

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

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

Reducción de la Sobredosificación en la Línea de Llenado de una empresa
de productos lácteos

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingenieros Industriales

Presentado por:

Mishelle Allison Romero Vera
Robinson Julián Guerrero Quinde

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2020

DEDICATORIA

Al ingeniero Jaime Macías por compartir su pasión por la carrera mediante sus clases y valiosos consejos.

A la ingeniera María Denise Rodríguez por su tiempo, apoyo y por supuesto por ser el ejemplo de mujer que puede desenvolverse eficientemente como madre, esposa y profesional.

Al Ph.D. Marcos Buestán por su constante predisposición, guía e invaluable apoyo durante la realización de este trabajo.

AGRADECIMIENTOS

Una oportunidad más para agradecerle a la persona que lo dio todo por mí, Jesús, por cumplir el deseo de mi corazón con este logro.

Al par de personas que, sin importar sus defectos, han sido mi ejemplo a seguir desde mis primeros pasos, mis padres.

A mi hermana por ser un referente para mi vida como mujer y profesional.

A mis amigos que desde el colegio y universidad me alentaron a continuar y aprender de mis errores.

Mishelle Romero Vera

AGRADECIMIENTOS

Mi más sincero agradecimiento a Dios por darnos la oportunidad de crecer en todas las áreas mientras ayudamos a otros en el camino.

A mis padres por el apoyo incondicional en todo aspecto de mi vida.

A mis familiares y amigos por estar conmigo en los momentos alegres como difíciles y ayudarme a ver lo bueno en las situaciones diarias.

A mis compañeros de trabajo, con especial agradecimientos a mis jefes que me han dado la oportunidad de desarrollarme profesionalmente.

A mis profesores por su milla extra en la enseñanza y orientación.


Robinson Guerrero Quinde

DECLARACIÓN EXPRESA

"Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Mishelle Allison Romero Vera* y *Robinson Julián Guerrero Quinde* damos nuestro 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".



Mishelle Allison Romero
Vera



Robinson Julián
Guerrero Quinde

EVALUADORES



Firmado electrónicamente por:
MARCOS NICOLAJEEF
BUESTAN BENAVIDES

Marcos Buestán B., Ph.D.

PROFESOR DE LA MATERIA

TUTOR

RESUMEN

Este proyecto se centra en la línea de llenado de botellas de una empresa de productos lácteos, en la cual se presenta un nivel elevado de sobredosificación que a su vez produce pérdidas económicas, problemas de inocuidad alimentaria, insatisfacción laboral, entre otras. Para el desarrollo de este proyecto se implementó la metodología DMAIC y como resultado de sus etapas iniciales se halló que dos formatos representaban el 70% de la sobredosificación anual, que fueron el enfoque de los esfuerzos realizados. Del análisis de causas en estos dos formatos se encontró que dos parámetros operacionales necesitaban ser definidos y estandarizados, para lo que se realizó un diseño factorial 2^2 para encontrar la configuración que minimice el porcentaje de sobredosificación de ambos formatos por separado. De esta forma, se determinaron los niveles de los dos factores operacionales de la calibración de las llenadoras para el inicio del llenado de cada formato. Además, controlando visual y estadísticamente el proceso, se conseguiría reducir el porcentaje de sobredosificación anual total de 2.12% a 1.27%, ahorrando un total de 58 530 kg, reduciendo un total de 86 845 kg al año, lo cual representa un ahorro monetario de aproximadamente \$40 000.

Palabras Clave: Sobredosificación, DMAIC, diseño factorial, parámetros operacionales.

ABSTRACT

This project is centered in a bottle filling line of a milk products company, where there is a high level of overdose, which produces economic losses, food safety issues, work dissatisfaction, etc. To develop this project, DMAIC methodology was implemented, and it was found that two formats represent 70% of annual total overdose as result of initial stages, those were project focused. From causes analysis of both formats, it was found that two operational parameters needed to be defined and standardized, thus, a factorial design 2^2 for both formats to find the combination of factors that minimize overdose percentage. Thereby, levels of filling calibration operational factors were determined, which should begin operations of each format with. Also, controlling visual and statistically filling process, it is possible to achieve reducing overdose percentage from 2.12% to 1.27%, saving 58 530 kg overdosed in focused formats, reducing 86 845 kg annually at all, which means monetary saving of about \$40 000.

Keywords: Overdose, DMAIC, factorial design, operational parameters.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	I
ABSTRACT	II
ÍNDICE GENERAL	III
ABREVIATURAS.....	V
SIMBOLOGÍA.....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	VII
ÍNDICE DE TABLAS.....	VIII
CAPÍTULO 1	1
1. Introducción	1
1.1 Descripción del problema.....	1
1.1.1 Variable de Interés	3
1.1.2 Alcance.....	5
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
1.4.1 Metodología DMAIC	6
1.4.2 Diagrama SIPOC.....	8
1.4.3 Diagrama de Pareto	8
1.4.4 Diagrama OTIDA.....	9
1.4.5 Diseño de experimentos.....	9
1.4.6 Diseño factorial.....	10

CAPÍTULO 2	11
2. Metodología.....	11
2.1 Medición.....	11
2.1.1 Plan de Recolección de Datos	11
2.1.2 Confiabilidad de Datos	12
2.1.3 Estratificación	13
2.1.4 Mapeo del Proceso	18
2.1.5 Análisis de estabilidad y de capacidad del proceso de llenado	20
2.2 Análisis	23
2.2.1 Análisis de Causas.....	23
2.2.2 Verificación de Causas.....	27
2.2.3 Determinación de Causas Raíz.....	27
2.3 Mejoras	29
2.3.1 Lluvia de ideas	29
2.3.2 Matriz Impacto - Esfuerzo.....	29
2.4 Plan de Implementación	30
2.5 Control	31
CAPÍTULO 3	34
3. Resultados y Análisis	34
CAPÍTULO 4	39
4. Conclusiones y Recomendaciones.....	39
4.1 Conclusiones	39
4.2 Recomendaciones	39
BIBLIOGRAFÍA	
APÉNDICES	

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
VOC	Voice Of Customer
CTQ	Critical To Quality
ANOVA	Análisis de Varianza

SIMBOLOGÍA

DMAIC	Metodología Definir-Medir-Analizar-Mejorar-Controlar
SIPOC	Proveedor-Entrada-Proceso-Salida-Consumidor
Kg	Kilogramos
G	Gramos
OTIDA	Operación-Inspección-Transporte-Demora-Almacenamiento
mm	Milímetros
s	Segundos

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Porcentaje de sobredosificación del proceso de llenado.....	2
Figura 1.2 Árbol de Variables Críticas (CTQ).	4
Figura 1.3 Diagrama SIPOC del proceso de elaboración y envasado de yogur.....	5
Figura 2.1 Certificado de Calibración de la balanza digital.....	12
Figura 2.2 Formato de Prueba de Verificación de Pesos.	12
Figura 2.3 Resultados del ANOVA del factor operador.	13
Figura 2.4 Gráfica de intervalos del porcentaje de sobredosificación por operador.	14
Figura 2.5 Resultados del ANOVA del factor máquina.....	15
Figura 2.6 Gráfica de intervalos del porcentaje de sobredosificación por máquina.....	16
Figura 2.7 Gráfico de Pareto de Kilos Sobredosificados al Año por Formato.....	17
Figura 2.8 Diagrama OTIDA de Calibración de máquina llenadora.....	19
Figura 2.9 Diagrama OTIDA de Llenado.	20
Figura 2.10 Prueba de normalidad del porcentaje de sobredosificación de 1750 g.	21
Figura 2.11 Prueba de normalidad del porcentaje de sobredosificación de 3700 g.	21
Figura 2.12 Gráfica de control Xbarra-S del formato 1750 g.	22
Figura 2.13 Gráfica de control Xbarra-S del formato 3700 g.	22
Figura 2.14 Análisis de capacidad del proceso del formato 1750 g.....	23
Figura 2.15 Análisis de capacidad del proceso del formato 1750 g.....	23
Figura 2.16 Lluvia de ideas para la sobredosificación en 1750 g.	24
Figura 2.17 Lluvia de ideas para la sobredosificación en 3700 g.	25
Figura 2.18 Relaciones de soluciones con causas raíz.....	29
Figura 2.19 Matriz Impacto - Esfuerzo de posibles soluciones.....	30
Figura 2.20 Gráfica de control comparativa Xbarra-S de 1750 g.....	32
Figura 2.21 Gráfica de control comparativa Xbarra-S de 3700 g.....	32
Figura 3.1 Resultados de diseño factorial para formato de 3700 g.	34
Figura 3.2 Gráfica de Interacción para formato de 3700 g.	34
Figura 3.3 Resultados de diseño factorial para formato de 1750 g.	35
Figura 3.4 Gráfica de Interacción para formato de 1750 g.	35
Figura 3.5 Comparativo del Análisis de capacidad del formato 1750 g.	36
Figura 3.6 Comparativo del Análisis de capacidad del formato 3700 g.	37

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Plan de Recolección de datos.	11
Tabla 2.2 Kilos perdidos anuales por la sobredosificación.	16
Tabla 2.3 Criterios de calificación de matriz causa y efecto.	25
Tabla 2.4 Matriz Causa – Efecto.	26
Tabla 2.5 Plan de Verificación de Causas.	27
Tabla 2.6 Análisis de los 5 Porqués para la sobredosificación en formato 3700 g.	28
Tabla 2.7 Análisis de los 5 Porqués para la sobredosificación en formato 1750 g.	28
Tabla 2.8 Plan de Implementación.	30
Tabla 2.9 Diseño Factorial para formato de 1750 g.	31
Tabla 2.10 Diseño Factorial para formato de 3700 g.	31
Tabla 3.1 Resultados del Diseño Factorial de ambos formatos.	36
Tabla 3.2 Frecuencias relativas de los formatos 1750g y 3700g.	37
Tabla 3.3 Comparación de kilogramos sobredosificados.	38
Tabla 3.4 Variación del cumplimiento del plan de producción.	38

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

El proyecto actual se ha enfocado en una empresa ecuatoriana dedicada a la elaboración de productos lácteos, la cual consta de una planta de manufactura ubicada en la ciudad de Guayaquil, donde se llevan a cabo sus actividades de tratamiento de leche, preparación del yogurt, envasado y empacado del producto final. Luego de esto, el producto es vendido al distribuidor quien se encarga de moverlo hacia el consumidor final por medio de dos canales de distribución, el primero y mayoritario es la venta a supermercados y la segunda a tiendas minoristas. Dentro de tres líneas de llenado se ha encontrado una particularidad que le ha dado una gran flexibilidad de producción, pero colateralmente ha estado ocasionando pérdidas económicas a la empresa. Explicándolo ampliamente, la empresa cuenta con máquinas llenadoras que originalmente son para productos líquidos de baja viscosidad, esto en primer lugar, le ha dado la capacidad de aumentar las presentaciones de productos bajo el uso de las mismas líneas de llenado, es decir, no tienen la necesidad de adquirir maquinarias especializadas para cada tipo de formato, algo que es común en máquinas de llenado volumétrico, sino que usan las mismas máquinas para la producción de todos los formatos disponibles a la venta, pero a su vez, dado que el proceso de llenado no es por volumen sino por nivel, el contenido neto declarado no se logra reflejar con mayor precisión en el producto final, lo que produce que ciertos envases presenten un contenido líquido mayor a otros sin control alguno, denominado “sobredosificación”. Esta problemática, se ha percibido con mayor repercusión durante los últimos años, provocando preocupación sobre el verdadero impacto que tiene en la economía actual y futura de la empresa, por lo cual surge la necesidad de este proyecto de grado que busca analizar con conocimientos ingenieriles y proponer mejoras factibles y rentables.

1.1 Descripción del problema

Teniendo presente que, la empresa controla el porcentaje de sobredosificación de sus productos envasados en botellas se ha realizado un análisis de este indicador considerando varias muestras de los formatos que comercializa, de lo que se

obtiene como resultado que el porcentaje promedio de sobredosificación es 3.6 % y se encuentra por encima del porcentaje permitido por la empresa, que es máximo el 1 %, tal como se muestra en la Figura 1.1.

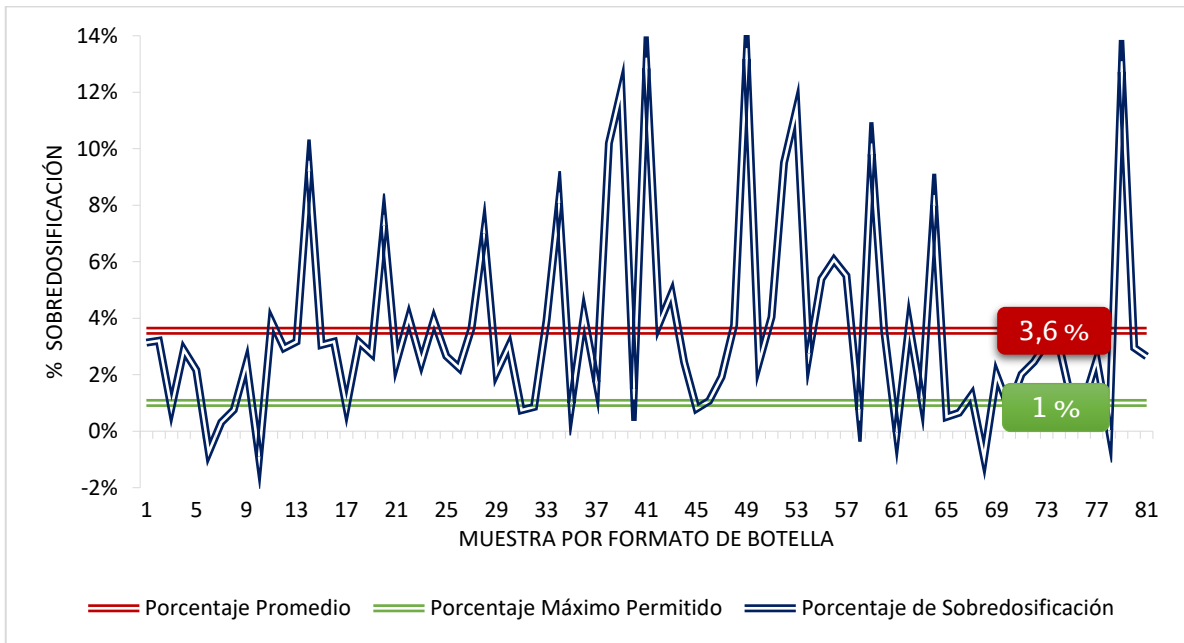


Figura 1.1 Porcentaje de sobredosificación del proceso de llenado. [Fuente: Elaboración propia]

Por otra parte, se determinan los porcentajes de sobredosificación por formato y, con datos históricos de las ventas anuales de cada uno en kilogramos, se calcula la cantidad de kilogramos sobredosificados. Finalmente, la relación entre el total de kilogramos sobredosificados y el total de kilogramos vendidos será el porcentaje de sobredosificación al año. Con esto, se calcula que durante el último año, se obtuvo 2.12% de sobredosificación.

