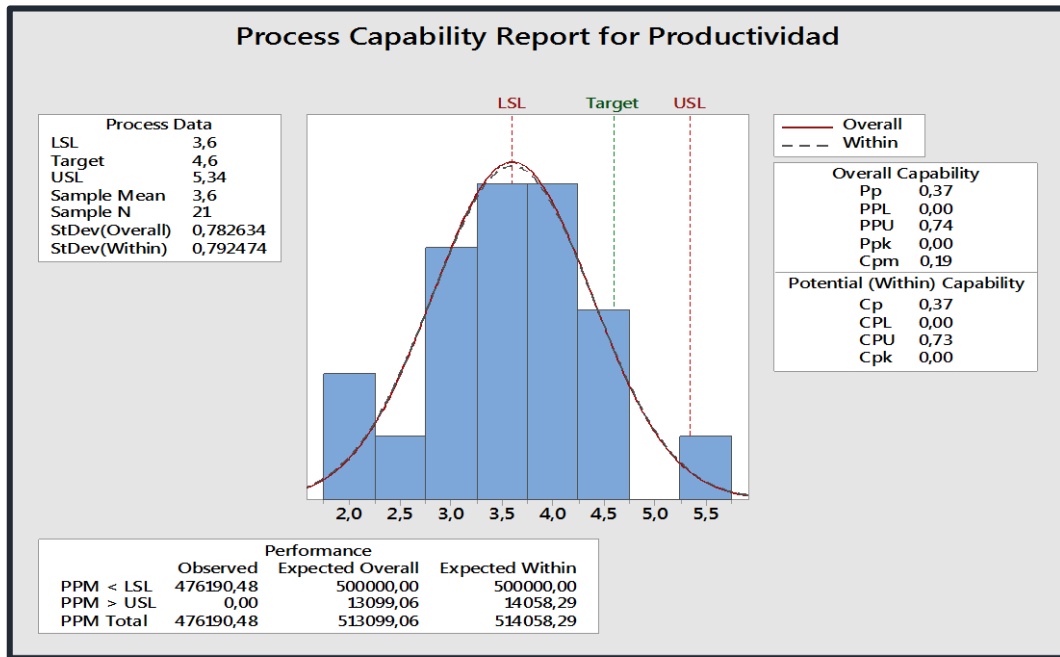


Figura 2.2 Proaño D. (Datos Estadísticos de Líneas Menores.mpj, 2018), Análisis de capacidad

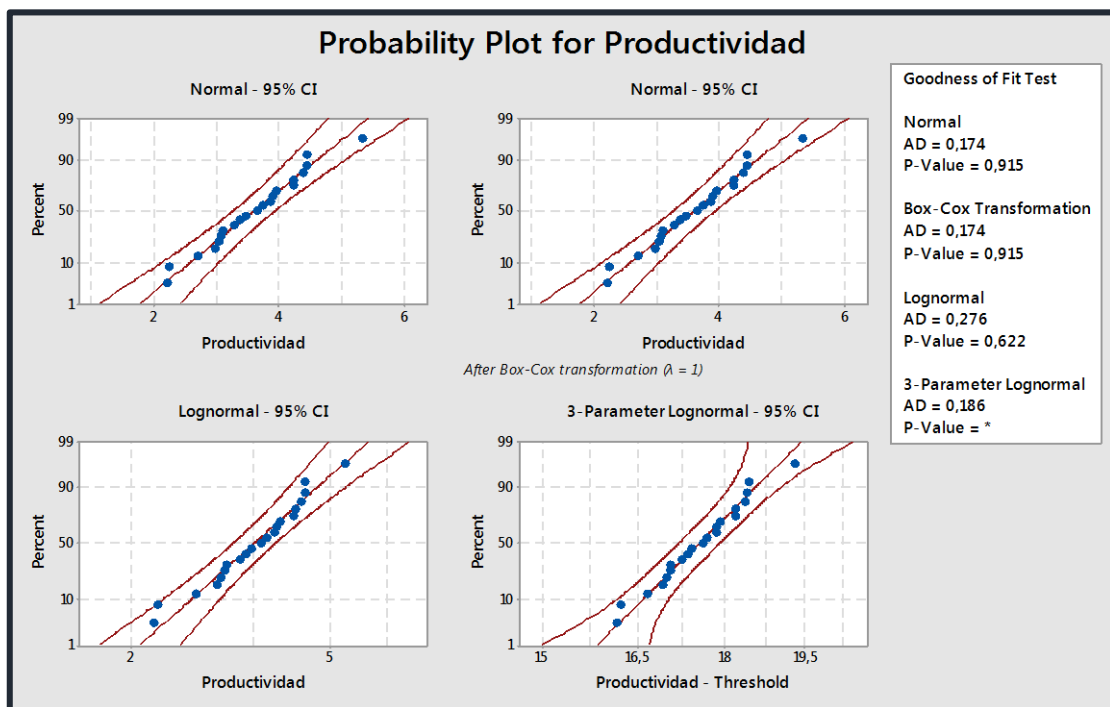


Figura 2.3 Proaño D. (Datos Estadísticos de Líneas Menores.mpj, 2018), Prueba de normalidad de los datos

Esta prueba realizada entrega un punto de partida, para pensar que no todas las líneas tienen que ser objeto de estudio, por lo que se realizaron las mismas pruebas para las 4

líneas que componen las líneas menores (Refrigerante, Aditivo de combustible, Aditivo de aceite y Líquido de freno), cabe destacar que para realizar la prueba se propuso un objetivo a alcanzar por cada línea basado en su producción y sus horas hombre usadas (Figura 2.4).

UNIDADES PRODUCIDAS	UNIDADES		BARRILES		PRODUCTIVIDAD A INCREMENTAR (BARRILES/HORAS-HOMBRE)	
	1º SEMESTRE 2018	IMPACTO	1 SEMESTRE 2018	IMPACTO	ACTUAL	OBJETIVO
ADITIVO DE COMBUSTIBLE	274	14.0%	345.76	16.6%	0.1526	0.77
REFRIGERANTE	10770	53.8%	1466.71	70.6%	1.0722	3.25
LÍQUIDO DE FRENO	6105	30.5%	203	9.8%	0.4916	0.45
ADITIVO DE ACEITE	2861	14.3%	62.82	3.0%	0.2092	0.14

Figura 2.4 Proaño D. (Datos de Líneas Menores.xls, 2018), Comparación productividad actual y objetivo

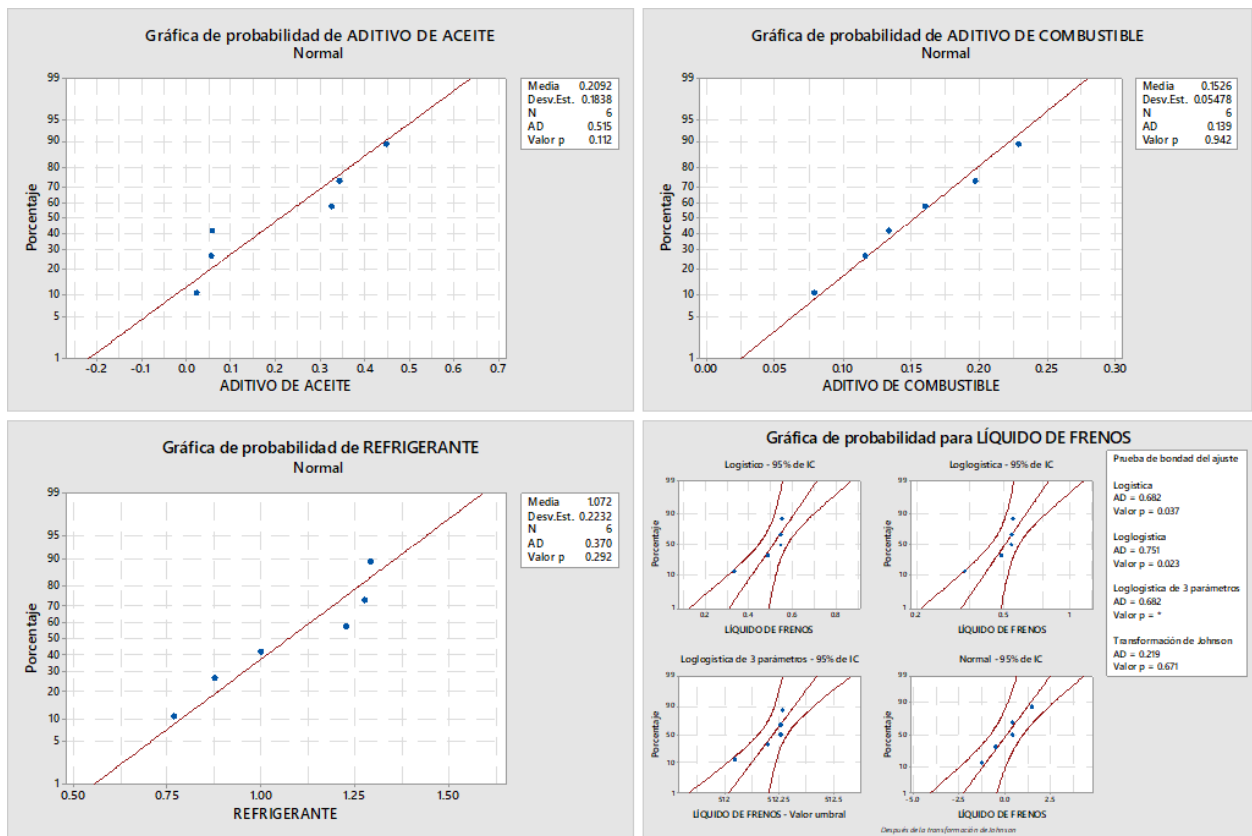


Figura 2.5 Proaño D. (Datos Estadísticos de Líneas Menores.mpj, 2018), Prueba de normalidad de los datos por línea

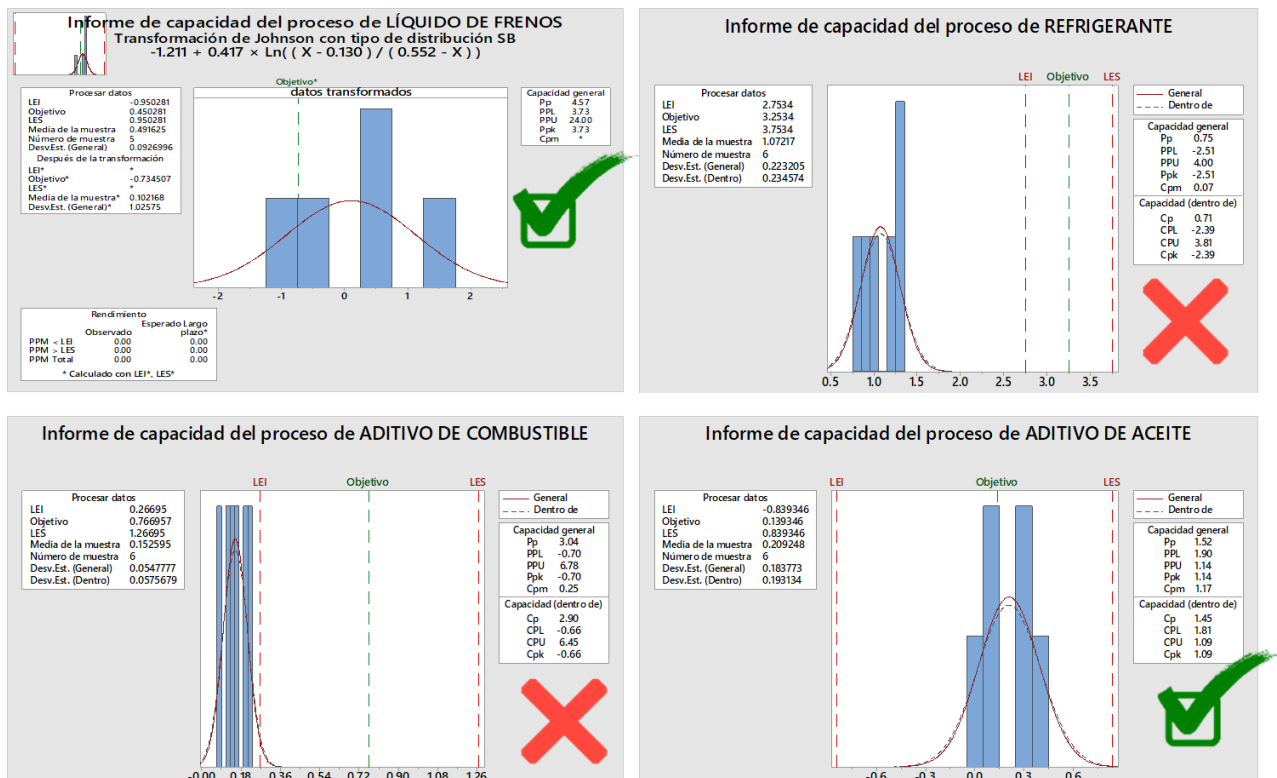


Figura 2.6 Proaño D. (Datos Estadísticos de Líneas Menores.mpj, 2018), Análisis de capacidad por línea

En la Figura 2.5 se muestra un análisis de normalidad para cada línea, la única línea que no seguía datos normales era la de líquido de freno, por lo que en el análisis de capacidad se utilizó el de la transformada de Johnson de Minitab 17 (Figura 2.6).

