



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

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

**“Reducción de mermas de jarabe en una industria de bebidas
utilizando herramientas de estadística aplicada”**

PROYECTO DE TITULACIÓN

Previo a la obtención del Título de:

MAGÍSTER EN MEJORAMIENTO DE PROCESOS

Presentada por:

Kevin Rubén Errazuriz Guerrero

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2025

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a todas aquellas personas que siempre confiaron en mí y que permanecieron a mi lado a pesar de las adversidades.

A mi fiel amigo perruno, Zeus, gracias por existir.

Toda mi familia, quienes han estado siempre que necesité de apoyo incondicional.

Los quiero a todos.

TRIBUNAL DE TITULACIÓN

María Laura Retamales G, MSc.

Profesor de Materia

María Denise Rodríguez Z, Ph.D.

Tutor de proyecto

DECLARACIÓN EXPRESA

Yo Kevin Rubén Errazuriz Guerrero acuerdo y reconozco que: La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá al autor o autores, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor del autor o autores. El o los estudiantes deberán procurar en cualquier caso de cesión de sus derechos patrimoniales incluir una cláusula en la cesión que proteja la vigencia de la licencia aquí concedida a la ESPOL.

La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, secreto empresarial, derechos patrimoniales de autor sobre software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por mí durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que me corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de mi innovación, de ser el caso.

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique al/los autor/es que existe una innovación potencialmente patentable sobre los resultados del proyecto de graduación, no se realizará publicación o divulgación alguna, sin la autorización expresa y previa de la ESPOL.

Guayaquil, 07 de marzo del 2025.

Ing. Kevin Errazuriz

RESUMEN

Este proyecto consiste en el uso de herramientas de estadística aplicada para el mejoramiento del indicador de mermas de jarabe en líneas productivas de bebidas isotónicas. La metodología parte por el establecimiento de la variable de mejora y análisis de la situación actual. Luego, la identificación, evaluación, selección y verificación de causas que afectan la variable de respuesta para finalmente, implementar mejoras y evaluar resultados.

La empresa en estudio se dedica a la producción de bebidas, desde la manufactura hasta la distribución final del producto en el mercado. Esta cuenta con un portafolio diverso, con más de 8 marcas globales que operan en 23 países en regiones de Latinoamérica, Europa, Asia y África, cumpliendo con una gran demanda en el sector alimenticio. La oportunidad de mejora surge por la alta cantidad de merma de jarabe formulado cuyo valor promedio desde enero del 2023 a julio del 2024 es de 2.93%, representando \$125.252 USD en pérdidas, superando el estándar interno máximo permitido de 1% considerado como merma base.

El proyecto tiene como objetivo reducir la merma de jarabe formulado en un 35% de un promedio de 2.93% a 1.90%, tomando como primer paso el establecimiento de la variable de mejora a través de un problema enfocado de merma de jarabe por sobredosificación. Luego se analizó el estado actual de la variable de respuesta utilizando gráficas de control y análisis de capacidad de mediciones de contenido neto efectuadas en línea. Una vez evaluado el estado inicial, se utilizaron herramientas tales como diagrama de Ishikawa, diagramas de Pareto y matriz causa/efecto para evaluar/priorizar causas. Posteriormente, se aplicaron estrategias de Go and See (Gemba) y herramientas de análisis estadístico para la verificación de causas y así determinar causas raíz del problema enfocado.

Finalmente, se implementaron mejoras en la línea cuyo resultado fue el mejoramiento del indicador de mermas de jarabe en la línea de bebidas isotónicas presentación 1200 mL en un 58%, implicando un ahorro promedio mensual de \$4425 y 4457 litros de jarabe ganados. Así mismo, se evaluó las mejoras mediante gráficas de control y análisis de capacidad donde se evidencia un proceso estable donde no existen mediciones de contenido neto fuera de los límites de control, llevando una media de dosificación de 1210mL a 1202 mL, reduciendo 4 veces la variación de contenido neto. Por otro lado, se aumentó 3.5 veces los indicadores de capacidad a corto y largo plazo, obteniendo así un proceso capaz cuyos valores de Cp y Pp son 1.32 y 1.33 respectivamente.

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO 1	1
1. GENERALIDADES.....	1
1.1 <i>Antecedentes</i>	1
1.2 <i>Declaración del problema</i>	1
1.3 <i>Objetivos</i>	3
1.4 <i>Metodología del proyecto</i>	4
1.5 <i>Resultados Esperados</i>	5
CAPÍTULO 2	6
2. DESARROLLO DEL PROYECTO	6
2.1 <i>Establecimiento de la variable a mejorar</i>	6
2.2 <i>Análisis del estado actual de la variable de respuesta</i>	7
2.3 <i>Diagrama causa y efecto</i>	12
2.4 <i>Matriz causa y efecto</i>	13
2.5 <i>Diagrama de Pareto</i>	14
2.6 <i>Verificación de causas</i>	15
2.7 <i>Determinación de causa raíz</i>	24
2.8 <i>Plan de implementación de mejoras</i>	25
2.9 <i>Implementación de mejoras</i>	26
CAPÍTULO 3	32
3. RESULTADOS DEL PROYECTO.....	32
3.1 <i>Evaluación de la variable de respuesta con las mejoras</i>	32
3.2 <i>Evaluación de ahorro generado con las mejoras</i>	34
CAPÍTULO 4	36
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	36
4.1 <i>Conclusiones</i>	36
4.2 <i>Recomendaciones</i>	37
BIBLIOGRAFÍA	38

CAPÍTULO 1

1. GENERALIDADES

1.1 Antecedentes

La empresa en estudio se dedica a la producción de bebidas, desde la manufactura y diseño de productos, adquisición de materias primas, fabricación de productos intermedios y terminados hasta la distribución final. La empresa trabaja bajo un enfoque integral que le ha permitido ofrecer productos de alta calidad a sus clientes. Actualmente, cuenta con un portafolio diverso, con más de 8 marcas globales que operan en 23 países en regiones de Latinoamérica, Europa, Asia y África. Entre estas, se puede destacar a sus bebidas isotónicas, gaseosas y néctares con una gran demanda en el sector alimenticio, teniendo una producción promedio anual en planta Guayaquil mayor a 50 millones de cajas físicas.

El producto antes de ser distribuido hacia los distintos canales de venta pasa por procesos semiautomatizados de soplado (formación del envase), envasado, etiquetado, codificado, empaquetado y embalado, teniendo una tasa de producción en línea de llenado en caliente promedio de 20800 cajas físicas por día considerando dos turnos de 12 horas, representando cerca del 15% de la producción.

La oportunidad de mejora en la línea de llenado en caliente o bebidas isotónicas surge por la alta cantidad de merma de jarabe formulado detectada en el departamento de producción, cuyo valor promedio desde enero del 2023 a julio del 2024 es de 2.93%, representando \$125.252 USD en pérdidas, superando el estándar interno máximo permitido de 1%. De esta manera, la empresa en estudio desea enfocar sus esfuerzos en mejoras de gestión de recursos para la generación de ahorros, tomando importancia la reducción de mermas aplicando herramientas de estadística aplicada.

Por lo tanto, el enfoque del proyecto está basado en emplear herramientas de estadística aplicada para identificar y verificar las causas posibles que afectan a la generación de mermas con la finalidad de implementar soluciones que permitan reducirla.

1.2 Declaración del problema

El problema por resolver es el alto porcentaje de mermas de jarabe formulado en la línea de bebidas isotónicas a partir de enero del 2023, la cual tiene en promedio 2.93% de merma, superando el estándar máximo permitido de 1%. La Tabla 1 muestra los datos históricos de mermas de jarabe con sus respectivos costos.

Tabla 1
Información del proceso en línea de bebidas isotónicas

Fecha	% Merma Jarabe	Volumen jarabe merma (L)	Costo merma (US\$)	Costo/Litro jarabe	Costo/Litro bebida
ene-2023	2.91	6016	5,712.00	0.95	0.16
feb-2023	3.75	7314	6,939.00	0.95	0.16
mar-2023	3.86	7644	7,076.00	0.93	0.15
abr-2023	3.34	6523	6,639.00	1.02	0.17
may-2023	2.00	4842	5,253.00	1.08	0.18
jun-2023	2.67	5943	7,010.00	1.18	0.20
jul-2023	2.88	7547	8,645.00	1.15	0.19
ago-2023	1.42	4981	2,691.00	0.54	0.09
sep-2023	1.22	2989	3,865.00	1.29	0.22
oct-2023	2.23	8181	6,133.00	0.75	0.12
nov-2023	3.52	6403	7,182.00	1.12	0.19
dic-2023	2.59	5833	6,082.00	1.04	0.17
ene-2024	1.94	4724	4,514.00	0.96	0.16
feb-2024	4.40	9748	11,169.00	1.15	0.19
mar-2024	3.81	10086	10,372.00	1.03	0.17
abr-2024	2.86	8400	7,899.00	0.94	0.16
may-2024	1.45	4826	4,003.00	0.83	0.14
jun-2024	5.44	8684	8,876.00	1.02	0.17
jul-2024	3.37	5459	5,192.00	0.95	0.16
Promedio	2.93	6639	6,592.21	0.99	0.17

Fuente: Autor

Nota: El producto formulado o bebida, consta de dos partes: Jarabe o base formulada y agua.

La Figura 1.1 muestra la línea base de porcentaje de merma de jarabe que sirve como histórico para obtener el objetivo SMART.

