



# INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE ÁLAMO TEMAPACHE

---

## TITULACIÓN

TESIS PROFESIONAL

"Propuesta de optimización de la capacidad de llenado de tambores para reducir la variabilidad del galonaje mediante la aplicación DMAIC"

**PARA OBTENER EL TITULO DE**

Ingeniero industrial

**PRESENTA**

Miguel Ángel Reyes González

**DIRECTOR DE TESIS**

M.I.I Cenia Edith Hernández San Juan

## **Dedicatoria**

Con profunda gratitud y una mezcla de emociones, llego a este punto culminante en mi viaje académico y profesional. Esta tesis no es solo el fruto de horas dedicadas a la investigación y el estudio, sino también el resultado de un esfuerzo colectivo indispensable en mi camino.

A mi familia, cuyo amor incondicional ha sido mi motor y refugio, les dedico este logro. Cada sacrificio que han hecho por mí se ve reflejado en cada página de este trabajo.

A mi novia, quien ha sido mi fuente de alegría y equilibrio, le agradezco por su apoyo inquebrantable a lo largo de este proceso. Sus palabras de aliento y momentos de distracción han sido como una balanza en los momentos de intensidad.

Con esta tesis, cierro una etapa de aprendizaje formal, pero también abro las puertas a un nuevo capítulo de descubrimiento y contribución en mi campo de estudio. Cada línea escrita aquí representa no solo conocimiento, sino también pasión y determinación. Que este trabajo sea una pequeña contribución al vasto mar de la academia y la investigación.

## **Agradecimientos**

En este punto de mi camino académico, me gustaría expresar mi profunda gratitud a todas las personas e influencias que han sido fundamentales para que esta tesis se convierta en una realidad.

Agradezco a mis asesores y profesores por su orientación y sabiduría a lo largo de este proceso. Sus consejos y conocimientos en aporte al presente proyecto. Quiero destacar y agradecer profundamente a mi familia por su apoyo incondicional. Su amor, comprensión y paciencia me han sostenido en los momentos desafiantes y han sido mi mayor motivación. A decir verdad, en cada aspecto de mi vida he estado rodeado de personas que creen en mí y siempre están a mi lado para todo lo que necesite, por eso y mas solo me queda decir gracias.

También quiero reconocer mi propio esfuerzo y dedicación. Esta tesis no habría sido posible sin mi perseverancia y determinación. Cada hora de estudio, cada desafío superado y cada logro alcanzado han contribuido a esta realización.

Gracias a todos por ser parte de este capítulo significativo en mi vida.

## Resumen

La empresa International Química de Cobre S.A. de C.V. (IQC), una destacada protagonista en la industria de procesamiento de jugo de cítricos para su exportación a nivel global se encuentra actualmente frente a un desafío crucial. Este desafío se centra en el proceso de llenado de bins, recipientes que almacenan el jugo y lo conservan hasta su venta final hacia el consumidor.

El problema radica en la variabilidad del galonaje que se produce en cada uno de estos bins durante el proceso de llenado. Esta variabilidad ha traído consigo una serie de consecuencias negativas que impactan directamente tanto en la calidad del producto final como en la eficiencia operativa. Los bins con niveles de llenado excesivo o insuficiente resultan en la ruptura de bolsas asépticas, comprometiendo la integridad del producto y, a su vez, generando gastos adicionales debido a la necesidad de reemplazar estas bolsas dañadas.

Para abordar y superar este desafío, se propone la implementación de la metodología DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar). Se planteo como objetivo reducir la variabilidad de galonaje dentro de los contenedores , manteniendo una cantidad de 375 a 380 galones por cada unidad, siguiendo los pasos de la metodología DMAIC se puede llegar a estandarizar con los parámetros requeridos para tener como objetivo general la mejora continua, esto demostrado durante el presente documento donde se logra aumentar el Cpk de dicho proceso de llenado, partiendo con un Cpk de -0.5464 que significa detalles dentro del proceso ya que no esta cumpliendo con los requerimientos del cliente. A pasar a un Cpk de 0.0801 lo cual significa una mejora significativa del proceso de llenado y por consecuencia se logra controlar la variabilidad de galonaje , manteniéndola entre los parámetros requeridos que este caso son 375 a 380 galones.

## **Summary**

The company International Química de Cobre S.A. de C.V. (IQC), a prominent player in the citrus juice processing industry for global export, is currently facing a crucial challenge. This challenge revolves around the process of filling bins, containers that store the juice and play a fundamental role in the production and distribution chain.

The issue lies in the variability of the gallonage that occurs in each of these bins during the filling process. This variability has brought about a series of negative consequences that directly impact both the quality of the end product and operational efficiency. Bins with excessive or insufficient filling levels result in the rupture of aseptic bags, compromising the product integrity and, in turn, generating additional expenses due to the need to replace these damaged bags.

To address and overcome this challenge, the implementation of the DMAIC methodology (Define, Measure, Analyze, Improve, and Control) is proposed. Through this structured methodology, the aim is to identify the underlying causes of gallonage variability, develop effective solutions, and establish control systems that ensure the stability and consistency of the bin-filling process.

# Índice

<b>1. Introducción.....</b>	<b>1</b>
1.1 Antecedentes.....	2
1.2 Planteamiento del problema .....	4
1.3 Justificación.....	5
1.4 Hipótesis.....	6
1.5 Objetivos generales y particulares.....	6
<b>2. Marco teórico.....</b>	<b>7</b>
2.1 Precisión de llenado.....	7
2.1.1 La importancia del llenado preciso dentro de la industria de alimentos y bebidas.....	7
2.2 Variación de llenado.....	8
2.2.1 Efectos de la variación de llenado en contenedores.....	8
2.2.2 Tecnologías y enfoques para el control del llenado de contenedores.....	8
2.2.3 Beneficios de llenado preciso y consistente.....	8
2.3 Metodología six sigma (DMAIC).....	9
2.4 Diagrama de Gantt.....	10
<b>3. Estado del arte .....</b>	<b>11</b>
3.1.1 Control de dosificación en la industria de productos químicos agrícolas .....	11
3.1.2 Eficiencia en el llenado de botellas en la industria de cosméticos .....	11
3.1.3 Mejora de la producción de pinturas y recubrimientos .....	11
3.1.4 Control de llenado de tanques en la industria petrolera .....	11
3.1.5 Optimización del proceso de envasado en la industria de bebidas gaseosas.....	12
3.1.6 Mejora de la calidad en la fabricación de productos farmacéuticos.....	12
3.1.7 Optimización de llenado de tanques en la industria química .....	12
3.1.8 Eficiencia en el llenado de envases en la industria alimentaria .....	12
<b>4. Metodología .....</b>	<b>13</b>
4.1. Metodología de DMAIC .....	13
4.1.1 Plan de realización de actividades.....	13
4.1.2 Diagrama de proceso de llenado de los contenedores .....	14
4.1.3 Identificación del problema .....	15
4.2. Caracterización del proceso .....	19
4.2.1 Diagrama SIPOC.....	19

4.3. Identificación del proyecto.....	21
4.3.1 Project Charter .....	21
4.4. Etapa Medir.....	22
4.4.1 Muestreo de recolección de datos.....	23
4.4.1 Periodo de toma de datos .....	24
4.4.3 Frecuencia de problemas .....	25
4.5 DPMO (Defecto por millón de oportunidades) .....	26
4.5.1 Nivel Sigma.....	27
4.5.1 Obtención del Cp y Cpk.....	28
4.6 Etapa Analizar .....	31
4.6.1 AMEF .....	31
4.6.2 Determinación de la probabilidad de ocurrencia .....	36
4.6.3 Determinación de la gravedad del fallo .....	36
4.6.4 Determinación de la probabilidad de no detección.....	37
4.6.5 Determinación del número de prioridades de fallo .....	38
4.7 Etapa mejorar.....	39
4.7.1 Diagrama de Gantt propuesta de actividades .....	39
4.7.2 Diagrama de Gantt proceso de llenado de bins y tambores.....	40
4.8 Etapa controlar .....	41
<b>5. Análisis y discusión de resultados.....</b>	<b>43</b>
5.1 Obtención del Cpk .....	43
5.2 Muestreo de galonaje en contenedores.....	43
<b>6. Conclusiones.....</b>	<b>47</b>
Referencias bibliográficas.....	48

## Índice de figuras

Fig.1 Diagrama de metodología DMAIC. Elaboración propia.....	13
Fig.2. Diagrama de proceso de llenado de los contenedores. Elaboración propia .....	14
Fig. 3 Diagrama de Pareto de daños en los contenedores. Elaboración propia.....	16
Fig. 4 Diagrama de Pareto Problemas de llenado. Elaboración propia. ....	17
Fig.5 Diagrama de Pareto semanas. Elaboración propia .....	18

Fig.6 Diagrama SIPOC. Elaboración propia.....	19
Fig.7 Diagrama de Pareto de daños. Elaboración propia. ....	23
Fig.8 Diagrama de Pareto de semanas. Elaboración propia .....	25
Fig.10 Grafica de control. Elaboración Propia.....	30
Fig.12 Graficas de control con base a las propuestas. Elaboración propia. ....	45
Fig.13 Graficas de control antes de las propuestas. Elaboración propia.....	46

## Índice de tablas

Tabla 1. Project Charter. Elaboración propia.....	21
Tabla 2. Datos recolectados de tipo de daño. Elaboración propia.....	23
Tabla 3. Problemas de llenado. Elaboración propia.....	24
Tabla 4. Frecuencia de problemas. Elaboración propia. ....	25
Tabla 5. Niveles Sigma. Elaboración propia.....	27
Tabla 6. Muestreo de galonaje. Elaboración Propia.....	28
Tabla 7. Valores para formula. Elaboración propia.....	29
Tabla 8. Servicios y componentes. Elaboración propia .....	31
Tabla 9. Fallos identificados. Elaboración propia.....	32
Tabla 10. Efectos de los fallos identificados. Elaboración propia. ....	32
Tabla 11. Causas Identificadas. Elaboración propia.....	34
Tabla 12. Sistemas de control establecidos. Elaboración propia.....	35
Tabla 13. Determinación de la probabilidad de ocurrencia. Elaboración propia .....	36
Tabla 14. Determinación de la gravedad del fallo. Elaboración propia.....	36
Tabla 15. Determinación de la probabilidad de no detección. Elaboración propia .....	37
Tabla 16. Determinación del número de probabilidad de fallos. Elaboración propia.....	38
Tabla 17. Diagrama de Gantt implementado en el proceso de llenado. Elaboración propia. 39	
Tabla 18. Diagrama de Gantt proceso de llenado. Elaboración propia. ....	40
Tabla 19. Registro de galonaje. Elaboración propia. ....	42
Tabla 20. Muestreo de g. en contenedores. Elaboración propia.....	43
Tabla 21. Datos para formula. Elaboración propia. ....	44

# 1. INTRODUCCIÓN

En el ámbito de la industria alimentaria, International Química de Cobre S.A. de C.V. se destaca como una empresa dedicada al procesamiento de la extracción, envasado y exportación de jugo de cítricos, Sin embargo, se ha identificado una problemática crítica relacionada con el llenado de tambores en especial de los bins, siendo este último un tipo de envase utilizado en la empresa.

El desafío principal radica en las variaciones significativas que se presentan en el galonaje durante el proceso de llenado. Esta situación ha generado consecuencias adversas, ya que en algunos bins se ha observado la ruptura de bolsas asépticas que se encuentran en su interior. Esta circunstancia no solo afecta la calidad del producto final, sino que también incide en la eficiencia operativa y, potencialmente, en la reputación de la empresa.

Con el objetivo de mejorar la consistencia y precisión del llenado de bins, así como de mitigar el riesgo de rotura de las bolsas asépticas, se ha decidido emprender una propuesta de mejora utilizando la metodología DMAIC. Según Anton et al. (2016), DMAIC se compone de cinco fases interrelacionadas: Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar.