Con estos datos se decidió elegir a las líneas de **refrigerante** y **aditivo de combustible** como principales líneas a estudiar y atacar; debido a su alto impacto en la productividad, a su baja capacidad de proceso y al número de horas hombre que necesita para su funcionamiento. (Figura 2.7)

LÍNEA	IMPACTO	CAPACIDAD	HORAS-HOMBRE
ADITIVO DE COMBUSTIBLE	✓	✗	48
REFRIGERANTE	✓	✗	24
LÍQUIDO DE FRENO	✓	✓	32
ADITIVO DE ACEITE	✗	✓	16

Figura 2.7 Proaño D. (Datos de Líneas Menores.xls, 2018), Líneas a estudiar durante el proyecto

2.1.3.2 Tiempo de la Bitácora

Basado en las bitácoras y en los reportes históricos de los tiempos de las líneas, se pudo determinar y visualizar todas las actividades que se realizan a lo largo del día en cada línea; se ordenaron los datos de mayor a menor porcentaje de tiempo ocupado (Tabla 2.2) con esto se puede ver que las principales actividades donde invertimos tiempo son: Espera de la aprobación de laboratorio y limpieza (máquina inactiva también pertenece a este rubro), tiempo de mezclado, set-up y la falta de personal.

Tabla 2.2 Datos recolectados a través de la bitácora

EVENTOS	REFRIGERANTE %	ADITIVO DE COMBUSTIBLE %
PRODUCCIÓN	29.62%	45.54%
MÁQUINA INACTIVA / SIN TRABAJO	19.23%	10.00%
MEZCLADO	12.12%	14.24%
ESPERA LABORATORIO	9.36%	11.63%
ALMUERZO	7.18%	6.30%
SET UP	6.92%	1.20%
FALTA DE PERSONAL	6.22%	3.70%
SANEO O REPROCESO	3.72%	
OTROS EVENTOS (BREAK, VISITA, ETC.)	2.56%	1.30%
REUNIÓN	2.31%	2.50%
LIMPIEZA	0.64%	
CALIBRACIÓN	0.13%	
ABASTECIMIENTO DE PRODUCTOS		1.30%
ABASTECIMIENTO DE ENVASES		2.28%
FALLA PALETIZADORA CAJAS		
DAÑO MONTACARGA		
FALLA LLENADORA		

2.1.3.3 Tiempo de laboratorio

Se utilizaron los registros de los tiempos de aprobación de laboratorio, para determinar el tiempo actual de aprobación de laboratorio y contrastarlo con el tiempo máximo permitido de demora (Figura 2.8), con el fin de saber si el proceso de laboratorio es estable en función de lo establecido.

PRODUCTOS		MIN.
TEXACO - SWISSOIL - MOTOREX	Punta Línea - ICP	15
	Punta Línea - Espectroil	7
	Materias Primas	300
	Turbina	75
	Hidráulico	65
	Engranaje Industrial	45
	Motor	45
	Motor Castrol (4B)	45
	Motor Libre de Zinc	45
	Motor 2 Tiempos	45
	Engranaje Automotriz	45
	Automatic Transmisión Fluid	45
	Metal Working Oil	140
	Premezcla	15
	Cilindro Vapor Tornillos S/Fin	45
	Mejoradores de Índice de Viscosidad	80
	Producto Toyota	50
	Producto Repsol	50
	Producto Sumar	50
	Líquido de Frenos	50
Aditivos Combustible	50	
Refrigerantes Motorex	45	
Refrigerantes Swissoil	45	

Figura 2.8 Proaño D. (Datos de Líneas Menores.xls, 2018), Tiempos máximos de espera de laboratorio por tipo de producto

N	TIEMPO DE APROBACIÓN	MEDIA	DESVIACIÓN	TIEMPO DE ESPERA OBJETIVO	MÁXIMO PERMITIDO	DIFERENCIA DE MEDIAS (VALOR P)	MISMA	HIGHER
73	REFRIGERANTE	39.93	21.24	30	45	0.977	✗	✓
25	ADITIVO COMBUSTIBLE	72.04	47.25	40	50	0.014	✗	✓

Figura 2.9 Proaño D. (Datos de Líneas Menores.xls, 2018), Prueba de diferencia de medias (Real vs Esperado)

En la Figura 2.9 se detalla el resultado de la prueba de Diferencia de Medias realizado en Minitab17, dando como resultado que el tiempo actual de laboratorio en la línea de refrigerantes se acerca al máximo, mientras que en la línea de aditivos supera al tiempo máximo establecido de espera, con estos datos y el análisis de la bitácora, se puede

decir a priori que este tiempo de espera de laboratorio es una causa raíz de actividades que no agregan valor al proceso, un análisis más amplio se verá en la siguiente etapa.

También se obtuvieron los porcentajes de cumplimiento y de no cumplimiento de la muestra que llega al laboratorio y sus principales causas de rechazo o de su largo tiempo de espera (las cuales serán analizadas en la tercera fase).

Tabla 2.3 Porcentaje de cumplimiento de laboratorio

	PORCENTAJE DE CUMPLIMIENTO		TIEMPO DE RESPUESTA	
	CUMPLE	NO CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE
ADITIVO COMBUSTIBLE	90.0%	10.0%	37.83	68.00
ADITIVO LUBRICANTES	50.0%	50.0%	0.00	100.00
LIQUIDO DE FRENOS	62.5%	37.5%	38.50	65.33
REFRIGERANTES	91.2%	8.8%	25.47	192.67

Tabla 2.4 Causas de cumplimiento

ANÁLISIS LABORATORIO		
CAUSA	VECES	DETALLE
OTRA MUESTRA	4	Debido a que el Punto de ebullición, gravedad específica o glicol estan fuera del parametro
FLASH POINT	2	Se apago la llama de la herramienta o la muestra no puede ingresar a esa prueba por temperatura baja
VARIOS PRODUCTOS	2	Acumulación de meustras, se atiende al final
REPROCESO	1	Se toma muestra a un producto que ya se le habia hecho la prueba (Se manda al final)
NO CUMPLE SIN MOTIVO	9	No existe motivo (Se analizara en la siguiente fase)
CUMPLE SIN TIEMPO	20	Aparentemente cumple, pero no hay datos que respalden esa aseveración (Se analizara en la siguiente fase)

En la Tabla 2.3 se aprecia el porcentaje de cumplimiento de laboratorio, donde una orden se marca como cumplida si no sobrepasa el tiempo máximo de espera de su proceso, el cual ya está estipulado por gerencia, a simple vista no es tan malo el resultado, sin embargo, en la siguiente tabla existen 20 tiempos donde no se sabe si se cumplieron o no y se han marcado como cumplidos, en la fase de análisis se dará seguimiento a esta observación (Ver Tabla 2.4).

2.1.4 Verificación en la estación de trabajo (Gemba)

Para validar todos los datos recolectados en la bitácora, se realizaron visitas aleatorias durante los días de producción, para contrastar los tiempos registrados en la bitácora con los vistos durante la jornada. Este registro fue el realizado el 26 de noviembre, y se comprobó que efectivamente el setup de la línea de refrigerantes duro 45 minutos. (Ver Figura 2.10)

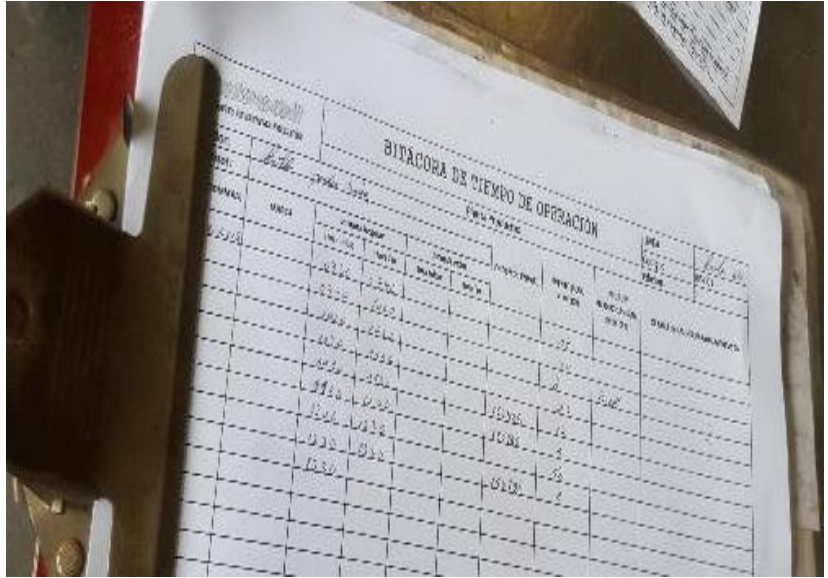


Figura 2.10 Proaño D. (Planta de Líneas Menores, 26 de noviembre 2018), Visita y registro de un Setup en la línea de refrigerante

2.1.5 Procesos Detallados

Como parte de la etapa de medición, fue necesario también conocer a detalle los principales procesos involucrados en el proyecto, tales como el proceso mezclado, llenado y empacado de los envases. Para ello, se desarrolló un diagrama funcional de todo el proceso, en el cual se remarca el alcance del proyecto (Figura 2.11).

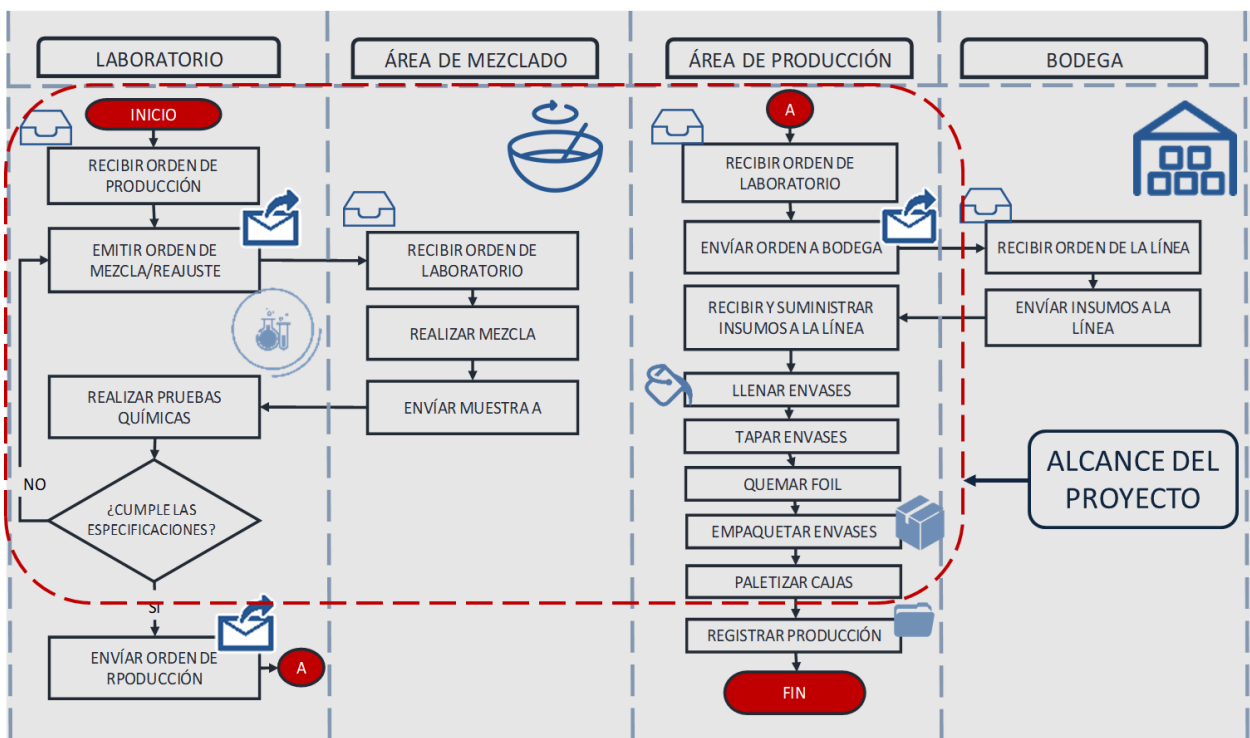


Figura 2.11 Proaño D. (Gráficas líneas menores, 2018), Diagrama funcional del proceso

2.1.6 Mapeo de la cadena de valor (VSM)

Una vez que se ha recolectado y verificado la información levantada, así como el detalle de los procesos involucrados, es posible realizar un mapeo de la cadena de valor del proceso de llenado de envases en las líneas menores, con el fin de analizar los tiempos de cada una de las etapas involucradas y poder determinar el tiempo que le toma a un producto atravesar la cadena de valor desde que es ordenado hasta su fabricación.