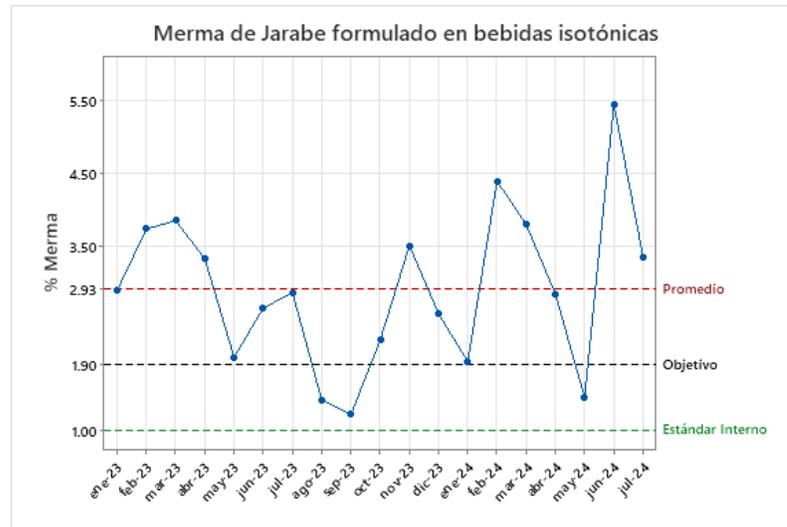


Figura 1.1 Mermas de jarabe formulado en línea de bebidas isotónicas desde enero 2023 a julio 2024

Fuente: Autor

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Reducir la merma de jarabe formulado en un 35% de un promedio de 2.93% a 1.90% mediante la aplicación de herramientas de estadística aplicada para el mejoramiento del indicador de mermas en línea de bebidas isotónicas.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Identificar las causas potenciales que están afectando al indicador de mermas a través de herramientas de generación y priorización de causas.
- Verificar las causas potenciales utilizando herramientas de análisis estadístico.
- Implementar soluciones sobre las causas verificadas para el mejoramiento de la estabilidad y capacidad del proceso.
- Validar resultados de las mejoras implementadas a través de gráficas de control y de análisis de capacidad.

1.4 Metodología del proyecto

1.4.1 Establecimiento de la variable a mejorar

En este punto, se realizarán entrevistas y reuniones con los involucrados en el proceso de llenado de bebidas isotónicas donde se definirán las necesidades a solventarse para la reducción de mermas de jarabe formulado. Para ello, se utilizará la herramienta de VOC para levantar hallazgos que permitirán asegurar el objetivo del proyecto en función de la necesidad del cliente.

Como siguiente paso, a partir de la recolección de datos de mermas se utilizará un diagrama de Pareto para representar gráficamente la distribución de esta a lo largo de la línea de bebidas isotónicas. Finalmente, con ayuda de la herramienta 5W1H se trabajará en un problema enfocado.

1.4.2 Análisis de estabilidad y capacidad de la variable de respuesta

Una vez teniendo planteado el problema enfocado, se realizará un análisis de estabilidad del proceso utilizando gráficas de control. Así mismo, se utilizará herramientas de análisis de capacidad donde se evaluará si el proceso actual es capaz o no.

1.4.3 Identificación de causas / Diagrama de Ishikawa

De manera introductoria, el diagrama de Ishikawa es una herramienta cualitativa de estadística aplicada cuyo fin es identificar las posibles causas (variables de entrada) que contribuyen a la variable de respuesta o desempeño, en este caso, las mermas de jarabe formulado (Ocampo & Pavón, 2012).

El uso de esta herramienta es el primer paso para encontrar causas raíz del problema enfocado planteado, la misma que tendrá soporte de una lluvia de ideas en conjunto con el equipo multidisciplinario de planta sobre las diferentes causas que afectan a la generación de mermas. Para el caso de estudio, se tomará como base un diagrama de Ishikawa que analizará las posibles causas de las mermas generadas en líneas de bebidas (Coronado & Nuñez, 2021).

1.4.4 Evaluación de causas / Matriz causa y efecto – Diagrama de Pareto

La herramienta matriz de causa y efecto tiene como fin dar una valoración cualitativa a todas las causas potenciales encontradas en el diagrama de Ishikawa. De esta manera se logrará determinar los factores más significativos que contribuyen a la generación de mermas en la línea.

Por otro lado, el diagrama de Pareto tiene como objetivo brindar soporte en la priorización y toma de decisiones para dar solución a las causas identificadas, donde se evalúa la frecuencia relativa o el impacto de los datos obtenidos de la matriz causa y efecto de forma gráfica. Ésta establece los contribuyentes principales al problema, donde el 80% de los efectos es atribuido al 20% de las causas (Ponce, 2016).

1.4.5 Plan de verificación de causas

Con esta herramienta se verificará la influencia significativa de las posibles causas que afectan la generación de merma de jarabe formulado. Para ello, en función del

levantamiento de información, se incluirán verificaciones basadas en análisis estadísticos o estrategias de Go and See (GEMBA) (Carvajal, 2021).

1.4.6 Determinación de causa raíz

Para darle profundidad al análisis ya efectuado, se utilizará la herramienta 5 por qué's para identificar la causa raíz a cada una de las causas verificadas y sobre ellas trabajar las mejoras necesarias para reducir la merma de jarabe de la línea de bebidas isotónicas.

1.4.7 Implementación de mejoras

Con las causas raíz identificadas, se implementarán acciones de mejoras discutidas en conjunto con todo el equipo multidisciplinario de planta que participará en la lluvia de ideas y en la elaboración del diagrama de Ishikawa en el paso 1.4.3. Para ello se desarrollará un plan de acción donde se detallará los responsables, acciones realizadas y el status de la implementación de la mejora.

1.4.8 Validación de Resultados

Una vez implementadas las mejoras, se tomará data en la cual se evaluará la estabilidad y capacidad del proceso. Además, se realizará un análisis del ahorro generado que permitirá evaluar el impacto económico de las mejoras sobre la línea (Garcés, 2021).

1.5 Resultados Esperados

En la tabla 2 se describe el análisis para el establecimiento del objetivo SMART, el cual plantea el escenario del resultado esperado en el proyecto.

Tabla 2
Cálculo y declaración del objetivo SMART

Objetivo		Descripción
Situación actual	2.93	Valor promedio
Referencia	1.22	Benchmark interno
GAP	1.71	Situación actual - Referencia
Reducción GAP	0.60	Se utilizará un valor de 60% de reducción del GAP
Target	1.90	Situación actual – Reducción*GAP
% Reducción	35	$(\text{Target} - \text{Situación actual}) / (\text{Situación actual}) * 100$

Fuente: Autor

Objetivo SMART: Reducir porcentaje de merma de jarabe formulado en un 35% de un promedio de 2.93% a 1.90% a partir de octubre 2024.

CAPÍTULO 2

2. DESARROLLO DEL PROYECTO

2.1 Establecimiento de la variable a mejorar

Para identificar la variable a mejorar se utilizó como primer paso la herramienta voz del cliente, la cual permitió identificar las necesidades y percepciones que la empresa tiene con respecto al problema planteado. Partiendo de este concepto, el objetivo del proyecto es reducir la merma de jarabe formulado en la línea de bebidas isotónicas, por ende, se planteó una reunión con los equipos de mantenimiento, producción, calidad y mejora de la cual se obtuvo como resultado la información descrita en la tabla 3.

Tabla 3
Resultados de VOC

Segmento	Hallazgos
Indicadores de merma de jarabe formulado cuyo valor supere el máximo valor permitido por la compañía.	El valor del indicador de la línea de bebidas isotónicas está fuera del máximo permitido.
	Se comienza a tomar mediciones de merma a partir de enero del año 2023.
	No se ha cumplido con el máximo valor permitido de 1%.
	La generación de merma de jarabe formulado está distribuida principalmente en 4 factores: Sobredosificación, defectos de calidad, problemas de pasteurización (proceso de cocción del alimento) y paradas por espacio físico limitado en bodega.

Fuente: Autor

Tomando en consideración los hallazgos levantados con la herramienta VOC, se recolectó datos de las diferentes fuentes que generan la merma con ayuda del software interno de producción. En la figura 2.1 se presenta la distribución de mermas de jarabe formulado a lo largo de la línea de bebidas isotónicas.

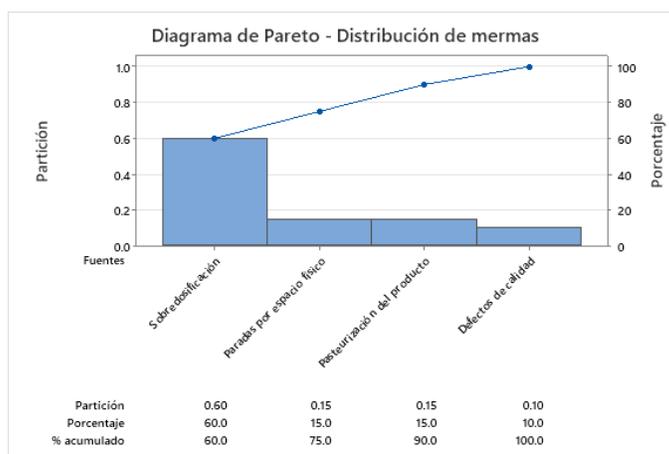


Figura 2.1 Distribución de la merma de jarabe formulado

Fuente: Autor

Como resultado, se puede apreciar que la merma de jarabe se da principalmente por sobredosificación con 60% del total. Por ello, se declara un problema enfocado utilizando la herramienta 5W1H el cual se detalla en la tabla 4.

Tabla 4
Declaración del problema enfocado

¿Qué está pasando?
Se genera un 60% de merma de jarabe formulado por sobredosificación
¿Cómo se da?
Se evidencia diferencias de contenido neto
¿De qué manera se da?
En el llenado de cada botella
¿Cuándo ocurre?
En el proceso de envasado
¿En dónde ocurre?
En la envasadora L5 de la línea de bebidas isotónicas

Fuente: Autor

Por lo tanto, el equipo definió que la variable a mejorar sea la merma de jarabe formulado causada por sobredosificación, la cual se evidencia por las diferencias de contenido neto en el llenado de cada botella de la envasadora L5 de la línea de bebidas isotónicas.

2.2 Análisis del estado actual de la variable de respuesta

De acuerdo con el resultado previo, la empresa busca reducir la merma de jarabe formulado (métrico primario Y), tomando en consideración un problema enfocado en sobredosificación. Para ello, se tomó mediciones de contenido neto en formato 1200 mL en la línea de envasado de bebidas isotónicas para verificar el estado actual de la variable de respuesta.