De esta manera, se ha identificado que además de las pérdidas económicas que generan estos niveles de sobredosificación, hay impactos negativos en áreas subyacentes como la de planificación que recalca que hay incumplimientos al plan de producción causando altas variaciones entre el inventario proyectado y el producido durante la semana. Es por ello que la empresa se ve en el menester de atacar este problema que se expresa de la siguiente manera:

“En la línea de envasado de productos lácteos se ha detectado un elevado porcentaje de sobredosificación hasta octubre del 2020, alcanzando un 3.6% en promedio, mientras que el porcentaje máximo permitido por la empresa es de 1%”.

1.1.1 Variable de Interés

Para poder aterrizar las necesidades de los clientes a aspectos técnicos, fue necesario el uso de herramientas como La Voz Del Cliente, para esto, se realizaron múltiples entrevistas a los clientes internos de la empresa y que se relacionaban de alguna forma con el proceso de llenado de botellas. (Sokovic, D.Pavletic, & Pipan, 2010)

Antes es necesario explicar ampliamente el problema entorno a la sobredosificación de botellas de yogurt. En primer lugar, en un mundo ideal donde el contenido declarado en el envase es el contenido dosificado en el mismo, con 6 kilogramos de yogurt se planifica producir 6 botellas de 1 kilogramo, pero, con el problema existente, cada botella es dosificada con 1,2 kg, lo que provoca que al final de la línea sólo se produzcan 5 botellas. Es necesario recalcar que lo anteriormente mencionado es un ejemplo referencial para ampliar el panorama de la problemática. En otro ámbito, las máquinas llenadoras con las que se cuenta son llenadoras de líquidos no pastosos, es decir, que no son las adecuadas para el producto líquido que se envasa, esto explica porqué el inyector/pistón quede goteando después de inyectar producto dentro de los envases, lo cual a su vez produce que algunas de esas gotas se viertan en el cuello de las botellas ya llenadas y al ser tapadas posteriormente, genera un potencial de problemas de inocuidad alimentaria.

El planificador de producción indicó que es usual que el plan no se cumpla eficientemente, por lo cual debe realizar muchos cambios a un plan ya finalizado, por otro lado, también mencionó su preocupación por las horas extras y costos altos relacionados al no cumplimiento del plan de producción. El Jefe de Producción a su vez comentó la necesidad que tiene la empresa de cumplir con la Norma INEN OIML R87 sobre el contenido neto, minimizar el margen de error

de sobredosificación y los desperdicios. Los operarios comentaron que dedican demasiado tiempo al hacer cambio de formato y que tienen problemas de limpieza. La Coordinadora de Calidad mencionó su deseo de reducir la sobredosificación para reducir los problemas de inocuidad, además de comentar que al igual que los demás, desea cumplir con el contenido neto declarado. Finalmente, la Gerente de Fábrica desea reducir la variabilidad del proceso y los costos relacionado con la sobredosificación.

Luego de recolectar los requerimientos, se utilizó la herramienta de Árbol de Variables Críticas, con el cual se plasmaron las necesidades simplificadas a requerimientos técnicos y estos a su vez a métricas medibles, como se muestra en la Figura 1.2:

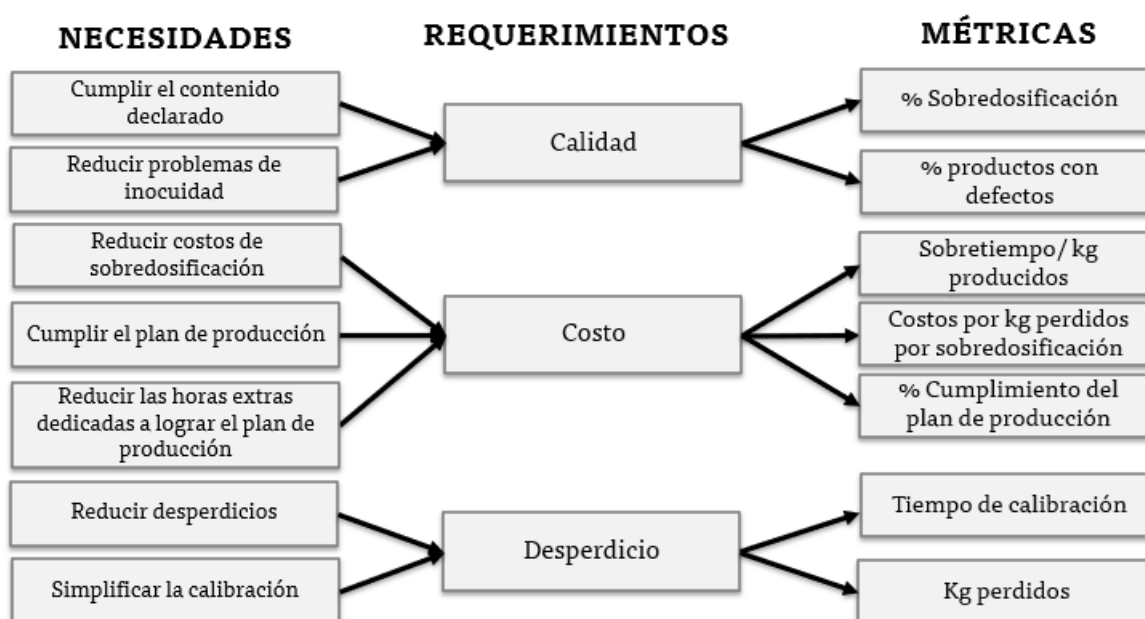


Figura 1.2 Árbol de Variables Críticas (CTQ). [Fuente: Elaboración propia]

Se analizaron todas las métricas halladas para determinar la variable de respuesta o de interés del presente proyecto, que en este caso es el porcentaje de sobredosificación medido como lo muestra la ecuación 1.1:

$$\text{Porcentaje de Sobredosificación} = \frac{\text{Contenido Real (g)} - \text{Contenido Declarado (g)}}{\text{Contenido Declarado (g)}} (1.1)$$

1.1.2 Alcance

Para entender el alcance del proyecto se ha realizado un diagrama SIPOC mostrado en la Figura 1.3. La materia prima principal es la leche y el primer proceso que se le realiza es la estandarización. Luego, esta leche es mezclada con ciertos insumos alimenticios para ser fermentada por bacterias que genera ácido láctico a partir de la transformación de la lactosa. De esta manera, una vez que la leche se ha transformado en yogur se agregan los saborizantes y las jaleas respectivas. Como salidas de este proceso se tiene el yogur preparado listo para envasar y una cantidad de merma. Por otra parte, se etiquetan las botellas antes del envasado, donde se tiene como entradas además de las botellas etiquetadas y el yogur, el operador y la configuración manual que realiza. Luego se tiene el proceso de tapado manual y encartonado, de los cuales sus principales salidas son el producto y la información de retroalimentación del plan de producción. Por lo tanto, el alcance del proyecto está en los procesos de preparación del yogurt y envasado.



Figura 1.3 Diagrama SIPOC del proceso de elaboración y envasado de yogurt. [Fuente: Elaboración propia]

1.1.3 Restricciones

Ahora bien, las restricciones que se han levantado en el proyecto son diseño del envase, la calibración manual y el tipo de máquina. El diseño del envase porque los envases ya están definidos y sus dimensiones físicas impactan sobre el nivel

de llenado. Además, debido a que el envase es transparente, su nivel de llenado puede generar una mala percepción y experiencia del consumidor.

En cuanto a la calibración manual, se configura varios parámetros en la máquina de envasado antes y durante el llenado. Y como se ha mencionado este tipo de máquina usa como referencia de llenado el nivel, de tal manera que en algunos formatos se pueden rebosar los envases.

1.2 Justificación del problema

La sobredosificación en una línea de envasado genera pérdidas económicas, obteniendo un producto con un mayor costo de transformación debido al consumo innecesario de materiales por un mismo valor de parte del cliente. De igual manera, las variaciones en la cantidad de producto que se envasa provocan incumplimientos en el plan de producción, lo que a su vez ocasiona diferencias mayores entre el nivel de inventario proyectado y los inventarios reales.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Reducir el porcentaje de sobredosificación en la línea de envasado de noviembre del 2020 a enero del 2021, en un 50% de la diferencia entre el límite máximo y el real, de 2,12% a 1,56%.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Reducir la variabilidad del proceso de envasado para asegurar el cumplimiento de normativa.
- Incrementar el cumplimiento del plan de producción.
- Reducir los kilogramos perdidos generados por la sobredosificación.

1.4 Marco teórico

1.4.1 Metodología DMAIC

Como parte integral de Six Sigma, la metodología DMAIC propone un marco robusto para el desarrollo de proyectos orientado al cliente y enfocada en los

procesos, donde es necesario definir su proceso para poder medirlo. (Sokovic, D.Pavletic, & Pipan, 2010)

Es un método de resolución de problemas estructurado, consta de 5 fases (Definición, Medición, Análisis, Mejora, Control), donde cada una se construye a partir de la anterior, con la meta de implementar soluciones a largo plazo de problemas complejos. (Berardinelli, 2012)

- **Definición:** se selecciona de manera adecuada el enfoque del proyecto, se lo delimita y se establecen las bases para conseguir el éxito de este. Se consigue definir el objetivo, el alcance, la forma en la que se medirá el éxito como sus beneficios, además de determinar las personas que formarán parte del desenvolvimiento de todo el proyecto. (Palacios & Soler, 2018)
- **Medición:** el objetivo de esta fase es cuantificar y entender el problema a tratar. Es por esto, que se necesita diagramar el proceso involucrado a detalle, visualizar los flujos, tareas que no están definidas dentro de los procedimientos de la empresa y que podrían tener un impacto representativo del problema. Aquí se mide la línea base para entender la situación de arranque del proyecto. La clave es entender perfectamente cómo funciona el proceso tratado al detalle, como los obstáculos, restricciones, decisiones involucradas, entre otros, ya que esto puede ser información relevante para las siguientes fases. (León & Ferreiro, 2020)
- **Análisis:** en esta fase se enfoca en encontrar las causas raíz del problema de manera subjetiva con ayuda del personal involucrado o experto del proceso para ser validado y verificado mediante el uso de herramientas estadísticas. Las más comunes son la lluvia de ideas, diagrama de Ishikawa, matriz causa-efecto, plan de verificación de causas donde se usan diversas pruebas estadísticas dependiendo del contexto y naturaleza de los datos, técnica de 5 porqués, entre otras. Esta fase es crítica ya que la correcta identificación de aquello que es necesario mejorar es clave para el desarrollo de un proyecto de mejora continua. (León & Ferreiro, 2020)
- **Mejora:** aquí se proponen y se implementan soluciones que respondan o ataquen directamente a las causas raíz para así resolver el problema. Entre

las herramientas usualmente aplicadas están la lluvia de ideas, diseño de experimentos, poka-yoke, etc.

- Control: fase final donde se enfocan los esfuerzos en mantener las mejoras obtenidas en la fase anterior, por lo cual se requiere el involucramiento y compromiso por parte del personal experto del proceso y administrativo. El objetivo es prevenir el problema original, mantener la mejora continua y evitar que se olviden las mejoras implementadas. (Navarro, Gisbert, & Pérez, 2017)

Una parte importante de la aplicación de esta metodología es la documentación y divulgación del proyecto, donde se deben exponer los cambios y ganancias más relevantes, el impacto y aprendizajes obtenidos durante su desarrollo. (Pulido, 2010)

1.4.2 Diagrama SIPOC

El diagrama de proceso SIPOC tiene como principal objetivo analizar un proceso y su ambiente. El nombre de este diagrama proviene de un acrónimo en inglés creado por las palabras suppliers, inputs, process, outputs and customers. De esta manera, lo que se identifica en este diagrama son los procesos, sus entradas y sus respectivos proveedores; por otra parte, las salidas de estos procesos y cuáles son sus clientes. (Gutierrez & De la Vara, 2009)

Ahora bien, es importante señalar que las entradas y salidas de los procesos no sólo hacen referencia a materiales que se mueven dentro del sistema productivo o del servicio; sino que también involucra a la información relacionada a estos procesos. Por ejemplo, entre las entradas de un proceso pueden estar los procedimientos del proceso a desarrollar y en cambio, entre las salidas se encuentran la documentación y ciertos resultados que son registrados del proceso. (Gutierrez & De la Vara, 2009)

1.4.3 Diagrama de Pareto

Es una herramienta gráfica en la que se representa un principio observado por Vilfredo Pareto y luego generalizado por Joseph Juran. Se ha considerado que

este principio puede verse aplicado en la mayoría de las situaciones cotidianas e implica el concepto de las muchas triviales y de las pocas vitales. En otras palabras, el principio explica que las cosas tienen diferentes pesos sobre un determinado efecto (y/o problema) y que se puede priorizar los esfuerzos según oportunidades significativas que permiten mayores beneficios. (Gupta, 2015)

1.4.4 Diagrama OTIDA

El diagrama OTIDA también ha sido conocido como diagrama de flujo del proceso y es utilizado especialmente para representar los costos no productivos de un proceso, entre los que se encuentran los retrasos, las distancias que se recorren y los almacenamientos provisionales. En el diagrama de flujo del proceso se utiliza el círculo para las operaciones, el rectángulo para las inspecciones, una flecha para los transportes, una D para los retrasos y un triángulo para el almacenamiento. (Niebel & Freivalds, 2009)

En la actualidad hay dos tipos de diagramas de flujo que se usan: el de materiales o productos y el operativo o de personas. En el diagrama de producto se registran los sucesos implicados en su realización. Por otra parte, en el diagrama de flujo operativo representa a detalle la secuencia de operaciones que lleva a cabo una persona. (Niebel & Freivalds, 2009)

1.4.5 Diseño de experimentos

Es el conjunto de técnicas usadas en la planeación y realización de una serie de pruebas para obtener datos que, luego de obtenidos son analizados estadísticamente y proveen conclusiones objetivas que respondan a interrogantes estadísticamente para responder interrogantes planteadas inicialmente por el experimentador, con las cuales cual debe resolver problemas originales o proponer mejoras al proceso analizado. Esta resulta la mejor la forma más eficaz para realizar pruebas, ya que por medio de este se manipula el proceso con el fin de obtener información útil. Dentro de los problemas más comunes están reducir tiempos de ciclos de procesos, comparar dos productos para elegir el mejor, encontrar los factores que impactan una característica en específico, hallar las

condiciones ideales de operación para mejorar calidad, desempeño o reducir defectos, generar más robustez a un proceso ante variables externas como las ambientales. (Gutiérrez Pulido & De La Vara Salazar, 2012)

Para la aplicación adecuada del método científico por medio de pruebas planteadas o también llamado diseño de experimentos, es necesario definir la característica del producto cuyo valor es de interés, a esto se le denomina variable de respuesta. Por otro lado, existen dos tipos de factores dentro del proceso o sistema que fluctúan, los factores controlables y no controlables. Los primeros son aquellas variables o características que se pueden manipular en un nivel determinado de operación, con estos se realiza el experimento para obtener respuestas a la problemática original. Los factores no controlables son aquellas sobre las cuales no se pueden llevar control durante la experimentación, estos suelen ser factores ambientales como la temperatura, luz, ruido, el ánimo de operarios, calidad de la materia prima, entre otros. Por esto, los factores a estudiar en un diseño de experimentos son aquellos a los cuales se desea investigar su efecto en la variable de respuesta. A cada factor se le asignan distintos valores o más conocidos como niveles. La combinación de los factores estudiados se conoce como tratamiento o punto de diseño.