Como primer paso se consideran los tiempos de cada una de las fases por las que debe atravesar el producto en el proceso de envasado, se validaron los datos con visita al momento de la producción (gemba) y con los datos obtenidos en estudios previos.

Tabla 2.5 Velocidades de todas las etapas de la línea en cajas/hora

PARA LA ELABORACIÓN DE 1 PALLET					
SKU'S	LLENADO	TAPADO	QUEMADO	EMPACADO	PALETIZADO
Refrigerante Tanque 55 gal	12.00	30.00	3600.00	3600.00	28.13
Refrigerante Balde 5 gal	108.00	1440.00	18728.32	240.00	212.46
Refrigerante Balde 2.5 gal	216.00	1440.00	18728.32	240.00	212.46
Refrigerante Galón SWISSOIL	62.08	119.88	347.32	166.78	54.89
Refrigerante Galón WALKER	62.08	119.88	347.32	166.78	54.89
Refrigerante Cuartos (Q)	31.04	59.94	173.66	83.39	27.45
Aditivo de combustible caja 12 unidades	221.57	231.83	437.95	240.96	78.71
Todas las velocidades en esta tabla se calcularon en cajas/hora					

En la tabla 2.5 se muestran las velocidades de las 5 etapas del proceso de envasado de las líneas, las resaltadas con color azul representan los sku's con mayor producción y por ende se analizarán más a fondo, en la línea de **refrigerante** la actividad cuello de botella es la **etapa de llenado**; en cambio en la **línea de aditivos**, aunque pareciera que la actividad cuello de botella es el llenado, en realidad es el **tapado**, debido a que lo realizan manualmente y la fase de llenado no funciona a toda su velocidad por tal restricción.

El VSM se desarrolló en función de estas velocidades y en función del análisis hecho en el laboratorio y su tiempo real de respuesta, con esto se puede tener un panorama amplio y exacto acerca del tiempo que tomaría tener una orden de un producto, donde las principales restricciones, son el tiempo de laboratorio y la maquina cuello de botella (Ver Figura 2.12).

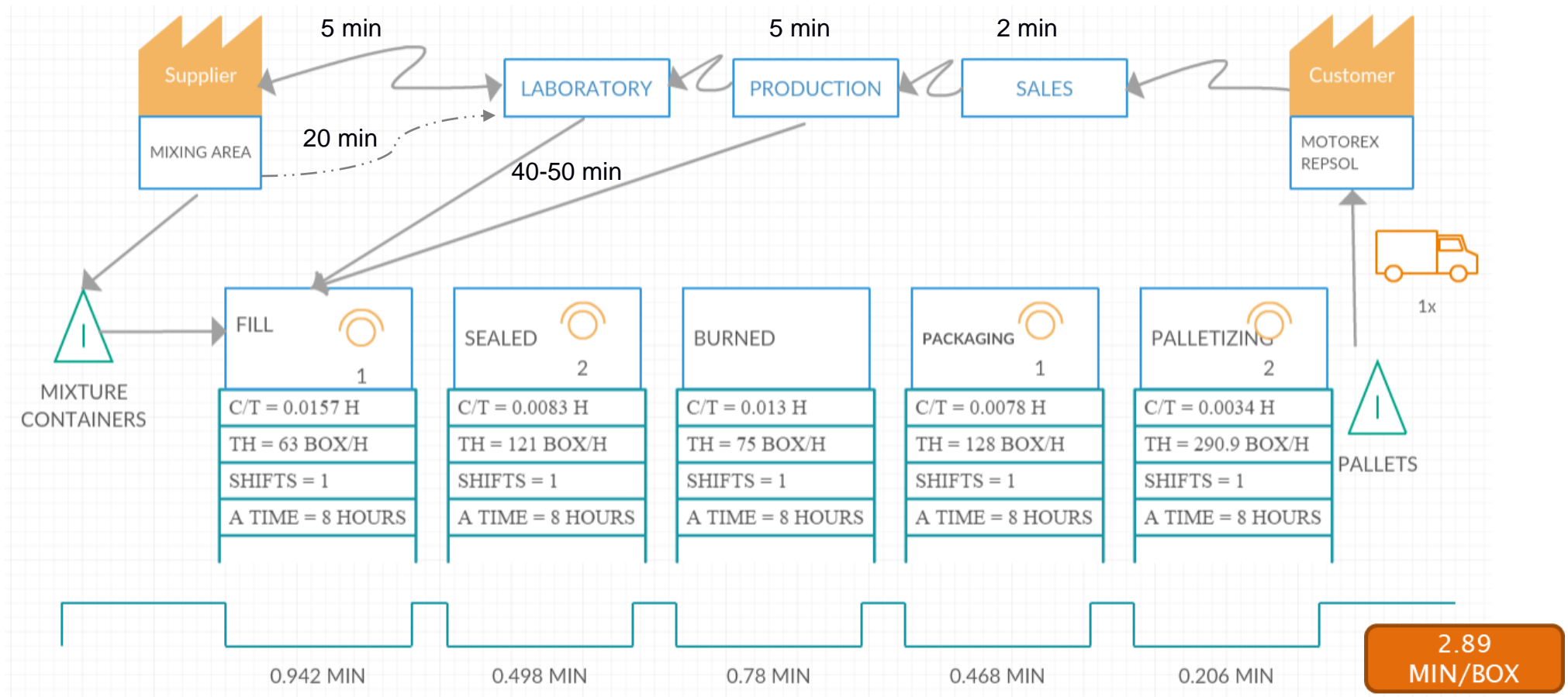


Figura 2.12 Proaño D. (Gráficas líneas menores, 2018), VSM del proceso de envasado de un pallet de refrigerante

2.2 Análisis

Una vez hecho el levantamiento de información de la variable de respuesta, y los datos acerca de posibles causas u observaciones realizadas a lo largo de la fase de Medición se procedió a realizar el análisis de causas del problema. En esta etapa, se realizó una lluvia de ideas con todo el equipo de trabajo de los cuatro proyectos de líneas menores para determinar todas las posibles causas que puedan afectar las tres variables que intervienen en un bajo porcentaje de productividad, para luego de verificar las causas más relevantes y poder determinar las causas raíces del problema mediante la herramienta 5 ¿Por qué? (Ver Figura 2.13)



Figura 2.13 Arias N. (IISE Club, 2018), Reunión con líderes de las otras líneas

2.2.1 Análisis de causas

Realización de la lluvia de ideas (Figura 2.14) y una base de Ishikawa (Figura 2.15) para poder presentarla en la empresa de lubricantes y así facilitar la búsqueda de causas raíces.

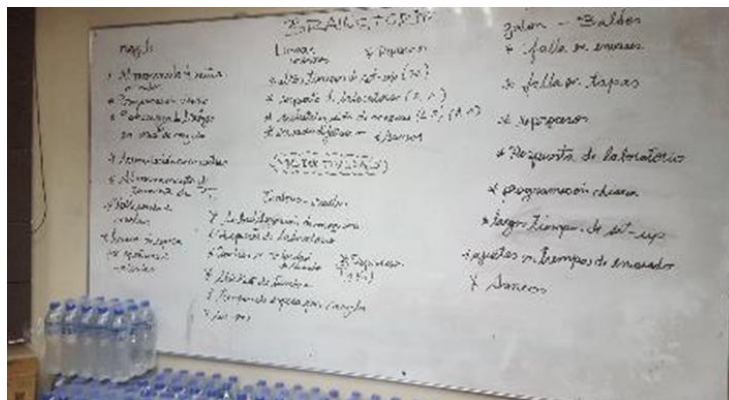


Figura 2.14 Proaño D. (IISE Club, 2018), Lluvia de ideas de baja productividad

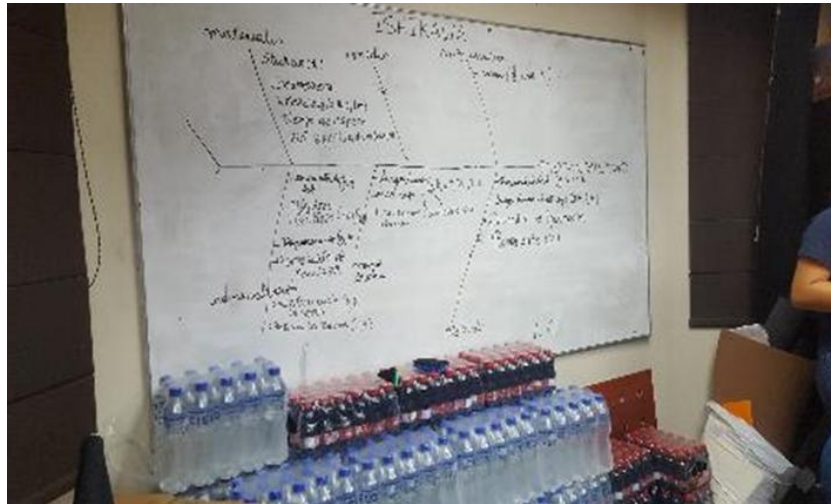


Figura 2.15 Proaño D. (IISE Club, 2018), Ishikawa de baja productividad

A partir de la lluvia de ideas y de un borrador acerca de la baja productividad realizado por el equipo de líneas menores; se procedió a realizar una reunión con los líderes del proyecto, quienes con su experiencia pudieron expandir aún más las causas raíces que se encontraron en las líneas, en esta reunión también se dio una ponderación a cada una de las causas con la finalidad de dales una ponderación para futuros análisis (Ver Figura 2.16).



Figura 2.16 Bejeguen R. (Sala de capacitaciones Swissoil, 2018), Reunión de análisis de causas

Después de estas reuniones se pudo tener un Ishikawa final con relación a la baja productividad presentada en las líneas de refrigerante y aditivo de combustible (Ver Figura 2.17).

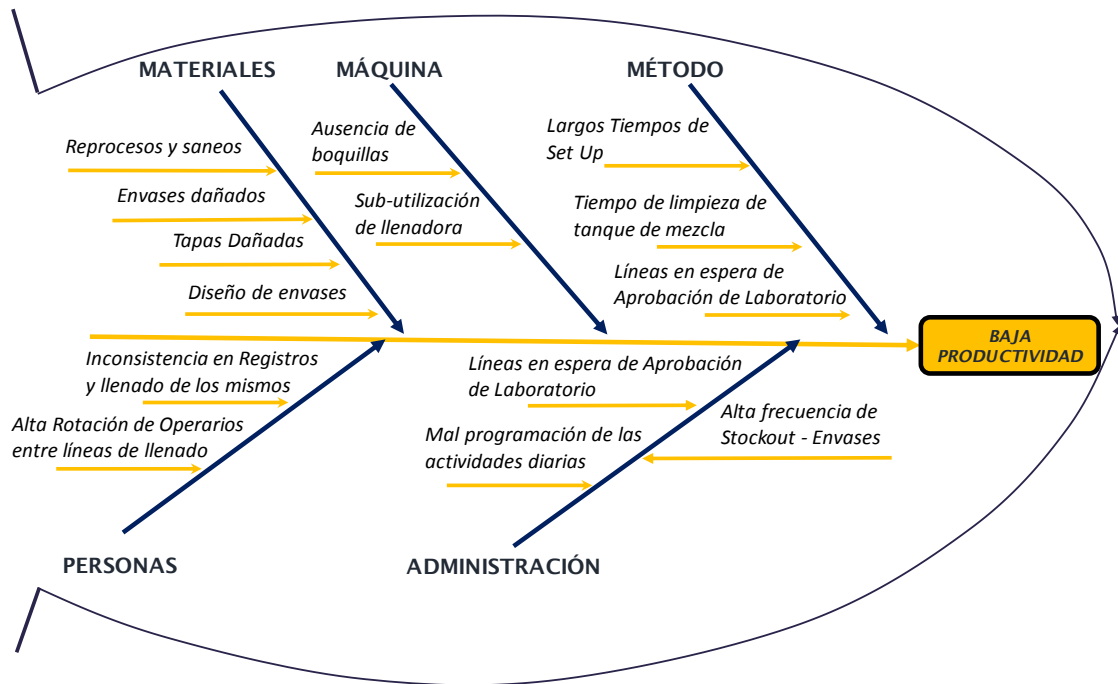


Figura 2.17 Proaño D. (Gráficas líneas menores, 2018), Ishikawa final acerca de la baja productividad de las líneas

Se realizó una priorización de causas determinando en conjunto con los encargados del proyecto de la empresa el “¿Qué tan controlable es realizar alguna mejora en esa causa?”, y también en el impacto que tiene cada una de esas causas en función de las tres variables críticas del OEE (Solo se realiza para tener una matriz más exacta) (Ver Figura 2.18, Tabla 2.6 y Tabla 2.7).