Es importante acotar que, como parte del proceso productivo, se busca mantener un objetivo de dosificación de 1202 mL, ± 2 mL, esto en función de cumplir los criterios que describe el servicio ecuatoriano de normalización (INEN) en base al contenido neto de bebidas alimenticias.

El INEN menciona que la verificación del contenido neto promedio de la muestra sujeta a inspección debe ser mayor o igual al contenido neto declarado en la presentación del envase. Además, considera dos tipos de errores, el tipo 1 es el caso en el cual el contenido neto real de cada unidad inspeccionada es menor que el contenido neto declarado menos la deficiencia tolerable permitida para el valor nominal. En la figura 2.2 se describe el número de unidades máximas permitidas fuera de especificación en función del tamaño de lote inspeccionado.

Tamaño del lote de inspección*	Tamaño de la muestra (unidades de producto) (n)	Factor de corrección de la muestra $(t_{1-\alpha}) \frac{1}{\sqrt{n}}$	Número de unidades de producto fuera de la deficiencia tolerable o tolerancia (ver numerales 5.4 y 3.1.8)
100 a 500	50	0,379	3
501 a 3 200	80	0,295	5
> 3 200	125	0,234	7

Figura 2.2 Tolerancia máxima permitida para error tipo 1

Fuente: (INEN, 2015)

Por otro lado, el error tipo 2 hace referencia a la situación donde el contenido neto es menor al declarado menos dos veces el valor de la deficiencia tolerable permitida. Para este escenario, el INEN declara que no debe existir ninguna unidad con este error. Finalmente, en la figura 2.3 se muestra el valor de la deficiencia máxima tolerable en función del contenido neto a envasar, donde para el caso de estudio vendría a ser 1.5%. (INEN, 2015)

Contenido neto nominal de producto (Q_n) en g o mL o cm ³	Deficiencia tolerable (T) ^a	
	Porcentaje de Q_n	g o mL o cm ³
0 a 50	9	-
50 a 100	-	4,5
100 a 200	4,5	-
200 a 300	-	9
300 a 500	3	-
500 a 1 000	-	15
1 000 a 10 000	1,5	-
10 000 a 15 000	-	50
15 000 a 50 000	1	-

Figura 2.3 Deficiencia máxima tolerable en función del contenido neto

Fuente: (INEN, 2015)

Para complementar el análisis previo y ajustarlo al caso de estudio, los tamaños de lotes que se manejan en producción son mayores de 3200 unidades, por ende, el máximo de envases defectuosos permitidos para el error tipo 1 son de 7 unidades.

El proceso de llenado de bebidas isotónicas consta de una envasadora que tiene un total de 30 válvulas. Se tomó 6 mediciones de contenido neto por válvula, considerando que una corrida de observaciones consta de mediciones por día de las 30 válvulas, dando un total de 6 corridas diferentes, obteniéndose así 180 mediciones de contenido neto.

Antes de verificar el estado actual de la variable de respuesta, se realizó una prueba de normalidad sobre las mediciones de contenido neto efectuadas donde se toma como hipótesis nula que las mediciones tomadas siguen una distribución normal. Para ello, se utilizó el método de Kolmogorov-Smirnov donde se observa que los datos no siguen una

distribución normal dado que el valor $p < 0.010$ es menor al nivel de significancia de 0.05, es decir, existe suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula.

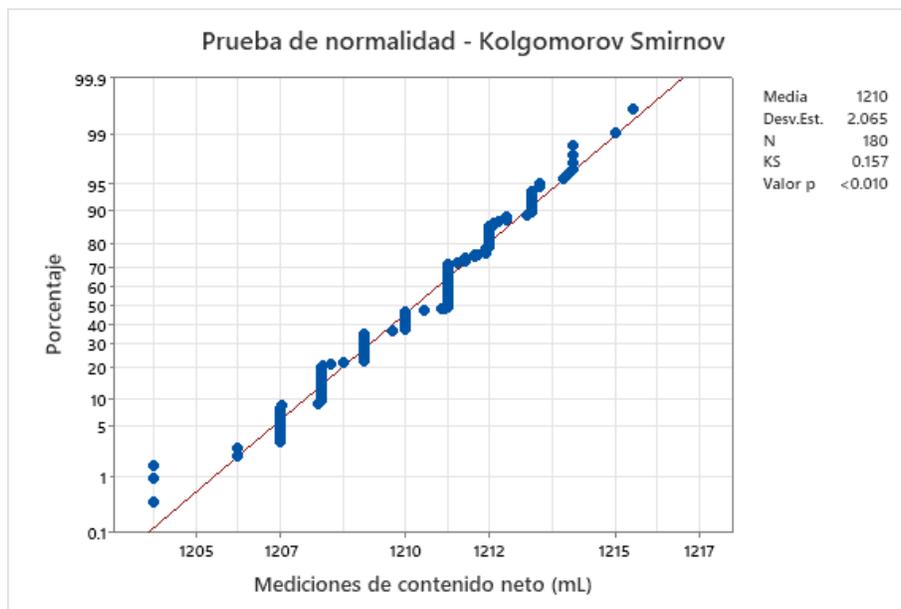


Figura 2.4 Prueba de normalidad a las mediciones de contenido neto

Fuente: Autor

Por lo tanto, se debe tomar en consideración la transformación de los datos para la cual se realizó una prueba de bondad y ajuste observada en la figura 2.5, cuyo resultado es el uso de una distribución logarítmica normal de 3 parámetros. Esta decisión se basó en el análisis de los valores AD (Anderson-Darling) y P-Value (Pruebas LRT), donde para un valor bajo de AD y un valor alto de LRT P se concluye que los datos se ajustan de mejor manera a la distribución elegida.

Prueba de bondad del ajuste

Distribución	AD	P LRT P
Normal	2.283	<0.005
Transformación Box-Cox	2.254	<0.005
Lognormal	2.290	<0.005
Lognormal de 3 parámetros	2.289	* 0.743
Exponencial	82.293	<0.003
Exponencial de 2 parámetros	37.304	<0.010 0.000
Weibull	2.495	<0.010
Weibull de 3 parámetros	1.919	<0.005 0.000
Valor extremo más pequeño	2.507	<0.010
Valor extremo por máximos	5.494	<0.010
Gamma	2.294	<0.005
Gamma de 3 parámetros	2.543	* 1.000
Logística	2.507	<0.005
Loglogística	2.512	<0.005
Loglogística de 3 parámetros	2.507	* 0.797

Figura 2.5 Prueba de bondad y ajuste

Fuente: Autor

En la figura 2.6 se muestra la gráfica de control del estado actual de la variable de respuesta, en la misma se evidencia un proceso estable donde no existen mediciones de contenido neto fuera de los límites de control en función de la dinámica del proceso (ningún subgrupo está fuera de control).

Además, no existen tendencias o patrones de inestabilidad tales como cambios rápidos o graduales, oscilación, tendencia general o ciclos. Este análisis significa que se tiene un proceso bajo control estadístico donde no hay afectaciones por causas especiales sobre la variabilidad o media del proceso. Sin embargo, a pesar de tener una variabilidad controlada, el proceso está lejos del objetivo de dosificación de 1202 mL, ± 2 mL.

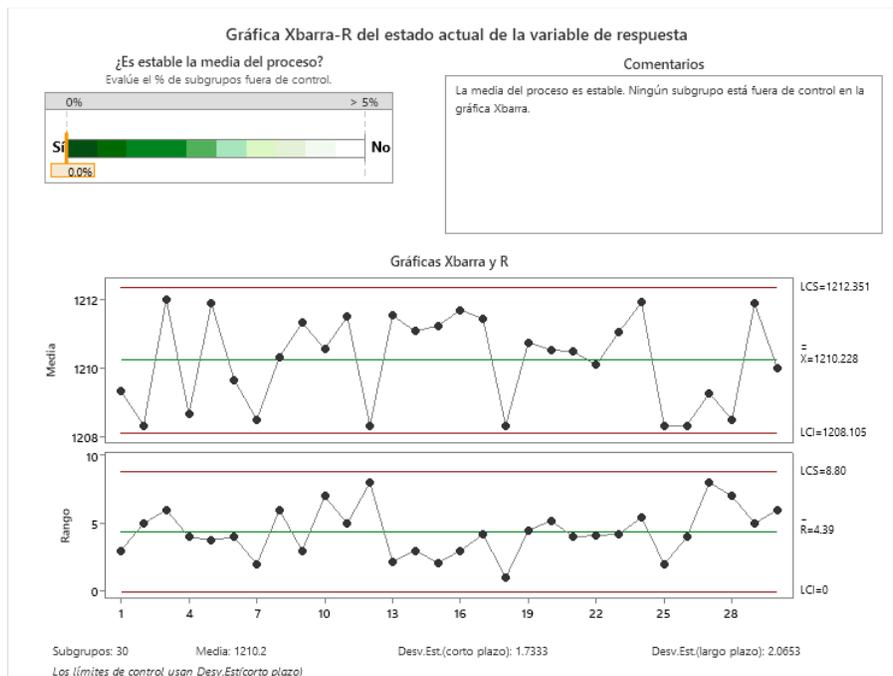


Figura 2.6 Gráfica de control X-R del estado actual del proceso

Fuente: Autor

Por otro lado, se realizó el análisis de capacidad evidenciado en la figura 2.7 en el cual se aprecia que el proceso tiene serios problemas de localización y variabilidad con respecto a la media objetivo. De igual manera, a corto y largo plazo el proceso no es capaz, cuyos valores de Cp y Pp son 0.38 y 0.32 respectivamente. A esto se suma el porcentaje de mediciones fuera de especificación, el cual para ambos escenarios es casi el 100% de las observaciones. Esto es un claro ejemplo donde el proceso se encuentra establemente mal, manteniendo una variabilidad controlada pero lejos del objetivo.