1.4.6 Diseño factorial

Este tipo de experimento es más eficiente para estudiar el efecto de dos o más factores en un proceso. Consiste que en cada réplica del experimento se indaga sobre todas las posibles combinaciones de los niveles de los factores. El efecto de un factor se puede apreciar como el cambio en la variable de respuesta generado por el cambio de nivel del factor, a esto, usualmente se le denomina efecto principal, ya que involucra a los factores principales de interés dentro del experimento. Cuando se encuentra que la diferencia en la respuesta entre los niveles de un mismo factor no es la misma en todos los niveles de los otros factores, se concluye que hay interacción entre los factores. En el caso de tener factores fijos, se puede formular y probar las hipótesis sobre los efectos principales e interacciones usando el análisis de varianza o ANOVA. (Montgomery, 2013)

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

2.1 Medición

2.1.1 Plan de Recolección de Datos

Para una eficiente toma de datos, se define el factor a recolectar, que en este caso es el porcentaje de sobredosificación, el cual es cuantitativo y continuo. Para su recolección primero es necesario tomar las mediciones del peso del producto final usando una balanza digital proporcionada por la empresa, a ese peso se le resta el peso del envase y de la tapa con el fin de determinar el peso real dosificado, estos datos son registrados en el documento “Prueba de Verificación de pesos”, para luego ser traspasados a un documento Excel, donde con mayor facilidad se calculan los porcentajes deseados mediante la expresión planteada.

Este parámetro puede estar relacionado con 3 factores posibles de estratificación, los cuales son, operadores, máquina y formato. Por otro lado, no se considera muestreo. Esto se resume en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1 Plan de Recolección de datos. [Fuente: Elaboración propia]

Datos		Definiciones Operacionales y Procedimientos			
Qué	Tipos de Datos	Cómo medir	Condiciones relacionadas	Muestra	Cómo/Cuándo se recolecta
Porcentaje de Sobredosificación	Cuantitativo/ Continuo	Se pesa el producto final y se le resta el peso del envase y la tapa para obtener el contenido real dosificado. Luego, se le resta el contenido declarado y se divide por el contenido declarado.	Operadores: 4 Máquinas: 3 Formatos: 11	Sin muestreo	Se registra en el documento Prueba de Verificación de Pesos

2.1.2 Confiabilidad de Datos

En cuanto a la confiabilidad de los datos del peso, se tiene el certificado de calibración de la balanza digital por parte de la empresa, ésta se puede observar en la Figura 2.1.

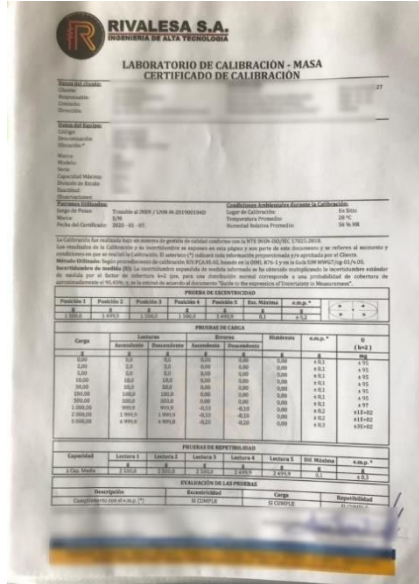


Figura 2.1 Certificado de Calibración de la balanza digital. [Fuente: Elaboración propia]

Ahora, en cuanto al registro que se lleva de los pesos, post medición, el departamento de producción de la empresa cuenta con un documento llamado Prueba de Verificación de Pesos, con el cual se registran de manera manual cada peso medido, muestra del formato se puede visualizar en la Figura 2.2.

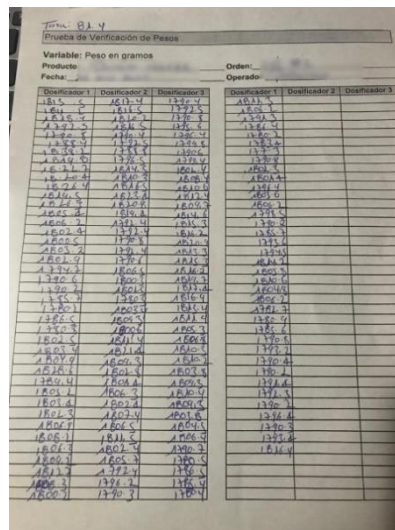


Figura 2.2 Formato de Prueba de Verificación de Pesos. [Fuente: Elaboración propia]

2.1.3 Estratificación

Según el contexto del proceso a tratar, se analizó la posibilidad de estratificar el problema planteado respecto a 3 factores: operador, formato y máquina.

- Para evaluar la relevancia del operador en el porcentaje de sobredosificación, se tomaron los datos de los pesos de los productos finales de los 4 operadores que laboran en turnos rotativos en el área de llenado.

Con estos datos, se calculó primero el porcentaje de sobredosificación de cada dato y se determinaron las medias por operador para realizar posteriormente un análisis de varianza de un factor donde se determine si existe diferencia significativa entre dichas medias. Para esto, se propone la hipótesis nula que implica que todas las medias son iguales, contra la hipótesis alterna que indica que al menos un par de medias difieren de manera significativa, con 95% de confianza. Los resultados se muestran en la Figura 2.3.

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 \text{ Vs. } H_1: \text{Al menos un par de } \mu \text{ es diferente}$$

ANOVA de un solo factor: % Sobredosif vs. Operador

Método

Hipótesis nula	Todas las medias son iguales
Hipótesis alterna	Por lo menos una media es diferente
Nivel de significancia	$\alpha = 0.05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
Operador	4	1, 2, 3, 4

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Operador	3	0.000222	0.000074	2.70	0.059
Error	38	0.001041	0.000027		
Total	41	0.001263			

Figura 2.3 Resultados del ANOVA del factor operador. [Fuente: Elaboración propia]

Con un valor p de 0,059, muy cercano al límite de 0,05, se acudió a la opinión y consideración del supervisor de producción para saber si según su experiencia ha

notado que los operadores de la línea tienen un impacto significativo en la sobredosificación existente, a lo cual respondió que ha notado algún impacto entre los 4 operadores, por lo cual se concluyó que este no es un factor de estratificación significativo. Se muestra en la Figura 2.4, la gráfica de intervalos con 95% de confianza de las medias de cada operador.

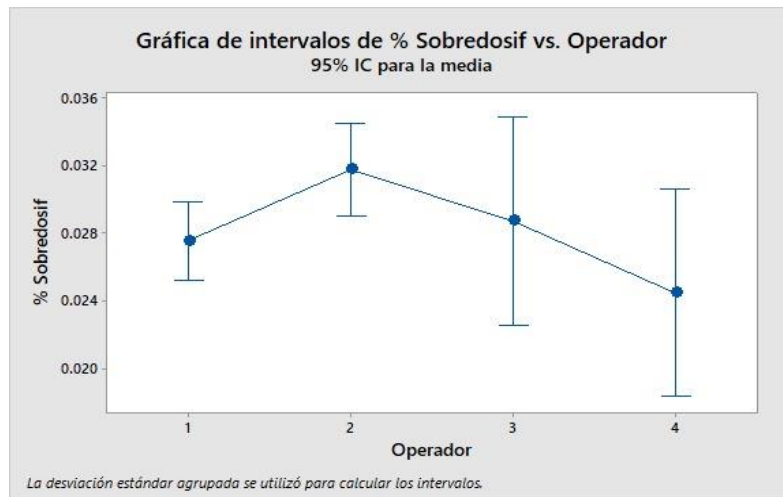


Figura 2.4 Gráfica de intervalos del porcentaje de sobredosificación por operador.

[Fuente: Elaboración propia]

- De la misma forma, se realizó con el factor máquina, tomando datos del peso de cada una de las 3 máquina y se calcularon sus medias para realizar la prueba ANOVA de un factor. Se propuso igualdad de medias en la hipótesis nula y en la alterna, que al menos un par de ellas era diferente significativamente.

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 \quad \text{Vs.} \quad H_1: \text{Al menos un par de } \mu \text{ es diferente}$$

ANOVA de un solo factor: % Sobredosif vs. Maquina

Método

Hipótesis nula Todas las medias son iguales
Hipótesis alterna Por lo menos una media es diferente
Nivel de significancia $\alpha = 0.05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
Maquina	3	1, 2, 3

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Maquina	2	0.000092	0.000046	1.54	0.227
Error	39	0.001171	0.000030		
Total	41	0.001263			

Figura 2.5 Resultados del ANOVA del factor máquina. [Fuente: Elaboración propia]

Como se puede observar en la Figura 2.5, con un valor p de 0.227, mayor a 0.05, existe evidencia estadística para aceptar la hipótesis nula, es decir que todas las medias del porcentaje de sobredosificación de las 3 máquinas son igual, por lo tanto, este no es un factor significativo para la estratificación del problema. Se muestra en la Figura 2.6, la gráfica de intervalos con 95% de confianza de las medias de cada máquina.

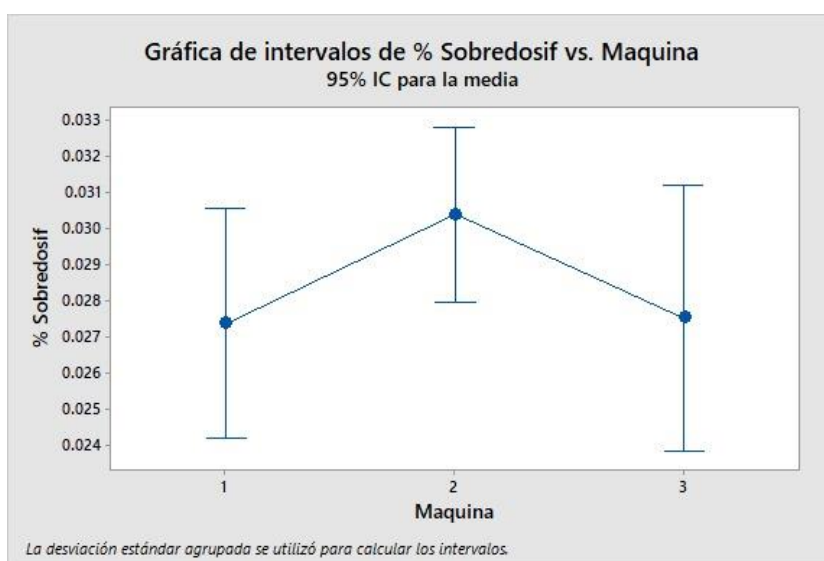


Figura 2.6 Gráfica de intervalos del porcentaje de sobredosificación por máquina.

[Fuente: Elaboración propia]

- Para el factor de formato de los productos, primero se determinaron los porcentajes de sobredosificación promedio de cada uno de los 11 formatos, además, se solicitó al planificador de producción, las ventas del último año de cada formato, con esto, se calcularon los kilos sobredosificados al año por formato, siendo este el producto del porcentaje de sobredosificación de cada formato por las ventas anuales respectiva, como se muestra en la Ecuación (2.1).

$$\text{Kilos Sobredosificados} = \text{Porcentaje de Sobredosificación} * \text{Venta anual}$$

(2.1)

En la Tabla 2.2, se puede observar cada formato, los kilos vendidos al año, su porcentaje de sobredosificación asociado, con esto, la cantidad de kilos perdidos anualmente, finalmente la frecuencia relativa y acumulada asociada a cada formato.

Tabla 2.2 Kilos perdidos anuales por la sobredosificación. [Fuente: Elaboración propia]

Formato	Kilos vendidos	% Sobredosificación	Kilos Sobredosificados	Frecuencia Relativa	Frecuencia Acumulada
1750	2,353,481	2.88%	67,780.25	46.6%	46.6%
3700	1,382,627	2.45%	33,874.36	23.3%	69.9%
185	516,721	3.70%	19,118.68	13.2%	83.1%
950 C	1,720,079	0.37%	6,364.29	4.4%	87.5%

180	65,367	8.66%	5,660.78	3.9%	91.3%
105	34,533	11.40%	3,936.76	2.7%	94.1%
950 Erg	206,348	1.80%	3,714.26	2.6%	96.6%
1730	264,185	0.86%	2,271.99	1.6%	98.2%
930	190,587	0.93%	1,776.27	1.2%	99.4%
940	101,422	0.57%	577.09	0.4%	99.8%
200	10,920	2.76%	301.39	0.2%	100.0%

Con estos datos, se realiza el gráfico de Pareto de Kilos Sobredosificados al año por formato, como se muestra en la Figura 2.7.

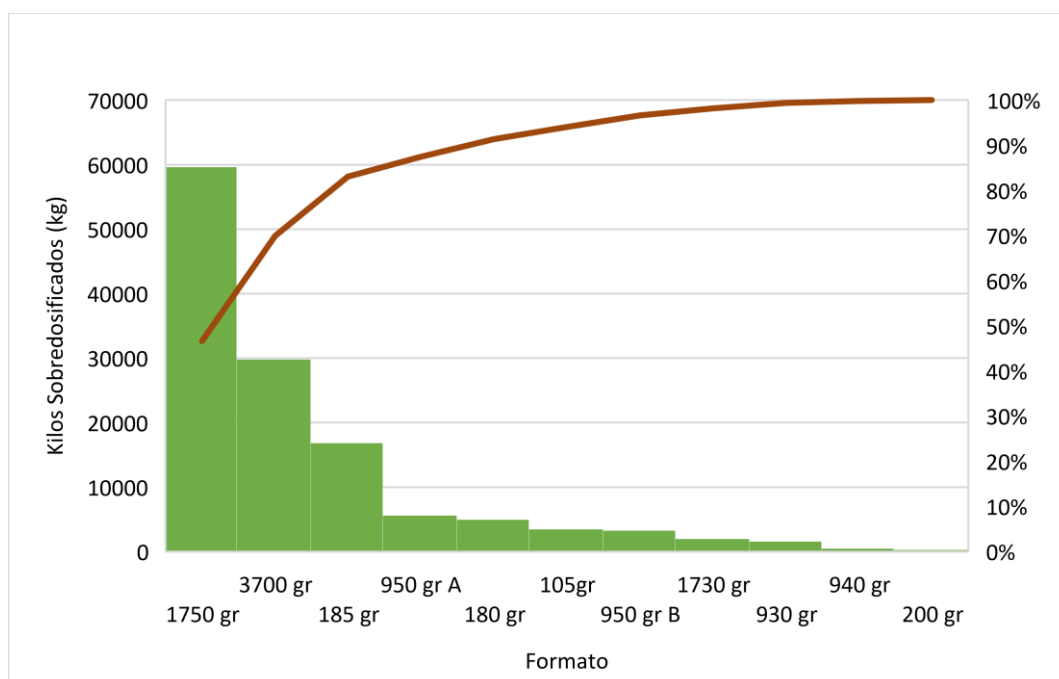


Figura 2.7 Gráfico de Pareto de Kilos Sobredosificados al Año por Formato. [Fuente: Elaboración propia]

Con esto se puede concluir que, en primer lugar, el formato sí representa un factor significativo de sobredosificación y, además, los formatos de 1750 y 3700 gramos contribuyen al 70% de la cantidad total de kilogramos sobredosificados anualmente.