Tabla 2.6 Nivel de Relación de Causas

Nivel de Relación	
9	Relación Fuerte
3	Relación Media
1	Relación Baja

Tabla 2.7 Matriz de causa y efecto

MATRIZ DE CAUSA Y EFECTO							
CAUSAS	CALIFICACIÓN	DISPONIBILIDAD	RENDIMIENTO	CALIDAD	% PONDERACIÓN	ACUMULADA	
10 Averías(subutilización de la máquina de llenado)	9	3	9	1	0.1938	19.38%	
16 Máquina Inactiva / Sin trabajo	9	9	3	1	0.1938	38.76%	
3 Largos tiempos de limpieza de los tanques	9	9	1	1	0.0646	45.22%	
1 Respuesta de Laboratorio	9	9	1	1	0.0646	51.67%	
2 Largos tiempos de Setup (Calibración, Cambios de formato, Drenado)	9	3	3	1	0.0646	58.13%	
6 Diseño de envases	9	1	9	1	0.0646	64.59%	
11 Inconsistencia de registros	9	1	1	9	0.0646	71.05%	
4 Sistema re-escribe registros	9	1	1	9	0.0646	77.51%	
5 Reprocesos (Por rotación de producto)	3	3	1	9	0.0646	83.97%	
7 Alta frecuencia de setups	3	3	9	1	0.0646	90.43%	
8 Reproceso al pedir kits de envases	3	3	3	1	0.0215	92.58%	
9 N° de Kits Defectuosos	3	1	1	9	0.0215	94.74%	
14 Tapas dañadas	3	1	1	9	0.0215	96.89%	
15 Envases dañados	3	1	1	9	0.0215	99.04%	
12 Rotación del personal	1	9	1	1	0.0072	99.76%	
13 Nueva máquina de Llenado	1	3	1	1	0.0024	100.00%	

A partir del resultado de esta ponderación, se realizó un análisis de Pareto, como se muestra en la figura 2.18, con el fin de seleccionar las causas que tengan mayor impacto sobre las variables respuesta para luego proceder a verificarlas.

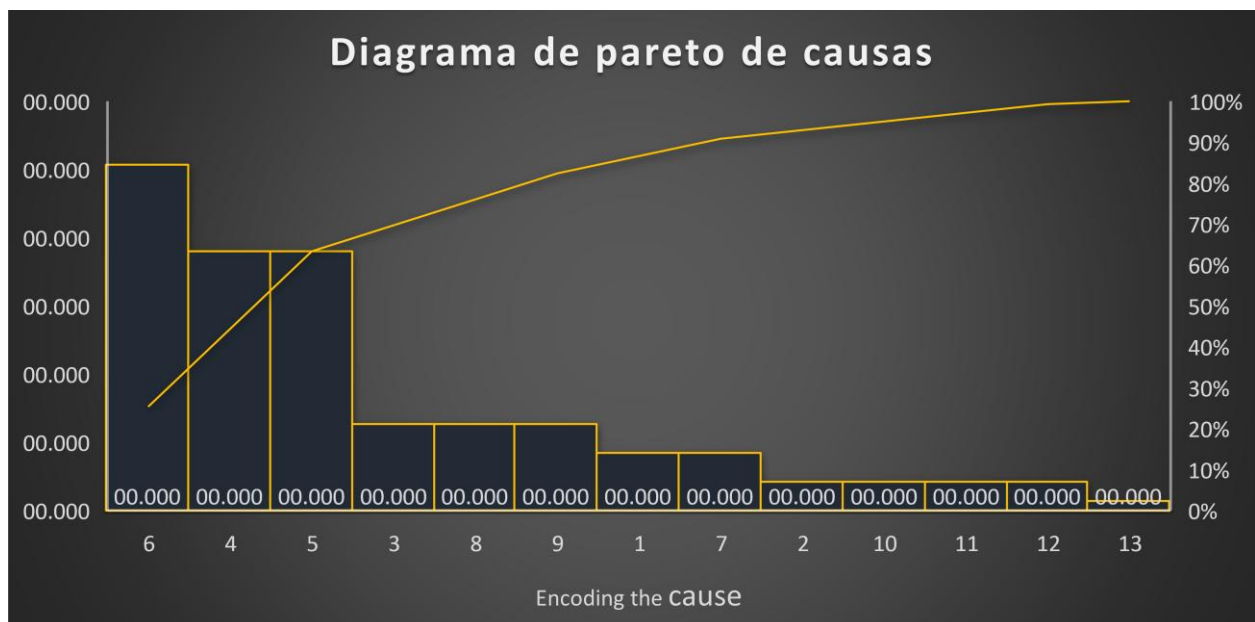


Figura 2.18 Proaño D. (Gráficas líneas menores, 2018), Pareto de principales causas

Después de realizado el Pareto, se procedió a darle una ponderación a las causas ordenadas en el Pareto, pero tomando en cuenta el que tan controlable es y al impacto que tienen en las líneas (Obtenido en la matriz causa y efecto) (Ver tabla 2.8 y Figura 2.19).

Tabla 2.8 Matriz de calificación de impacto vs control

MATRIZ IMPACTO VS CONTROL						
	CAUSAS	DISPONIBILIDAD	RENDIMIENTO	CALIDAD	IMPACTO	CONTROLABLE
10	Averías(subutilización de la máquina de llenado)	3	9	1	27	5
16	Máquina Inactiva / Sin trabajo	9	3	1	27	6
3	Largos tiempos de limpieza de los tanques	9	1	1	9	4
1	Respuesta de Laboratorio	9	1	3	27	9
2	Largos tiempos de Setup (Calibración, Cambios de formato, Drenado)	6	3	1	18	5
6	Diseño de envases	3	6	1	18	5
11	Inconsistencia de registros	1	1	9	9	9
4	Sistema re-escribe registros	1	1	9	9	12
5	Reprocesos (Por rotación de producto)	3	1	9	27	15
7	Alta frecuencia de setups	3	3	1	9	14
8	Reproceso al pedir kits de envases	3	3	1	9	7
9	Nº de Kits Defectuosos	1	1	9	9	16
14	Tapas dañadas	1	1	9	9	6
15	Envases dañados	1	1	9	9	5

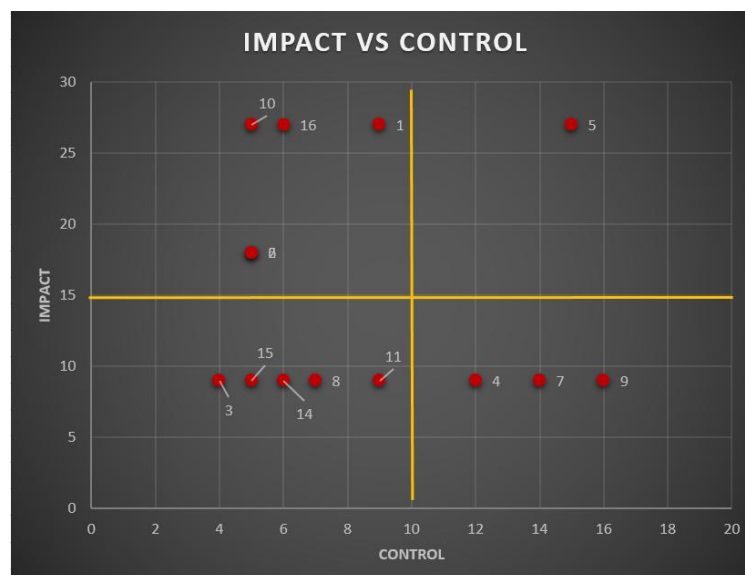


Figura 2.19 Proaño D. (Gráficas líneas menores, 2018), Matriz impacto vs control

Aunque el análisis determino que solo se eligieran las cuatro causas del primer cuadrante, se incluye el análisis de 1 causa adicional:

1. Averías y Cuello de Botella (subutilización de la máquina de llenado y tapado)
2. Máquina Inactiva / Sin trabajo (Respuesta de Laboratorio)
3. Largos tiempos de limpieza de los tanques
4. Largos tiempos de Setup (Calibración, Cambios de formato, Drenado)
5. Diseño de envases

Estas son las causas o factores de los cuales se van a seguir analizando para encontrar las causas raíces y poder tomar alguna acción correctiva en la fase siguiente.

2.2.2 Plan de verificación de causas

A partir de las causas priorizadas, se procedió a realizar un plan de verificación de causas y su estructura como se detalla en la tabla 2.9.

Tabla 2.9 Plan de verificación de causas

# Causa	Causas potenciales	Teoría acerca de la causa	¿Cómo verificarla?
6	Diseño de envases	Debido a la diferencia entre las diferentes presentaciones: (1) En la Línea de Aditivo de combustible se necesita una persona adicional solo para ingresar los envases Motorex. (2) El tiempo de setup aumenta en envases de la misma presentación, pero diferente marca.	5 ¿Por qué?, Ir a ver
1	Líneas en espera de aprobación de laboratorio	El tiempo de espera en el laboratorio es muy extenso: (1) La priorización puede ser un factor. (2) La cantidad de muestras en cola	Datos históricos, 5 ¿Por qué?
2	Largos tiempos de setup (Calibración, Cambios de formato, Drenado)	Debido a la máquina nueva en la línea de Refrigerantes el tiempo de setup alcanzo a ser de 40 minutos, cuando antes era de 10 o 15 minutos	5 ¿Por qué?, Ir a ver
3	Tiempo de limpieza de tanque de mezcla	Las limpiezas de los tanques se extienden debido a que no se cuentan con herramientas para la limpieza de estas y se realiza de manera empírica con lo que se tenga a la mano.	Datos históricos, 5 ¿Por qué?
10	Averías (subutilización de la máquina de llenado y tapado)	Tanto la máquina de llenado de la línea de refrigerante y la de líquido de freno podrían tener una mayor velocidad si se agregan 2 y 1 pistones respectivamente. La velocidad limitada por la fase de tapado en la línea de aditivo de combustible también representa una subutilización de la máquina.	Ir a ver

2.2.3 Determinación de causas raíces

Se realizaron 3 reuniones con los líderes del proyecto, con los operarios y con los jefes de las líneas con el fin de escuchar las causas que hacen que su productividad sea baja y que se les presentan a lo largo de su jornada; de esta manera podemos obtener las causas raíces de nuestras principales causas potenciales, las cuales fueron encerradas en un círculo rojo en la figura 2.20.

N°	CAUSAS	RONDA 1	RONDA 2	RONDA 3	RONDA 4
6	Diseño de envases	¿Por qué existe reducción de productividad sobre todo en envase Swissoil de Aditivo Combustible?	Debido a diseño de envases se tiene que utilizar una persona adicional para voltear los envases que no tienen el cuello del envase concéntrico (Aditivo Combustible).	Error en el diseño del envase y falta de experiencia de persona de producción que aprobó envase que afectaría productividad de línea.	
			Debido a diseño de envases se tiene que utilizar una persona adicional para colocar capuchones en productos Swissoil.	Área Comercial definió en desarrollo de producto que deben llevar capuchón.	
		¿Por qué es requerido mayor personal para llenado de refrigerantes Swissoil y envases de aditivo de combustible?	Porqué tapas tienen diferente medidas lo que hace que tengamos 6 operarios en lugar de 4 requeridos para elaborar aditivos de combustible, líquido de frenos y refrigerantes.		
5	Largos tiempos de Setup (Calibración, Cambios de formato, Drenado)	Se realizan muchas pruebas de calibración para la distancia entre boquillas.	El cuello de la botella no es centrado en todas las presentaciones.	Se deben realizar muchas pruebas en las distancias de boquillas.	El operario realiza el setup de manera empírica No todos los operarios están entrenados y se sobrecarga actividad en líderes de línea.
		Se realizan muchas pruebas de calibración para la altura entre boquillas	Los envases tienen alturas diferentes, aun si son de la misma capacidad.	Se deben realizar muchas pruebas en la banda de llenado	El operario realiza el setup de manera empírica No todos los operarios están entrenados y se sobrecarga actividad en líderes de línea.
		No hay tiempos estándares establecidos, ni medidas estándares registradas en los setups	El operario realiza el setup de manera empírica		
4	Líneas en espera de aprobación de laboratorio	Muchas ordenes en fila	Se priorizan otras ordenes	La demanda de nuestros productos es mas baja que la de los lubricantes Ordenes de todas las líneas llegan de manera simultanea Existen muchos procesos a realizar a cada una de las muestras.	Las demas doctoras tambien tienen otras actividades establecidas No sigo el protocolo, falta de supervisión y control Operario no sabe si el tiempo actual de mezcla es suficiente para aprobación
		Se debe coger una segunda muestra	No se siguió el protocolo de mezcla (Ej: tiempo de espera para coger la mezcla)	No se espero a tener la homogeneidad deseada o estipulada en el protocolo.	
		Existe un mal registro de los tiempos de atención del laboratorio	Los tiempos desde que llega la orden hasta que sale no son confiables	Muchas veces se olvidan de registrar.	Existen muchas actividades a realizar en el laboratorio, y el trabajo de registro quita tiempo que se usa en atención a mezclas
			No se registra el tiempo de atención de laboratorio.	Solo se registra desde que ingresa hasta que sale del laboratorio, no del proceso real del laboratorio.	
3	Tiempo de limpieza de tanque de mezcla	La limpieza se debe realizar con mucho volumen del solvente / componente (Flusheo)	Con nuestros tanque de ley se debe hacer limpiezas con bastante volumen de componente.	No existen herramientas que faciliten la limpieza del tanque y de la línea de llenado	
		No se realizan purgas de la línea de llenado	No existen herramientas que faciliten la limpieza del tanque y de la línea de llenado		

Figura 2.20 Proaño D. (Datos de líneas menores.xls, 2018), Diagrama 5 ¿Por qué?