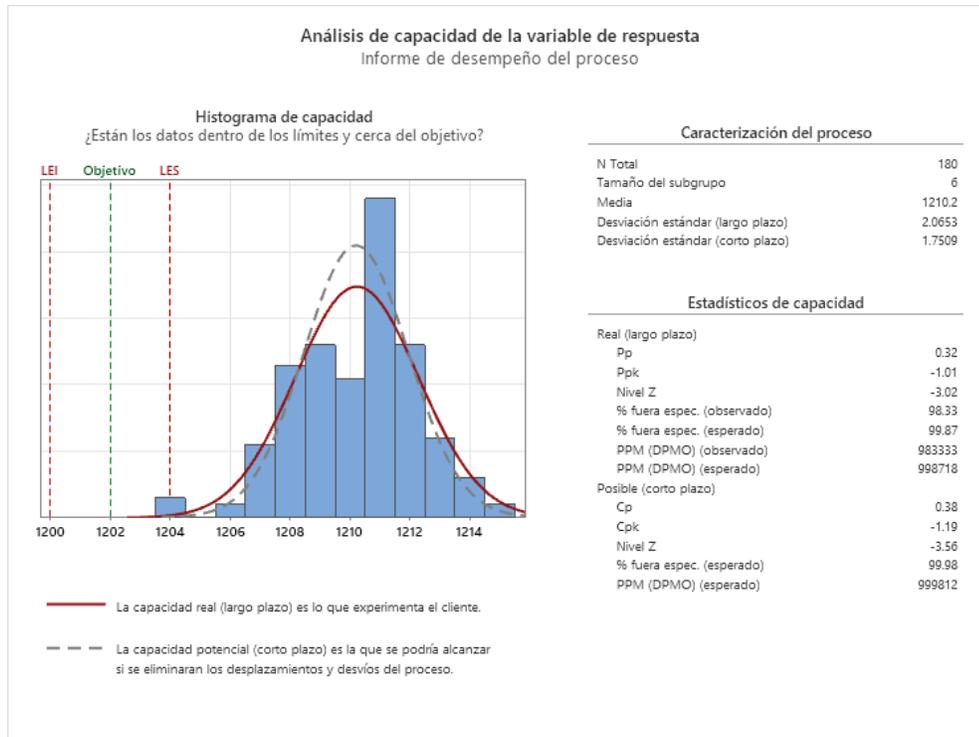


Figura 2.7 Análisis de capacidad del estado actual del proceso

Fuente: Autor

Por lo tanto, de acuerdo con el análisis realizado al estado actual del proceso, el mismo no es capaz ni está en control estadístico en función del objetivo de dosificación de 1202 mL, ± 2 mL. De la figura 2.8, los valores obtenidos en el análisis de capacidad sugieren un análisis profundo para identificar las causas que contribuyen a la generación de merma de jarabe formulado por sobredosificación.

Valor del índice C_p	Clase o categoría del proceso	Decisión (si el proceso está centrado)
$C_p \geq 2$	Clase mundial	Se tiene calidad Seis Sigma.
$C_p > 1.33$	1	Adecuado.
$1 < C_p < 1.33$	2	Parcialmente adecuado, requiere de un control estricto.
$0.67 < C_p < 1$	3	No adecuado para el trabajo. Es necesario un análisis del proceso. Requiere de modificaciones serias para alcanzar una calidad satisfactoria.
$C_p < 0.67$	4	No adecuado para el trabajo. Requiere de modificaciones muy serias.

Figura 2.8 Clasificación de los procesos por sus valores de C_p y su interpretación

Fuente: (Gutierrez, 2013)

2.3 Diagrama causa y efecto

Para el uso de esta herramienta, se involucró a personal de producción que forma parte de la línea de bebidas isotónicas (ver figura 2.9), específicamente a personal del área de envasado, con la finalidad de tener un panorama más claro a nivel operativo de la máquina.



Figura 2.9 Discusión del problema con personal operativo

Fuente: Autor

El resultado de la discusión planteada se refleja en la figura 2.10, donde se plasman las posibles causas que contribuyen a la generación de merma de jarabe formulado por sobredosificación.

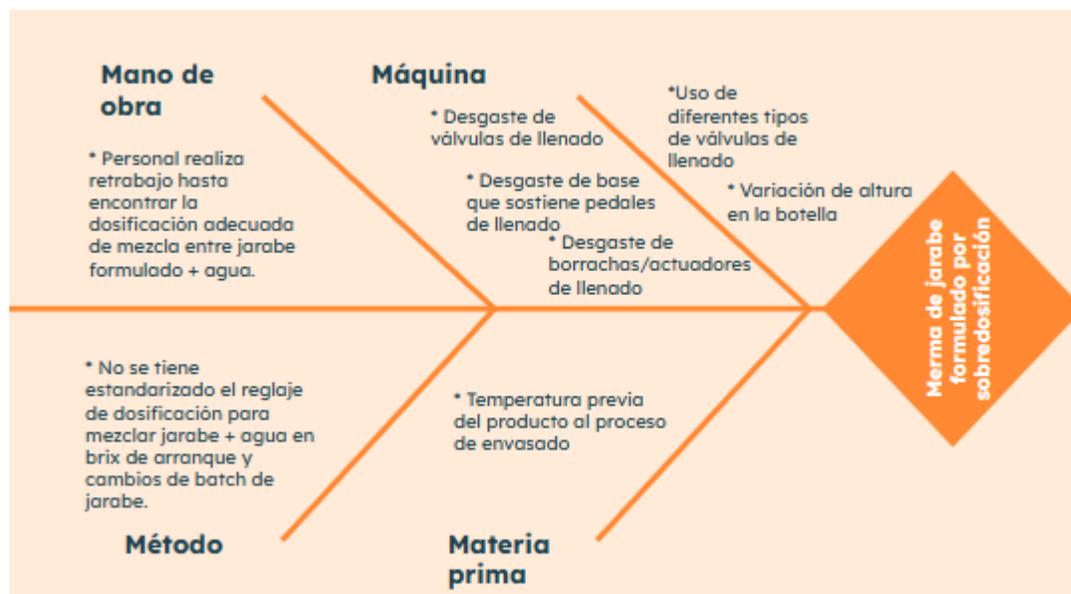


Figura 2.10 Diagrama de Ishikawa línea de bebidas isotónicas

Fuente: Autor

Cómo se observa en la figura 2.10, el diagrama se divide en 4 áreas principales que influyen en la generación de merma de jarabe formulado por sobredosificación. Estas se describen a continuación:

- **Máquina**

En esta espina, la envasadora presenta desgaste de piezas y estructuras claves para un proceso de llenado eficiente. Vale acotar que la empresa como tal no cuenta con un programa preventivo de mantenimiento, por ende, los ajustes necesarios se realizan cuando se presenta un problema en específico.

- **Mano de obra**

El proceso de mezcla se da un equipo llamado mixer, el cual regula el paso de jarabe y agua, donde la mezcla de ambos da como resultado el producto final a envasar. Al existir dos turnos diferentes en una producción continua, cada operador regula la mezcla a su manera, derivando así al reajuste de brix (medición de azúcar en producto final) hasta encontrar el reglaje adecuado conforme a las especificaciones internas de calidad y producción.

- **Método**

La dosificación de jarabe y agua se la realiza en función del ajuste del reglaje de mezcla. Si bien el ajuste es de forma inmediata, la revisión del brix se la realiza en el laboratorio de calidad. Por ende, el operador realiza ajuste, verifica brix y en caso de no cumplir, vuelve al área a reajustar el proceso. En pocas palabras, no se tiene estandarizado un método de verificación en línea del brix de mezcla final para envasar. Si yo adiciono más jarabe que agua, la merma de jarabe formulado es mayor.

- **Materia prima**

El producto mezclado pasa por un proceso de pasteurización (reducción de carga microbiana) y para ello necesita calentarse. Si la temperatura se excede, la velocidad de llenado aumenta debido a que hay más fluidez del producto al envasar, originando pérdidas por sobrellenado.

2.4 Matriz causa y efecto

Con la finalidad de ponderar las posibles causas asociadas a la generación de la merma por sobredosificación y a partir de allí priorizar aquellas que impactan con mayor severidad a la variable de respuesta, se realizó una matriz causa y efecto tomando en consideración lo desarrollado en el diagrama de Ishikawa cuyo resultado se presenta en la tabla 5.

Tabla 5
Matriz causa efecto de la generación de merma por sobredosificación

Proceso	Llenado de bebidas isotónicas	
Efecto	Merma de jarabe formulado por sobredosificación	
Prioridad de la variable de respuesta Y	9	
Posible causa	Calificación	Ponderación
Uso de diferentes tipos de válvulas de llenado	9	81
Variación de altura de la botella	9	81
Desgaste de válvulas de llenado	9	81
Desgaste de base que sostiene pedales de llenado	9	81
Desgaste de borrachas/actuadores de llenado	9	81
Retrabajo por dosificación incorrecta entre jarabe y agua	5	45
Falta de estandarización de proceso de ajuste del reglaje de dosificación	5	45
Temperatura de producto a envasar	1	9

Fuente: Autor

La calificación asignada a cada posible causa se la tomó en consideración a tres niveles. El nivel de mayor impacto se le dio una calificación de 9, al nivel medio un valor de 5 y al nivel bajo, una calificación de 1. Por otro lado, el resultado de la aplicación de la matriz causa y efecto nos indica que las posibles causas a la generación de merma por sobredosificación están más orientadas hacia la máquina envasadora.

2.5 Diagrama de Pareto

Tomando los resultados obtenidos de la matriz causa y efecto, se utilizó el diagrama de Pareto para dar prioridad a solucionar los problemas generados por las posibles causas más representativas. De forma gráfica, en la figura 2.11 se evidencia que el 80% de los efectos es atribuido al 20% de las causas que representan problemas ligados a la máquina envasadora.