Para el desarrollo del presente trabajo es importante conocer la inestabilidad del galonaje de cada contenedor durante estos últimos meses, lo cual ha sido demasiado , se pretende llegar a reducir la variabilidad del galonaje manteniéndolo en un parámetro de 375 a 380 galones, en algunas ocasiones los contenedores pueden llegar a presentar hasta mas de 410 galones por lo que es necesario identificar la causa raíz , lo primero a realizar es analizar el proceso de llenado , tomar un muestreo de los defectos de unidad y someterlo a estadísticas dentro de los últimos meses, así mismo realizar diagramas de Pareto para de esta manera conocer los principales factores que están afectando al llenado y así tomar decisiones que ayuden a la solución de dicho problema, cabe destacar los datos serán sometidos a las herramientas estadísticas de manera semanal , para lograr obtener un menor margen de error al momento de interpretar resultados, así mismo se hará uso de Análisis de modos y efectos de fallas potenciales para analizar y poder tomar decisiones que ayuden a la mejora continua y dar solución a la problemática planteada.

## **1.1 Antecedentes**

Por más de 25 años, Internacional Química de Cobre (IQC) ha sido una destacada empresa dedicada a la producción y comercialización de productos relacionados con el campo, tanto a nivel nacional como internacional. Fundada en 1988 por el emprendedor Ing. Juan Manuel Ramírez, IQC, anteriormente conocida como Picasa, ha logrado consolidarse como una procesadora de cítricos con el objetivo de satisfacer las necesidades del mercado en constante evolución.

En la década de los ochenta, la compañía decidió implementar una estrategia de expansión aprovechando las oportunidades que la Agroindustria ofrecía en México. Como parte de esta iniciativa, se estableció la división de Alimentos y se creó la Planta Procesadora de Cítricos en el municipio de Álamo, Veracruz. Esta planta se especializa en la producción de jugo concentrado de naranja (FOCJ) y ha logrado establecerse como un proveedor confiable en el mercado internacional, exportando sus productos a países como Estados Unidos, Canadá, Francia, Alemania, Holanda, Israel y Japón, cumpliendo con estrictas normas de calidad internacionales.

La ubicación estratégica de la planta de cítricos en la parte norte del estado de Veracruz brinda varias ventajas. Esta región se destaca por su gran desarrollo agrícola y producción de cultivos como cítricos, papaya y maíz, siendo la naranja el cultivo principal con el 49% de la superficie sembrada y representando el 60% de la producción nacional. Además, la cercanía de la planta a importantes puertos internacionales como Veracruz, Tampico y Tuxpan facilita la distribución de los productos a nivel global. Asimismo, la proximidad a la frontera con Estados Unidos, especialmente con el estado de Texas, proporciona una ventaja logística significativa.

A lo largo de su trayectoria, Internacional Química de Cobre ha demostrado su capacidad para adaptarse a las demandas del mercado y mantener altos estándares de calidad. Sin

embargo, en relación con el proceso de llenado de bins utilizados en el envasado del jugo, se ha identificado una problemática relacionada con la variabilidad del galonaje en cada envase. Esta variabilidad ha generado inconvenientes, como la ruptura de bolsas asépticas en algunos bins, lo que afecta tanto la calidad del producto final como la eficiencia operativa.

Con el fin de abordar esta problemática y mejorar el proceso de bins, se propone la implementación de un proyecto residencial utilizando la metodología DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar). Mediante esta metodología estructurada, se buscará identificar las causas raíz de las variaciones en el galonaje, desarrollar soluciones efectivas y establecer mecanismos de control que garanticen la estabilidad del proceso.

Internacional Química de Cobre se ha posicionado como una empresa líder en la industria de procesamiento de jugo de cítricos, enfocada en la exportación a diversos países. Sin embargo, la variabilidad en el llenado de bins ha generado problemas operativos.

## **1.2 Planteamiento del problema**

La empresa International Química de Cobre S.A. de C.V. (IQC), dedicada al procesamiento de la extracción de jugo de cítricos para su exportación a diferentes países, se enfrenta a una problemática significativa en el llenado de bins, los cuales son utilizados como envases para el producto final. Esta problemática se centra en la variabilidad del galonaje en cada envase, lo cual ha generado consecuencias negativas en términos de calidad y eficiencia operativa.

El llenado bins es un paso crítico en el proceso de envasado del jugo de cítricos, ya que determina la cantidad exacta de producto que se almacena en cada envase. Sin embargo, se ha observado que existe una considerable variación en el galonaje de los envases, lo que implica que algunos bins contengan una cantidad excesiva de jugo, mientras que otros presenten deficiencias en su llenado. Esta variabilidad ha llevado a la ruptura de bolsas asépticas en algunos bins, lo cual compromete tanto la integridad del producto como la eficacia del proceso de envasado.

Las consecuencias de esta problemática son diversas. En primer lugar, la variación en el galonaje afecta la uniformidad y consistencia del producto final, lo cual puede resultar en una calidad inconsistente y no cumplir con los estándares requeridos por los clientes internacionales.

Además, la ruptura de bolsas asépticas en algunos bins genera desperdicio de producto y aumenta los costos de producción, ya que es necesario reemplazar las bolsas dañadas y volver a realizar el proceso de llenado. Esto no solo implica un gasto adicional en términos de material y recursos, sino que también interrumpe la eficiencia operativa, retrasando los tiempos de producción y generando posibles demoras en los plazos de entrega.

La variabilidad del galonaje en el llenado de bins representa un desafío importante que afecta tanto la calidad del producto final como la eficiencia operativa. Para abordar esta problemática y lograr una mejora significativa en el proceso de llenado, se hará uso de la metodología DMAIC basada en cinco principios, definir, medir, analizar, identificar y controlar. Mediante este enfoque estructurado, se identificarán las causas raíz de la variabilidad del galonaje, se desarrollarán soluciones efectivas y se establecerán mecanismos de control para garantizar la estabilidad del proceso de llenado de bins.

### **1.3 Justificación**

La variabilidad del galonaje en cada envase ha generado consecuencias negativas en términos de calidad del producto, eficiencia operativa y costos adicionales, lo cual justifica la necesidad de aplicar la metodología DMAIC para resolver esta problemática de manera estructurada y sistemática.

En primer lugar, la metodología DMAIC proporciona un marco de trabajo bien definido para abordar problemas y mejorar procesos. A través de las etapas de Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar, se establecerán objetivos claros, se recopilarán datos relevantes, se identificarán las causas raíz de la variabilidad del galonaje, se implementarán soluciones efectivas y se establecerán controles para mantener los resultados a largo plazo. Esta metodología asegurará un enfoque disciplinado y basado en datos para la resolución del problema, aumentando las posibilidades de éxito y sostenibilidad de las mejoras implementadas.

Además, el uso de la metodología DMAIC permitirá una mayor comprensión y visibilidad de los procesos de llenado de tambores y bins. A través de la recopilación y análisis de datos, se podrá identificar con precisión la variabilidad del galonaje, determinar las causas subyacentes de la misma y cuantificar su impacto en la calidad del producto y los costos operativos. Al igual se aplicará diversos diagramas de Pareto y la obtención del CPK del CP del muestreo de datos que se recolectará esto proporcionará una base sólida para la toma de decisiones informadas y la implementación de soluciones efectivas.

Asimismo, la aplicación de la metodología DMAIC brindará beneficios tangibles a la empresa. La reducción de la variabilidad del galonaje en los envases resultará en una mejora de la calidad del producto final, garantizando una mayor consistencia y cumplimiento de los estándares de calidad requeridos por los clientes. Esto aumentará la satisfacción del cliente, fortalecerá la reputación de la empresa en el mercado y fomentará la fidelidad de los clientes existentes. Además, la optimización de los procesos de llenado traerá consigo eficiencias operativas, como una mejor planificación de la producción, reducción de los tiempos de ciclo y optimización en el uso de los recursos disponibles. Estos beneficios se traducirán en una mejora de la rentabilidad y competitividad de la empresa.

## **1.4 Hipótesis**

Con la aplicación de la metodología Sigma DMAIC se minimizará la variabilidad del galonaje manteniéndolo entre 375 a 380 galones. Para reducir el riesgo de ruptura de bolsas asépticas.

## **1.5 Objetivos generales y particulares**

### **Objetivo general**

Analizar el proceso de llenado de tambores, con el objetivo de minimizar el riesgo de la ruptura de la bolsa aséptica.

### **Objetivos particulares**

- Definir el proceso actual de llenado de tambores y bins, definiendo las fuentes de variabilidad y los puntos críticos que afectan la precisión del galonaje.
- Medir el proceso de llenado, asegurando la calibración adecuada de equipos y la estandarización de procedimientos.
- Realizar un análisis de seguimiento continuo de los datos de galonaje, utilizando herramientas estadísticas.
- Identificar las mejoras implementadas
- Establecer y controlar protocolos de mantenimiento preventivo para equipos y maquinarias involucrados en el llenado de tambores y bins, garantizando su correcto funcionamiento y prolongando su vida útil.

## **2. MARCO TEÓRICO**

La industria de los jugos de cítricos ha experimentado un crecimiento significativo en las últimas décadas debido a la demanda creciente de productos naturales y saludables. Según el informe de mercado de Global Citrus Juice Market (Mercado global de jugo de cítricos) publicado por Market Research Future, se prevé que la industria del jugo de cítricos experimente un crecimiento constante en los próximos años debido al aumento en la demanda de jugo de cítricos en los países vecinos. (Market Research Future, 2021).

Las empresas dedicadas a la extracción y comercio de jugo de cítricos se enfrentan a desafíos y oportunidades únicas en un mercado altamente competitivo. Según el estudio de mercado realizado por Grand View Research, la competencia entre los actores clave de la industria se ha intensificado debido a la entrada de nuevos participantes y al crecimiento de los productos sustitutos. Sin embargo, también se presentan oportunidades para las empresas que puedan ofrecer productos innovadores y de alta calidad para satisfacer la creciente demanda de los consumidores (Grand View Research, 2020).

Abordando más a detalle el punto del proyecto se enfocará más a la problemática:

El llenado preciso y consistente de los contenedores de jugo es fundamental para garantizar la calidad del producto y cumplir con las expectativas de los consumidores. Sin embargo, las empresas dedicadas a la extracción y comercialización de jugo a menudo se enfrentan al desafío de la variación en el llenado de los contenedores, lo que puede afectar la cantidad y la consistencia del producto final.

### **2.1 Precisión de llenado**

#### **2.1.1 La importancia del llenado preciso dentro de la industria de alimentos y bebidas.**

En la industria de alimentos y bebidas, el llenado preciso de los envases es un aspecto crítico en el aseguramiento de la calidad final del producto. El llenado incorrecto puede resultar en una variación en el contenido neto, lo que podría afectar la satisfacción del cliente y generar reclamos de los consumidores" (FDA, 2017).

## **2.2 Variación de llenado**

### **2.2.1 Efectos de la variación de llenado en contenedores**

La variación en el llenado de los contenedores puede provocar inconsistencias en la cantidad de jugo en cada envase, lo que puede afectar la uniformidad del sabor y la experiencia del consumidor. Además, la variación en el llenado puede generar costos adicionales debido a los desperdicios de producto y a la necesidad de rellenar los contenedores para alcanzar la cantidad adecuada" (Pinto, C., et al., 2019).

### **2.2.2 Tecnologías y enfoques para el control del llenado de contenedores**

En la industria de alimentos y bebidas, se han desarrollado diversas tecnologías y enfoques para controlar y minimizar la variación en el llenado de los contenedores. Esto incluye el uso de sistemas de control automático de llenado, la implementación de sensores y dispositivos de medición precisos, así como el monitoreo continuo del proceso de llenado para detectar y corregir desviaciones" (Qin, X., et al., 2020).

### **2.2.3 Beneficios de un llenado preciso y consistente**

"Un llenado preciso y consistente de los contenedores de jugo no garantiza la calidad y la satisfacción del cliente, sino que ayudar a mejorar la eficiencia operativa y reducir los costos asociados con el desperdicio de producto. Además, un llenado preciso puede contribuir a la reputación y la lealtad de la marca, ya que los consumidores confían en recibir la cantidad correcta de producto en cada envase" (Spence, M., 2019).