2.2.4 Verificación de causas

Se realizó una reunión con el grupo de laboratorio y el jefe de mejora continua (Trabajo 12 años en el área de laboratorio, Ver Figura 2.21) para validar las causas encontradas, y para conocer la razón de la ausencia de datos en los registros digitales de laboratorio y que en las bitácoras si están registrados, también se verificaron los tiempos de laboratorio (explicados en la fase de Medición).

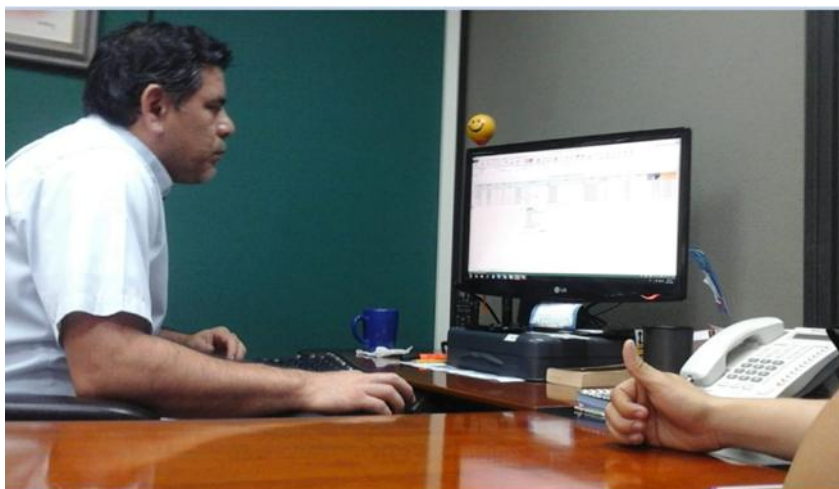


Figura 2.21 Proaño D. (Despacho jefe de Mejora continua de Swissoil, 2018), Revisión de los tiempos de laboratorio y causas principales de demora

Tiempo Máxim	OM	TANQUE	Ingreso	OK	min	Cumple o no	No a tiempo: Causa CT o no definidas	ok ct aditivo
50	153617	M-1	10:21	11:37	76	CUMPLE		1
50	153899	LM-1				=SI(M15<H15;"CUMPLE";"NO CUMPLE")		
80						C SI(prueba_lógica; [valor_si_verdadero]; [valor_si_falso])		
50	154339	LM-1				CUMPLE		
80	155246	M-1	8:30	10:10	100	CUMPLE		
50	155436	M-1			00	CUMPLE		1
50	155436	M-1	14:40	15:13	33	CUMPLE		
50	155500	LM1	10:00	11:04	64	CUMPLE		1
50	156888	M-1	13:45	14:29	44	CUMPLE		
50	156451	LM-1	11:20	12:16	56	CUMPLE		

Figura 2.22 Proaño D. (Tiempo de respuesta del laboratorio.xls, 2018), Error en la formulación del tiempo

Después de las reuniones se validó que las principales causas del extenso tiempo de espera por la aprobación del laboratorio eran:

- El regreso de muestras por el no cumplimiento de los parámetros: grados brix, glicol, viscosidad, tiempo y cantidad de sustancia en el área de mezclado.

- La cantidad de muestras y trabajos a realizar en el área, que sobrepasaba la capacidad de las ingenieras (4 ingenieras).
- La falta de tiempo para llenar la bitácora del laboratorio.
- En la bitácora de laboratorio se encontró que, aunque no se llenaran los tiempos de respuesta, este regresaba un mensaje de cumplimiento (Ver Figura 2.22).

También se validaron otras causas como el tiempo extenso del setup, ausencia de boquillas, automatización de la línea (Sub-utilización) y diseño del envase (Ver Figura 2.23, 2.24 y 2.25)

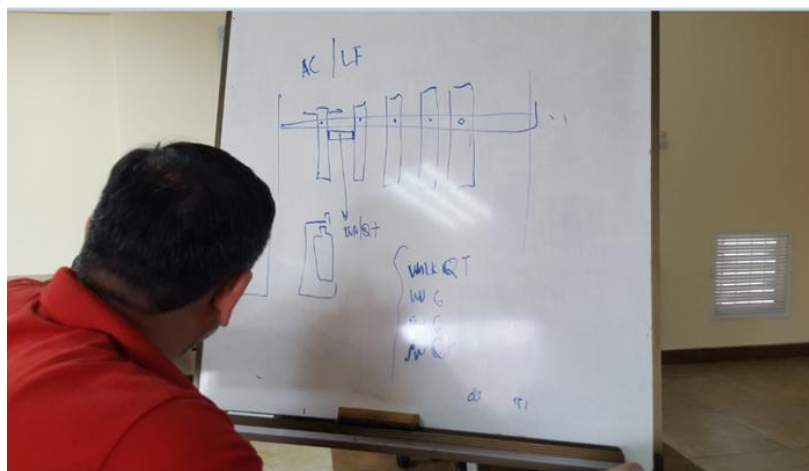


Figura 2.23 Proaño D. (Sala de capacitaciones Swissoil, 2018), Verificación de causas

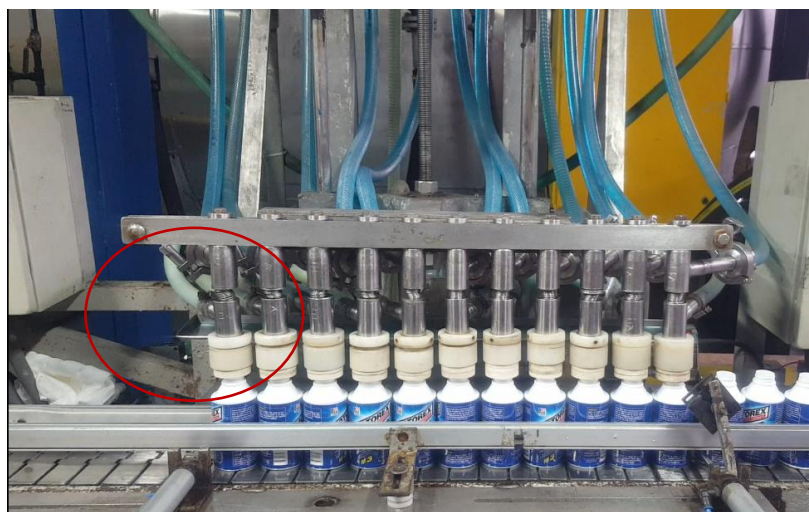


Figura 2.24 Proaño D. (Planta de líneas menores, 2018), Ausencia de boquillas de máquina llenadora



Figura 2.25 Proaño D. (Gráficas de líneas menores, 2018), Explicación sobre el diseño del envase

2.2.5 Listado de causas raíces

El resultado del análisis determino las siguientes causas raíces a eliminar en la siguiente fase, las cuales fueron validadas y obtenidas con ayuda de todas las herramientas anteriormente expuestas y con la participación de los gerentes y jefes de producción de las líneas menores (Ver Tabla 2.10).

Tabla 2.10 Listado de causas raíces

N°	CAUSAS	CAUSA RAIZ
6	Diseño de envases	Error en el diseño del envase y falta de experiencia de persona de producción que aprobó envase que afectaría productividad de línea.
		Porque se debe agregar capuchones en la línea de refrigerantes.
		Forma rectangular de la base del envase hace que se necesite una persona adicional en el tambor de aditivo de combustible
2	Largos tiempos de Setup (Calibración, Cambios de formato, Drenado)	No hay protocolo o guía del setup de las máquinas.
		No todos los operadores están capacitados para realizar el setup, por lo que se vuelve empírico en muchas ocasiones.
3	Tiempo de limpieza de tanque de mezcla	No existen herramientas que faciliten la limpieza del tanque y de la línea de llenado
1	Líneas en espera de aprobación de laboratorio	Cuando llegan muchas ordenes al laboratorio, se les da prioridad a las muestras de lubricante
		Los tiempos para las pruebas actuales son muy largos (45 (refrigerante), 50 (aditivo) y 55 minutos (refrigerante Swissoil)); y se extienden si existe una 2° muestra.
		Muchas muestras son revisadas al día siguiente, por lo que sus especificaciones cambian con el tiempo
		Valores del protocolo fueron establecidos una única vez y no fue modificada en base a resultados obtenidos.
10	Averías (subutilización de la máquina de llenado y del proceso de tapado)	No se ha gestionado la compra e instalación de boquillas
		El tapado es manual en la línea de aditivo de combustible

2.3 Propuesta de mejoras

2.3.1 Lluvia de ideas de soluciones

Con toda la lista de causas raíces validadas en la fase anterior, se reunió a los líderes del proyecto de la compañía, a los operarios de la línea y a los representantes de cada área relacionada a tales causas (Figura 2.26); y se propusieron soluciones en conjunto para cada una de estas causas raíces (Ver Figura 2.27).



Figura 2.26 Proaño D. (Sala de capacitaciones SwissOil, 2018), Reunión de propuesta de soluciones



Figura 2.27 Proaño D. (Gráficas de líneas menores, 2018), Lluvia de ideas de soluciones

2.3.2 Priorización de las soluciones

A todas las soluciones presentadas se les realizó un análisis de costo, tomando en cuenta los siguientes parámetros:

- Costo hora hombre de personal operativo, tomando en cuenta el tiempo requerido para la solución.
- Costo hora hombre de personal administrativo, tomando en cuenta el tiempo requerido para la solución.
- Inversión en equipo

Los desgloses de todos los costos se presentan en la Tabla 2.11; el análisis sirve para obtener una calificación del 1 al 10, en donde 1 representa una inversión menor y 10 una alta inversión, la cual será utilizada en el segundo análisis.

Tabla 2.11 Análisis de costos de soluciones

NO.	SOLUCIÓN	PERSONAS ENCARGADAS	COSTO HORA HOMBRE		COSTOS		TOTAL	PESO
			DIAS DE IMPLEMENTACION (OPERARIO)	DIAS DE IMPLEMENTACION (ADMINISTRATIVO)	PERSONAS	EQUIPOS		
				OPERARIO 5	ADMINISTRATIVO 15			
1	Renovar el Diseño del Envase *Eliminación de capuchones (O solo Premium) *Estandarización de tapas *Envases con cuello concéntricos y base circular	2	21	23	352	\$ 3,600.00	\$ 3,600.00	6
2	SMED Disminuir el tiempo de Setup y crear instructivos de ello (Incluye S's del Area)	2	21	40	488	\$ 5,640.00	\$ 5,640.00	9
3	Capacitación Capacitar a los operarios en el proceso de Setup de las Máquinas	1		2	16	\$ 240.00	\$ 240.00	1
4	Sistema de aspersión Permite la limpieza del Tanque de Mezcla en poco tiempo y con poco volumen del solvente.	2	5	15	160	\$ 2,000.00	\$ 3,000.00	9
5	Disminución del tiempo de Test de Laboratorio *Análisis de los procesos del test *Test realizados en el mismo tanque de mezcla. *Pre-aprobación con resultados de rutina	1		15	120	\$ 1,800.00	\$ 1,800.00	3
6	Priorización de muestras (1) Aditivo combustible y líquido de frenos (2) Refrigerantes (3) Lubricantes (4) Muestras de punta de línea.	1		1	8	\$ 120.00	\$ 120.00	1
7	Horario de Analista Solicitar a Gerencia que un analista ingrese y salga una hora después, para analizar las muestras al final de la jornada.	1		2	16	\$ 240.00	\$ 240.00	1
8	Actualizar protocolo de Laboratorio Validar el tiempo y especificaciones reales de todas las mezclas.	2		10	160	\$ 1,200.00	\$ 1,200.00	3
9	Automatización *Eliminar las actividades manuales en el proceso de tapado *Elaboración de SCADA	2	40	40	1280	\$ 6,400.00	\$ 30,621.00	10