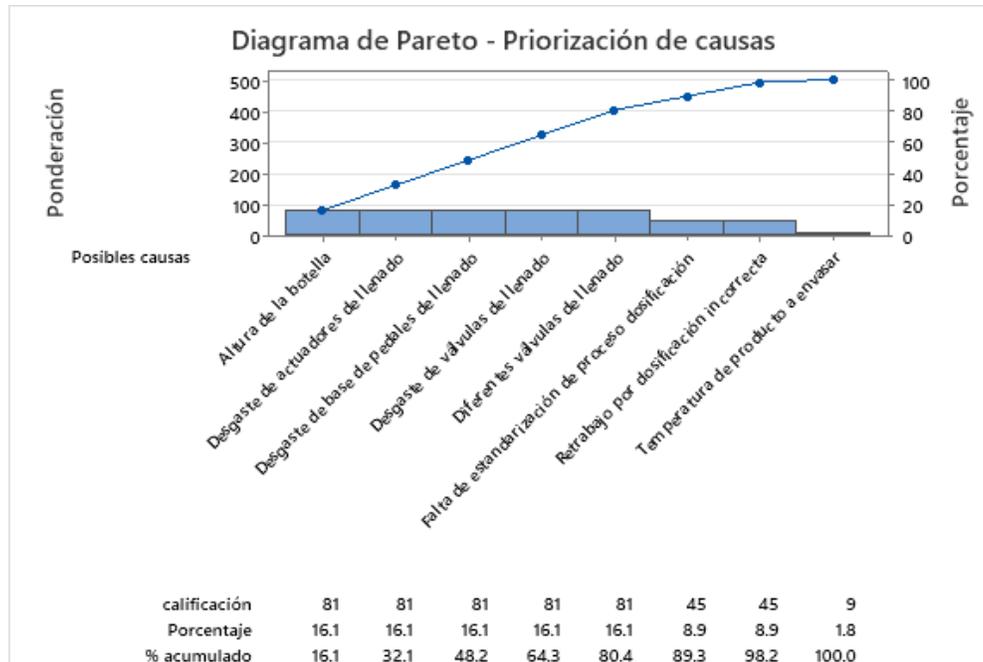


Figura 2.11 Diagrama de Pareto de las posibles causas

Fuente: Autor

2.6 Verificación de causas

Para verificar las causas más representativas, se utilizó herramientas de Go and See (Gemba) y análisis estadísticos. El plan de verificación se describe en la tabla 6.

Tabla 6
Plan de verificación de causas

	Causa potencial	Teoría acerca del efecto	Cómo lo verificamos	Estado
1	Diferentes tipos de válvulas de llenado	La envasadora utiliza válvulas recicladas de otras máquinas para operar, las cuales son de diferente dimensión lo que ocasiona variación de flujo de llenado generando sobredosificación.	Verificar el proceso de llenado de las 30 válvulas de la máquina y constatar dimensiones.	Completo
2	Variación en altura de la botella	El desgaste en los pedales que sostienen la botella provoca que no haya un ingreso centrado del vástago de llenado por la diferencia de nivel (altura) entre la botella y la válvula, lo cual genera sobrellenado.	Verificar desgaste en los pedales de la envasadora. Análisis de los niveles de altura de llenado. (Regresión de datos)	Completo
3	Desgaste de las válvulas de llenado	El utilizar válvulas recicladas de otras máquinas cuyo nivel de desgaste no es igual, origina un nivel de sobredosificación distinto por válvula.	Revisión del desgaste de las válvulas.	Completo
4	Desgaste de la base del sistema de llenado (pedales)	El desgaste de la base que sostiene a todos los pedales origina que las botellas no estén al mismo nivel de llenado, por ende, habrá fugas al dosificar.	Verificar fugas de contenido por desnivel de base. Desmontar la base de los pedales y verificar su desgaste.	Completo
5	Desgaste en borrachas/actuadores de llenado	El desgaste en los actuadores de las válvulas tales como resortes, borrachas y/o sellos de pico de botella, genera fugas al momento de dosificar.	Verificar el sellado hermético de los actuadores en las distintas válvulas de llenado.	Completo

Fuente: Autor

Causa 1 Diferentes tipos de válvulas de llenado

Cuando una máquina envasadora opera con diferentes tipos de válvulas, el flujo de llenado varía aumentando su velocidad. En la figura 2.12 se puede observar como el usar una válvula distinta (borde color rojo) genera desborde y sobredosificación de producto.



Figura 2.12 Evidencia de sobredosificación de la causa 1

Fuente: Autor

Así mismo, en la figura 2.13 se puede apreciar la dimensión de las válvulas. Del lado izquierdo se evidencia una diferencia de altura comparada con la del lado derecho, lo cual genera un aumento de flujo que ocasiona el problema mencionado anteriormente.



Figura 2.13 Válvulas de distintas dimensiones

Fuente: Autor

Causa 2 Variación de la altura de la botella por desgaste en pedales

Para entender de mejor manera cómo influye el nivel (altura) de la botella hay que conocer cómo está estructurada una válvula. En la figura 2.14 se presenta un esquema de las válvulas utilizadas. El problema radica en que si existe un desgaste en los pedales que sostienen la botella, el vástago de llenado (10649) no ingresa de forma céntrica en el envase, ocasionando fugas y sobredosificación porque la boquilla no está bien posicionada.

Esto se amplifica porque el método de llenado es gravimétrico (caída libre por gravedad), lo que origina que, si la boquilla no está en la posición adecuada, la válvula seguirá enviando producto hasta alcanzar el nivel correcto.

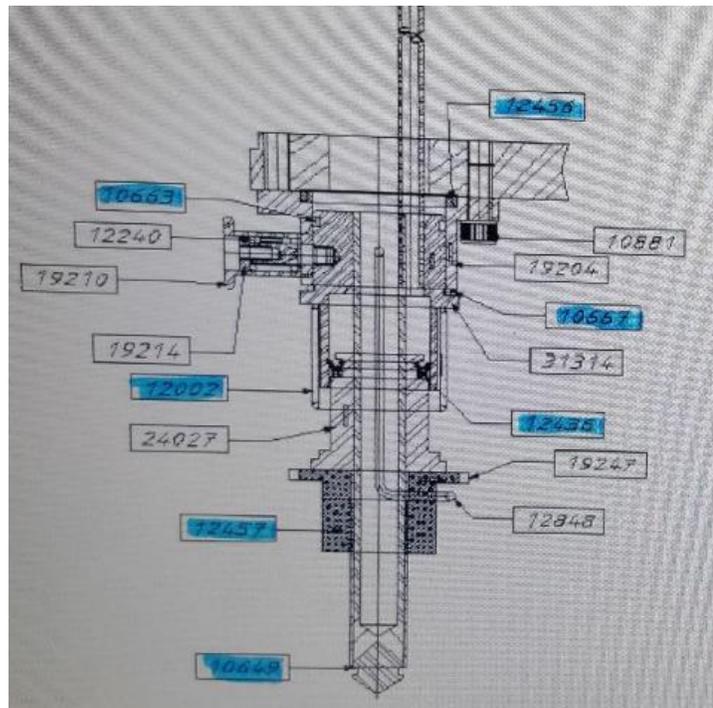


Figura 2.14 Diseño de válvula de llenado

Fuente: Autor

En la figura 2.15 se puede apreciar el desgaste que presentan los pedales de la máquina envasadora. Además, en la figura 2.16 se observa que los pedales están conectados a unos rodamientos que están desgastados (contribuyen al desnivel), cuya función es deslizar los pedales sobre la base de estos. Por lo tanto, si existen diferencias de nivel entre el vástago de llenado y la botella, la dosificación continuará. Así mismo, al haber un desnivel, el vástago de llenado puede no ingresar a la botella y dosificar todo el contenido fuera de la misma, tal como se muestra en la figura 2.17.



Figura 2.15 Desgaste de pedales

Fuente: Autor



Figura 2.16 Rodamientos con desgaste del sistema de pedales

Fuente: Autor



Figura 2.17 Merma generada por desnivel entre pedal y válvula

Fuente: Autor

En la figura 2.18 se evidencia un análisis estadístico basado en una regresión cuadrática con un valor de R^2 igual a 94.01% que involucra el contenido neto envasado y la altura que existe entre la válvula de llenado y la base de los pedales, es decir, el espacio donde va la botella.

Tomando como hipótesis nula el que no hay relación entre la altura (mm) y contenido neto (mL), el análisis da como resultado un valor $p < 0.001$ menor al nivel de significancia de 0.05, lo que demuestra que existe suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula y concluir que existe una relación significativa directamente proporcional donde a medida que la altura aumenta, lo hace el contenido neto.

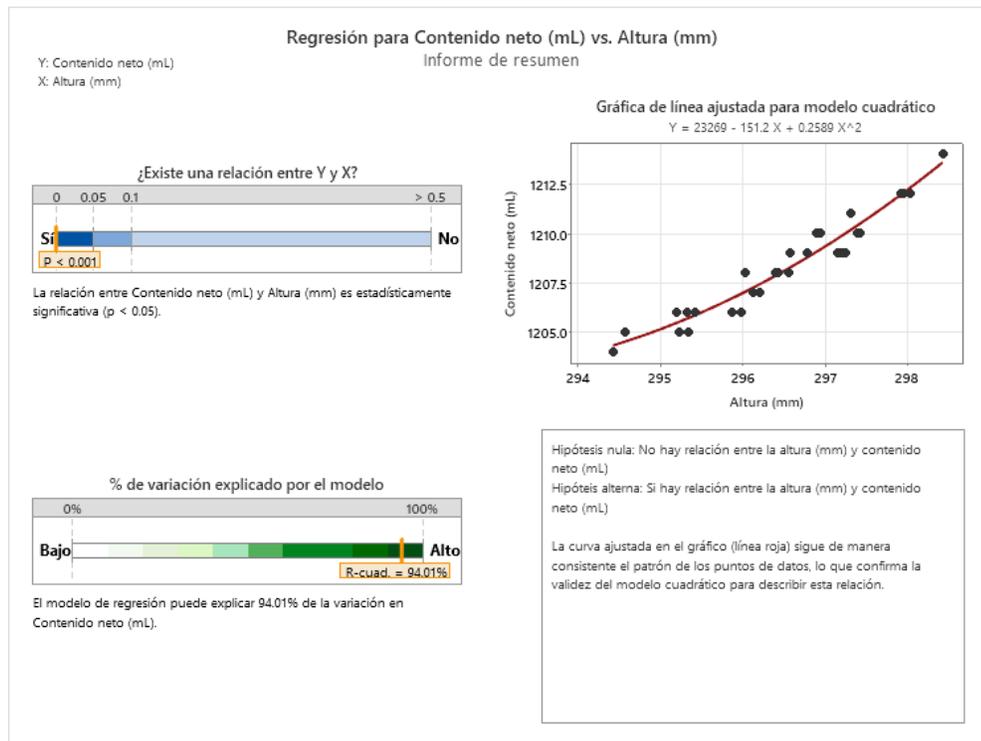


Figura 2.18 Regresión cuadrática entre las variables altura vs contenido neto.