Sabiendo esto, es posible enfocar el problema planteado anteriormente, de esta forma, con un promedio del porcentaje de sobredosificación de 2,7% de ambos formatos (2,88% del formato de 1750 gramos y 2,45% del formato de 3700 gramos), se declara el problema enfocado:

“En la línea de envasado de productos lácteos se ha detectado un elevado porcentaje de sobredosificación en los formatos de 1750 g y 3700 g hasta octubre del 2020, alcanzando un 2.6% en promedio, mientras que el porcentaje deseado por la empresa es de 1%, es decir, que el porcentaje promedio excede por 1,7%”.

Si se desea reducir al 50% ese GAP determinado entre el porcentaje promedio y el deseado por Gerencia, el objetivo del proyecto es replanteado de la siguiente forma:

“Disminuir el porcentaje de sobredosificación en la línea de llenado de los formatos 1750 gramos y 3700 gramos, de 2,7% a 1,85% desde noviembre del presente año a enero del 2021”.

Con esta reducción en la sobredosificación, se ahorran también 32 536 kilogramos que se perderían debido a este problema de dosificado. Con esto a su vez, se reduce el porcentaje de sobredosificación anual total de 2.12% a 1.39%.

2.1.4 Mapeo del Proceso

En el contexto del problema a tratar, es necesario realizar el mapeo de los procesos críticos relacionados con la dosificación usando el diagrama OTIDA para abordar de manera más detallada y encontrar aquellas actividades que agregan o no valor, fábricas ocultas y más que puedan influir de alguna forma al problema. Se realizó el mapeo de calibración, el cual es un proceso crítico debido a que durante el mismo se ajustan los componentes que determinan el funcionamiento de la máquina envasadora y forma parte a su vez del proceso de llenado, como se ilustra en la Figura 2.8, donde se tienen 19 operaciones como actividades que agregan valor, y como las actividades que agregan valor pero no son necesarias, 2 demoras, 3 inspecciones y 1 transporte. Además, se identificaron actividades que no forman parte de los instructivos proporcionados a los operarios y pueden ser críticos sobre la dosificación, estos son, verificar la circulación de yogurt en la tolva, modificar tiempos y cambiar los anillos de los inyectores si es necesario.

Descripcion	○	⇒	D	□	▽
Subir inyectores	X				
Limpiar con agua la banda transportadora	X				
Desenroscar el perno sin fin	X				
Sacar los suples/anillos de los pistones	X				
Lavar los suples/anillos con agua	X				
Colocar los anillos/suples a los inyectores	X				
Revisar la tolva (circulación de agua)				X	
Colocar las pomas en la banda	X				
Ajustar el ancho del carril de banda	X				
Centrar las pomas	X				
Ajustar separadores	X				
Ajustar la separación entre pistones	X				
Bajar los pistones	X				
Ajustar la altura del cilindro neumático	X				
Ajustar el seguro del perno sin fin	X				
Revisar la tolva (circulación de yogurt)	X				
Tomar una muestra de yogurt	X				
Llevar la muestra a inspección		X			
Esperar por inspección			X		
Configurar tiempos en pantalla digital	X				
Probar con una línea de pomas	X				
Ingresar el tiempo de dosificado	X				
Esperar por liberación de producto			X		
Tocar la tubería (circulación de yogurt)				X	
Probar tiempos				X	
Cambiar anillo/suple si es necesario	X				

Figura 2.8 Diagrama OTIDA de Calibración de máquina llenadora. [Fuente: Elaboración propia]

Por otro lado, se realizó el diagrama de llenado, Figura 2.9, en este se determinaron 10 operaciones que agregan valor, y 3 que no pero que son necesarias, 2 inspecciones y 1 transporte. Dentro de estas, una inspección (verificar el nivel de dosificado) no consta dentro de los instructivos a seguir, pero parece afectar el dosificado de productos.

Descripción	○	⇒	D	□	▽
Verificar seguridad				X	
Tomar una muestra de yogurt	X				
Llevar la muestra a inspeccionar		X			
Calibrar la llenadora	X				
Ubicar las pomas en la banda transportadora	X				
Accionar el envasado modo automático	X				
Limpiar con agua la banda	X				
Verificar el nivel de dosificado				X	
Desinfectar las tapas de las pomas	X				
Colocar las tapas manualmente	X				
Sellar las tapas con el tapador neumático	X				
Lavar las pomas tapadas con agua	X				
Empacar producto terminado	X				

Figura 2.9 Diagrama OTIDA de Llenado. [Fuente: Elaboración propia]

2.1.5 Análisis de estabilidad y de capacidad del proceso de llenado

Ahora bien, para el análisis del proceso con los datos con los que se cuenta, es importante conocer su distribución de probabilidad para hacer uso apropiado de las herramientas estadísticas. Por ello, se realizó una prueba de normalidad a los datos para mostrar si estas variables siguen una distribución normal, siendo esta su hipótesis nula.

En las figuras 2.10 y 2.11 se muestra un resumen con los resultados de la prueba de normalidad, así como varios estadísticos descriptivos del porcentaje de sobredosificación del formato 1750 g y 3700 g, respectivamente. De esta manera, se puede observar en estas figuras que el valor p obtenido es mayor a 0.05, por lo que no hay suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula con un nivel de confianza del 95 %; es decir, los datos siguen una distribución normal.

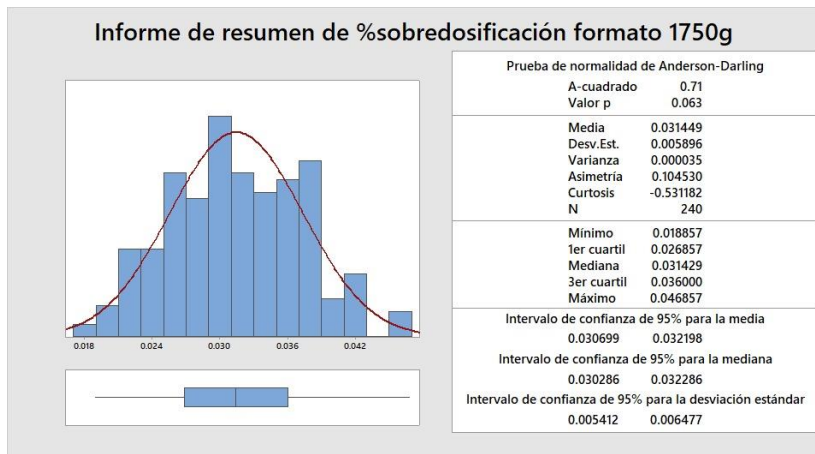


Figura 2.10 Prueba de normalidad del porcentaje de sobredosificación de 1750 g.

[Fuente: Elaboración propia]

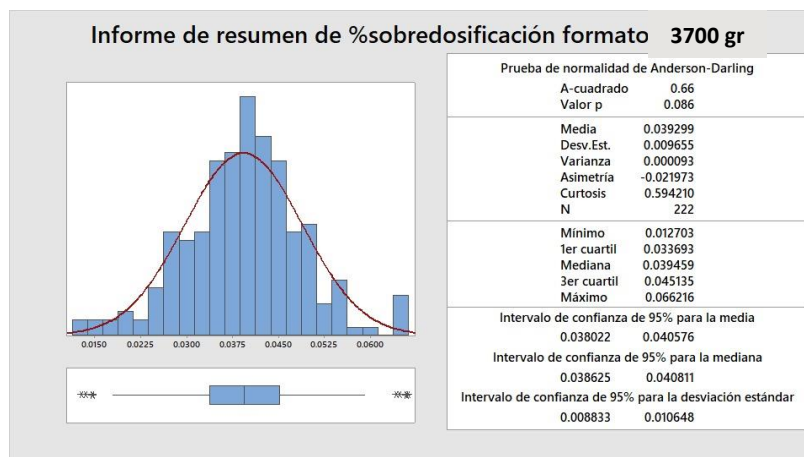


Figura 2.11 Prueba de normalidad del porcentaje de sobredosificación de 3700 g.

[Fuente: Elaboración propia]

Para verificar la estabilidad del proceso, se realizó una carta de control de $\bar{x} - s$ para el porcentaje de sobredosificación de cada uno de los dos formatos como se muestra en las figuras 2.12 y 2.13. En las cartas de control se puede observar que los puntos varían aleatoriamente alrededor de la línea central y se encuentran dentro de los límites de control. No hay tendencias ni patrones presentes. Por lo tanto, se puede concluir que la media y la variación del porcentaje de sobredosificación son estables.

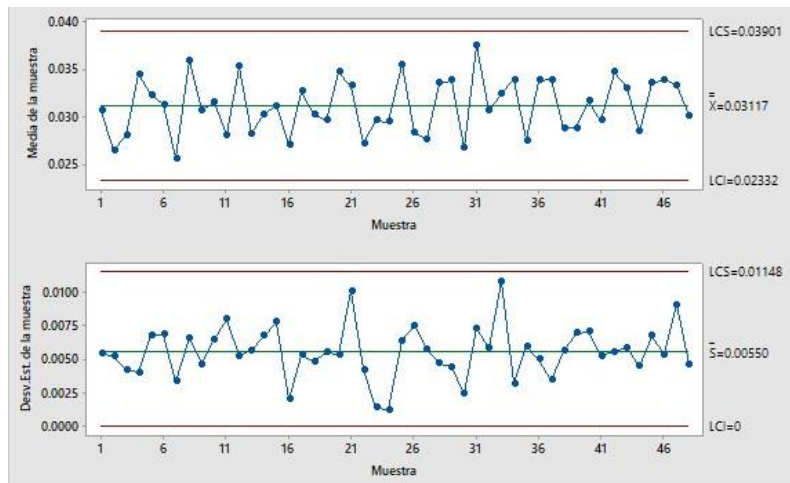


Figura 2.12 Gráfica de control Xbarra-S del formato 1750 g. [Fuente: Elaboración propia]

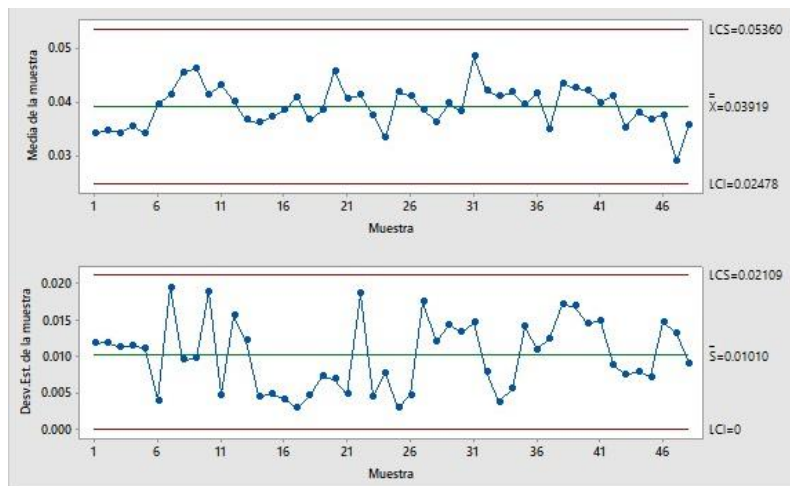


Figura 2.13 Gráfica de control Xbarra-S del formato 3700 g. [Fuente: Elaboración propia]

La empresa ha definido límites de especificación para el porcentaje de sobredosificación, siendo así que el límite de especificación inferior es 1% por debajo de 0 y el límite de especificación superior es del 1%. Con ello se desarrolló un análisis de capacidad como se muestra en las figuras 2.14 y 2.15, en donde se puede concluir que el proceso no es capaz de cumplir las especificaciones mostradas, teniendo una variabilidad mayor a la del diseño y una media desfasada. Además, se destaca que el proceso presenta serios problemas de localización y dispersión.

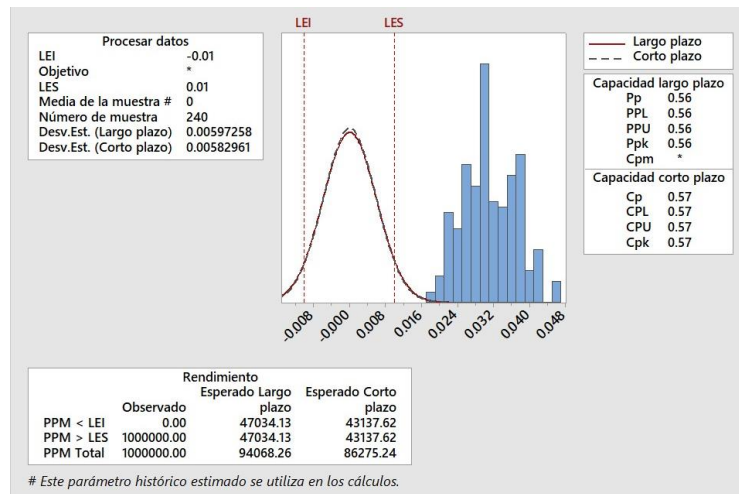


Figura 2.14 Análisis de capacidad del proceso del formato 1750 g. [Fuente: Elaboración propia]

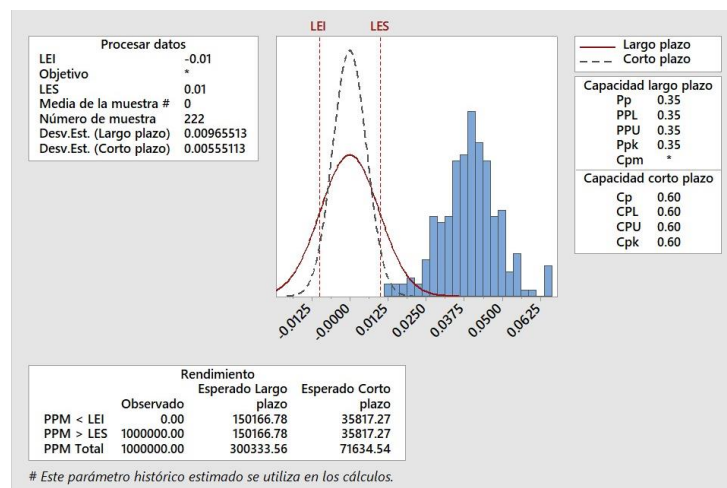


Figura 2.15 Análisis de capacidad del proceso del formato 1750 g. [Fuente: Elaboración propia]

2.2 Análisis

En la fase de análisis se utilizaron herramientas para identificar las causas raíz que estaban generando una sobredosificación mayor a los límites especificados en los dos formatos, 3700 g y 1750 g.