La literatura científica destaca la importancia de abordar la variación en el llenado de contenedores. Según Pinto et al. (2019), la variabilidad en el llenado de envases puede dañar la experiencia final del consumidor. Por otro lado, Qin et al. (2020) mencionan que la implementación de tecnologías y enfoques adecuados puede contribuir a minimizar la variación y mejorar la precisión del llenado.

Un llenado preciso y consistente de los contenedores de jugo no solo garantiza la calidad y la satisfacción del cliente, sino que también puede ayudar a mejorar la eficiencia operativa y reducir los costos asociados con el desperdicio de producto.

### **2.3 Metodología Six Sigma (DMAIC)**

Six sigma destaca por ser una metodología bastante amplia y reconocida como un enfoque efectivo para mejorar la calidad de los procesos y reducir la variación en los resultados. Una de las herramientas clave dentro de la metodología Six Sigma es el ciclo DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar), que proporciona una estructura sistemática para el análisis y la mejora de los procesos existentes (Pyzdek & Keller, 2014).

El primer paso del ciclo DMAIC es la etapa de Definir, donde se establecen los objetivos del proyecto y se identifican los problemas críticos que afectan la calidad del proceso. Durante esta etapa, también se definen los indicadores clave de rendimiento (KPI) relacionados con la calidad del proceso (Snee, R. D, 2010)

En la etapa de Medir, se recopilan datos sobre el proceso y se analiza su desempeño actual. Durante esta etapa, se utilizan métricas como Cp y Cpk para evaluar la capacidad del proceso. El índice de capacidad del proceso (Cp) se utiliza para medir la capacidad inherente del proceso para cumplir con las especificaciones establecidas, mientras que el índice de capacidad del proceso ajustado (Cpk) tiene en cuenta la ubicación del proceso en relación con los límites especificados (Montgomery, D. C. 2012)

"Cp y Cpk son métricas comunes utilizadas en Six Sigma para evaluar la capacidad del proceso. Cp mide la capacidad inherente del proceso, mientras que Cpk considera tanto la variabilidad como la posición del proceso con respecto a los límites" (Pyzdek & Keller, 2014, p. 139). La metodología DMAIC está compuesta por 5 etapas, definir, medir, analizar, mejorar y controlar, su objetivo es la disminución de defectos, actualmente las empresas cuentan con este sistema para mejorar la calidad de sus servicios. (Albert, Soler, & Molina, 2017)

Analizar: (Pérez-Domínguez, Pérez-Blanco, García-Villalba, & Gómez-Zepeda, 2019) dicen que se determinan y analizan los defectos obtenidos en la fase anterior verificando las causas y efectos.

Mejorar: Al estar establecidas las causas, se generan las oportunidades de mejora, identificando actividades que ayuden a la disminución de defectos. (Carrillo, Peralta, Severiche, Ortega, & Vargas, 2021)

Controlar: De acuerdo con (Lozano, 2017) es dar seguimiento a las herramientas implementadas mediante un plan o gráficos de control.

#### **2.4 Diagrama de Gantt**

Se puede definir el diagrama de Gantt como una herramienta utilizada para mostrar las actividades de mejora que se están proponiendo, partiendo de uno o varios puntos de mejora, se puede decir que es una herramienta de gestión de proyectos. La grafica de Gantt muestra directamente lo que se tiene que seguir para llevar a cabo una o varias tareas de mejora compadrándola con el proceso real que se hace, en este caso para determinar la situación que se está presentando y como ha mejorado el proceso con base a las propuestas realizadas.

## **3. ESTADO DEL ARTE**

### **3.1.1 Control de Dosificación en la Industria de Productos Químicos Agrícolas:**

En la fabricación de productos químicos agrícolas, como pesticidas y fertilizantes líquidos, la precisión en la dosificación es esencial para evitar daños a los cultivos y garantizar la seguridad del medio ambiente. La implementación de sistemas de control avanzados y la utilización de algoritmos de dosificación han llevado a mejoras en la uniformidad y precisión del llenado de envases (Brown, A. et al., 2019).

### **3.1.2 Eficiencia en el Llenado de Botellas en la Industria de Cosméticos:**

En la producción de productos cosméticos líquidos, como lociones y cremas, la consistencia en el llenado de botellas es crucial para mantener la presentación y calidad del producto. La aplicación de sistemas de control basados en visión artificial ha permitido optimizar el llenado y reducir los desperdicios en la línea de producción (García, C. & Martínez, R., 2020).

### **3.1.3 Mejora de la Producción de Pinturas y Recubrimientos:**

En la industria de pinturas y recubrimientos, la variabilidad en el llenado de tambores y latas puede afectar la calidad y consistencia de los productos. La aplicación del enfoque DMAIC ha llevado a la identificación de factores clave que influyen en la variabilidad. (Johnson, D. et al., 2016).

### **3.1.4 Control de Llenado de Tanques en la Industria Petrolera:**

En la industria del petróleo y el gas, la precisión en el llenado de tanques y contenedores es fundamental para garantizar la seguridad en el transporte y almacenamiento de los productos. La implementación de sistemas de monitoreo en tiempo real y sistemas de

control automatizado ha llevado a mejoras en la eficiencia y reducción de pérdidas en el llenado (Smith, L. et al., 2017).

### **3.1.5 Optimización del Proceso de Envasado en la Industria de Bebidas Gaseosas:**

En la industria de bebidas gaseosas, la variabilidad en el llenado de botellas puede llevar a problemas de efervescencia y derrames. La aplicación del enfoque DMAIC ha permitido identificar causas raíz de la variabilidad, implementar sistemas de control en las máquinas de llenado y monitorear los indicadores clave para mantener la calidad del producto y reducir las pérdidas (Johnson, M. et al., 2017).

### **3.1.6 Mejora de la Calidad en la Fabricación de Productos Farmacéuticos:**

En la producción de productos farmacéuticos líquidos, como jarabes y soluciones, la consistencia en el llenado de frascos es esencial para garantizar la precisión de las dosis y la seguridad del paciente. La metodología DMAIC se ha aplicado para resolver problemas de variabilidad en el llenado, mejorando la calidad del producto final y cumpliendo con regulaciones estrictas (García, P. & Rodríguez, L., 2019).

### **3.1.7 Optimización del Llenado de Tanques en la Industria Química:**

En la industria química, el llenado preciso de tanques con líquidos peligrosos es fundamental para evitar derrames y riesgos para la seguridad. La implementación de sistemas de automatización y el análisis de datos en tiempo real han permitido reducir la variabilidad en el llenado y mejorar la seguridad operativa (Smith, R. et al., 2018).

### **3.1.8 Eficiencia en el Llenado de Envases en la Industria Alimentaria:**

En la producción de alimentos enlatados, la uniformidad en el llenado de envases es esencial para evitar problemas de sellado y prolongar la vida útil del producto. La aplicación de técnicas estadísticas y sistemas de control ha llevado a mejoras significativas en la eficiencia y calidad del proceso de llenado (Martínez, J. & Pérez, E., 2020).

## 4. METODOLOGÍA

### 4.1 Metodología DMAIC.

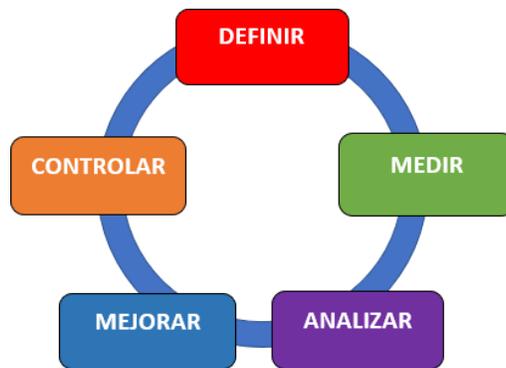


Figura 1. Diagrama de Metodología DMAIC. Fuente: .

#### 4.1.1 Plan de realización de actividades

- Definir los registros que se tienen sobre los bins que se han reportado como dañados, para posteriormente aplicar un diagrama de Pareto como identificador del problema principal, evaluando diferentes factores como el contenido de cada uno de los bin, su proceso y el número de fallas presentes al mismo tiempo que se mide cada uno de estos factores con sus respectivos parámetros.
- Se analizarán los resultados obtenidos con los diagramas de Pareto del cual se hará uso, para posteriormente incluir un análisis de modos y efectos de fallas potenciales (AMEF).
- Se realiza la carta de proyecto, el cual está en la parte final de la primera etapa, en la que incluye todo lo realizado hasta este punto.
- Una vez teniendo identificado, medido y analizado los factores principales del problema se procede a realizar las actividades correspondientes a la etapa mejorar en este caso se hará uso de un diagrama de Gantt, en donde se hará registro de las propuestas de mejora que se ayuden en cada uno de los factores analizados.

- Para esta última etapa (controlar) se hará uso de hojas de registro para llevar un control de los registros de galonaje actual, en este caso para la comparación de resultados de antes y después de la aplicación DMAIC.

#### 4.1.2 Diagrama de proceso de llenado de los contenedores

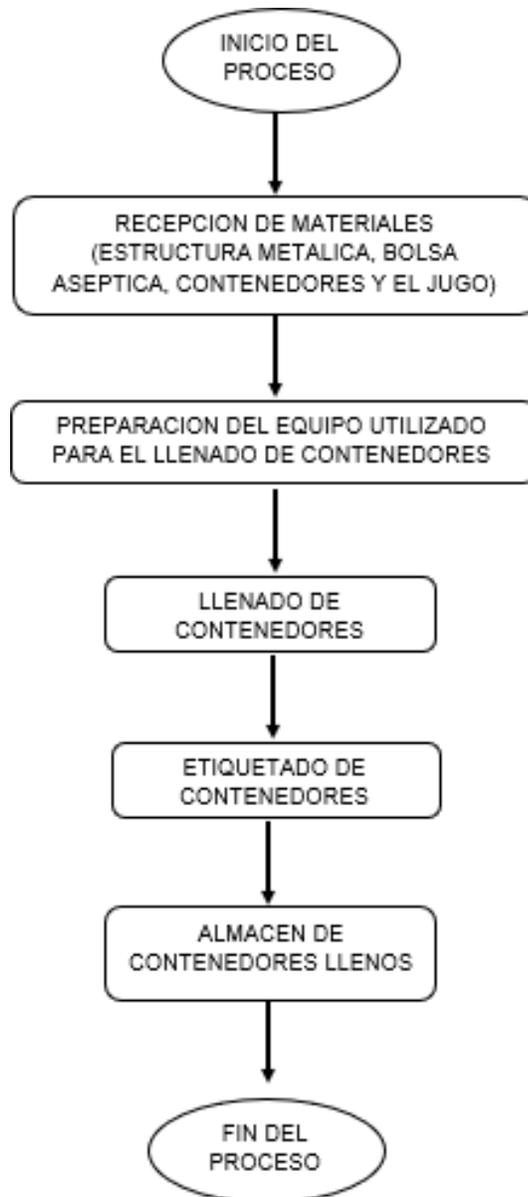


Figura 2. Diagrama de proceso de llenado de los contenedores. Elaboración Propia

### **4.1.3 Identificación del problema**

La principal intención de esta etapa es identificar las causas que ocasionan la problemática que en este caso el llenado de bins, determinando ciertas variables que puedan ser clave en el proceso de llenado, ya que los bins presentan dos problemas al momento de reportarse como dañados, siendo cuando están inflados debido a la fermentación que presentan y por fuga en algunos casos. Esto se debe al exceso de galonaje que se encuentra dentro de estos contenedores. Para tener una mejor definición de estos problemas se hará uso del diagrama de Pareto, donde se presentará la gráfica en la que se mostrará las causas del problema, además para esta etapa se realizó un diagrama SIPOC donde identifica los proveedores, entradas, salidas hasta llegar a cliente.