Fuente: Autor

Causa 3 Desgaste del sistema de las válvulas de llenado

Al utilizar válvulas recicladas de otras máquinas, el nivel de desgaste es diferente, lo que origina un nivel de sobredosificación distinto por válvula. De acuerdo con el sistema mostrado en la figura 2.14, en la figura 2.19 se presenta la dosificación de dos válvulas con desgaste diferente. La del lado derecho tiene más desgaste que la del lado izquierdo donde se evidencia una dosificación controlada (botella izquierda) vs la sobredosificación (botella derecha). El desgaste de la válvula se puede apreciar con más detalle en la figura 2.20, en la cual se observa oxidación y golpes en el borde.



Figura 2.19 Dosificación de válvulas con distinto desgaste

Fuente: Autor



Figura 2.20 Desgaste de válvulas de llenado

Fuente: Autor

Causa 4 Desgaste de la base del sistema de llenado (lugar donde descansan los pedales)

El desgaste de la base que sostiene a todos los pedales origina que las botellas no estén al mismo nivel de llenado, por ende, habrá fugas y sobredosificación. En la figura 2.21 se puede observar diferentes niveles de los pedales, donde las botellas no están a la misma altura. Esto amplifica aún más la novedad verificada de la causa 2 puesto que los rodamientos de los pedales descansan sobre uno de los platos con desgaste.



Figura 2.21 Diferencia de nivel de los pedales

Fuente: Autor

Para complementar, en la figura 2.22 se evidencian los problemas de fugas y sobredosificación por desnivel ocasionado por desgaste de la base que sostiene los pedales. Así mismo, en la figura 2.23 se muestra el deterioro que presenta la base. (óxido y desgaste en sus 5 ejes)



Figura 2.22 Fuga ocasionada por desgaste de base de los pedales

Fuente: Autor



Figura 2.23 Desgaste de la base de los pedales

Fuente: Autor

Causa 5 Desgaste en resortes/borrachas/actuadores de llenado

El desgaste en los actuadores de las válvulas tales como resortes y borrachas, genera fugas al momento de envasar el contenido derivando así a la sobredosificación. En la figura 2.24, del lado izquierdo se puede apreciar el desgaste de los resortes de las válvulas, lo que ocasiona que el paso de jarabe a través del vástago de llenado no se cierre adecuadamente (centro de la figura). Por otro lado, el desgaste de los sellos de pico de botella provoca que no exista un cierre hermético entre el tope del envase y el vástago, por ende, existirán fugas de producto hasta que el contenido neto alcance el nivel deseado (lado derecho de la figura).



Figura 2.24 Sobredosificación ocasionada por desgaste de actuadores

Fuente: Autor

A modo de resumen, todas las causas listadas han sido verificadas. La evidencia final del efecto generado se presenta en la figura 2.25. En la misma se aprecia el nivel de sobredosificación que se tiene en el proceso de llenado de bebidas isotónicas, donde la dosificación para cada botella es diferente.



Figura 2.25 Sobredosificación ocasionada por causas verificadas

Fuente: Autor

2.7 Determinación de causa raíz

En la figura 2.26 se puede ver en detalle el análisis realizado implementando la herramienta 5 por qué's donde se determinó la causa raíz de las 5 causas declaradas en el plan de verificación de la sección 2.6.

Causa 1: Diferentes tipos de válvulas de llenado	¿Por qué la envasadora utiliza diferentes tipos de válvulas de llenado?			Porque se utiliza válvulas recicladas de otra operación	¿Por qué se utiliza válvulas recicladas de otra operación?	Porque la gerencia dispuso gestionar la operación de la línea con recursos existentes	¿Por qué la gerencia dispuso gestionar la operación de la línea con recursos existentes?	Porque estas válvulas recicladas presentan dimensiones similares a las que se necesita en la envasadora	Causa Raíz
Causa 3: Desgaste de las válvulas de llenado	¿Por qué existe desgaste de las válvulas de llenado?	Porque las válvulas utilizadas no son de la misma dimensión	¿Por qué las válvulas utilizadas no son de la misma dimensión?						No se tiene estandarizada la dimensión de las válvulas de acuerdo con la medida que necesita la envasadora
Causa 2: Variación de altura de la botella	¿Por qué existe la variación de altura en la botella?	Porque el nivel/altura de los pedales donde descansan las botellas no es igual	¿Por qué el nivel/altura de los pedales donde descansan las botellas no es el mismo?	Porque existe desgaste sobre los pedales y los rodamientos que los sostienen	¿Por qué existe desgaste sobre los pedales y los rodamientos que los sostienen?	Porque la frecuencia de uso de la envasadora ha aumentado y no se había considerado este cambio dentro de los mantenimientos programados de la envasadora	Falta de mantenimiento preventivo y correctivo sobre los pedales/rodamientos	Causa Raíz	
Causa 4: Desgaste de la base del sistema de llenado (sostiene los pedales)	¿Por qué existe desgaste de la base del sistema de llenado?	Porque la lubricación del sistema donde descansa la base no ha sido la correcta	¿Por qué la lubricación del sistema donde descansa la base no ha sido la correcta?						
Causa 5: Desgaste de los actuadores de llenado	¿Por qué existe desgaste sobre los actuadores de llenado?	Porque el uso de válvulas recicladas acelera el desgaste de los actuadores de llenado	¿Por qué el uso de válvulas recicladas acelera el desgaste de los actuadores de llenado?	Porque la acción mecánica que se ejerce sobre el actuador no es uniforme	¿Por qué la acción mecánica que se ejerce sobre el actuador no es uniforme?	Porque la dimensión de las válvulas de llenado no es la misma	Causa Raíz		
							No se tiene estandarizada la dimensión de las válvulas de acuerdo con la medida que necesita la envasadora		

Figura 2.26 Análisis de causa raíz

Fuente: Autor

2.8 Plan de implementación de mejoras

De acuerdo con el análisis de causa raíz en la sección 2.7, se revisó con el equipo multidisciplinario las mejoras que se deben implementar para mejorar el proceso de llenado con la finalidad de disminuir la merma de jarabe que se tiene en la línea de bebidas isotónicas.

En la tabla 7 se describe un plan de acción, donde se detalla la actividad a realizar, responsable, costo por mejora, resultado esperado y el estado de la implementación de la mejora.

Tabla 7
Plan de implementación de mejoras

ID	Mejora	Responsable	Costo de mejora	Resultado esperado	Status
1	Instalación de nuevo juego de 30 válvulas	Supervisor Mecánico	\$9000	Regular el flujo de llenado por cambio de nuevas válvulas con la misma dimensión	Terminado
2	Pulir pedales que presentan desgaste	Supervisor Mecánico	\$0	Nivelar la altura de la botella en cada pedal de las 30 válvulas	Terminado
3	Cambio de rodamientos del sistema de los pedales	Supervisor Mecánico	\$150	Nivelar los pedales para mantener la misma altura entre el vástago de llenado y la botella en cada válvula	Terminado
4	Cambio de base del sistema de llenado	Proveedor Externo	\$18000	Ajustar el desnivel de los pedales en el sistema de llenado	Terminado
5	Cambio de resortes del juego de válvulas	Supervisor Mecánico	\$200	Lograr un cierre mecánico eficaz al momento de que la válvula termine de dosificar el nivel de líquido requerido	Terminado
6	Cambio de borrachas o picos de botellas del juego de válvulas	Supervisor Mecánico	\$200	Lograr un cierre hermético eficaz entre el tope del envase y el vástago de llenado	Terminado

Fuente: Autor

2.9 Implementación de mejoras

Las mejoras realizadas fueron hechas directamente sobre la envasadora de la línea de bebidas isotónicas. Para ello, se partió por el desmontaje de piezas de la máquina con ayuda de un proveedor externo, lo cual se observa en la figura 2.27.



Figura 2.27 Desmontaje de la envasadora

Fuente: Autor

Para la mejora #1 se realizó una compra de 30 válvulas nuevas en reemplazo de las válvulas recicladas de máquinas envasadoras de otras operaciones que se estaban utilizando en el proceso. En la figura 2.28 se presenta el juego de válvulas adquirido y en la figura 2.29 se muestra la válvula nueva y su posterior instalación en la envasadora.



Figura 2.28 Juego nuevo de válvulas adquirido

Fuente: Autor

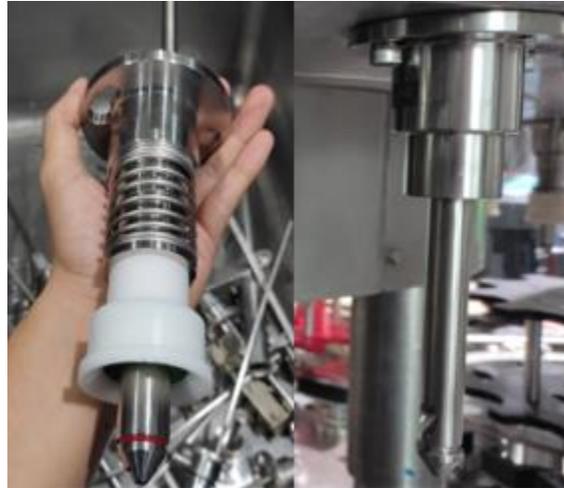


Figura 2.29 Instalación de válvula nueva en la máquina

Fuente: Autor

Para la mejora #2 y #3 se desmontó el sistema de pedales para realizar la corrección mediante un proceso de pulido en los que presentaban desgastes y posteriormente el cambio de rodamientos de cada uno de los pedales. Luego de esta intervención, se realizó el montaje de las piezas corregidas, lo cual se muestra en las figuras 2.30 y 2.31 respectivamente.