2.2.1 Análisis de Causas

Para levantar las posibles causas (potenciales) relacionadas a la sobredosificación en los formatos 3700 y 1750g, se realizó una lluvia de ideas con

los operadores de las máquinas llenadoras y con la parte administrativa de producción. Cabe señalar que se tuvo que considerar cada uno de estos dos formatos como un problema enfocado independiente para su respectivo análisis, como se muestra en las Figuras 2.16 y 2.17.

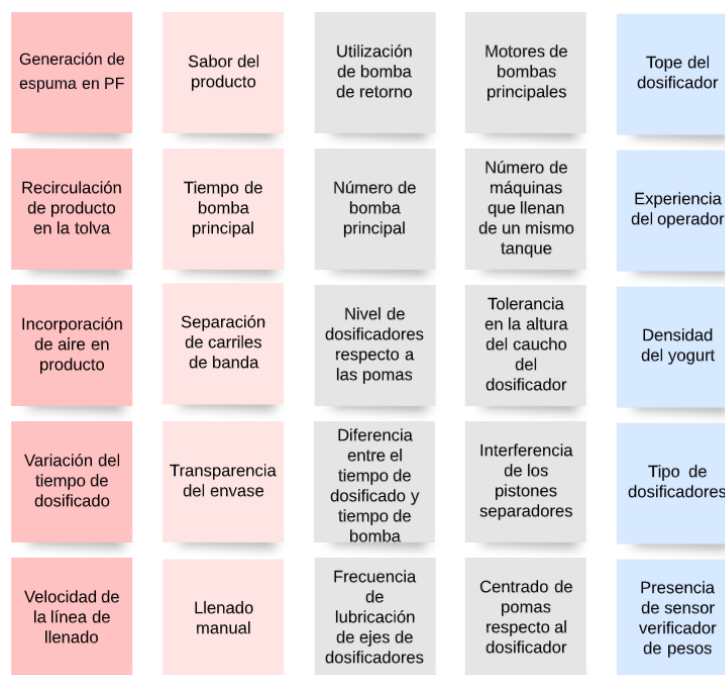


Figura 2.16 Lluvia de ideas para la sobredosificación en 1750 g. [Fuente: Elaboración propia]

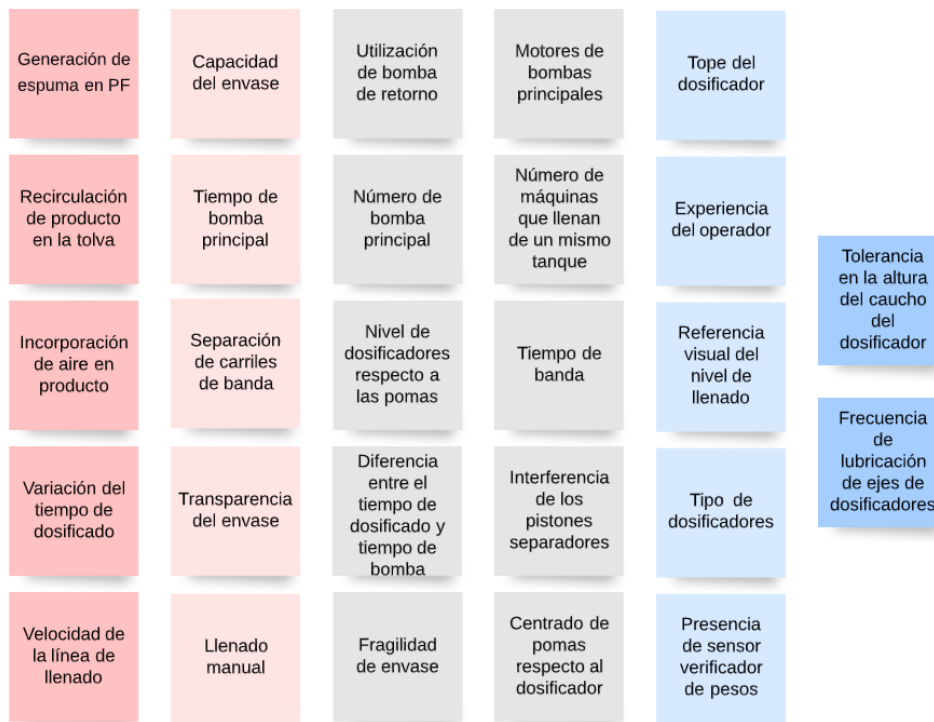


Figura 2.17 Lluvia de ideas para la sobredosificación en 3700 g. [Fuente: Elaboración propia]

Ahora bien, para priorizar los esfuerzos de análisis se realizó un matriz de causa y efecto que nos permitió obtener las causas con mayor relación con la sobredosificación en los formatos estudiados. Esta matriz consistió en calificar el grado de relación de cada una de las causas potenciales con la sobredosificación y para ello, se utilizó una escala exponencial como se muestra en la Tabla 2.3.

Tabla 2.3 Criterios de calificación de matriz causa y efecto. [Fuente: Elaboración propia]

Calificación	Significado
0	Sin relación
1	Poco relacionadas
3	Medianamente relacionadas
9	Fuertemente relacionadas

De igual manera, debido a que se ha estado analizando la sobredosificación en los formatos 3700 g y 1750 g se tuvo que ponderar su impacto sobre el problema general estudiado. Un equipo integrado por los operadores y la parte administrativa de producción otorgó más peso al formato de 1750 g, con un valor

de 6, mientras que al formato de 3700 g le dieron un valor de 4; cuya explicación radica en que el formato de 1750 g involucra mayor volumen de producción.

En la calificación de las causas potenciales participaron 7 personas entre operadores de máquina y personal administrativo de producción. Por ello, a cada posible causa se le asignó la moda de las calificaciones de cada persona y luego se multiplicó por el factor otorgado, como se puede observar en la Tabla 2.4, con los respectivos totales ponderados por cada causa posible.

Tabla 2.4 Matriz Causa – Efecto. [Fuente: Elaboración propia]

Causas posibles	Variables de salida (Y's)		TOTAL
	Y1: Porcentaje de sobredosificación del formato 3700 g (4)	Y2: Porcentaje de sobredosificación del formato 1750 g (6)	
Tope del dosificador	9	9	90
Tiempo de bomba principal	9	9	90
Tiempo de dosificación	9	9	90
N° de máquinas que llenan de un mismo tanque	9	9	90
Generación de espuma en PF	3	3	30
Recirculación de producto en la tolva	3	3	30
Incorporación de aire en el producto	3	3	30
Velocidad de la línea de llenado	3	3	30
Llenado manual	3	3	30
Utilización de bomba de retorno	3	3	30
Número de bomba principal	3	3	30
Nivel de dosificadores respecto a las pomas	3	3	30
Diferencia entre el tiempo de dosificado y de bomba	3	3	30
Centrado de pomas respecto al dosificador	3	3	30
Tolerancia en la altura del caucho del dosificador	3	3	30
Tipo de dosificadores	3	3	30
Referencia visual del nivel de llenado		3	18
Densidad del yogurt	3		12
Interferencia de los pistones separadores	1	1	10
Motores de bombas principales	1	1	10
Separación de carriles de banda	1	1	10
Presencia de sensor verificador de pesos	1	1	10
Frecuencia de lubricación de ejes de dosificadores	1	1	10
Fragilidad de envase		1	6
Sabor del producto	1		4
Transparencia del envase			
Tiempo de banda			

Como resultado de la evaluación realizada en la matriz causa y efecto se obtuvo que debía ser verificada la significancia estadística de las siguientes causas sobre la sobredosificación: tope del dosificador, tiempo de bomba principal, tiempo de dosificación y número de máquinas que llenan de un mismo tanque.

2.2.2 Verificación de Causas

En esta parte del análisis se planteó una hipótesis por cada una de las causas potenciales encontradas en la matriz causa - efecto. De esta manera, se utilizaron varias herramientas estadísticas para verificar la significancia de las causas potenciales. Por lo que, en la tabla 2.5 se presenta el plan de verificación de causas que se realizó para comprobar si las hipótesis planteadas acerca del impacto de las causas son o no verdaderas.

Tabla 2.5 Plan de Verificación de Causas. [Fuente: Elaboración propia]

Causas Potenciales	Teoría acerca del impacto	Cómo lo verificamos	Conclusión	Estado
Tiempo de dosificado	Menor tiempo de dosificado, mayor sobredosificación	Prueba de Mann Withney	No significativa	Completado
Tope del dosificador	A menor tope del dosificador, la sobredosificación aumenta	GEMBA, Prueba T de 2 muestras	Significativa	Completado
Tiempos de bomba	A mayor tiempo de bomba, mayor sobredosificación	ANOVA, Prueba de Barlett, Prueba de normalidad	Significativa	Completado
Número de máquinas que llenan de un mismo tanque	Si más llenadoras usan la misma bomba, mayor es la sobredosificación	Prueba de Mann Withney	No significativa	Completado

Las pruebas de verificación de cada causa para cada formato se encuentran en la sección de Apéndices.

2.2.3 Determinación de Causas Raíz

A partir de las causas verificadas se utilizó la técnica de los 5 Porqués para determinar las causas raíz del problema de sobredosificación en cada formato estudiado. Se muestran la Tabla 2.6 para el formato de 3700 g y la Tabla 2.7 para 1750 g.

Tabla 2.6 Análisis de los 5 Porqués para la sobredosificación en formato 3700 g.

[Fuente: Elaboración propia]

Ronda 1	Hipótesis	Ronda 2	Hipótesis	Ronda 3	Hipótesis
¿Por qué se sobredosifica producto?	Sí	¿Por qué el tope del dosificador es bajo?	Sí	¿Por qué la altura del caucho es inadecuada?	Sí
Tope del dosificador es bajo		La altura del caucho es inadecuada		El diseño de la altura del caucho no considera la densidad del yogurt	
¿Por qué se sobredosifica producto?	Sí	¿Por qué los tiempos de bomba son elevados?	Sí	¿Por qué los operadores cambian los parámetros para mantener un alto nivel de llenado?	Sí
Tiempos de bomba elevados		Los operadores cambian los parámetros para mantener un alto nivel de llenado		Los parámetros de tiempo no están definidos	

Tabla 2.7 Análisis de los 5 Porqués para la sobredosificación en formato 1750 g.

[Fuente: Elaboración propia]

Ronda 1	Hipótesis	Ronda 2	Hipótesis	Ronda 3	Hipótesis	Ronda 4	Hipótesis
¿Por qué se sobredosifica producto?	Sí	¿Por qué el tope del dosificador es bajo?	Sí	¿Por qué la altura del caucho es inadecuada?	Sí	¿Por qué se utiliza el mismo caucho para cada producto de la familia?	Sí
Tope del dosificador es bajo		La altura del caucho es inadecuada		Se utiliza el mismo caucho para cada producto de la familia.		El diseño del caucho no considera el peso de cada formato	
¿Por qué se sobredosifica producto?	Sí	¿Por qué los tiempos de bomba son elevados?	Sí	¿Por qué los operadores cambian los parámetros para mantener un alto nivel de llenado?	Sí		
Tiempos de bomba elevados		Los operadores cambian los parámetros para mantener un alto nivel de llenado		Los parámetros de tiempo no están definidos			

De esta manera, la causa raíz relacionada a que el diseño de la altura del caucho no considera la densidad del yogurt se pudo verificar debido a que la diferencia de pesos encontrada está relacionada la densidad del producto. De igual manera, se evidenció que no se usan los mismos cauchos para el llenado de varios formatos. Y finalmente, se verificó que los parámetros de tiempo son cambiados según la experiencia del operador.

2.3 Mejoras

2.3.1 Lluvia de ideas

Con el fin de encontrar soluciones capaces de ser implementadas y medidas, se comenzó con una lluvia de ideas con el equipo de trabajo y se relacionó cada una de ellas con las tres causas raíz encontradas en la fase anterior de Análisis, esto se ilustra en la Figura 2.18.

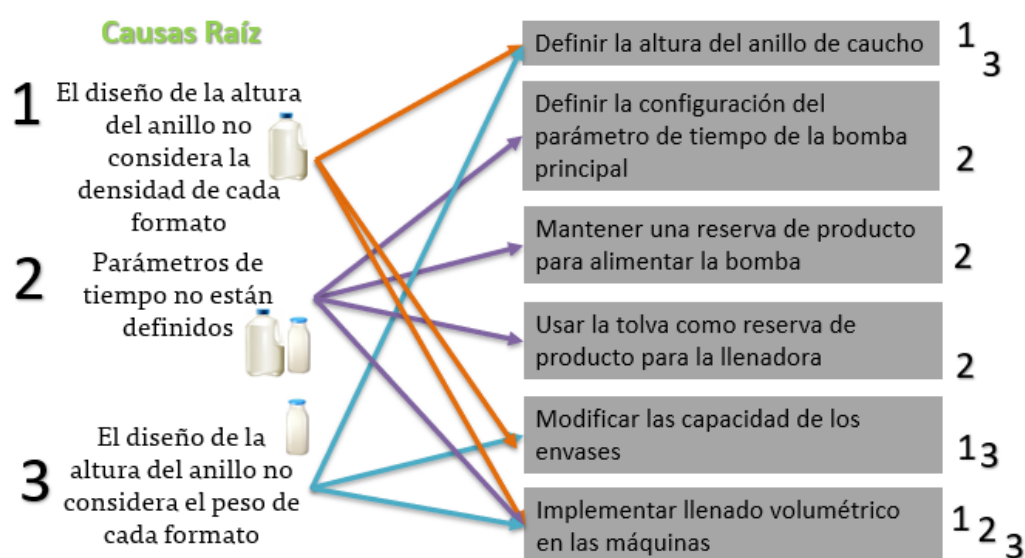


Figura 2.18 Relaciones de soluciones con causas raíz. [Fuente: Elaboración propia]

2.3.2 Matriz Impacto - Esfuerzo

Para determinar el potencial de cambio de las soluciones planteadas, se utilizó la Matriz Impacto-Esfuerzo como se muestra en la Figura 2.19, de la cual las soluciones situadas en el primer cuadrante son las elegidas para ser implementadas y analizadas como mejoras del proceso actual.

