



Universidad Autónoma de Querétaro  
Facultad de Ingeniería  
Maestría en Ingeniería de Calidad

Reducción de costos por sobrellenado de producto terminado en la fabricación de papillas infantiles  
a través de la aplicación de la metodología DMAIC

### TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de

Maestro en Ingeniería de Calidad

#### Presenta:

Arturo Reséndiz Cruz

#### Dirigido por:

M.C. Guillermo Hiyane Nashiro

#### SINODALES

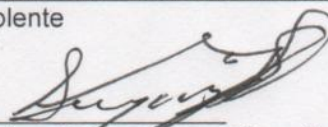
M.C. Guillermo Hiyane Nashiro  
Presidente

Dr. Juan Bosco Hernández Zaragoza  
Secretario

Dr. Miguel Galván Ruíz  
Vocal

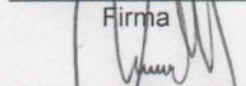
MIC Martha Patricia Magaña Murguía  
Suplente


M.C. Juan Manuel Vera Morales  
Suplente

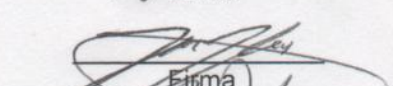
  
Dr. Aurelio Domínguez González  
Director de la Facultad

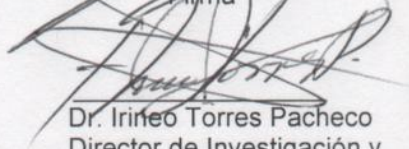
  
Firma

  
Firma

  
Firma

  
Firma

  
Firma

  
Dr. Irineo Torres Pacheco  
Director de Investigación y  
Posgrado

Centro Universitario  
Querétaro, Qro.  
Junio del 2013  
México

## RESUMEN

Actualmente un problema que enfrentan la mayoría de los fabricantes de alimentos, es el manejo más adecuado del proceso de llenado de los empaques de sus productos, que permita cumplir con los requerimientos legales del país de venta al mismo tiempo que se minimizan tanto como sea posible los costos por sobrellenado. Esta investigación fue realizada en una empresa dedicada a la fabricación de alimentos dirigidos a infantes. La propuesta de este trabajo fue identificar los factores relevantes que intervienen en el control del volumen de llenado en la fabricación de una papilla de fruta (producto 9590221) que es envasado en frasco de vidrio, con el objetivo de reducir el sobrellenado de los empaques, derivado de la alta variación y el descentrado de la media del proceso. En esta investigación, se siguió la metodología DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar) para estudiar y reducir la variación y centrar el proceso en el target. Durante las diferentes fases del DMAIC, se utilizaron herramientas estadísticas para conocer las fuentes de variación. Las herramientas estadísticas utilizadas fueron: diagramas de Pareto, estudios Gage R&R, análisis de capacidad, intervalos de confianza, DOE, regresión lineal y cartas de control. Al principio de la investigación, la variación inicial del proceso ( $\sigma_1$ ) fue de 1.55 y el sobrellenado promedio por frasco era de 1.25 g. Después de aplicar la metodología DMAIC, se logró reducir la variación del proceso un 70 %,  $\sigma_2 = 0.47$ , con lo que se pudo reducir el sobrellenado promedio por frasco a 0.3 g. En la fase controlar, se desarrolló e implementó un plan de control, en el que se describen actividades de mantenimiento del equipo de llenado así como los controles operacionales necesarios para monitorear y controlar el proceso con el objetivo de mantener las mejoras alcanzadas. La proyección de ahorros en costos para el producto 9590221 en 2013 si se mantienen las mejoras alcanzadas es de 141,168.46 pesos anuales.

**(Palabras clave:** Costos de sobrellenado, alimentos infantiles, herramientas estadísticas, DMAIC)

## SUMMARY

Currently, a problem faced by most food manufacturers, is the most appropriate management of the filling packages process, in order to meet the legal requirements of the sales country while minimizing as much as possible overfilling costs. This research was conducted in a company engaged in the manufacture of baby foods. This survey was conducted with the purpose of identify the relevant factors to control the filling volume in the manufacture of a fruit puree (product 9590221) that is packed in glass jar, with the objective of reducing overfilling in the containers, derived from the high variation and process mean off-target. In this investigation was followed DMAIC Methodology (Define, Measure, Analyze, Improve and Control) to study and reduce the variation and center the process on the target. At different stages of DMAIC statistical tools were used to identify the different sources of variation. The statistical tools used were Pareto diagrams, Gage R&R studies, capability analysis, confidence intervals, design of experiments, linear regression and control charts. At the beginning of the investigation, the initial process variation ( $\sigma_1$ ) was 1.55 and the average overfill per jar was 1.25 g. After applying the DMAIC methodology, the process variation was reduced by 70%. The final variation  $\sigma_2$  was 0.47, which reduced the average overfill per jar to 0.3 g. In the control phase, was developed and implemented a control plan, which describes activities of maintenance for filling equipment and operational controls necessities to monitor and control the process in order to maintain the improvements. The projected saving costs for product 9590221 in 2013 if improvements gained are maintained is 141,168.46 pesos annually.