Figura 2.30 Corrección en pedales y rodamientos de la envasadora

Fuente: Autor



Figura 2.31 Montaje del sistema de pedales corregido

Fuente: Autor

Para la mejora #4 se desinstaló la base del sistema de llenado donde descansa el juego de pedales y se la cambió por una nueva. En la figura 2.32 se observa el montaje de la nueva base adquirida por parte del proveedor externo.



Figura 2.32 Montaje de la nueva base del sistema de llenado

Fuente: Autor

Para las mejoras #5 y #6 se realizó el cambio de los actuadores de llenado en cada una de las 30 válvulas en las cuales se renovaron los resortes y los sellos de pico de pico botella. En la figura 2.33 se aprecia un resorte más estirado que otro, esto se debe a que el resorte del lado izquierdo presenta desgaste mientras que el resorte del lado derecho es nuevo.



Figura 2.33 Comparación de resorte usado versus nuevo

Fuente: Autor

En la figura 2.34 se observa el cambio del juego de sellos de botellas o borrachas desgastado de cada una de las válvulas por uno nuevo, donde se contrasta del lado izquierdo el material desgastado vs un material ya colocado totalmente nuevo.



Figura 2.34 Comparación de actuador borracha viejo versus nuevo

Fuente: Autor

Finalmente, en la figura 2.35 se muestra un juego de válvulas con los actuadores de llenado totalmente nuevos (lado izquierdo) versus el juego de actuadores con desgaste.



Figura 2.35 Comparación de actuadores nuevos vs desgastados

Fuente: Autor

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS DEL PROYECTO

3.1 Evaluación de la variable de respuesta con las mejoras

Para la evaluación de la variable de respuesta definida como merma de jarabe formulado por sobredosificación, se realizaron nuevas mediciones de contenido neto sobre el proceso con las mejoras ya implementadas. Como primer paso se realizó una prueba de normalidad a las mediciones efectuadas, las cuales no siguen una distribución normal. De acuerdo con el resultado que se observa en la figura 3.1, dado que el valor $p < 0.010$ es menor al nivel de significancia de 0.05, es necesario realizar una prueba de bondad y ajuste para identificar la distribución a seguir de las mediciones de contenido neto.

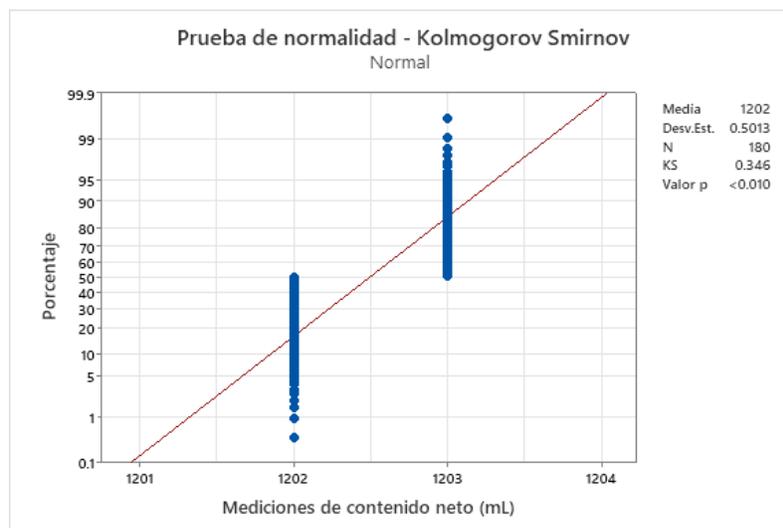


Figura 3.1 Prueba de normalidad a la variable de respuesta con mejoras implementadas

Fuente: Autor

El resultado de la prueba de bondad y ajuste se observa en la figura 3.2, donde para el caso de estudio es la utilización de la distribución Loglogística. Esta decisión se basó en el análisis de los valores AD (Anderson-Darling) y P-Value, donde para un valor bajo de AD y un P-Value alto se concluye que los datos se ajustan de mejor manera a la distribución elegida. Considere que otra opción pudo haber sido la distribución logística, pero para datos con comportamientos de aglomeración en rangos específicos, el ajuste es mejor con la distribución escogida.

Prueba de bondad del ajuste

Distribución	AD	P LRT P
Normal	32.192	<0.005
Transformación Box-Cox	32.192	<0.005
Lognormal	32.192	<0.005
Exponencial	82.502	<0.003
Exponencial de 2 parámetros	171.356	<0.010 0.000
Weibull	32.647	<0.010
Valor extremo más pequeño	32.647	<0.010
Valor extremo por máximos	33.151	<0.010
Gamma	32.357	<0.005
Logística	28.640	<0.005
Loglogística	28.640	<0.005

Figura 3.2 Prueba de bondad y ajuste con mejoras implementadas

Fuente: Autor

En la figura 3.3 se muestra la gráfica de control de la variable de respuesta con las mejoras ya implementadas, en la misma se evidencia un proceso estable donde no existen mediciones de contenido neto fuera de los límites de control en función de la dinámica del proceso (ningún subgrupo está fuera de control).

Además, no existen tendencias o patrones de inestabilidad tales como cambios rápidos o graduales, oscilación, tendencia general o ciclos. Por lo tanto, si observamos la media del proceso, ésta es muy similar al objetivo de dosificación de $1202 \text{ mL} \pm 2 \text{ mL}$, a diferencia de un proceso sin mejoras donde la media era 1210 mL .

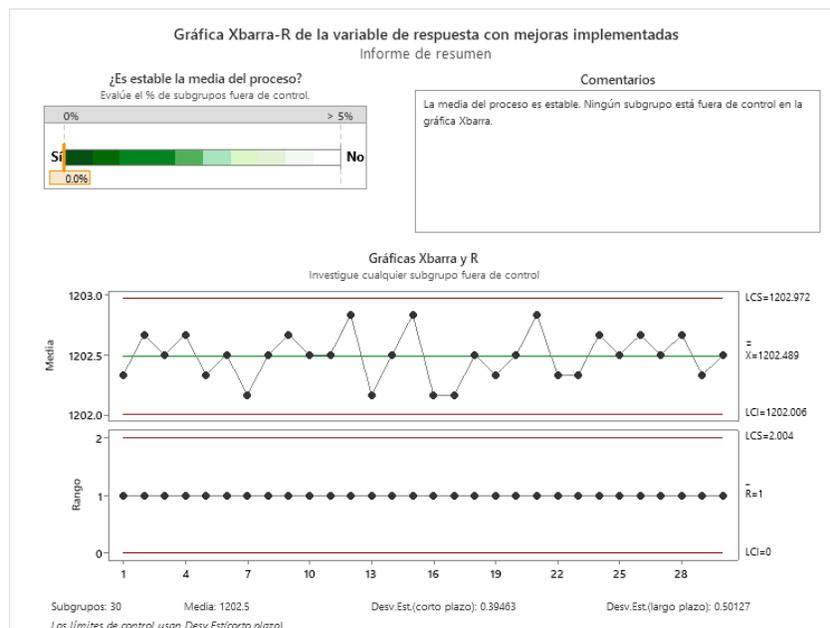


Figura 3.3 Gráfica de control X-R de la variable de respuesta con mejoras implementadas

Fuente: Autor

Por otro lado, se realizó el análisis de capacidad al proceso con las mejoras ya implementadas evidenciado en la figura 3.4. Se puede observar que a corto y largo plazo el proceso es potencialmente capaz, cuyos valores de Cp y Pp son 1.32 y 1.33 respectivamente. A esto se suma el porcentaje de mediciones observadas fuera de especificación, el cual es cero. En contraste a un proceso sin mejoras cuyos valores de Cp y Pp eran de 0.38 y 0.32, con las mejoras, el valor de los indicadores mencionados creció 3.5 veces, indicando mejoría considerable en la variabilidad del proceso. En cuanto al Cpk (0.99), es posible afirmar que el proceso es un proceso aceptable.

Es importante notar que, en el escenario sin mejoras, el proceso se encontraba con serios problemas de variabilidad y localización. De acuerdo con la figura 3.4, la variable de respuesta alcanzó un punto muy cercano al objetivo de $1202 \text{ mL} \pm 2 \text{ mL}$, logrando pasar de una desviación estándar de 2.06 a una de 0.50, es decir, se redujo 4 veces la variación en contenido neto.