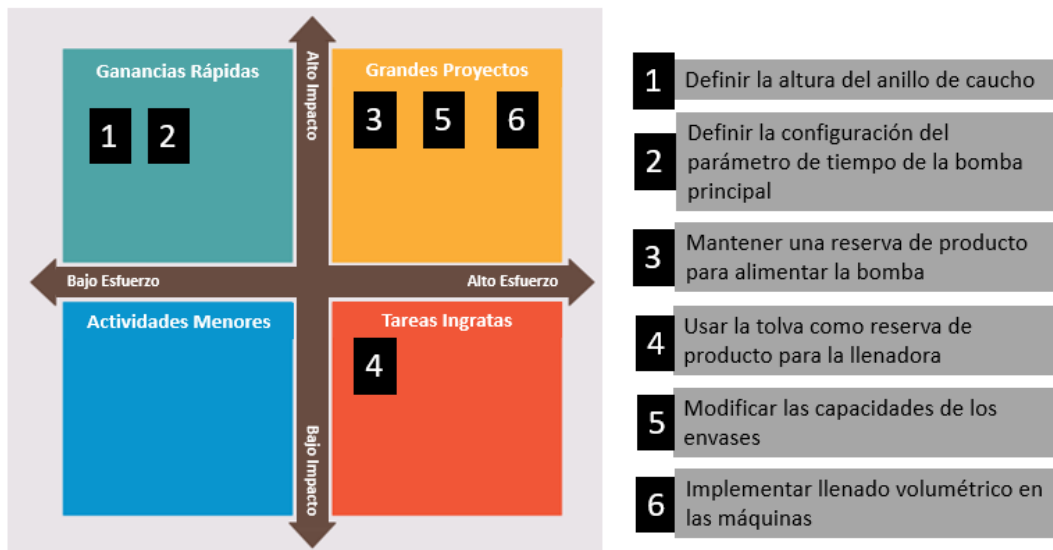


Figura 2.19 Matriz Impacto - Esfuerzo de posibles soluciones. [Fuente: Elaboración propia]

De esta forma, las soluciones elegidas fueron: definir la altura del anillo de caucho y definir la configuración del parámetro de tiempo de la bomba principal.

2.4 Plan de Implementación

Se definió un plan para implementar las soluciones antes mencionadas, en el cual se justifica la importancia de cada solución, lugar, forma, tiempo y responsable de la implementación, esto se puede observar en la Tabla 2.8.

Tabla 2.8 Plan de Implementación. [Fuente: Elaboración propia]

Soluciones	¿Por qué?	¿Dónde?	¿Cómo?	¿Cuándo?	Responsable
Definir la altura del anillo de caucho	Influencia en el nivel de llenado y contenido neto	Máquina llenadora	Diseño de Experimentos	Esta semana	Líderes de Proyecto
Definir la configuración del parámetro de tiempo de la bomba principal	Para reducir la variación del llenado	Máquina llenadora	Diseño de Experimentos	Esta semana	Líderes de Proyecto

Para la correcta implementación de las soluciones fue necesario realizar un diseño factorial de dos factores con dos niveles, es decir 2^2 , para medir el efecto que

tienen la altura del anillo del dosificador y el tiempo de la bomba principal, para ambos se proponen niveles bajo y alto. (Kuehl, 2000) En la Tabla 2.9 se muestra el diseño para el formato de 1750 gramos, y en la Tabla 2.10, se muestra el de 3700 gramos.

Tabla 2.9 Diseño Factorial para formato de 1750 g. [Fuente: Elaboración propia]

Factores	Niveles	
Altura del anillo	Bajo (25 mm)	Alto (27 mm)
Tiempo de bomba	Bajo (17.8 s)	Alto (18.8 s)

Tabla 2.10 Diseño Factorial para formato de 3700 g.[Fuente: Elaboración propia]

Factores	Niveles	
Altura del anillo	Bajo (23 mm)	Alto (25 mm)
Tiempo de bomba	Bajo (11.3 s)	Alto (12.5 s)

De esta forma, se proponen las hipótesis para cada experimento:

H_0 : *La altura del anillo no influencia el porcentaje de sobredosificación*

H_0 : *El tiempo de bomba principal no influencia el porcentaje de sobredosificación*

vs.

H_1 : *Al menos uno influencia el porcentaje de sobredosificación*

Para el desarrollo de estos experimentos se hicieron tres réplicas de manera aleatoria en las cuales sólo se modificaron los factores mencionados y se tomaron datos de los pesos obtenidos después de cada réplica.

2.5 Control

En la etapa de control se tomaron nuevas mediciones para determinar qué tan efectiva está siendo la implementación de las soluciones al atacar las causas raíz identificadas. De esta manera, se muestra en la Figura 2.20 y 2.21 un comparativo de las gráficas de control para el formato 1750 g y 3700 g, respectivamente; y cabe señalar que se observa una reducción en su porcentaje de sobredosificación.

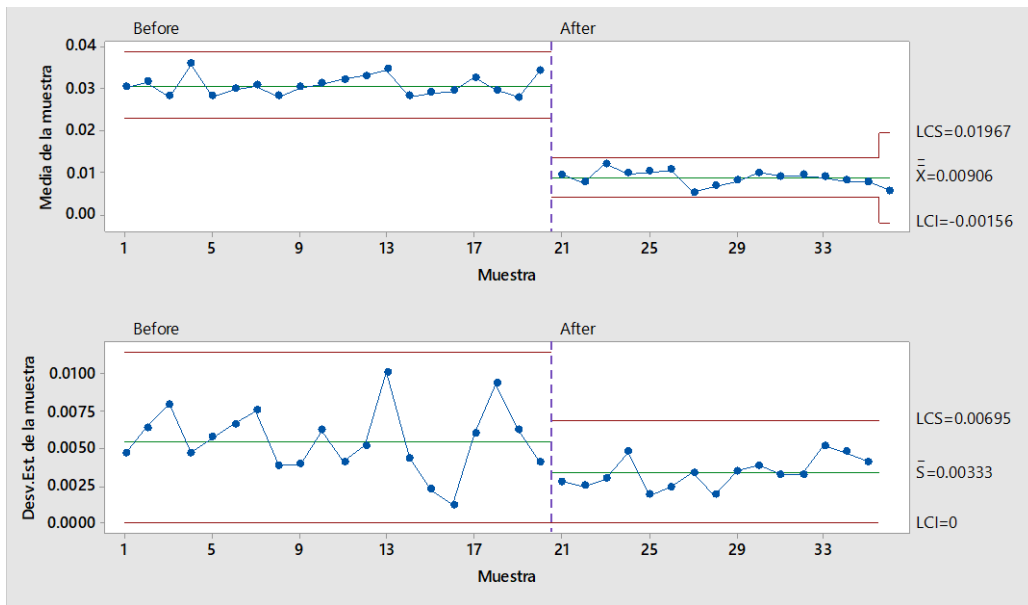


Figura 2.20 Gráfica de control comparativa Xbarra-S de 1750 g. [Fuente: Elaboración propia]

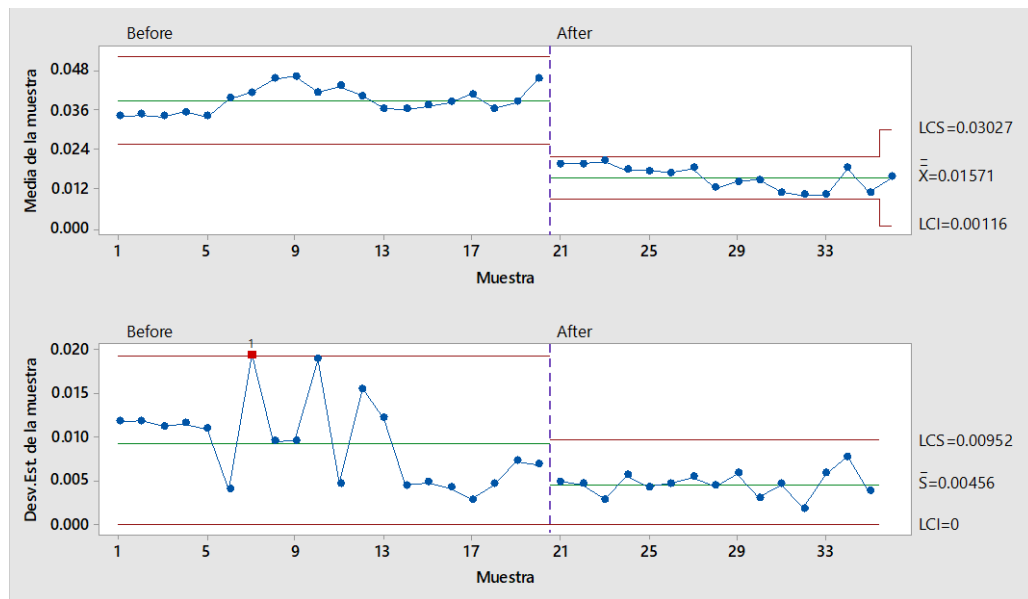


Figura 2.21 Gráfica de control comparativa Xbarra-S de 3700 g. [Fuente: Elaboración propia]

Por ello, para lograr mantener en el tiempo las mejoras logradas y que la causa raíz no se vuelva a presentar se implementaron dos controles visuales para el proceso de llenado, desarrolladas con el equipo de trabajo del proyecto. Uno de ellos está relacionado al establecimiento de una referencia visual para el llenado

de los productos. Para el caso de 3700 g se utilizó la posición del código y para 1750 g una de las molduras del envase.

Como segundo control visual se utilizó la lección de un punto como una herramienta para evitar errores en la calibración inicial de los dosificadores. Esta herramienta facilita el entendimiento de nuevos direccionamientos sobre el trabajo de manera práctica y visual. Como se muestra en la figura para que los operadores sepan hasta donde se debe subir o bajar el pistón, dependiendo del formato.

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Para el formato de 3700 gramos, los resultados se muestran en la Figura 3.1, además en la Figura 3.2 se muestran los efectos de cada factor sobre el dosificado.

Coeficientes codificados

Término	Efecto	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
Constante		3749.14	5.71	656.14	0.000	
Bloques						
1		5.36	5.71	0.94	0.380	1.00
Tope	47.43	23.71	5.39	4.40	0.003	1.00
Tiempo Bomba	75.57	37.79	5.39	7.01	0.000	1.00
Tope*Tiempo Bomba	34.19	17.10	5.39	3.17	0.016	1.00

Figura 3.1 Resultados de diseño factorial para formato de 3700 g. [Fuente: Elaboración propia]

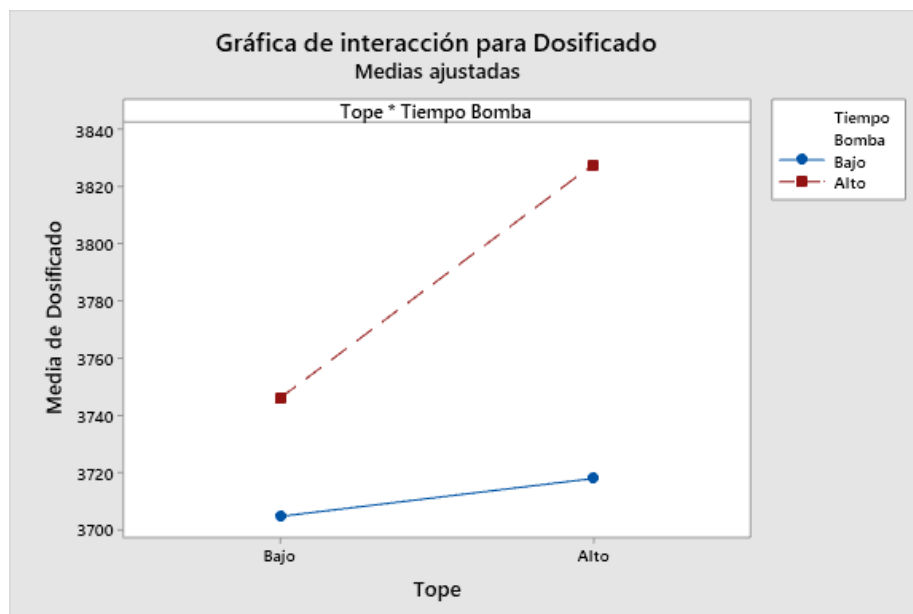


Figura 3.2 Gráfica de Interacción para formato de 3700 g. [Fuente: Elaboración propia]

De esta manera, según la información que se muestra en la figura 3.1 y 3.2, se concluyó que para reducir la sobredosificación la combinación de ambos factores debe ser en sus niveles bajos.

En cuanto al formato de 1750 gramos, se muestran los resultados en la Figura 3.3 y en la Figura 3.4 se muestra el efecto de los factores sobre los pesos registrados durante el experimento.

Coeficientes codificados

Término	Efecto	EE del			
		Coef	coef.	Valor T	Valor p
Constante		3754.50	7.46	503.27	0.000
Tope	48.14	24.07	7.46	3.23	0.032
Tiempo Bomba	82.93	41.46	7.46	5.56	0.005
Tope*Tiempo Bomba	26.79	13.39	7.46	1.80	0.147

Figura 3.3 Resultados de diseño factorial para formato de 1750 g. [Fuente: Elaboración propia]

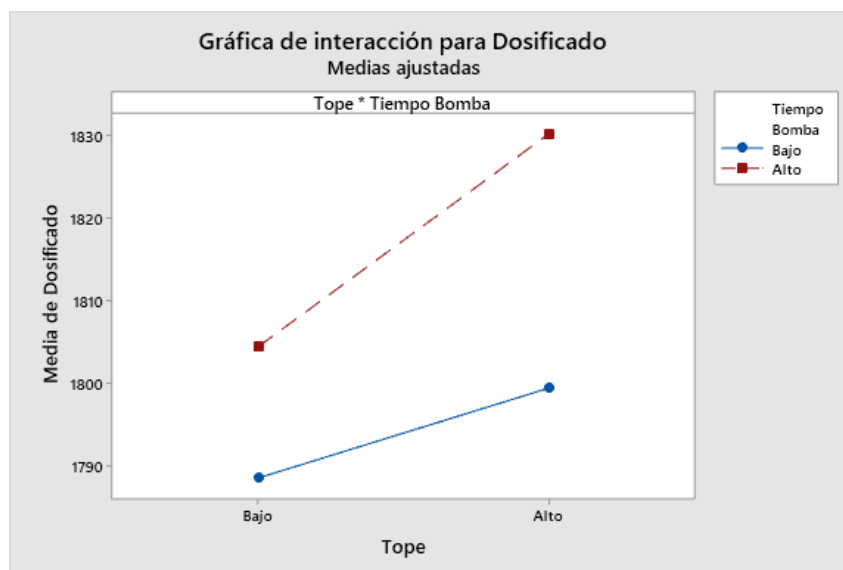


Figura 3.4 Gráfica de Interacción para formato de 1750 g. [Fuente: Elaboración propia]

Con esto, se demostró que para obtener niveles más bajos de sobredosificación se debe usar los niveles bajos de la altura del anillo y de tiempo de bomba.

De esta manera, se encontró la configuración operacional de estos factores, los mismos que deben ser usados al iniciar la operación de llenado. Estos resultados operacionales se muestran en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1 Resultados del Diseño Factorial de ambos formatos. [Fuente: Elaboración propia]

Factor	Formato	
	1750 g	3700 g
Altura del anillo	25 mm	23 mm
Tiempo de bomba	17.8 s	11.3 s

Para realizar un análisis comparativo de la capacidad del proceso antes y después de la implementación de los niveles encontrados para los dos factores del experimento se tomaron nuevos datos. En la figura 3.5 se puede observar que el Cp mejoró casi un 50%, mostrando que el proceso pasó de ser no capaz a adecuado para el cumplimiento de las especificaciones relacionadas a la variable estudiada, sin embargo, se debe mantener aún un estricto control del proceso. Por otra parte, el Cpk a pesar de haber mostrado mejora, tuvo un resultado menor a 0.67 debido a que los datos provienen de una distribución desfasada de la meta aún.