La ponderación obtenida sirve como un parámetro de un análisis más profundo de priorización de las soluciones, en donde se agregó el tiempo de implementación, el número de causas impactadas, el costo y el número de horas hombre impactadas por

cada solución (Tabla 2.12); a partir de estos parámetros se obtuvo el impacto y el esfuerzo de la solución basado en la siguiente fórmula:

$$\text{Impacto} = C_i * C_k$$

$$\text{Esfuerzo} = C_j * C_l$$

Tabla 2.12 Análisis de impacto y esfuerzo

NO.	SOLUCIÓN	N° DE CAUSAS ATACADAS	C_i	TIEMPO (DÍAS)	C_j	HORAS-HOMBRE	C_k	$\text{COSTO}(C_l)$	IMPACTO	ESFUERZO
1	Renovar el Diseño del Envase *Eliminación de capuchones (O solo Premium) *Estandarización de tapas *Envases con cuello concéntricos y base circular	6	10	150	8	160.00	10	6	100	48
2	SMED Disminuir el tiempo de Setup y crear instructivos de ello.	1	4	270	10	26.04	4	9	16	90
3	Capacitación Capacitar a los operarios en el proceso de Setup de las Máquinas	2	6	30	4	26.04	4	1	24	4
4	Sistema de aspersión Permite la limpieza del Tanque de Mezcla en poco tiempo y con poco volumen del solvente.	1	4	180	9	41.3568	6	9	24	81
5	Disminución del tiempo de Test de Laboratorio *Análisis de los procesos del test *Test realizados en el mismo tanque de mezcla. *Pre-aprobación con resultados de rutina	2	6	30	4	54.9408	8	3	48	12
6	Priorización de muestras (1) Aditivo combustible y líquido de frenos (2) Refrigerantes (3) Lubricantes (4) Muestras de punta de línea.	1	4	10	2	39.2064	5	1	20	2
7	Horario de Analista Solicitar a Gerencia que un analista ingrese y salga una hora despues, para analizar las muestras al final de la jornada.	1	4	10	2	39.2064	5	1	20	2
8	Actualizar protocolo de Laboratorio Validar el tiempo y especificaciones reales de todas las mezclas.	1	4	60	6	21.0336	3	3	12	18
9	Automatización *Eliminar las actividades manuales en el proceso de tapado *Elaboración de SCADA	5	9	200	9	280	10	10	90	90

El impacto y el esfuerzo calculado se empleó para la creación de una matriz, donde se utilizan estos parámetros, para de manera visual poder tomar una decisión en cuanto a las soluciones a implementar (Figura 2.28).

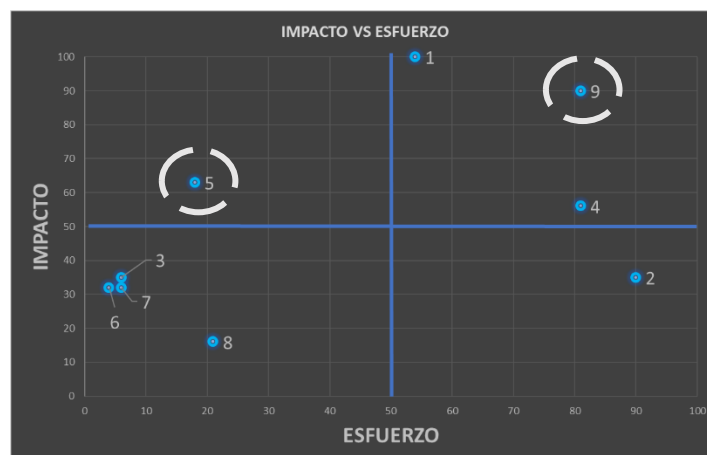


Figura 2.28 Proaño D. (Gráficas de líneas menores, 2018), Impacto vs Esfuerzo

En la figura 2.28 se visualizan dos soluciones encerradas en un círculo blanco y con una numeración que identifica la solución en la tabla 2.10; la solución 5 (Disminución de tiempo de test de laboratorio) fue seleccionada por ser de menor esfuerzo y mayor impacto; por otro lado, la solución 9 (Automatización) fue seleccionada porque será realizada en conjunto con un equipo de la carrera de Automatización de la Espol, el cual realiza su tesis en base a esta solución.

2.4 Implementación

2.4.1 Explicación de la solución

El tiempo de laboratorio actual fue analizado en la etapa de medición (Ver Figura 2.9), se determinó que el tiempo actual de laboratorio sobrepasaba incluso el máximo permitido por la gerencia, además de que es un tiempo muy extenso y no agrega valor al proceso.

La única manera que se encontró fue la analizar todas las pruebas por las que atraviesa una muestra de producto, y poder crear una pre-aprobación de laboratorio, la que se explica mejor en la Figura 2.29:

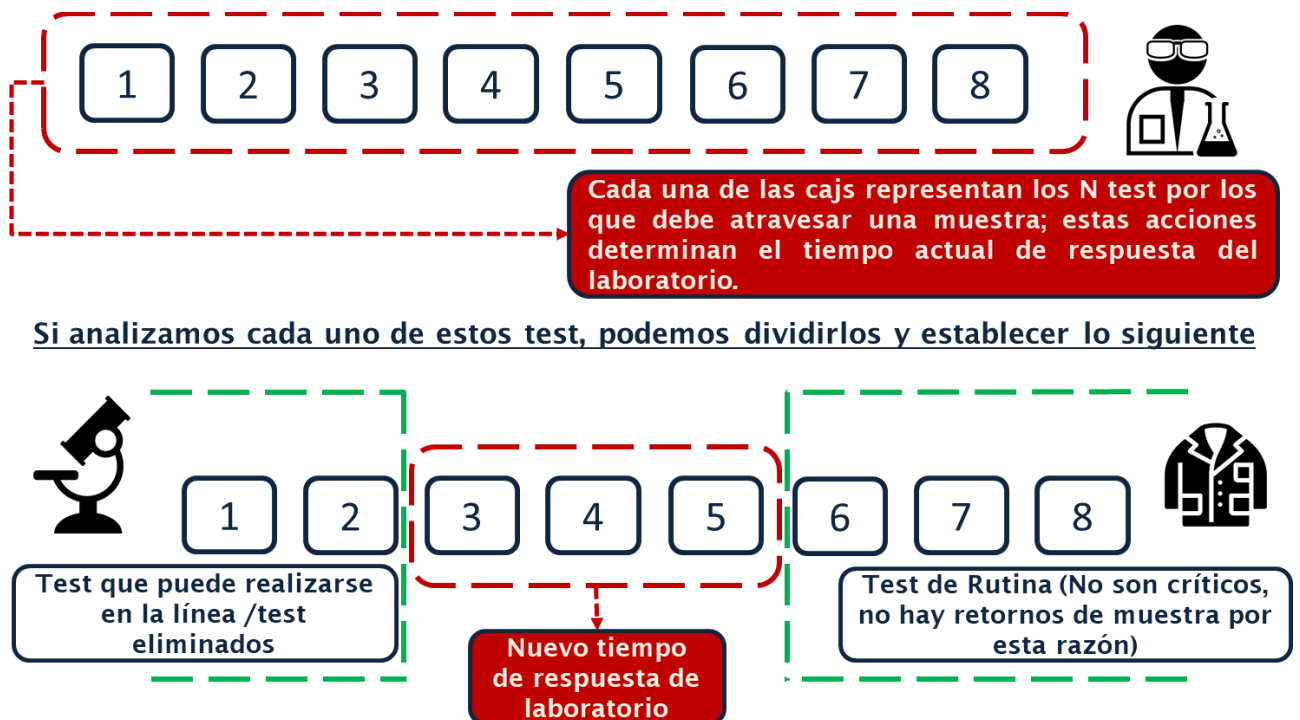


Figura 2.29 Proaño D. (Gráficas de líneas menores, 2018), Explicación de la solución

Las zonas delimitadas en verde representan:

- Las pruebas que no deben realizarse (No son exigidas por el cliente; no deberían realizarse, pero se realizan porque así fue establecido).
- Las pruebas que pueda realizarse en la línea de producción, sin que pasen por laboratorio y que puedan hacerse por los operarios de línea.
- Las pruebas que no son fundamentales, y que bajo la experiencia de los ingenieros del laboratorio no han dado problemas.

La zona delimitada en rojo:

- Pruebas fundamentales y que los ingenieros del laboratorio consideran que deben efectuarse antes de realizar la producción.

De esta manera, una vez realizadas las pruebas fundamentales, **se permitirá realizar el envasado de la producción**, cabe recalcar que las pruebas del último punto de las zonas en verde, no se dejarán de hacer, sino que serán realizadas inmediatamente después de las pruebas fundamentales; solo que ahora no serán necesarias para la aprobación inicial de la orden de envasado.

2.4.2 Plan de implementación

Para la solución propuesta se elaboró un plan detallado a seguir, con fechas establecidas de duración (Tabla 2.13); también se realizó un diagrama de Gantt para de manera visual poder ver el estado actual y futuro de nuestra implementación (Figura 2.30).

Tabla 2.13 Plan de implementación

CRONOGRAMA DE IMPLEMENTACIÓN			
NOMBRE DE LA ACTIVIDAD	DURACIÓN	INICIO	FIN
Análisis de cada prueba de laboratorio para las muestras	3 Días	07/01/2019	09/01/2019
Determinación de pruebas críticas y no críticas	1 Día	10/01/2019	10/01/2019
Determinar Pruebas de Rutina y Pruebas que un operario puede realizar	2 Días	13/01/2019	14/01/2019
Ver si es Factible las pruebas por el operario (Costos y Equipo)	1 Día	15/01/2019	15/01/2019
Establecer nuevo protocolo de laboratorio	5 Días	16/01/2019	20/01/2019
Establecer nuevos tiempos de respuesta de laboratorio	2 Días	21/01/2019	22/01/2019
Validación	5 Días	23/01/2019	27/01/2019
TOTAL	19 Días		

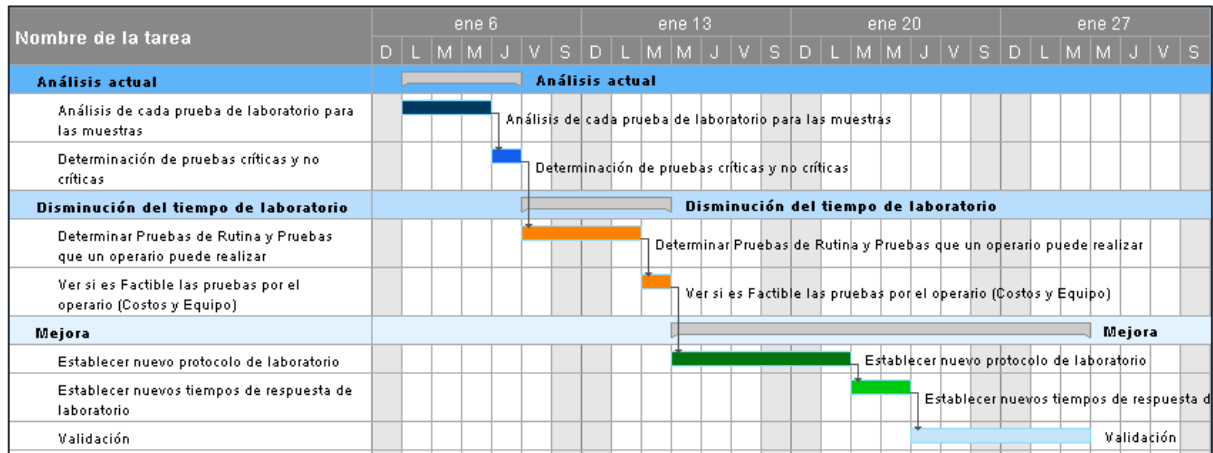


Figura 2.30 Proaño D. (Gráficas de líneas menores, 2018), Diagrama de Gantt

2.4.2.1 Análisis actual

Se realizó una reunión con el equipo de trabajo del laboratorio y se pudieron especificar todas las pruebas explicadas anteriormente (Figura 2.29), no solo para las líneas de este proyecto, sino para todas las líneas de la organización (Figura 2.31).