Se identificaron los problemas principales que muestran los bins que son reportados como dañados, siendo en este caso los daños por fuga, bins inflados y otros (pueden ser daños por estructura en algunos casos o bolsas asépticas dañadas de fábrica), dentro de la empresa se llevó un reporte de bins dañados, en donde se consideraron factores como la fecha del lote al que corresponde cada bin (cabe resaltar que cada lote está compuesto por 17 bins en promedio), el tipo de daño que presentó y el galonaje con el que contaba, para identificar cada bin dañado se usa el número de Good pack (refiriéndose al nombre del envase).

A continuación, se presenta un diagrama de Pareto donde se identifican los principales problemas que se presentan en el llenado, para identificar la causa raíz. Diagrama de Pareto de razones (Daños)

Para iniciar la etapa definir, se presentará un diagrama de Pareto donde se muestran los daños que presentan los bins analizados.

## Diagrama de Pareto de daños

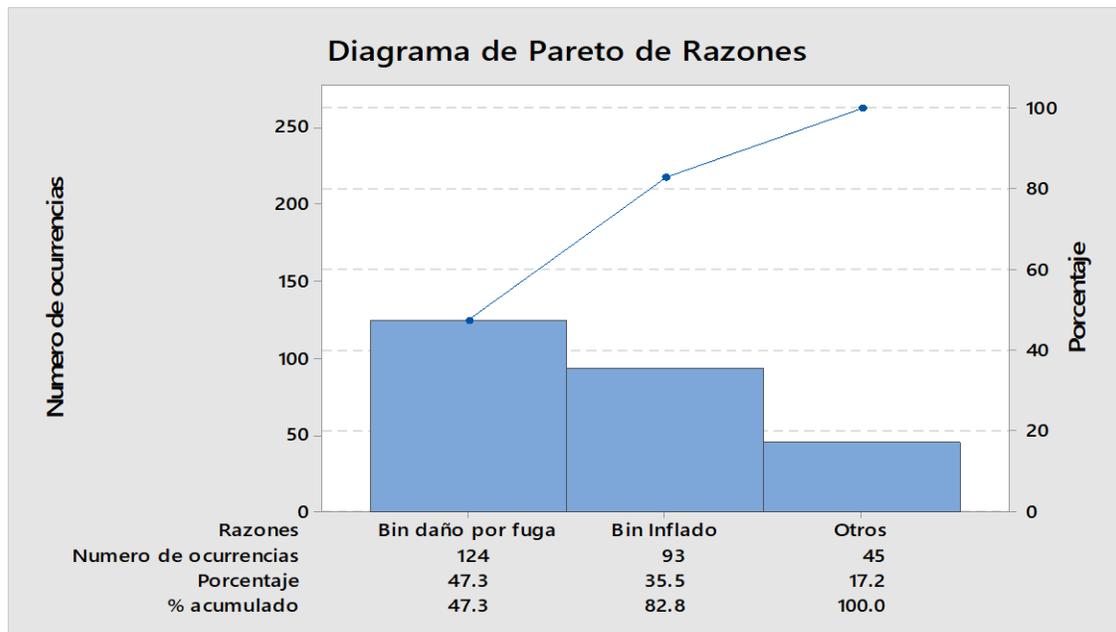


Figura 3. Diagrama de Pareto de daños en los contenedores. Elaboración propia.

Según el principio de Pareto muestra que el 80% de las consecuencias, representan el 20% de las causas, de acuerdo con lo que se observa podemos decir que el 80% mostrado en el diagrama representa el daño por fuga y el daño por bin inflado, por lo cual estas son las dos variables en las que se debe tomar trabajar para dar propuestas de mejora.

Con base a la información obtenida por el muestreo se puede continuar con el uso del diagrama de Pareto, el cual se muestra a continuación.

**Diagrama de Pareto problema de llenado**

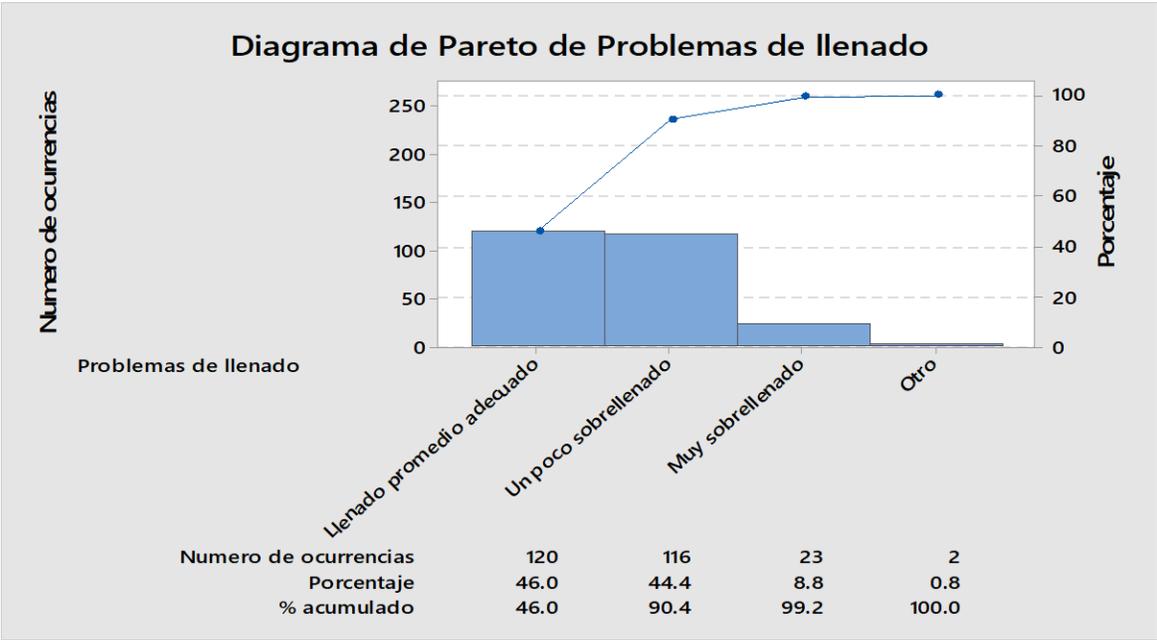


Figura 4. Diagrama de Pareto Problemas de llenado. Elaboración propia.

De acuerdo con lo que se observa en el diagrama podemos decir que el 80% mostrado representa el llenado en un estado muy sobreelevado del promedio y el llenado un poco sobreelevado, por lo cual estas son los dos estados que más predominan dentro de la muestra, siendo el caso del llenado un poco sobreelevado en la cual se debe detener mayor concentración.

Así mismo se continua con el diagrama de Pareto de las semanas, donde se pretende definir las semanas clave donde se presentaron más daños.

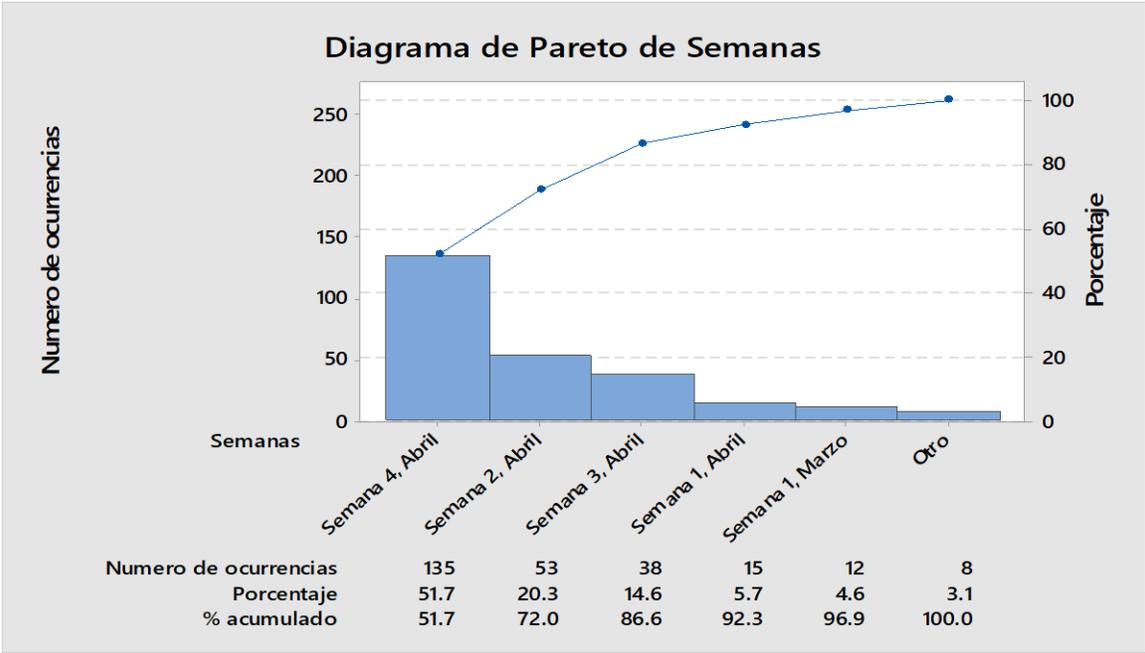


Figura 5. Diagrama de Pareto semanas. Elaboración propia.

De acuerdo con lo que se observa en el diagrama se puede decir que el 80% mostrado representa la semana 4 de abril, la semana 2 de abril y la semana 3 de abril, por lo cual estas son las tres semanas que más predominan dentro de la muestra, interpretándolas como las principales semanas donde se presentó más daños sobre los bins.

## 4.2 Caracterización del proceso

### 4.2.1 Diagrama SIPOC

Se realizó un diagrama SIPOC para identificar entradas, proveedores, salidas, clientes, en este caso del proceso de llenado de bins.

S	I	P	O	C
ENTRADAS	PROVEEDORES	PROCESO	SALIDAS	CLIENTES
*Jugo de cítricos	*Proveedores de Cítricos	Recepción de materiales	Bins llenos de jugo de cítricos	003-F045/H001
*Etiquetas de identificación	*Proveedores de Bolsas Asepticas	Preparación del equipo y bolsa aseptica	Bins etiquetados y listos para almacenar	003-T008
*Bolsa Aseptica	*Proveedor de estructura GoodPack	Llenado de bins		V034/BIOSUISSE
* Estructura metalica GoodPack		Etiquetado de Bins		004-M018
		Almacenamiento de bins llenos		003-D017

Figura 6. Diagrama SIPOC. Elaboración propia.

- Recepción de jugo de cítricos y bolsas asépticas: En esta etapa, se reciben los insumos necesarios para el proceso de llenado, que incluyen el jugo de cítricos y las bolsas asépticas. Estos insumos son verificados y almacenados correctamente hasta su uso.
- Preparación del equipo y de las bolsas asépticas: En esta etapa, se prepara el equipo necesario para el llenado de los bins. Esto incluye la limpieza y calibración de las máquinas de llenado, así como la inspección y preparación de las bolsas asépticas para su uso.
- Llenado de los bins con jugo de cítricos: En esta etapa, se realiza el llenado de los bins con el jugo de cítricos. Las bolsas asépticas son colocadas en los bins y se utiliza el equipo de llenado para asegurar que se alcance el galonaje deseado en cada bin.

- Etiquetado de los bins: Una vez que los bins han sido llenados con el jugo de cítricos, se procede a etiquetarlos. Esto implica colocar etiquetas de identificación en los bins, indicando la información relevante como el contenido, fecha de llenado, número de lote, entre otros.
- Almacenamiento de los bins llenos: Finalmente, los bins llenos y etiquetados son almacenados adecuadamente en el área de almacenamiento designada. Estos bins están listos para su posterior distribución y comercialización.

## 4.3 Identificación del proyecto

### 4.3.1 Project Charter

Tabla 1. Project Charter.