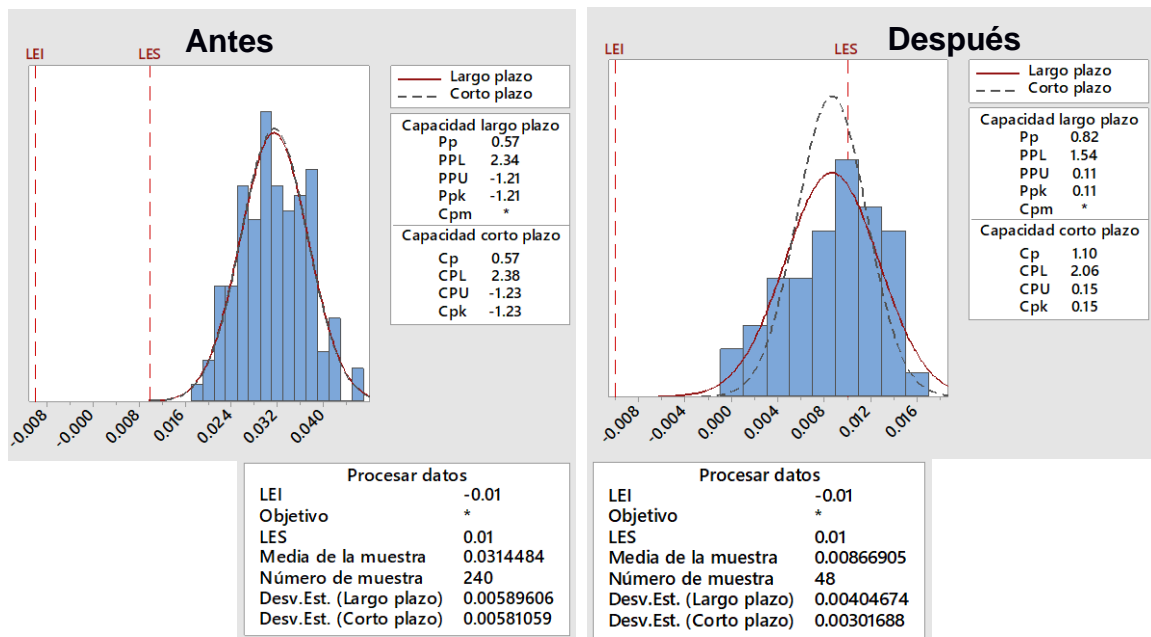


Figura 3.5 Comparativo del Análisis de capacidad del formato 1750 g.[Fuente: Elaboración propia]

De igual manera, se realizó un análisis comparativo del formato 3700g como se presenta en la figura 3.6, donde se observa que el Cp y el Cpk incrementaron en más del 50%, pero el proceso no ha pasado a ser capaz todavía, debido a la elevada variabilidad que aún tiene respecto a las especificaciones. Por esta razón, se deben

continuar con los trabajos de experimentación que se han planteado en este proyecto.

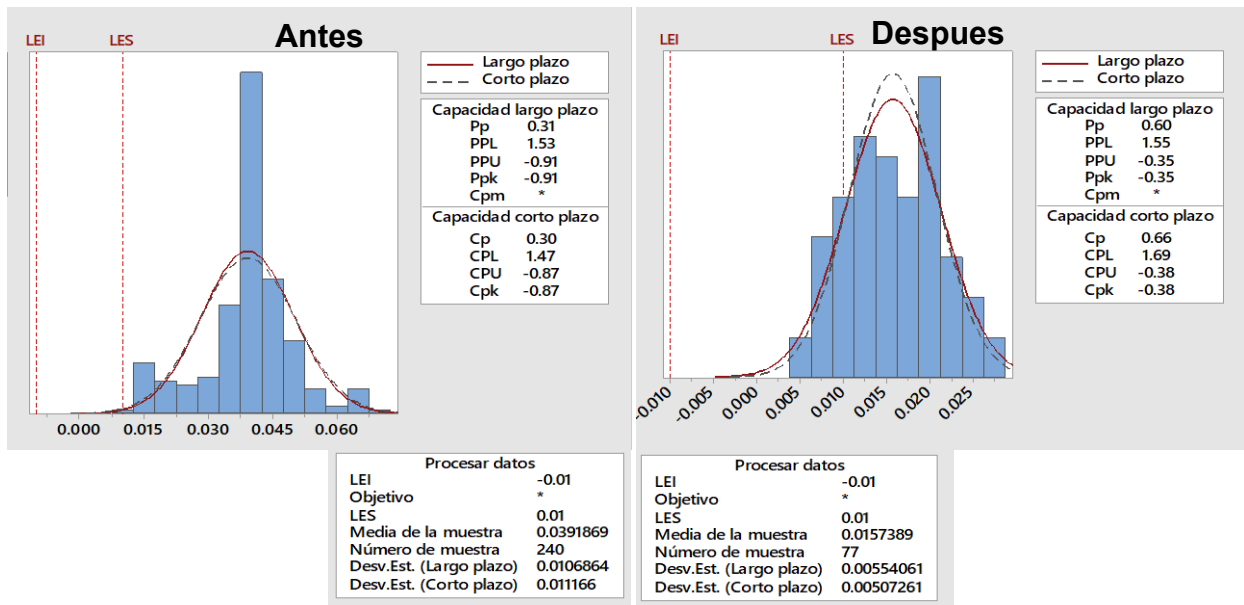


Figura 3.6 Comparativo del Análisis de capacidad del formato 3700 g. [Fuente: Elaboración propia]

Ahora bien, a partir de la información levantada de la implementación de la mejora se analizó su impacto en los principales requerimientos de la compañía, que forman parte de los objetivos del proyecto. Entre estos requerimientos se tiene los kilogramos perdidos por la sobredosificación, la variabilidad y el cumplimiento al plan de producción. De esta manera, en la tabla 3.2 se muestra el porcentaje de sobredosificación que se ha obtenido en cada formato estudiado y el porcentaje que representa cada formato sobre la sobredosificación total, en donde se puede comparar los resultados en contraste al histórico y al esperado del proyecto, recalcando que los datos presentados consideran su volumen de producción.

Tabla 3.2 Frecuencias relativas de los formatos 1750g y 3700g. [Fuente: Elaboración propia]

Formato	Porcentaje de Sobredosificación	Frecuencia relativa histórica de sobredosificación total	Frecuencia relativa objetivo de sobredosificación total	Frecuencia relativa actual de sobredosificación total
1750 g	0.91%	46.6%	35.6%	22.5%
3700 g	1.57%	23.3%	18.5%	22.8%
Totales		69.9	54.1	45.3

Con el resultado obtenido de 0.91% y 1.57% para los formatos 1750g y 3700g, respectivamente, se estimó los kilos sobredosificados totales en un año y su respectivo porcentaje, como se muestra en la tabla 3.3. Con ello se ha calculado una reducción de 58530 kilogramos que representan un 40% de ahorro.

Tabla 3.3 Comparación de kilogramos sobredosificados. [Fuente: Elaboración propia]

Escenario	Kilos Sobredosificados	Porcentaje de Sobredosificación
Original	145 376 kg	2.12%
Mejorado	86 845 kg	1.27%

Adicionalmente se observó que mejoró el cumplimiento del plan de producción al utilizar los niveles de calibración que se encontraron. Entre los varios productos que se vieron beneficiados se logró 2% más en el cumplimiento del plan de producción como se muestra en la tabla 3.4.

Tabla 3.4 Variación del cumplimiento del plan de producción. [Fuente: Elaboración propia]

Producto	Cumplimiento sin mejora	Cumplimiento con mejora
Sabor A	96.0%	99.5%
Sabor B	100.0%	99.3%
Sabor C	98.6%	99.8%
Sabor D	97.1%	100.0%
Sabor E	100.0%	100.0%
Sabor F	92.9%	100.0%
Promedio	97.4%	99.7%

De igual manera, del análisis de capacidad presentado en las figuras 3.5 y 3.6 se puede observar que hay una disminución en la variabilidad de los procesos de llenado en cuanto a la sobredosificación. Para el formato de 1750g la desviación estándar era de 0.0058 y ahora es de 0.0030; por otra parte, para el formato de 3700g la desviación estándar era de 0.0110 y ahora es de 0.0051. Siendo así que con las mejoras se ha obtenido 52% y 46%, para los formatos 1750g y 3700g, respectivamente.

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- Se redujo el porcentaje de sobredosificación total a 1.27%, lo que representa un total de 58 530 kilogramos ahorrados anualmente, siendo un ahorro de aproximadamente \$40 000 al año.
- Se redujo la variabilidad del proceso de llenado en un 48%.
- Se incrementó el cumplimiento del plan de producción en un 2%.
- Se redujeron los kilogramos sobredosificados al año en un 40% estimando llegar a 86 845 kilogramos.
- Se aplicaron diferentes herramientas aprendidas durante el transcurso de la carrera con el objetivo de encontrar soluciones al problema de sobredosificación.
- Por medio de la aplicación de DMAIC se involucraron a diversas áreas de la empresa como producción, calidad, mantenimiento y planificación.

4.2 Recomendaciones

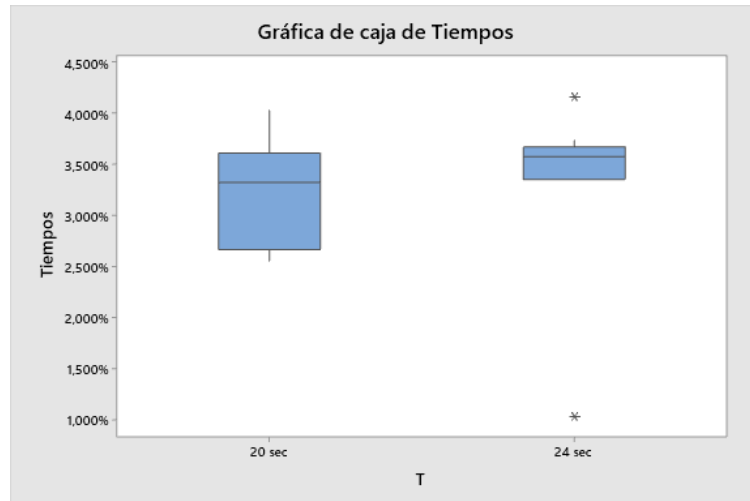
- Realizar un diseño factorial con más factores y niveles con el fin de abarcar más posibles condicionantes del proceso de llenado.
- Mantener un control periódico de 3 meses mínimo donde se analicen los resultados obtenidos con el fin de mantener las mejoras en el tiempo.
- Realizar seguimiento a las cartas de control que se llevan en las líneas de llenado para asegurar el uso correcto de las mismas.
- Implementar un sistema de verificación de pesos automático con el fin de detectar en tiempo real la alteración de los pesos del producto final.

BIBLIOGRAFÍA

- Berardinelli, C. F. (Noviembre de 2012). TO DMAIC or Not to DMAIC? *Quality Progress*(45). Obtenido de <https://search.proquest.com/openview/b3c577516acae1f7cc96dee05d30c023/1?pq-origsite=gscholar&cbl=34671>
- Gupta, P. (2015). *SEIS SIGMA SIN ESTADÍSTICA: Enfoque en la búsqueda de las mejoras inmediatas*. Shaumburg: ACCELPER CONSULTING.
- Gutiérrez Pulido, H., & De La Vara Salazar, R. (2012). *Análisis y diseño de experimentos* (Tercera ed.). México D.F., México: McGraw Hill.
- Gutierrez, H., & De la Vara, R. (2009). *Control Estadístico de Calidad y Seis Sigma*. México, D. F.: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES.
- Kuehl, R. O. (2000). *Design of Experiments: Statistical Principles of Research Design and Analysis* (Second ed.). Duxbury. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/44344814_Design_of_experiments_statistical_principles_of_research_design_and_analysis_Robert_O_Kuehl
- León, R., & Ferreiro, O. (29 de Octubre de 2020). *La clase ejecutiva*. Recuperado el 2021, de <https://www.claseejecutiva.uc.cl/blog/articulos/ciclo-dmaic-medir-y-analizar/>
- Montgomery, D. C. (2013). *Design and Analysis of Experiments* (Octava ed.). United States of America: John Wiley & Sons, Inc.
- Navarro, E., Gisbert, V., & Pérez, A. (Noviembre de 2017). *3Ciencias*. doi:<http://dx.doi.org/10.17993/3cemp.2017.especial.73-80>
- Niebel, B. W., & Freivalds, A. (2009). *Ingeniería Industrial: Métodos, estándares y diseño del trabajo*. México D. F.: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A.
- Palacios, M., & Soler, V. (2018). *CONTROL ESTADÍSTICO DE LA CALIDAD: UNA APLICACIÓN PRÁCTICA*. Alicante: Área de Innovación y Desarrollo,S.L.
- Pulido, H. G. (2010). *Calidad Total y Productividad* (Tercera ed.). Mexico D.F., Mexico: McGraw Hill.
- Sokovic, M., D.Pavletic, & Pipan, K. K. (Noviembre de 2010). Quality Improvement Methodologies – PDCA Cycle, RADAR Matrix, DMAIC. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 43, 476-4883. Obtenido de http://jamme.acmsse.h2.pl/papers_vol43_1/43155.pdf

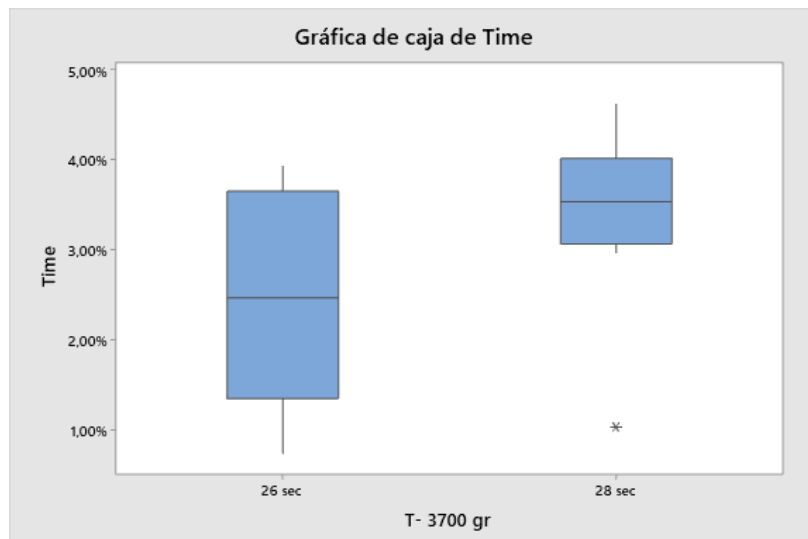
APÉNDICES

Verificación de causa: tiempo de dosificado, Gráfica de Cajas y Prueba de Mann Withney.
Para el formato de 1750 gramos.