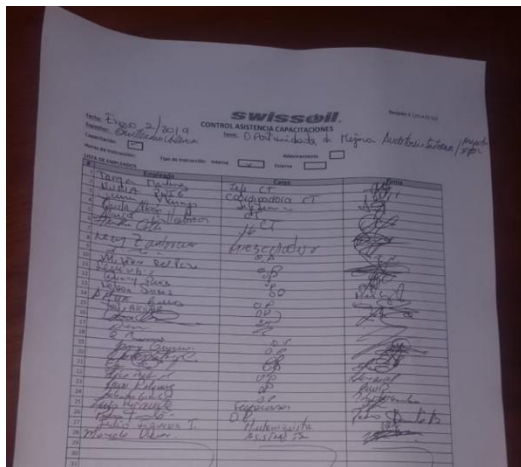


Figura 2.31 Proaño D. (Sala de capacitación de SwissOil, 2019), Acta de reunión de mejora continua

2.4.2.2 Disminución del tiempo de laboratorio

Como resultado de la reunión y en base a los datos proporcionados por laboratorio, se presenta la siguiente tabla con los nuevos tiempos propuestos (Tabla 2.14), y también un análisis de las pruebas que se eliminaron, las cuales ayudan de alguna manera a disminuir la carga de trabajo en el laboratorio, la cual era una de las causas iniciales de la problemática (Tabla 2.15).

Tabla 2.14 Nuevos tiempos de laboratorio

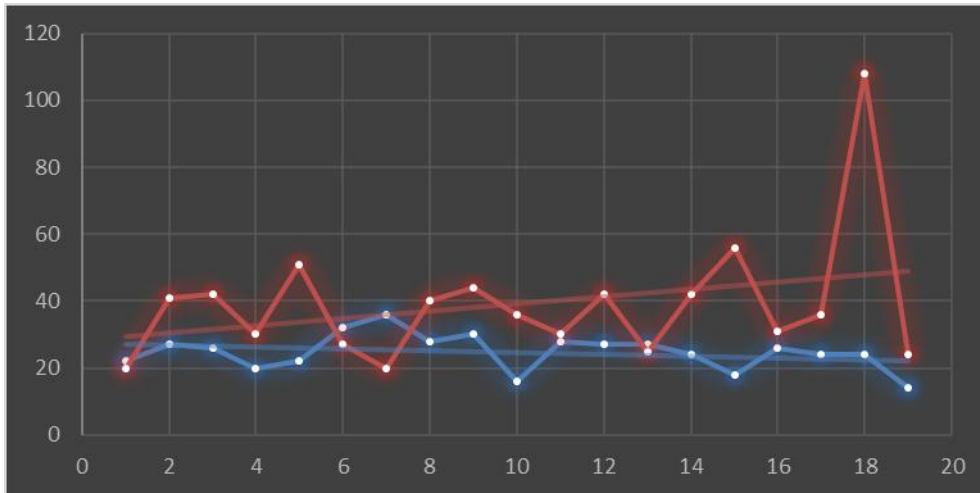
CLASIFICACIÓN EN TIEMPO OK PARA PRODUCTOS				
DIFERENTES MARCAS				
PRODUCTOS	TIEMPOS ANTIGUOS (MIN)	PRE-APROBATORIO (MIN)	NUEVOS TIEMPOS (MIN)	DIFERENCIA
Punta Línea ICP (TOYOTA, CASTROL, REPSOL,SUMAR)	15:00	15:00	15:00	00:00
Premezcla	15:00	15:00	15:00	00:00
Agua Desmineralizada	45:00	15:00	45:00	30:00
Refrigerantes Swissoil	45:00	30:00	45:00	15:00
Refrigerantes Motorex	45:00	30:00	30:00	15:00
Aditivos Combustible	50:00	35:00	35:00	15:00
Motor Castrol, Toyota, Respsol, Sumar	45:00	45:00	45:00	00:00
Motor CVX, SO, MO	45:00	35:00	45:00	10:00
Turbina , Hidráulico	60:00	30:00	30:00	30:00
Engranaje Automotriz , Industrial	45:00	30:00	45:00	15:00
Automatic Transmisión Fluid	45:00	30:00	30:00	15:00
Líquido de Frenos	50:00	50:00	50:00	00:00
Mejoradores de Índice de Viscosidad	80:00	80:00	80:00	00:00
Primer Batch	90:00	90:00	90:00	00:00
Metal Working Oil	140:00	140:00	140:00	00:00

Tabla 2.15 Pruebas eliminadas

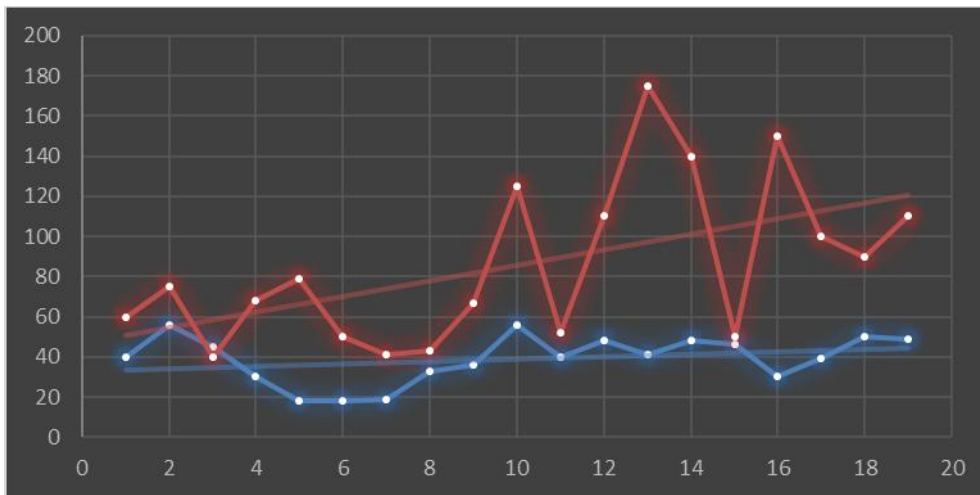
PRE-APROBATORIO	
ADITIVO COMBUSTIBLE	ELIMINAR POUR POINT DE LA RUTINA
Refrigerantes Swissoil	SIN P. EBULLICION, CONTINUAR CON EL RESTO DE ENSAYOS
Motor CVX, SO, MO	USO DE ESPECTROIL
AGUA	CON Ph y PRESION, CONTINUAR CON EL RESTO ENSAYOS
Turbina , Hidráulico	SIN EMULSION, EVALUANDO LA TENDENCIA
Automatic Transmisión Fluid	SIN ESPUMA, CINTINUAR CON EL RESTO DE ENSAYOS
Punta Línea ICP	SE ELIMINO PARA ESTAS MARCAS: Tx - Motorex, Best Power y Swis
* EL RESTO DE ANALISIS SEGUIRAN EL PROCESO	

2.4.2.3 Resultados de la mejora

Se recolectaron tiempos en el mes de enero de los tiempos de laboratorio con el nuevo protocolo de laboratorio, con estos datos se realizó un pronóstico con una función inversa generadora de datos aleatorios con la distribución de los datos tomados; la comparación gráfica y estadística se muestran en las Figuras 2.32, 2.33 y 2.34:



Refrigerante



Aditivo de combustible

ANTES DESPUÉS

Figura 2.32 Proaño D. (Gráfica de líneas menores, 2019), Comparación gráfica del antes y después de los tiempos de laboratorio.

Prueba de $\mu = 72.04$ vs. < 72.04

Variable	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media	Límite superior de 95%	T	P
FOIL ADDITIVE	19	39.05	11.88	2.73	43.78	-12.10	0.000

Aditivo de combustible

Prueba de $\mu = 39.93$ vs. < 39.93

Variable	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media	Límite superior de 95%	T	P
COOLANT	19	25.68	6.19	1.42	28.15	-10.03	0.000

Refrigerante

Figura 2.33 Proaño D. (Datos Estadísticos de Líneas Menores.mpj, 2019), Prueba: “Diferencia de medias”

	PRUEBA DE MEDIAS			
	PROMEDIO ANTES	PROMEDIO DESPUÉS	MENOR	IGUAL
REFRIGERANTE	39.93	25.68	✓	✗
ADITIVO DE COMBUSTIBLE	72.04	39.05	✓	✗

Figura 2.34 Proaño D. (Datos de líneas menores, 2019), Diferencia de medias del antes y después de los tiempos de laboratorio.

El tiempo actual de laboratorio tomado y esperado a futuro es mucho menor que el habitual; se validó utilizando una prueba de medias del programa Minitab17, donde con un valor P de cero para ambas líneas, se aceptó la hipótesis de que “el tiempo actual es mucho menor que el anterior”; además las variaciones de estos tiempos son menores (Desviación, Figura 2.33), esto se debe a que ahora se prioriza las muestras de aditivo de combustible y refrigerante.

Con este resultado se obtuvieron 18 barriles aproximadamente ganados por el tiempo ahorrado en un mes de producción, donde regularmente se planifican 11 días de producción de refrigerante y 8 días de producción de aditivos, fueron de 17, 67 (Tabla 2.16):

Tabla 2.16 Barriles ganados por laboratorio

DÍAS	HORAS	HORAS-HOMBRE	BARRILES
11	2,75	8,25	15,91071
8	2,00	12,00	1,765524
			17,67624

2.4.3 Automatización

En lo relacionado a la automatización, se tomaron las siguientes pautas:

- Disminuir el setup en el área de llenado e instalar las boquillas faltantes; por lo que se comprar boquillas con sensor de caudal y válvulas neumáticas de asiento inclinado (Figura 2.35).
- La compra de una maquina coronadora para realizar el tapado de manera automática (Figura 2.36).

- Programa SCADA (Supervisión, Control y Adquisición de Datos), para controlar y visualizar el estado actual de toda la línea, además de calibrar automáticamente la velocidad de todas las etapas (Figura 2.37).

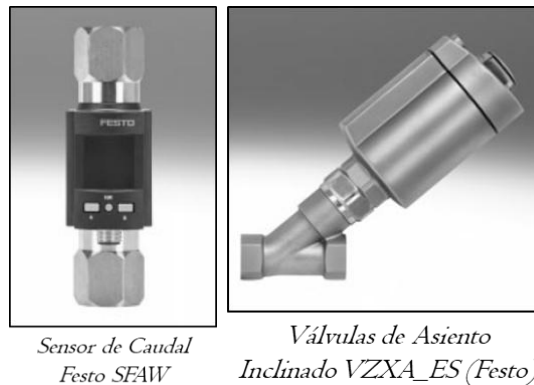


Figura 2.35 Festo. (Catalogo Festo, Edición 2018/04), Sensores y válvulas



Figura 2.36 Festo. (Catalogo Festo, Edición 2018/04), Coronadoras

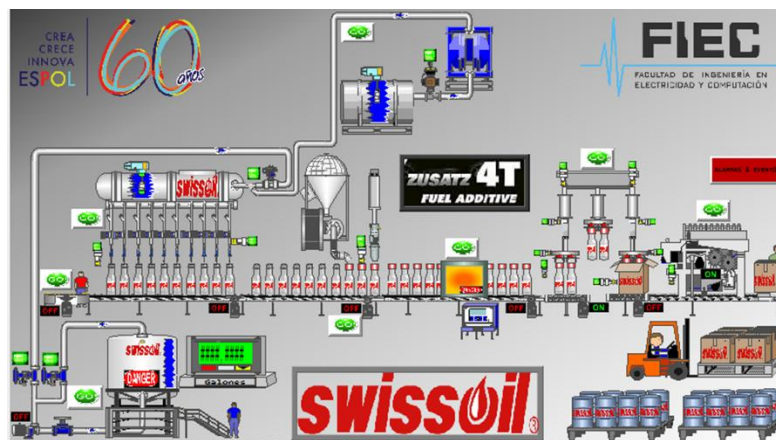


Figura 2.35 Granizo E. y Angamarca S. (SCADA, 2019), Pantalla de inicio de SCADA

2.4.3.1 Resultados automatización

Los barriles ahorrados por la calibración y setup de la línea de llenado es el mostrado en la Tabla 2.17.