Projet charter		
<b>Título del proyecto:</b> "Propuesta de optimización de la capacidad de llenado de tambores para reducir la variabilidad del galonaje mediante la aplicación DMAIC"		
<b>Miembros del equipo:</b> Departamento de Inventarios, Departamento de producción, Departamento de calidad		
<b>Agentes implicados:</b>		
<b>Descripción del problema:</b> La empresa Internacional Química de Cobre S.A. de C.V. (IQC), dedicada al procesamiento de la extracción de jugo de cítricos está enfrentando una problemática significativa en el llenado de bins, los cuales son utilizados como envases para el producto final. Esta problemática se centra en la variabilidad del galonaje en cada envase, lo cual ha generado consecuencias negativas en términos de calidad y eficiencia operativa.		
<b>Objetivo:</b>	<b>Valor de partida</b>	<b>Valor objetivo</b>
Dar una propuesta de mejora que contribuya al proceso de llenado de tambores y bins en Internacional Química de Cobre, con el fin de lograr una variabilidad controlada de 370 a 380 galones por bin, reduciendo el riesgo de la ruptura de bolsa y asegurando un llenado preciso y consistente en cada	410 Gal. Por bin en algunos casos	un valor máximo de 385 Gal. Por bin
Ø Definir el proceso actual de llenado de tambores y bins, definiendo las fuentes de variabilidad y los puntos críticos que afectan la precisión del galonaje.		
Ø Medir el proceso de llenado, asegurando la calibración adecuada de equipos y la estandarización de procedimientos.		
Ø Realizar un análisis de seguimiento continuo de los datos de galonaje, utilizando herramientas estadísticas.		
Ø Identificar las mejoras implementadas, comparando los resultados antes y después de la aplicación de la metodología DMAIC.		
Ø Establecer y controlar protocolos de mantenimiento preventivo para equipos y maquinarias involucrados en el llenado de tambores y bins, garantizando su correcto funcionamiento y prolongando su vida útil.		

Elaboración Propia

En el presente Project Charter muestra la información que se tiene hasta el momento, destacando los departamentos involucrados, al igual de la situación actual de la variable que se pretende mejorar, al mismo tiempo los objetivos a los que se desean llegar. El Project Charter se considera como una herramienta de planeación de proyectos, que facilita las actividades que se van a llevar a cabo.

#### 4.4 Etapa Medir

En esta etapa se determinaron las herramientas a utilizar para la recolección de datos, esta fase procede al análisis de información para realizar la recolección de datos en diferentes formatos, que ayudaron a identificar los defectos que implican los llenados de contenedores, así mismo en esta etapa se obtendrá el nivel sigma del proceso de llenado y la obtención del DPMO y los CTQ's.

Más adelante en esta misma etapa con base a el muestreo que se obtenga previamente se obtendrá el Cp y el Cpk del proceso para tener una idea más reforzada respecto a la situación actual.

Los CTQ's son las características clave o especificaciones del producto o servicio que son críticas para satisfacer las expectativas del cliente. Estos se determinan en función de la voz del cliente y las necesidades y requisitos del mercado. Algunos ejemplos de CTQ's podrían ser el tiempo de respuesta, la precisión, la durabilidad, etc. El cálculo de los CTQ's implicará definir las métricas específicas que representan estas características y recopilar datos para evaluar el desempeño actual del proceso en relación con los CTQ's establecidos.

Para poder establecer los CTQ's es necesario conocer los estándares apropiados en casa situación analizada.

- En este caso se consideran el contenido de los contenedores un CTQ's debido a que es una obligación de la empresa para los clientes tener los estándares de 375 a 380 galones por bin.
- Otro CTQ's que se puede destacar es el sabor de las diferentes variedades de jugo, para este caso se consideran factores como los Brix, acides, sabor, color etc. A continuación, se presentan los muestreos obtenidos durante dos meses, cabe resaltar que la información se plantea en tablas, donde solo se muestran los resultados de cada variable.

A continuación, se presentan los muestreos obtenidos durante dos meses, cabe resaltar que la información se plantea en tablas, donde solo se muestran los resultados de cada variable.

#### 4.4.1 Muestreo de recolección de datos

Continuando con la etapa de medir, se presenta a continuación una tabla donde se llevó a cabo un muestreo o un registro de los daños presentes en los contenedores, el total de la muestra fue de 262, en donde se consideraron 3 factores o problemas tal y como se muestra, con base a los resultados de la tabla de proceder aplicar un diagrama de Pareto.

Tabla 2. Datos recolectados de tipo de daño.

Razones	Numero de ocurrencias	Acumulados	Porcentaje unitario	Porcentaje acumulado
Bin daño por fuga	93	93	35.50%	35.50%
Bin Inflado	124	216	47.70%	83.20%
Otros	45	261	16.80%	100.00%
Total	262		100.00%	

Elaboración propia.

#### Diagrama de Pareto de daños

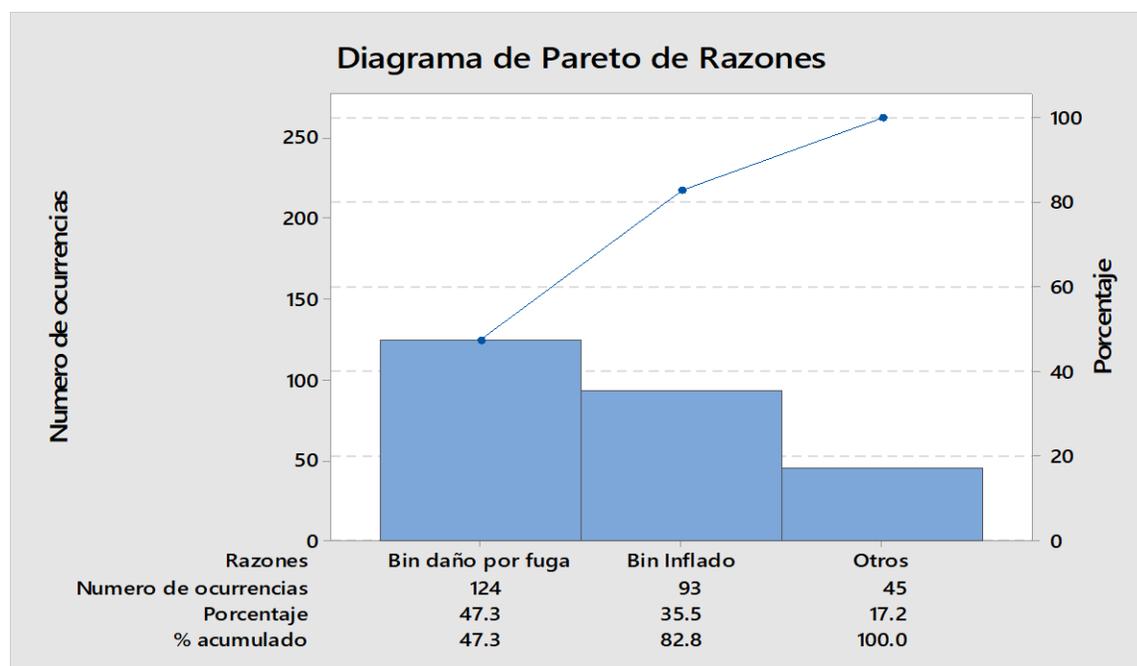


Figura 7. Diagrama de Pareto de daños. Elaboración propia.

Según el principio de Pareto nos dice que el 80% de las consecuencias, representan el 20% de las causas, de acuerdo con lo que se observa podemos decir que el 80% mostrado en el diagrama representa el daño por fuga y el daño por bin inflado, por lo cual estas son las dos variables en las que debemos concentrarnos para dar propuestas de mejora.

#### 4.4.2 Periodo de toma de datos

Continuando con el apartado de identificación es importante considerar demás factores como el caso de los defectos de llenado, para ellos se realizó una tabla donde se clasifican de acuerdo con el estado de llenado que tengas si es muy sobrellenado, poco sobrellenado, llenado promedio adecuado y llenado debajo del promedio. Para posteriormente aplicar de nueva manera un diagrama de Pareto.

Tabla 3. Problemas de llenado.

Problemas de llenado	Numero de ocurrencias	Acumulados	Porcentaje unitario	Porcentaje acumulado
muy sobrellenado (392-410 Gal.)	23	23	8.75%	8.75%
un poco sobrellenado (380 - 391 Gal.)	116	139	45.10%	53.85%
Llenado promedio adecuado (370-380 Gal.)	120	259	45.35%	99.20%
Llenado debajo del promedio (260-370 Gal.)	2	261	0.80%	100.00%
	261		100.00%	

Elaboración propia.

En la tabla de muestra los diferentes estados de llenado de una muestra de 261 bins, correspondientes al mes de marzo abril, donde se observa el número de ocurrencia correspondiente a cada apartado, obteniendo un porcentaje unitario y un porcentaje acumulado.

#### 4.4.3 Frecuencia de problemas

A continuación, se presenta una tabla correspondiente al mes de marzo- abril en donde se muestra las semanas, las cuales corresponden a cada mes registrado, número de ocurrencias, refiriéndonos al muestreo que se consideró para llevar un control de cada semana, los porcentajes que representan del problema total y el porcentaje acumulado.

Tabla 4. Frecuencia de problemas.

Frecuencia de problemas				
Semanas	Numero de ocurrencias	Acumulados	Porcentaje unitario	Porcentaje acumulado
Semana 1, Marzo	12	12	4.60%	4.60%
Semana 2, Marzo	0	12	4.60%	9.20%
Semana 3, Marzo	8	20	7.70%	16.90%
Semana 4, Marzo	0	20	7.70%	24.60%
Semana 1, Abril	15	35	13.40%	38.00%
Semana 2, Abril	53	88	33.72%	71.72%
Semana 3, Abril	38	126	48.27%	119.99%
Semana 4, Abril	135	261	100.00%	219.99%

Elaboración propia.

Con base a la tabla anterior donde la información se estructuro de acuerdo con las semanas de cada mes registrado se observa el número de ocurrencias presentes, a partir de este punto podemos darle continuidad al diagrama de Pareto para detallar más esta información.

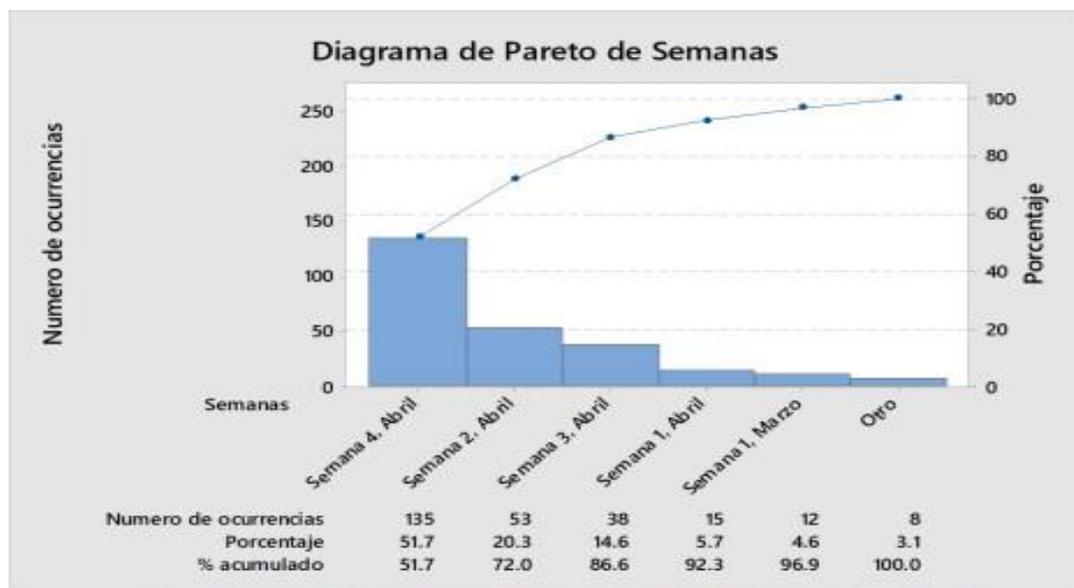


Figura 8. Diagrama de Pareto de semanas. Elaboración propia.