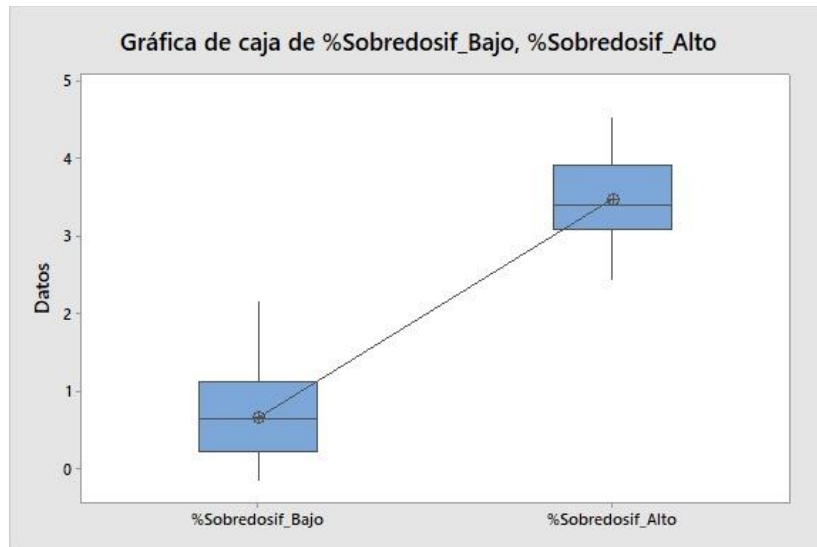
Método	Valor W	Valor p
No ajustado para empates	115,00	0,470
Ajustado para empates	115,00	0,470

Verificación de causa: tiempo de dosificado, Gráfica de Cajas y Prueba de Mann Withney.
Para el formato de 3700 gramos.



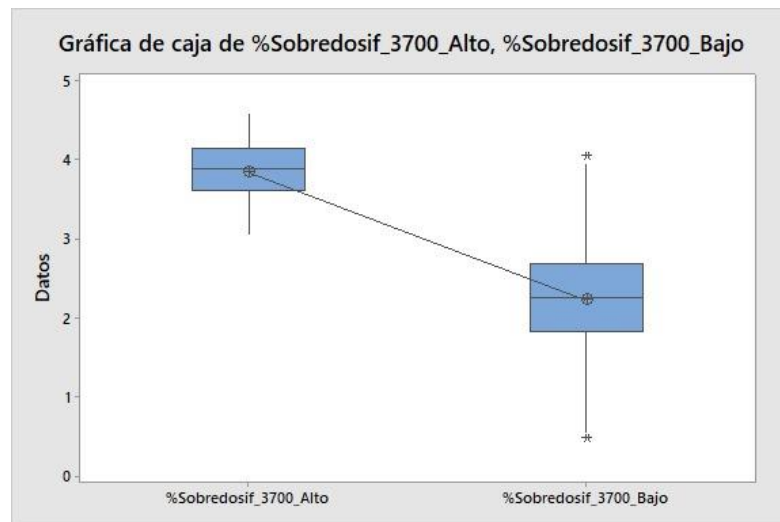
Valor W	Valor p
53,00	0,128

Verificación de causa: tope del dosificador, Gráfico de Cajas y Prueba de T para 2 muestras. Para el formato de 3700 gramos.



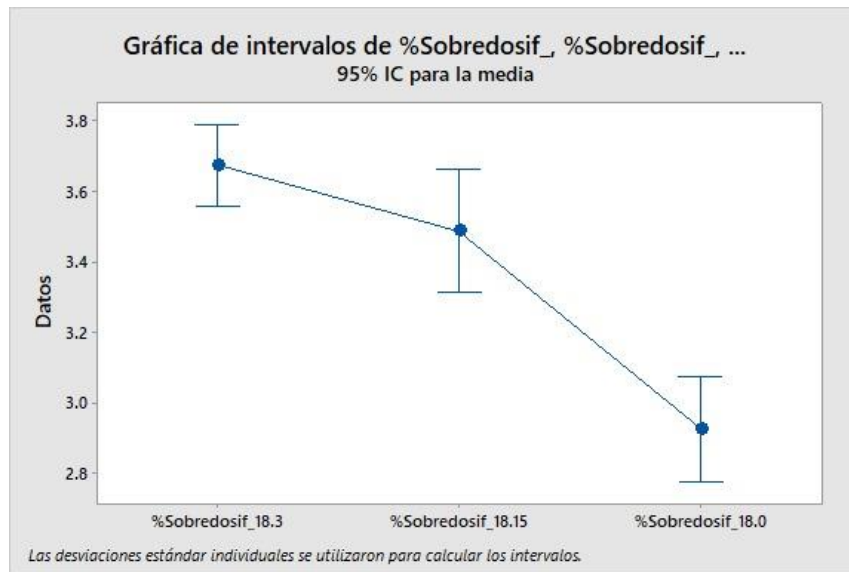
Diferencia = μ (%Sobredosif_Bajo) - μ (%Sobredosif_Alto)
 Estimación de la diferencia: -2.804
 IC de 95% para la diferencia: (-3.058, -2.550)
 Prueba T de diferencia = 0 (vs. ≠): Valor T = -21.96 Valor p = 0.000 GL = 80
 Ambos utilizan Desv.Est. agrupada = 0.5780

Verificación de causa: tope del dosificador, Gráfico de Cajas y Prueba de T para 2 muestras. Para el formato de 1750 gramos.



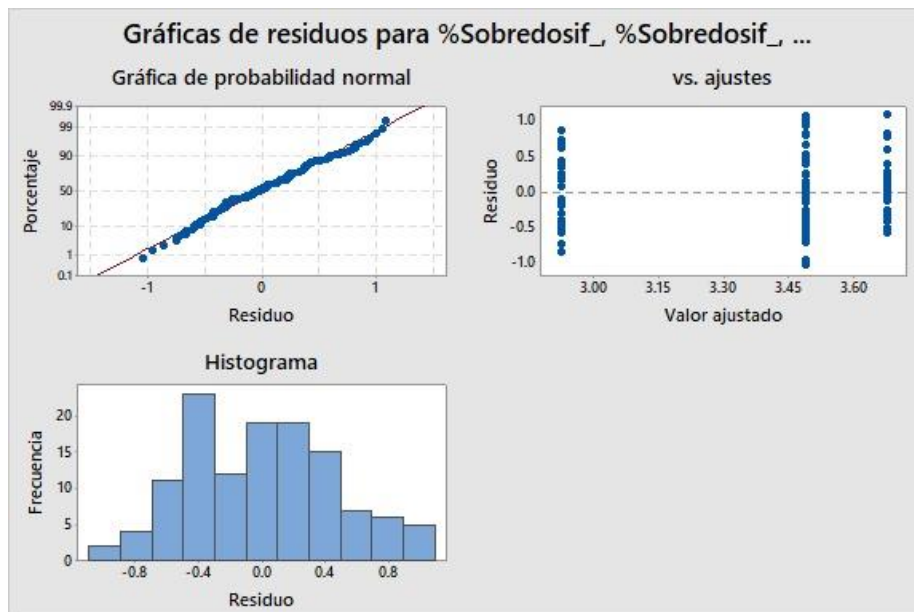
Diferencia = μ (%Sobredosif_3700_Alto) - μ (%Sobredosif_3700_Bajo)
 Estimación de la diferencia: 1.615
 IC de 95% para la diferencia: (1.304, 1.926)
 Prueba T de diferencia = 0 (vs. ≠): Valor T = 10.42 Valor p = 0.000 GL = 52

Verificación de causa: tiempo de bomba principal, Gráfica de Intervalos, Prueba de Barlett y Prueba de Normalidad. Para el formato de 3700 gramos.

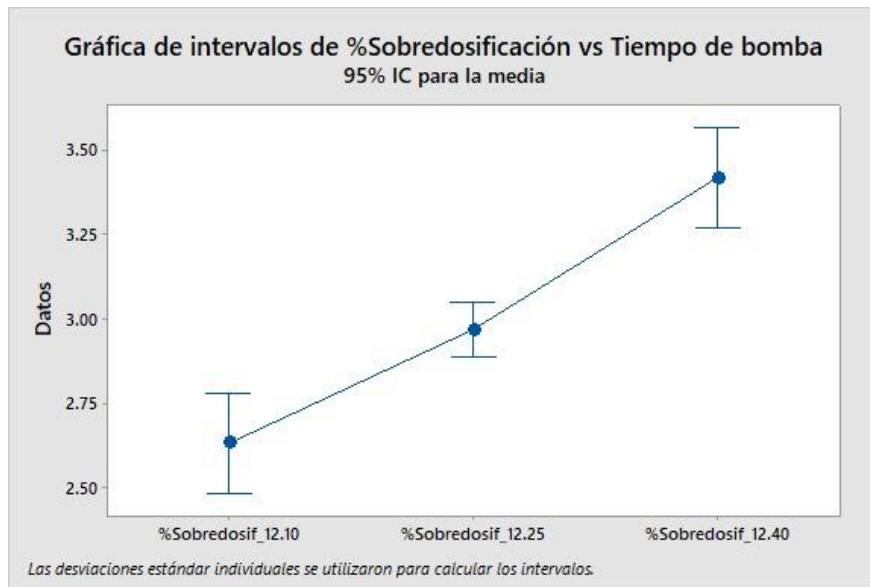


Prueba de Welch

		GL			
Fuente	Num	GL Den	Valor F	Valor p	
Factor	2	77.5756	32.16	0.000	

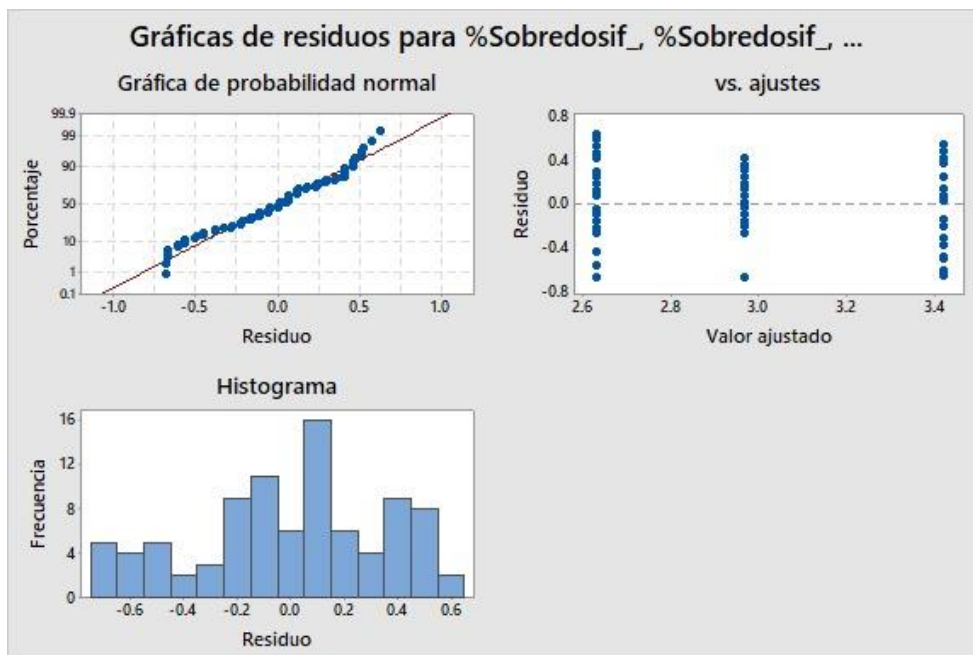


Verificación de causa: tiempo de bomba principal, Gráfica de Intervalos, Prueba de Barlett y Prueba de Normalidad. Para el formato de 1750 gramos.

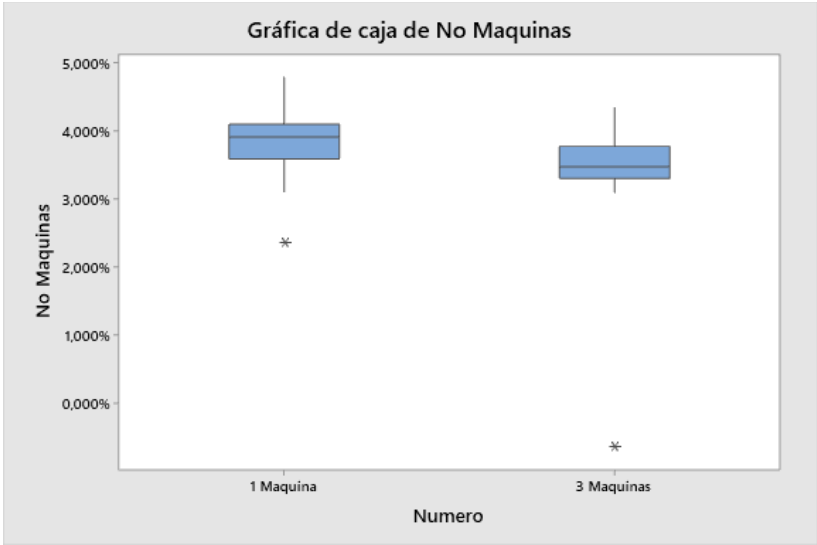


Prueba de Welch

	GL				
Fuente	Num	GL Den	Valor F	Valor p	
Factor	2	52.9634	29.02	0.000	

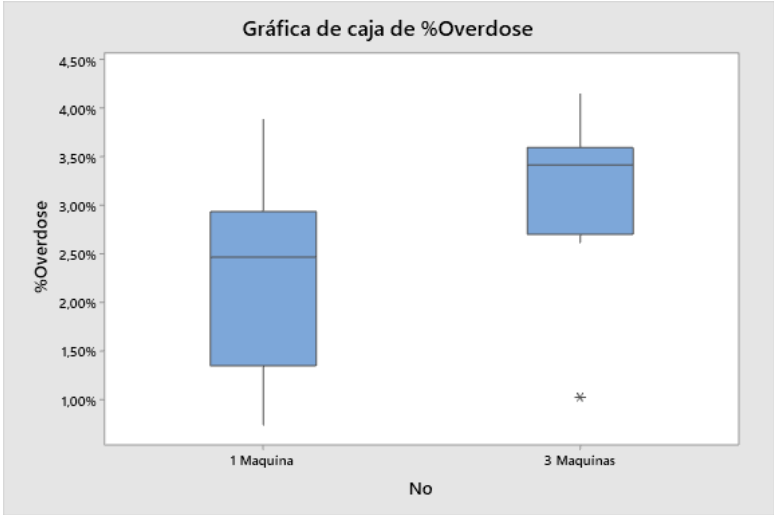


Verificación de causa: tiempo de bomba principal, Gráfica de Cajas y Prueba de Mann Withney. Para el formato de 1750 gramos.



Método	Valor W	Valor p
No ajustado para empates	389,00	0,013
Ajustado para empates	389,00	0,013

Verificación de causa: tiempo de bomba principal, Gráfica de Cajas y Prueba de Mann Withney. Para el formato de 3700 gramos.



Valor W	Valor p
51,00	0,083