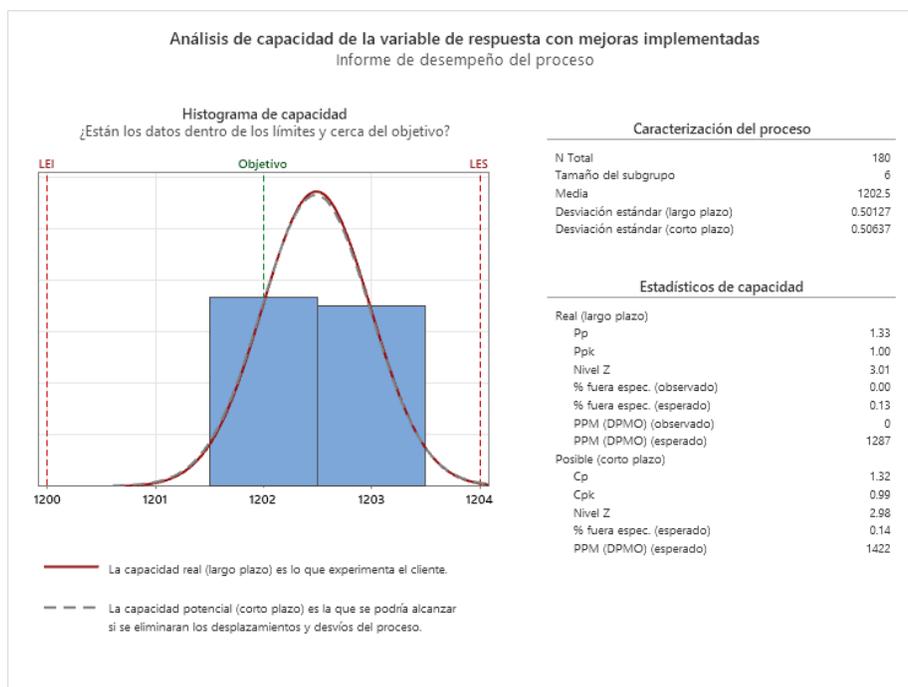


Figura 3.4 Análisis de capacidad de la variable de respuesta con mejoras implementadas

Fuente: Autor

3.2 Evaluación de ahorro generado con las mejoras

En la figura 3.5 se observa la línea de tiempo de la merma de jarabe formulado, donde es importante evidenciar que ésta disminuyó considerablemente una vez implementadas las mejoras la tercera semana del mes de noviembre. A partir de diciembre, la merma supera el objetivo planteado de 1.90%, llegando a estar cerca del valor estándar máximo permitido considerado como merma base de 1%.

El valor promedio de merma antes de realizar las mejoras era de 2.93%, cuyo costo de merma de jarabe formulado representaba un valor cercano a los \$6592, teniendo así cerca de 6639 litros de merma. Con las mejoras, el análisis de los últimos meses indica que el promedio de merma es 1.24% con un costo promedio de \$2167 y 2182 litros de merma, lo cual está generando un ahorro promedio mensual de \$4425 y 4457 litros de jarabe ganados.

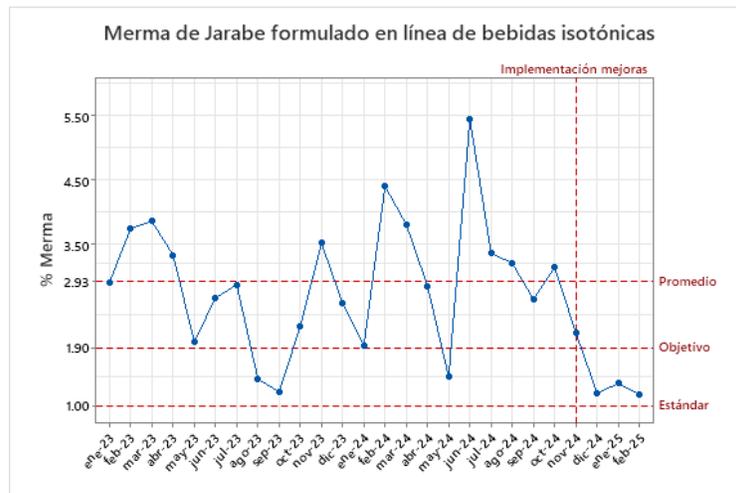


Figura 3.5 Mermas de jarabe formulado en línea de bebidas isotónicas con mejoras implementadas

Fuente: Autor

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

1. Se redujo la merma de jarabe formulado causada por sobredosificación en un 58%, la cual supera el objetivo planteado de 35%. Con el uso de las herramientas de estadística aplicada, se logró mejorar el indicador de mermas en la línea de bebidas isotónicas presentación 1200 mL, pasando de un promedio de 2.93% a 1.24%, tomando en consideración que el estándar que se maneja es de 1% como merma base. Esta reducción implica un ahorro promedio mensual de \$4425 y 4457 litros de jarabe ganados.
2. Se identificaron las causas potenciales que estaban afectando al indicador de mermas a través de herramientas de generación y priorización de causas, donde previamente se llevó a cabo reuniones con el equipo de manufactura con la finalidad de dar alcance a todas las aristas que afectan el indicador de merma de jarabe formulado. Para ello, como primer paso se declaró un problema enfocado en merma de jarabe formulado por sobredosificación donde se evaluó su estado actual con gráficas de control y análisis de capacidad. Posteriormente, con ayuda de un diagrama de Ishikawa se identificaron las posibles causas, las cuales fueron sujetas a un proceso de priorización con ayuda de la matriz causa/efecto y un diagrama de Pareto, cuyo resultado final reflejó que el 80% de los problemas que afectan a la variable de respuesta estaban relacionados con la máquina de envasado.
3. Se verificaron 5 causas potenciales con estrategias de Go and See (Gemba) y herramientas de análisis estadístico, las cuales se plantearon en un plan de verificación de causas. Para el caso de las estrategias Gemba, estas consistieron en verificar in situ la operatividad del sistema de llenado de la máquina, donde se revisaron actuadores de llenado, estructuras de nivel de llenado y dimensiones de válvulas. Por otro lado, se realizó un análisis estadístico basado en una regresión cuadrática que involucra el contenido neto envasado y la altura que existe entre la válvula de llenado y la base de los pedales, es decir, el espacio donde va la botella. El resultado de este demuestra que existe una relación significativa directamente proporcional donde a medida que la altura aumenta, lo hace el contenido neto. Vale acotar que, para ambos escenarios, las causas resultaron significativas.
4. Teniendo como causas raíz la falta de estandarización de dimensiones de las válvulas de llenado de acuerdo con la medida que necesita la envasadora y la falta de mantenimiento preventivo/correctivo sobre la máquina como tal, se planteó un plan de implementación de mejoras el cual se llevó a cabo con ayuda de un proveedor externo. El mismo resultó en una inversión aproximada de \$27.550 el cual cubría gastos operativos, cambios de actuadores de llenado, juego nuevo de válvulas, resane y cambio de estructuras de nivel de llenado.
5. Se validó los resultados de las mejoras implementadas a través de gráficas de control y de análisis de capacidad. Para ello se analizó la respuesta de la variable a

mejorar sujeta a dos escenarios: Sin mejoras y con mejoras en el proceso. En ambos casos, la gráfica de control X-R muestra un proceso estable donde no existen mediciones de contenido neto fuera de los límites de control en función de la dinámica del proceso (ningún subgrupo está fuera de control), no obstante, la media de un proceso sin mejoras oscilaba por los 1210mL mientras que, con las mejoras implementadas, esta es muy similar al objetivo de dosificación de 1202 mL \pm 2 mL, logrando pasar de una desviación estándar de 2.06 a una de 0.50, es decir, se redujo 4 veces la variación en contenido neto. Por otro lado, el análisis de capacidad para un proceso con mejoras demuestra que a corto y largo plazo el proceso es potencialmente capaz, cuyos valores de Cp y Pp son 1.32 y 1.33 respectivamente. En contraste a un proceso sin mejoras cuyos valores de Cp y Pp eran de 0.38 y 0.32. Por lo tanto, el valor de los indicadores mencionados creció 3.5 veces, indicando mejoría considerable en el proceso.

4.2 Recomendaciones

1. Se sugiere trabajar sobre la reducción del estándar máximo permitido de merma de 1% considerado como merma base, donde se aproveche el producto retenido en las tuberías y no se lo descargue como desecho durante los cortes e inicios de producción. Con esta medida se podría mejorar aún más el indicador de mermas de jarabe formulado en la línea de bebidas isotónicas de tal manera que todo el jarabe se aproveche en producto final.
2. Se recomienda realizar mantenimientos preventivos al sistema de llenado y al equipo de pasteurización, puesto que estos sistemas están sujetos a mayor desgaste por su uso, lo que deriva que existan pérdidas significativas de jarabe cuando el daño se origina por falta de prevención.
3. Se sugiere incorporar un medidor de brix (sólidos disueltos totales) en línea que permita regular automáticamente el reglaje de dosificación de mezcla de jarabe formulado con agua. De esta manera, se estandariza el proceso de mezclado independientemente del operador de turno o cuando existan cambios de batch de jarabe.
4. Se recomienda capacitar al personal operativo que maneja el sistema de llenado de la máquina envasadora con la finalidad de fortalecer el control en fuente, es decir, que el mismo operador sea capaz de resolver problemas mecánicos/eléctricos que la máquina presenta y así se pueda corregir cualquier desviación de forma oportuna permitiendo reducir la merma de jarabe por desviaciones del equipo.

BIBLIOGRAFÍA

- Carvajal, M. J. (2021). Aplicación de herramientas estadísticas y Lean Manufacturing para la reducción de la variabilidad del indicador de sólidos totales del agua sin gas envasada en una empresa embotelladora de bebidas no alcohólicas. Escuela Superior Politécnica Del Litoral, 20-21.
- Coronado, J., & Nuñez, Y. (2021). Evaluación del proceso de llenado mediante la aplicación de herramientas de mejora continua para disminuir las mermas en el área de envasado de una industria cervecera. Escuela Superior Politécnica Del Litoral, 19.
- Garcés, K. (2021). Mejoramiento del indicador de Limpieza y Saneamiento en sitio CIP (Clean-in-place), mediante la aplicación de la herramienta AMEF en una empresa embotelladora de bebidas no alcohólicas. Escuela Superior Politécnica Del Litoral, 55-57.
- Gutierrez, H. (2013). Control Estadístico de la Calidad y Seis Sigma (Tercera ed.), 99.
- INEN. (2015). Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 284, 4-7.
- Ocampo, J., & Pavón, A. (2012). Integrando la Metodología DMAIC de Seis Sigma con la Simulación de Eventos Discretos en Flexim. 10th Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology, 2.
- Ponce, Á. (2016). Análisis para la mejora continua de la demanda médica del año 2015 en un hospital de seguridad social utilizando utilizando el diagrama de pareto. Escuela Superior Politécnica Del Litoral, 22.