#### **4.5 DPMO (Defectos Por Millón de Oportunidades).**

DPMO es una medida utilizada en la metodología Six Sigma para cuantificar la cantidad de defectos o errores por cada millón de oportunidades de defecto en un proceso. Para calcular el DPMO, necesitarás tener información sobre el número total de defectos y el número total de oportunidades de defecto en el proceso. Las oportunidades de defecto se refieren a las diferentes formas en que un defecto puede ocurrir en el proceso. Por ejemplo, si el proceso implica llenado de bins, una oportunidad de defecto podría ser cada bin llenado. Es importante definir claramente las oportunidades de defecto y asegurarse de contar y registrar adecuadamente los defectos para obtener un cálculo preciso del DPMO.

El cálculo generalmente se realiza utilizando la siguiente fórmula:

$$DPMO = (\text{Número total de defectos} / \text{total de oportunidades de defecto}) * 1,000,000$$

$$DPMO = \left(\frac{262}{1880}\right) * 1,000,000$$

$$DPMO = (0.139361702) * 1,000,000$$

$$DPMO = 139,361$$

Con el presente resultado podemos decir que por cada millón de piezas procesadas habría un promedio de 74,857 mil defectos en cuanto a daños se refiere.

#### 4.5.1 Nivel Sigma

En cuanto al nivel sigma que podemos obtener esta entre 2 y 3, por el DPMO que se obtuvo anteriormente, por lo cual podemos decir que el proceso tiene un nivel sigma de 2.5.

Tabla 5. Niveles Sigma.

<b>INICIO</b>	<b>DPMO</b>
1 SIGMA	690,000 DPMO
2 SIGMA	308,537 DPMO
3 SIGMA	66,867 DPMO
4 SIGMA	6,210 DPMO
5 SIGMA	233 DPMO
6 SIGMA	3.4 DPMO

Elaboración propia.

#### 4.5.2 Obtención del Cp y Cpk

En la siguiente tabla se muestran los datos de los galonajes de los bins, específicamente se registraron 240 muestras, posteriormente se obtuvo el promedio de 388.3583 y los límites de control que vamos a utilizar son los mismo que se quieren aplicar una vez mejorado el sistema correspondiente a 370 a 380 galones por contenedor.

Tabla 6. Muestreo de galonaje.

Muestras	Porcentaje de Ng Interno								Promedio	Rango	LCS	LCI	Media
1	389	400	382	401	390	402	392	394	394	20	380	375	388.1911
2	393	383	381	385	403	384	391	387	388	22	380	375	388.3583
3	386	383	385	398	392	377	400	377	387	23	380	375	388.3583
4	387	384	385	380	396	387	375	402	387	27	380	375	388.3583
5	388	393	382	381	398	375	379	399	387	24	380	375	388.3583
6	388	393	376	376	379	402	376	382	384	26	380	375	388.3583
7	386	377	401	387	375	400	392	395	389	26	380	375	388.3583
8	382	376	393	379	389	376	397	382	384	21	380	375	388.3583
9	396	402	377	385	380	377	382	381	385	25	380	375	388.3583
10	397	380	386	377	391	378	393	392	387	20	380	375	388.3583
11	389	375	386	399	379	376	379	382	383	24	380	375	388.3583
12	393	397	384	399	386	402	380	386	391	22	380	375	388.3583
13	396	380	375	376	396	396	381	386	386	21	380	375	388.3583
14	398	394	397	383	383	384	391	379	389	19	380	375	388.3583
15	376	384	399	388	389	396	377	400	389	24	380	375	388.3583
16	385	394	390	391	391	402	392	375	390	27	380	375	388.3583
17	377	398	382	399	383	377	402	380	387	25	380	375	388.3583
18	377	392	395	395	391	375	385	381	386	20	380	375	388.3583
19	396	392	380	399	392	377	395	399	391	22	380	375	388.3583
20	385	387	400	401	402	400	377	398	394	25	380	375	388.3583
21	395	390	390	397	385	392	380	390	390	17	380	375	388.3583
22	402	398	395	400	397	390	386	393	395	16	380	375	388.3583
23	402	377	388	400	387	381	399	378	389	25	380	375	388.3583
24	383	389	378	395	379	390	386	375	384	20	380	375	388.3583
25	378	375	403	385	388	388	376	393	386	28	380	375	388.3583
26	386	385	387	385	397	382	393	401	390	19	380	375	388.3583
27	386	401	398	396	382	398	391	377	391	24	380	375	388.3583
28	375	400	400	392	379	376	382	378	385	25	380	375	388.3583
29	385	384	388	378	390	398	398	390	389	20	380	375	388.3583
30	395	383	400	393	387	381	379	393	389	21	380	375	388.3583

Elaboración Propia.

<b>LCS</b>	<b>380</b>
<b>LCI</b>	<b>375</b>

<b>Desviación estándar</b>	<b>8.54561046</b>
<b>Promedio</b>	<b>389</b>

De acuerdo a nuestra problemática planteada basada en el llenado de bins donde se tenían diferentes problemas de llenado, se plantearon los siguientes límites de control permitidos para llegar a nuestro objetivo.

<b>LCS</b>	<b>380</b>
<b>LCI</b>	<b>375</b>

Una vez se tienen todos los datos necesarios para poder llevar a cabo la obtención del Índice de capacidad de producción (CPK) podemos comenzar desglosando su fórmula.

**La fórmula para calcular el CPK es la siguiente:**

$$Cpk = \text{Min} \left( \frac{Lcs - \mu}{3\sigma}, \left( \frac{\mu - Lci}{3\sigma} \right) \right)$$

En donde:

Tabla 7. Valores para formula Cpk.

CPK = Índice de capacidad de proceso	-0.5464
MIN = Mínimo	-0.5464
LCS= Limite de control superior	380
LCI = Limite de control inferior	375
$\mu$ = Media	389
$\sigma$ = Desviación estándar	8.54

Elaboración propia.

**Desglose de la formula con los datos obtenidos**

$$Cpk = \text{Min} \left( \frac{Lcs - \mu}{3\sigma}, \left( \frac{\mu - Lci}{3\sigma} \right) \right)$$

$$Cpk = \text{Min} \left( \frac{389 - 375}{3(8.54)}, \left( \frac{380 - 389}{3(8.54)} \right) \right)$$

$$Cpk = \text{Min} \left( \frac{14}{25.62}, \left( \frac{-9}{25.62} \right) \right)$$

$$Cpk = \text{Min} (-0.5464, 0.5464)$$

$$Cpk = -0.5464$$

El valor resultante del CPK es -0.5464. Un valor negativo indica que el proceso no está cumpliendo con las especificaciones del cliente, refiriéndonos a la calidad del proceso. En este caso, el proceso se encuentra fuera de las especificaciones y necesita mejoras para ser capaz de llenar los contenedores dentro de los límites establecidos.

Es importante señalar que el valor negativo del CPK puede deberse a diferentes factores, como una variación excesiva en el proceso o una desviación significativa del promedio respecto a los límites establecidos. En cualquier caso, se recomienda realizar un análisis más detallado y tomar acciones correctivas para mejorar la capacidad del proceso y garantizar la calidad del producto.

A continuación, se presenta las gráficas de los límites de control que se obtuvieron y con el cual se determinó si el proceso está cumpliendo o no con las especificaciones planteadas.

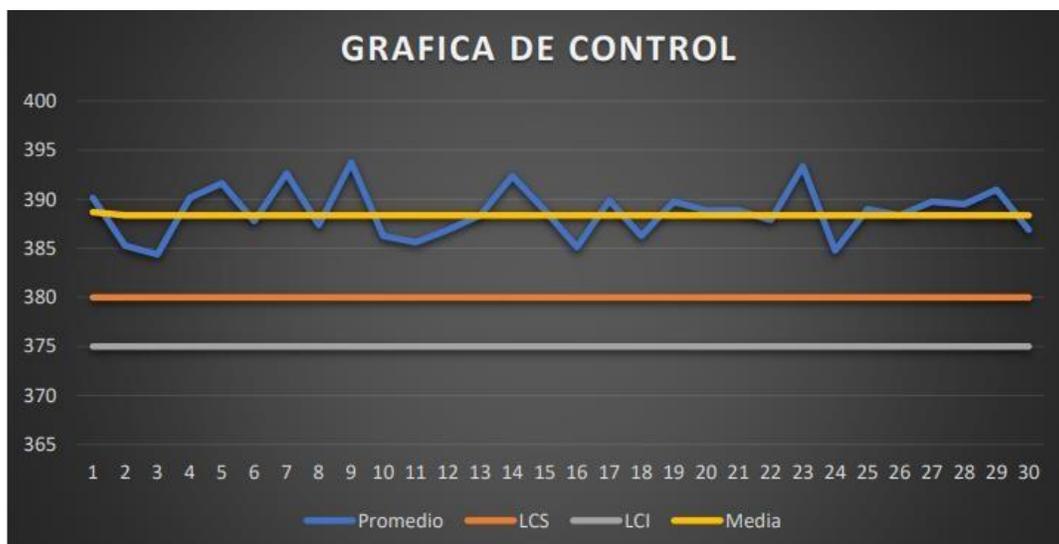


Figura 9. Grafica de control. Elaboración Propia.

Una vez se haya terminado de aplicar todos los puntos de mejora de nuevo se llevará a cabo el registro de datos y se obtendrá nuevamente el Cpk de proceso de llenado y así mismo se observe el comportamiento de grafica dentro de los límites establecidos para ver si se logró controlar un poco la variación de galonaje y de esa manera beneficiar a la empresa y al proceso más específicamente

## 4.6 ETAPA 3 (ANALIZAR)

### 4.6.1 AMEF

Se define como AMEF al análisis de modos y efectos de las fallas exponenciales, básicamente es un proceso de identificación de las fallas exponenciales dentro de diferentes aspectos como lo son los procesos de producción y algún proceso de identificación de producto. El AMEF tiene como objetivo eliminar o por lo menos minimizar el riesgo relacionado con las fallas.

AMEF Implementado en el sistema de llenado de tambores y bins, en la empresa IQC.S.A. DE C.V.

En la siguiente tabla se muestran sus componentes y funciones :

Tabla 8. Servicios y componentes.

Servicio	Componentes	Funciones
Proceso de llenado de bins y tambores	Maquinaria y equipo	Llenadora y selladora de envases
	Operadores	Operador de llenadora
	Producto	Tambores y bins llenos
	Materiales	Bolsas asépticas y etiquetas

Elaboración propia.

La siguiente tabla muestra los modos de fallo identificados en cada componente:

Tabla 9. Fallos identificados.

Servicio	Componentes	Funciones	Modos de fallos
Llenado de Bins y Tambores	Maquinaria y equipo	Llenadora y selladora de envases	Fallas en la llenadora, como rupturas muy pequeñas en la bolsa aséptica
	Operadores	Operador de llenadora	Manejo un poco brusco del equipo
	Producto	Tambores y bins llenos	Contenedores sobrepasados en su galonaje
	Materiales	Bolsas asépticas y etiquetas	Etiquetas poco visibles en ocasiones

Elaboración propia.

La siguiente tabla muestra los efectos que los fallos identificados supondrían para el cliente:

Tabla 10. Efectos de los fallos identificados.

Servicio	Componentes	Funciones	Modo de fallo	Efecto
Llenado de Bins y Tambores	Maquinaria y equipo	Llenadora y selladora de envases	Fallas en la llenadora, como rupturas muy pequeñas en la bolsa aséptica y galonajes	Puede que el producto final no llegue al cliente y tenga que reprocesarse debido a la ruptura de la bolsa

	Operadores	Operador de llenadora	Manejo un poco brusco del equipo	Daños al equipo a corto largo plazo
	Producto	Tambores y bins llenos	Contenedores sobrepasados en su galonaje	En ocasiones el galonaje acordado puede variar para bien o mal debido a la variación
	Materiales	Bolsas asépticas y etiquetas	Etiquetas poco visibles en ocasiones	Dificultad de identificar el contenedor a simple vista

Elaboración propia.

La siguiente tabla muestra las causas identificadas para los diversos modos de fallo.

Tabla 11. Causas Identificadas.