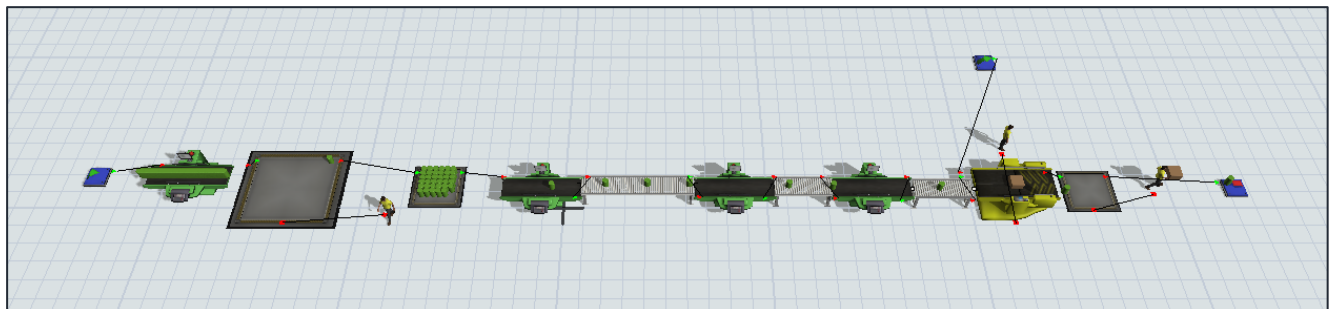
Tabla 2.17 Barriles ganados por setup

	ANTES	DESPUÉS	DIFERENCIA
Set-up	10,00	1,00	9,00
Porcentaje (%)	1,5%	0,15%	1,35%
Horas-Hombre	4,13692329	0,41369233	3,72323
Barriles	0,60865305	0,0608653	0,54778774

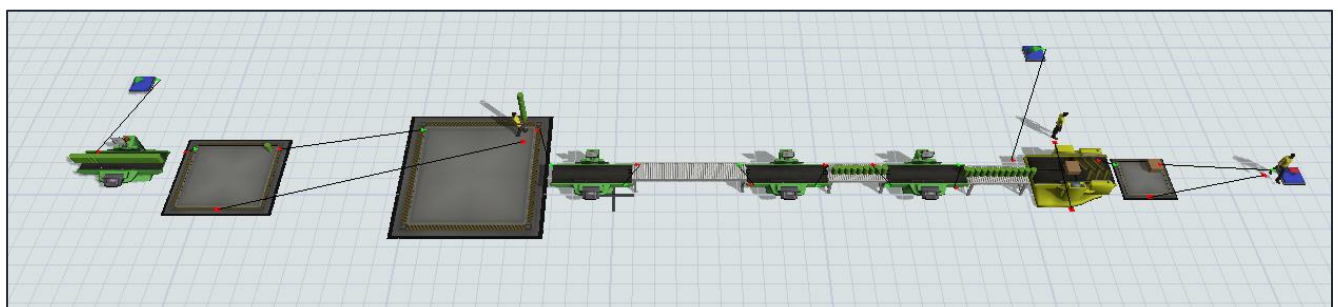
Los demás resultados se deben simular con las otras soluciones implementadas en las líneas.

2.4.4 Simulación

Para poder obtener los barriles reales ganados por el laboratorio y el llenado; y los barriles ganados por la automatización en la fase de tapado, se realizó una simulación del proceso en el programa FlexSim 2019, con la finalidad de obtener la cantidad de barriles reales ganados por las soluciones (Figura 2.36).



Aditivo de combustible



Refrigerante

Figura 2.36 Proaño D. (Mejora de líneas menores.fsm, 2019), Simulación de las mejoras

Se comparó el resultado actual de la simulación y lo presenciado en la actualidad (Tabla 2.18), obteniendo los siguientes barriles ganados.

Tabla 2.18 Barriles ganados simulados

LÍNEA	DÍA DE PRODUCCIÓN			BARRILES GANADOS
	CAJAS ANTES	CAJAS DESPUÉS	CAJAS GANADAS	
REFRIGERANTE	179.0	499.0	320.0	177.1
ADITIVO DE COMBUSTIBLE	117.0	327.0	210.0	28.7

2.4.5 Barriles Ganados

Después de todos los análisis realizados en función de las soluciones propuestas también se agregaron otras pequeñas soluciones realizadas por los jefes del proyecto de la compañía, tales como:

- Priorización de muestras de las líneas de refrigerante, líquido de frenos y aditivo.
- Programación adecuada de las reuniones y tiempos de break
- Entrada y salida una hora después de una ingeniera de laboratorio
- Rediseño del envase

Con estas soluciones adicionales implementadas o en proceso de implementación, se obtuvo la siguiente cantidad de barriles ganados (Tabla 2.19):

Tabla 2.19 Barriles ganados en total

LÍNEA	DATOS MENSUALES			PRODUCTIVIDAD
	BARRILES SIMULADOS	BARRILES DE OTRAS SOLUCIONES	BARRILES GANADOS	
REFRIGERANTE	177.1	108.0	285.1	5.86
ADITIVO DE COMBUSTIBLE	28.7	17.7	46.3	0.68

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS

3.1 Productividad

Con el resultado del capítulo anterior podemos calcular la nueva productividad de cada una de las líneas después de la implementación de las soluciones (Figura 3.1)

LÍNEA	DATOS MENSUALES			PRODUCTIVIDAD
	BARRILES SIMULADOS	BARRILES DE OTRAS SOLUCIONES	BARRILES GANADOS	
REFRIGERANTE	177.1	108.0	285.1	5.86
ADITIVO DE COMBUSTIBLE	28.7	17.7	46.3	0.68

Figura 3.1 Proaño D. (Datos de líneas menores, 2019), Productividad obtenida

En función de nuestros objetivos iniciales en donde la línea de refrigerantes tenía que alcanzar una productividad de 3.25, se pudo superar esa expectativa; mientras que, en la línea de aditivos, solo se pudo llegar a la productividad de 0,68 (Figura 3.2)

Estos resultados fueron aceptados con éxito por la gerencia de la compañía, ya que aún existen algunas soluciones a implementar y se espera que con ellas se alcance ese porcentaje adicional requerido.

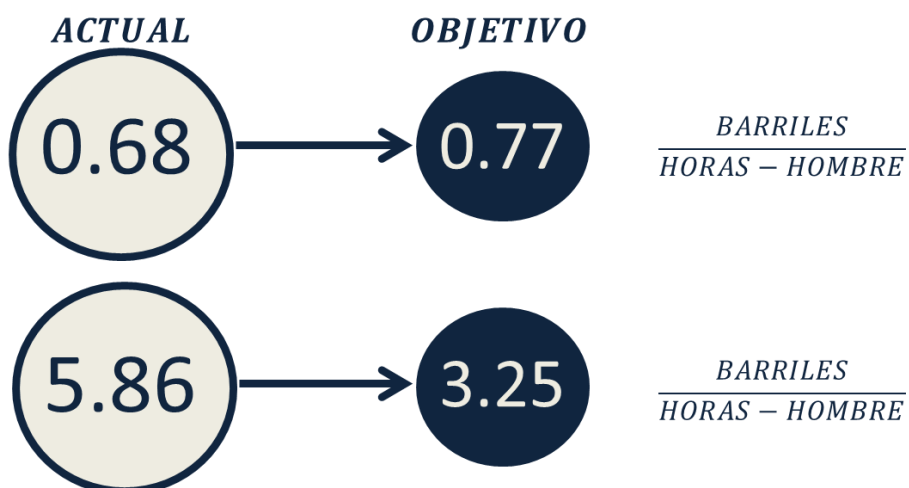


Figura 3.2 Proaño D. (Datos de líneas menores, 2019), Productividad actual vs objetiva

3.2 Análisis Financiero

Para obtener la rentabilidad de las soluciones, se cotizaron los costos de las máquinas y se agregaron los datos de costos obtenidos en el capítulo 2 en la figura 2.9; con la finalidad de calcular la Inversión a realizarse (Figura 3.3), la cual llega a una cifra de \$42.581,70 dólares.

Pero con los barriles ganados y las personas utilizadas en otras áreas se calcularon también los beneficios mensuales que obtendremos por tales implementaciones, las que ascienden a \$28.859,21 dólares (Figura 3.4).

LÍNEA	COSTOS				INVERSIÓN
	LLENADO	TAPADO	AUTOMATIZACIÓN	OTRAS SOLUCIONES	
ADITIVO DE COMBUSTIBLE	\$ 20,500.00	\$ 8,511.70	\$ 29,011.70	\$ 5,980.00	\$ 42,581.70
REFRIGERANTE	\$ 1,610.00	\$ -	\$ 1,610.00	\$ 5,980.00	
			\$ 30,621.70	\$ 11,960.00	

Figura 3.3 Proaño D. (Datos de líneas menores, 2019), Costos de las soluciones

LÍNEA	BENEFICIO						TOTAL AL MES
	CAJAS GANADAS	COSTO POR CAJA	CAJAS	PERSONAL	OTROS	TOTAL DIARIO	
ADITIVO DE COMBUSTIBLE (355 ml 12 UNID)	210	\$ 10.00	\$ 2,100.00	\$ 120.00	\$ -	\$ 2,220.00	\$ 11,100.00
REFRIGERANTE (CUARTO 8 UNID)	320	\$ 4.40	\$ 1,408.00	\$ 40.00	\$ 31.93	\$ 1,479.93	\$ 17,759.21
							\$ 28,859.21

Figura 3.4 Proaño D. (Datos de líneas menores, 2019), Beneficios de las soluciones

Se realizaron los flujos de caja correspondientes en un periodo de un año de funcionamiento de las soluciones, donde inicia con una fuerte inversión y mensualmente se incurre en un gasto de mantenimiento de las máquinas compradas, pero con un beneficio constante durante el periodo de tiempo analizado (Figura 3.5).

Se obtuvo un VAN de \$ 1'453.254, la cual es mayor a cero y por lo tanto es una buena inversión pensando en el retorno futuro; y una TIR de 66.73%, la cual supera la establecida por la empresa de 10% (Figura 3.6).

MES	EGRESOS	INGRESOS	FLUJO DE CAJA
0	-\$ 42,581.70		-\$ 42,581.70
1	-\$ 120.00	\$ 28,859.21	-\$ 13,842.49
2	-\$ 120.00	\$ 28,859.21	\$ 14,896.72
3	-\$ 120.00	\$ 28,859.21	\$ 43,635.92
4	-\$ 120.00	\$ 28,859.21	\$ 72,375.13
5	-\$ 120.00	\$ 28,859.21	\$ 101,114.34
6	-\$ 120.00	\$ 28,859.21	\$ 129,853.55
7	-\$ 120.00	\$ 28,859.21	\$ 158,592.76
8	-\$ 120.00	\$ 28,859.21	\$ 187,331.97
9	-\$ 120.00	\$ 28,859.21	\$ 216,071.17
10	-\$ 120.00	\$ 28,859.21	\$ 244,810.38
11	-\$ 120.00	\$ 28,859.21	\$ 273,549.59
12	-\$ 120.00	\$ 28,859.21	\$ 302,288.80

Figura 3.5 Proaño D. (Datos de líneas menores, 2019), Flujo de caja (1 año)

VAN	\$1,453,254
TIR	66.73%

Figura 3.6 Proaño D. (Datos de líneas menores, 2019), VAN y TIR

El proyecto es muy rentable; por lo tanto, en el futuro, el cliente pretende replicar esta metodología en otras líneas, utilizando la misma metodología de trabajo y el mismo pensamiento crítico.

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- Fue posible aumentar la productividad a 0,68 y 5,86 en las líneas de aditivos y refrigerantes, respectivamente, superando las expectativas del cliente.
- Con un VAN de \$ 1'453.254 y una TIR de 66.73%; El proyecto es muy rentable; por lo tanto, en el futuro, el cliente pretende replicar esta metodología en otras líneas.
- La automatización de las actividades manuales aumentará significativamente la productividad, sin embargo, primero se deben hacer otras soluciones para tener el impacto deseado.
- La productividad esperada por las primeras soluciones excede las expectativas del cliente, y aunque la real disminuye un poco, las otras soluciones compensarán esta fluctuación.

4.2 Recomendaciones

- Para hacer la herramienta de 5 ¿Por qué?, debería reunirse una vez con todas las personas involucradas, si se hace individualmente en cada área, las causas principales pueden aumentar o cambiar.
- Durante el cálculo de costos, es mejor dividir las fases que serán utilizadas por el personal de planta y administrativo, para estimar un costo más real del uso del personal durante la implementación de la solución.
- Las mejores soluciones no siempre son metodologías de ingeniería, por lo que es bueno escuchar la solución de los operadores, gerentes de línea y supervisor.

BIBLIOGRAFÍA

- La rentabilidad a través de la excelencia. (2017/01). DMAIC: Las 5 fases del proceso productivo, de Arrizabalagauriarte Consulting web: <http://arrizabalagauriarte.com/dmaic-las-5-fases-del-proceso-implementacion-six-sigma/>
- SwissOil. Tipos de refrigerantes y aditivos de combustible. (2018/10). Catalogo y especificaciones de productos automotrices, de SwissOil web: <http://www.swissoil.com.ec/index.php/refrigerantes>
- Catalogo Festo. (2018). Guía de productos para automatización de procesos. Edición 2018/04, de Festo Sitio web: https://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/464883/ProductOverview-Process_engineering_es_140625_low.pdf
- Blank L., Tarquin A. (2012). Ingeniería Económica, Séptima Edición. México: McGraw-Hill/ Interamericana Editores.
- Frederick S. Hiller and Gerald J. Lieberman. (2010). Introduction to operations research (9th Edition). México: The McGraw-Hill Companies, Inc.
- "Megaprojects: Building Infrastructure by Fostering Engineering Collaboration, Efficient and Effective Integration and Innovative Planning" July 23 - 27, 2012 Panama City, Panama.