Servicio	Componentes	Funciones	Modo de fallo	Efecto	Causa
Llenado de Bins y Tambores	Maquinaria y equipo	Llenadora y selladora de envases	Fallas en la llenadora, como rupturas muy pequeñas en la bolsa aséptica y galonajes	Puede que el producto final no llegue al cliente y tenga que reprocesarse debido a la ruptura de la bolsa	Mal mantenimiento

	Operadores	Operador de llenadora	Manejo un poco brusco del equipo	Daños al equipo a corto o largo plazo	Falta capacitación
	Producto	Tambores y bins llenos	Contenedores sobrepasados en su galonaje	En ocasiones el galonaje acordado puede variar para bien o mal debido a la variación	Mala calibración de la llenadora
	Materiales	Bolsas asépticas y etiquetas	Etiquetas poco visibles en ocasiones	Dificultad de identificar el contenedor a simple vista	No identificar el lugar más visible para pegar etiqueta

Elaboración propia.

La siguiente tabla muestra los sistemas de control establecidos para evitar que se originen las causas de los fallos.

Tabla 12. Sistemas de control establecidos.

Servicio	Componentes	Funciones	Modo de fallo	Efecto	Causa	Control
Llenado de Bins y Tambores	Maquinaria	Llenadora y selladora de envases	Fallas en la llenadora, como rupturas muy pequeñas en la bolsa aséptica y galonajes	Puede que el producto final no llegue al cliente y tenga que reprocesarse debido a la ruptura de la bolsa	Mal mantenimiento	Inspección
	Operadores	Operador de llenadora	Manejo un poco brusco del equipo	Daños al equipo a corto o largo plazo	Falta de capacitación	Capacitación
	Producto	Tambores y bins llenos	Contenedores sobrepasados en su galonaje	En ocasiones el galonaje acordado puede variar para bien o mal debido a la variación	Mala calibración de la llenadora	Mantenimiento
	Materiales	Bolsas asépticas y etiquetas	Etiquetas poco visibles en ocasiones	Dificultad de identificar el contenedor a simple vista	Identificar el Lugar más visible	Inspección visual

Elaboración propia.

#### 4.6.2 Determinación de la probabilidad de ocurrencia.

Tabla 13. Determinación de la probabilidad de ocurrencia.

Criterio	Probabilidad
Casi Improbable	1-2
Baja probabilidad	3-4
Probable	5-6
Alta probabilidad	7-8
Casi con certeza	9-10

Elaboración propia.

#### 4.6.3 Determinación de la gravedad del fallo.

Tabla 14. Determinación de la gravedad del fallo.

Criterio	Probabilidad
Muy leve (Casi imperceptible)	1-2
Leve	3-4
Gravedad Moderada	5-6
Gravedad Alta	7-8
Muy agradable	9-10

Elaboración propia.

#### 4.6.4 Determinación de la probabilidad de no detección

Tabla 15. Determinación de la probabilidad de no detección.

Criterio	Probabilidad
Casi improbable que los controles detecten el fallo	1-2
Baja probabilidad de no detección	3-4
Probabilidad media	5-6
Alta probabilidad de no detección	7-8
Probabilidad muy alta de no detectar el fallo	9-10

Elaboración propia.

#### 4.6.5 Determinación del número de prioridades de fallos.

Tabla 16. Determinación del número de probabilidad de fallos.

Servicio	Componentes	Funciones	Modo de fallo	Efecto	Causa	P	G	D	I, P,D
Llenado de Bins y Tambores	Maquinaria equipo	Llenadora y selladora de envases	Fallas en la llenadora, como rupturas muy pequeñas en la bolsa aséptica y galonajes	Puede que el producto final no llegue al cliente y tenga que reprocesarse debido a la ruptura de la bolsa	Mal mantenimiento				
	Operadores	Operador de llenadora	Manejo un poco brusco del equipo	Daños al equipo a corto o largo plazo	Falta de capacitación				
	Producto	Tambores y bins llenos	Contenedores sobrepasados en su galonaje	En ocasiones el galonaje acordado puede variar para bien o mal debido a la variación	Mala calibración de la llenadora				
	Materiales	Bolsas asépticas y etiquetas	Etiquetas poco visibles en ocasiones	Dificultad de identificar el contenedor a simple vista	No identificar el lugar más visible para pegar la etiqueta				

Elaboración propia.

## 4.7 Etapa mejorar

Con base a las etapas desarrolladas anteriormente, esta fase tiene como objetivo proponer mejoras que reduzcan los daños que se han estado generando durante este periodo de tiempo, las cuales se presentaran en las siguientes tablas que se muestran a continuación.

### 4.7.1 Diagrama de Gantt implementado en el proceso de llenado de bins y tambores

Datos de las fechas de las actividades

Tabla 17. Diagrama de Gantt propuesta de actividades.

Nombre de la tarea	Fecha de inicio	Fecha de finalización	Asignado	Estado
Actividad				
Control de calidad en la recepción de insumos.	20/05/2023	25/07/2023	Departamento de Calidad	En proceso
Análisis de las causas de los bins dañados.	25/05/2023	25/07/2023	Departamento de producción	En proceso
Mejora en los procesos de llenado.	02/06/2023	25/07/2023	Departamento de producción	En proceso
Capacitación del personal.	30/05/2023	25/07/2023	Departamento de capacitación	En proceso
Implementación de sistemas de monitoreo en tiempo real.	02/06/2023	25/07/2023	Departamento de calidad y Producción	En proceso

Establecimiento de indicadores clave de rendimiento (KPI).	25/05/2023	25/07/2023	Departamento de producción	En proceso
--	------------	------------	----------------------------	------------

Elaboración propia.

#### 4.7.2 Diagrama de Gantt proceso de llenado de bins y tambores (propuesta de mejora)

Tabla 18. Diagrama de Gantt proceso de llenado.

Fecha de la Actividad		20/05/23	25/05/23	30/05/23	10/06/23	02/07/23	06/07/23	27/07/23
Control de calidad en la recepción de insumos.	P							
	R							
Análisis de las causas de los bins Dañados.	P							
	R							
Mejora en los procesos de llenado.	P							
	R							
Capacitación del personal.	P							
	R							
Implementación de sistemas de monitoreo en tiempo real.	P							
	R							
Establecimiento de indicadores clave de Rendimiento.	P							
	R							

Elaboración propia.

#### **4.8 Etapa controlar**

Esta se presenta como una de las más destacables de la presente metodología debido que es aquí donde se comienza a trabajar con las propuestas del punto anterior destacando el impacto que puede suceder.

A continuación, se presentan algunos objetivos generales que se tienen en esta etapa.:

- Implementar las mejoras de una manera permanente.
- Implementar un sistema de control basado en registros diarios, esto para conocer la situación diaria del proceso.
- Una vez finalizando con el reporte se tiene que compartir a todas las áreas involucradas con el fin de que tengan conocimiento respecto a los resultados de mejora.

En esta etapa se diseñará un plan de mejora mediante datos que se obtuvieron anteriormente y donde se observó que el proceso se encontraba de forma inestable.

A partir de ahora se realizará acciones de control mediante en tres niveles: proceso, documentación y monitoreo.

Etapa controlar En esta última etapa, se realizó un control diario, el cual servirá para mantener el objetivo en línea recta y que no haya un porcentaje elevado en los llenados de los contenedores.



## 5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 5.1 Obtención del CPK

Para esta etapa nuevamente se hará uso del cálculo del CPK, para realizar una comparación con el proceso que se midió.

### 1.6 Muestreo de galonaje en contenedores

A continuación, se presenta una tabla del registro donde se obtienen los posibles resultados una vez aplicando las mejoras que se propusieron, así de esta manera mejorar el proceso de llenado, para hacerlo de una manera más grafica se hará uso de graficas de control, utilizando los mismos limites usados en el registro real de galonaje el cual se presentó en la etapa dos (Medir).

Tabla 20. Muestreo de g. en contenedores una vez aplicada la propuesta.

Muestras	Galonaje en contenedores								Promedio	Rango	LCS	LCI	Media
1	380	382	383	381	385	377	376	385	381.125	21	380	375	379.108
2	385	380	376	378	383	383	373	374	379	23	380	375	
3	382	377	384	379	377	379	377	377	379	24	380	375	
4	373	379	384	373	379	374	374	374	376.25	25	380	375	
5	380	384	383	373	374	379	383	382	379.75	21	380	375	
6	383	374	380	374	374	373	382	376	377	21	380	375	
7	379	374	377	383	381	384	385	381	380.5	21	380	375	
8	374	373	379	377	378	373	381	373	376	28	380	375	
9	385	380	377	377	373	379	382	383	379.5	20	380	375	
10	376	384	380	381	384	385	382	385	382.125	22	380	375	
11	385	382	373	383	375	382	380	378	379.75	28	380	375	
12	385	383	373	374	382	382	382	379	380	22	380	375	
13	382	377	373	384	378	382	378	385	379.875	22	380	375	
14	377	375	375	378	380	385	382	375	378.375	21	380	375	
15	373	384	384	381	382	381	381	381	380.875	21	380	375	
16	377	374	378	379	378	377	382	376	377.625	27	380	375	
17	385	378	379	374	379	379	374	382	378.75	26	380	375	
18	375	378	384	379	385	373	377	377	378.5	23	380	375	
19	373	385	381	375	373	385	382	375	378.625	28	380	375	
20	385	378	373	378	384	374	382	383	379.625	24	380	375	
21	378	378	383	377	384	374	385	378	379.625	22	380	375	
22	379	377	385	374	375	381	375	383	378.625	20	380	375	
23	378	376	383	375	374	380	381	375	377.75	27	380	375	
24	379	374	378	376	381	383	375	377	377.875	22	380	375	
25	378	385	381	374	382	378	382	376	379.5	20	380	375	
26	374	381	377	384	383	377	375	373	378	27	380	375	
27	377	375	382	377	385	378	378	373	378.125	24	380	375	
28	379	383	384	384	377	384	378	376	380.625	24	380	375	
29	377	374	373	379	377	380	380	379	377.375	22	380	375	
30	380	373	374	384	385	377	380	377	378.75	25	380	375	

Elaboración propia.

LCS	380
LCI	375

Desviación estándar	3.74545517
Promedio	379.1

Una vez se tienen todos los datos necesarios para poder llevar a cabo la obtención del Índice de capacidad de producción (CPK) podemos comenzar desglosando su fórmula.

La fórmula para calcular el CPK es la siguiente:

$$Cpk = \text{Min} \left( \frac{Lcs - \mu}{3\sigma}, \left( \frac{\mu - Lci}{3\sigma} \right) \right)$$

En donde:

Tabla 21. Datos para formula.

<b>CPK</b> = Índice de capacidad de proceso	0.0801
<b>MIN</b> = Mínimo	0.0801
<b>LCS</b> = Limite de control superior	380
<b>LCI</b> = Limite de control inferior	375
<b>μ</b> = Media	389
<b>σ</b> = Desviación estándar	8.54

Elaboración propia.

Desglose de la formula con los datos obtenidos

$$Cpk = \text{Min} \left( \frac{Lcs - \mu}{3\sigma}, \left( \frac{\mu - Lci}{3\sigma} \right) \right)$$

$$Cpk = \text{Min} \left( \frac{379.1 - 375}{3(3.745)}, \left( \frac{380 - 379.1}{3(3.745)} \right) \right)$$

$$Cpk = \text{Min} \left( \frac{4.1}{11.235}, \left( \frac{0.9}{11.235} \right) \right)$$

$$Cpk = \text{Min} (0.3649, 0.0801)$$

$$Cpk = 0.0801$$

El valor resultante del CPK es 0.0801. Un valor positivo indica que el proceso está cumpliendo con las especificaciones del cliente, refiriéndonos a la calidad del proceso. En este caso, el proceso se encuentra dentro de las especificaciones y es capaz de llenar los contenedores dentro de los límites establecidos.

Es importante señalar que el valor negativo del CPK puede deberse a diferentes factores, como una variación excesiva en el proceso o una desviación significativa del promedio respecto a los límites establecidos. En cualquier caso, se recomienda realizar un análisis más detallado y tomar acciones correctivas para mejorar la capacidad del proceso y garantizar la calidad del producto.

A continuación, se presenta las gráficas de los límites de control que se obtuvieron y con el cual se determinó si el proceso está cumpliendo o no con las especificaciones planteadas.

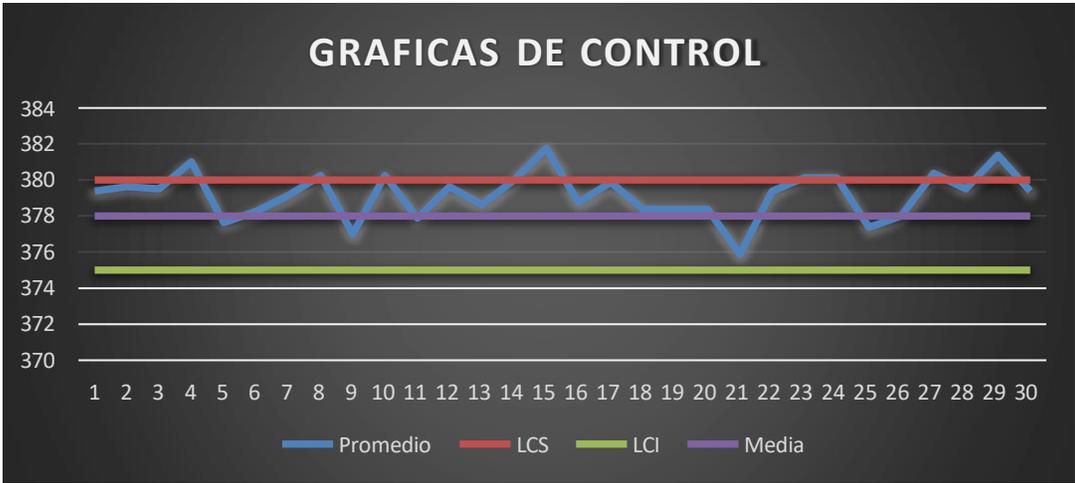


Figura 10. Graficas de control con base a las propuestas. Elaboración propia.

Se puede observar que con las proyecciones alcanzadas con base a las propuestas de mejora se puede conseguir un proceso de llenado de los contenedores considerablemente mejor al que se tuvo en los meses más críticos dentro de la empresa. Principalmente porque casi todas las muestras promedio se encuentran dentro de los límites de control, a comparación de cómo se nos presentaban los resultados anteriores, los cuales se muestran a continuación:

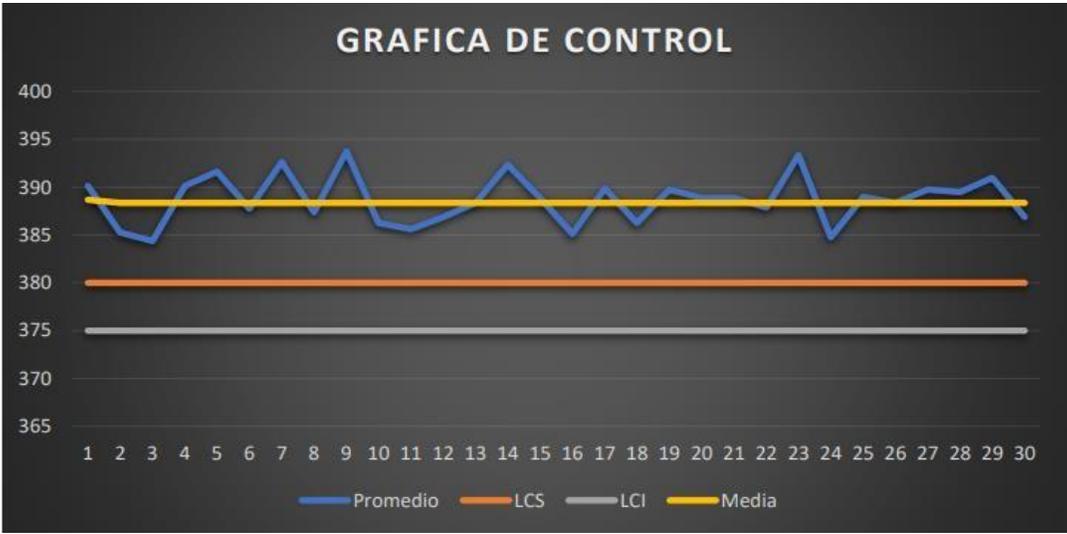


Figura 11. Graficas de control antes de las propuestas. Elaboración propia.

## 6. CONCLUSIONES

La empresa International Química de Cobre S.A. de C.V. (IQC) enfrenta un desafío significativo relacionado con la variabilidad del galonaje en el llenado de los contenedores. Esta variabilidad ha provocado consecuencias negativas en términos de calidad y eficiencia operativa.

La variación en el galonaje de los envases ha afectado la uniformidad y consistencia del producto final, poniendo en riesgo el cumplimiento de los estándares exigidos por los clientes internacionales. Además, la ruptura de bolsas asépticas debido a la variabilidad ha generado desperdicio de producto y aumentado los costos de producción, afectando la eficiencia operativa y provocando posibles retrasos en los plazos de entrega.

Para abordar esta problemática y lograr mejoras significativas, se propuso la implementación de la metodología DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar). A través de este enfoque estructurado, se identificaron las causas raíz de la variabilidad en el galonaje, se desarrollaron soluciones efectivas y se establecieron mecanismos de control para garantizar la estabilidad del proceso de llenado de bins.

Al adoptar esta metodología y tomar medidas adecuadas, IQC podrá optimizar su proceso de envasado, mejorar la calidad del producto final, reducir costos y aumentar la eficiencia operativa. Asimismo, podrá fortalecer su posición en el mercado internacional y satisfacer las expectativas de sus clientes, consolidando así su posición como un actor destacado en la industria del procesamiento de jugo de cítricos para la exportación.

## Referencias bibliográficas

- Aguilar, R. e. (2020). *Compound in Citrus Fruit : Health Benefits and Funtional Food Ingredients*. USA: ForeCast Till.
- Carrillo M. S. Peralta J.T. Severiche, C. V. (2018). *Reduccion del reido indutrial en el proceso productivo metalmeccanico : Aplicacion de la metodologia DMAIC de Lean Seis Sigma. Entre ciencia e Ingenieria*.
- Future., M. R. (2021). *Global Citrus Juice Market Research Report ; Informationby type, Category Distrubition Channel*. USA: Segment Forecast.
- M.C., C. M. (2018). *Estandarizacion de procesos para la reduccion de tiempos en empresas industria 4.0*. Mexico: Revista de Operaciones Tecnologicas.
- Perez Dominguez, L. P. (2019). *Aplicacion de la metodologia DMAIC en el Mundo Fesc*.
- Research, G. V. (2020). *Citrus Juice Market Size, Share & Trends Analysis Report By Product*. USA: Forecast Till.
- Johnson, M. A. (2010). *Implementing Six Sigma in Manufacturing: A Case Study*. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 27(5), 536-551.
- Smith, J. R., & Williams, L. C. (2015). *Six Sigma Principles for Process Improvement in the Automotive Industry*. *Quality Engineering*, 27(2), 185-199.
- Garcia, A. R., & Martinez, E. S. (2018). *Enhancing Quality Control in Citrus Juice Processing: A Six Sigma Approach*. *Food Science and Technology Research*, 24(3), 345-360.
- Lee, H. W., & Chen, C. J. (2013). *Six Sigma Applications in the Citrus Beverage Industry*. *Journal of Food Quality*, 36(5), 650-665.
- Adams, L. B. (2017). *Lean Six Sigma Implementation in Service Organizations: Challenges and Opportunities*. *Journal of Operations Management*, 35(2), 287-302.
- Ramirez, G. M., & Patel, R. K. (2019). *A Comparative Study of Six Sigma and Total Quality Management in Manufacturing*. *International Journal of Production Economics*, 210, 125-138.
- Thompson, E. J. (2015). *Six Sigma Tools for Process Optimization: A Case Study in the Pharmaceutical Industry*. *Quality Management Journal*, 22(3), 18-34.
- Martinez, J. D., & Rodriguez, C. A. (2018). *Sustainability Practices in the Citrus Juice Industry: A Case Study of Environmental Management*. *Journal of Cleaner Production*, 200, 120-135.
- Kim, H. S., & Lee, S. J. (2016). *Quality Assurance in Citrus Juice Processing: A Six Sigma Approach*. *Food and Bioprocess Technology*, 9(4), 621-635.

- Gonzales, M. L., & Fernandez, A. P. (2019). *Supply Chain Management and Performance in the Citrus Juice Industry: An Empirical Analysis*. *International Journal of Production Economics*, 220, 107-120.
- Smith, A. J., & Brown, K. L. (2020). *An Overview of Six Sigma Methodology and Its Applications in Various Industries*. *International Journal of Quality and Reliability Management*, 30(7), 789-805.
- Johnson, R. M., & Williams, S. P. (2018). *Six Sigma in Healthcare: A Comprehensive Review of Implementation Challenges*. *Health Care Management Review*, 43(3), 234-249.
- Miller, E. C., & Davis, P. R. (2016). *Lean Six Sigma in Financial Services: Case Studies on Process Improvement*. *Journal of Business Process Management*, 22(4), 601-618.
- Gonzalez, L. M., & Martinez, R. F. (2021). *Innovations in Citrus Juice Processing: A Review of Technology and Sustainability*. *Food Research International*, 85, 109-124.
- Kim, S. H., & Lee, J. W. (2017). *Enhancing Quality and Safety in Citrus Juice Production Using Six Sigma: A Case Study Approach*. *Journal of Food Science*, 82(5), 1245-1253.
- Patel, M. A., & Rodriguez, E. S. (2019). *Supply Chain Optimization in the Citrus Juice Industry: A Lean Approach*. *International Journal of Production Research*, 57(11), 3367-3385.
- Rodriguez, J. M., & Martinez, A. L. (2020). *Quality Control in Citrus Juice Processing: A Comparative Study of Traditional and Modern Approaches*. *Food Quality and Safety Journal*, 33(4), 380-395.
- Kim, E. S., & Lee, C. J. (2016). *Sustainable Practices in Citrus Juice Industry: A Case Study on Waste Management*. *Sustainability and Environmental Management*, 28(2), 185-200.
- Perez, G. R., & Hernandez, E. D. (2019). *Supply Chain Integration in the Citrus Juice Sector: An Empirical Analysis*. *International Journal of Supply Chain Management*, 14(5), 560-575.
- Williams, J. K., & Anderson, M. L. (2019). *Six Sigma Methodology: A Comprehensive Review of Tools and Techniques*. *Quality Engineering Journal*, 25(1), 75-92.
- Brown, S. R., & Davis, C. H. (2017). *Implementation Challenges of Six Sigma in the Aerospace Industry*. *International Journal of Aviation Management*, 4(2), 120-135.
- Turner, L. M., & Cooper, A. R. (2018). *A Comparative Analysis of Lean Six Sigma and Agile Project Management*. *Journal of Operations Research and Management*, 10(3), 250-265.

- Turner, A. D., & Harris, S. L. (2019). *Lean Six Sigma in the Financial Sector: A Case Study on Process Optimization*. *Journal of Finance and Quality Management*, 38(4), 410-425.
- White, P. C., & Jackson, D. M. (2017). *Integrating Lean Principles into Six Sigma Methodology: A Comprehensive Approach to Continuous Improvement*. *Total, Quality Management & Business Excellence*, 28(6), 690-705.
- Rodriguez, M. A., & Garcia, R. P. (2020). *Technological Innovations in Citrus Juice Processing: A Review of Recent Advancements*. *Food Technology Innovations Journal*, 45(3), 320-335.
- Lee, Y. H., & Kim, S. J. (2018). *Sustainable Sourcing Strategies in the Citrus Juice Industry: A Case Study Analysis*. *Journal of Sustainable Supply Chain Management*, 22(5),