**(Key words:** Overfilling costs, baby food, statistical tools, DMAIC)

## **AGRADECIMIENTOS**

La presente tesis quiero dedicársela en primer lugar a dios, por permitirme realizar mis estudios de maestría. En segundo lugar quiero agradecer a mis padres y hermanos, que fueron un apoyo muy importante durante todos mis estudios de posgrado.

También quiero agradecer a todos mis maestros, porque de todos ellos aprendí cosas nuevas. Quiero agradecerles todas las experiencias que me compartieron, porque de todas tuve alguna enseñanza para mi vida profesional y personal.

Por último quiero agradecer a mis compañeros y amigos que me acompañaron durante todo este camino. De ellos también recibí apoyo y pudimos compartir experiencias que fueron muy enriquecedoras.

# ÍNDICE

RESUMEN .....	i
SUMMARY .....	ii
AGRADECIMIENTOS.....	iii
ÍNDICE .....	iv
INDICE DE TABLAS.....	vi
INDICE DE FIGURAS .....	vii
I. INTRODUCCION .....	1
1.1 Hipótesis.....	3
1.2 Objetivo general .....	3
1.3 Objetivos específicos.....	4
II. REVISION DE LITERATURA .....	5
2.1 Cómo controlar la variabilidad de la maquina llenadora .....	10
2.1 Principios de llenado .....	10
2.3 Calibración .....	11
2.4 Variabilidad del producto .....	11
2.5 Variabilidad de Maquina/producto. ....	11
2.6 Seis Sigma .....	12
2.7 Variabilidad de procesos .....	12
III. METODOLOGIA .....	15
3.1 Etapa Definir .....	15
3.2 Etapa Medir .....	17
3.2.1 Gage tipo I para balanza analítica.....	17
3.2.2 Gage R&R método del ANOVA .....	17
3.2.3 Análisis de capacidad inicial .....	18
3.3 Etapa Analizar .....	18
3.3.1 Variación entre válvulas .....	18
3.3.2 Variación por válvula .....	19
3.3.3 Intercambio de componentes de llenadora.....	20
3.3.4 Análisis de regresión para dispositivo de ajuste .....	20
3.3.5 Diseño estadístico de experimentos (DOE).....	20
3.3.6 Evaluación de velocidad de llenadora .....	21
3.3.7 Análisis de consistencia de producto.....	21
3.4 Etapa Mejorar .....	22
3.4.1 Alineación de válvulas.....	22
3.4.2 Identificación de componentes de llenadora.....	22
3.4.3 Corrida de confirmación .....	22
3.5 Etapa controlar.....	23

IV. RESULTADOS Y DISCUSION.....	24
4.1 Resultados de la fase Definir .....	24
4.1.1 Declaración del problema.....	24
4.1.2 Alcance .....	24
4.1.3 Diagrama de proceso .....	30
4.1.4 Definición de CTQ's .....	31
4.2 Resultados de la fase Medir.....	31
4.2.1 Estudio Gage tipo I para balanza analítica.....	31
4.2.2 Estudio de Gage R&R para sistema de medición .....	32
4.2.3 Evaluación de variación de peso del frasco vacío de 113 g.....	33
4.2.4 Regla de decisión.....	33
4.3 Resultados de la fase Analizar.....	38
4.3.1 Análisis de variación entre válvulas .....	38
4.3.2 Análisis de variación por válvula .....	41
4.3.3 Intercambio de componentes de la llenadora.....	43
4.3.4 Análisis de Regresión para dispositivo de ajuste llenadora .....	45
4.3.5 Evaluación de consistencia del producto y velocidad del llenado .....	47
4.3.6 Evaluación de velocidad de llenadora .....	55
4.3.7 Análisis de consistencia de producto.....	56
4.4 Resultados de la Fase Mejorar.....	56
4.4.1 Parámetros para dispositivo de ajuste (manivela) de llenadora .....	59
4.4.2 Alineación de válvulas.....	59
4.4.3 Identificación de componentes de llenadora.....	62
4.4.4 Corrida de confirmación.....	63
4.4.5 Cálculo de target y límites de control .....	64
4.5 Resultados de la Fase Controlar .....	69
4.5.1 Plan de control .....	69
CONCLUSIONES.....	80
LITERATURA CITADA .....	81
GLOSARIO.....	84
ANEXOS.....	85
ANEXO 1. Mediciones para Gage R&R para sistema de medición inicial.....	85
ANEXO 2. Mediciones para Gage R&R de sistema de medición después de mejora. ....	86
ANEXO 3. Datos de corrida inicial .....	87
ANEXO 4. Datos de corrida de confirmación.....	89
ANEXO 5. Datos para Gage tipo I.....	91
ANEXO 6. Diagrama general del proceso .....	92

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Muestreo para análisis de regresión lineal.....	20
Tabla 2 Descripción del diseño factorial .....	21
Tabla 3 Project Chárter.....	29
Tabla 4 Identificación de CTQ's .....	31
Tabla 5 Gage R&R para sistema de medición inicial .....	32
Tabla 6 Comportamiento del peso del frasco vacío de 113 g.....	34
Tabla 7 Comparación del peso del frasco vacío de tres lotes .....	34
Tabla 8 Instructivo para determinación de contenido neto.....	35
Tabla 9 Gage R&R para sistema de medición después de mejora .....	36
Tabla 10 Resumen de Análisis de Causa Efecto.....	38
Tabla 11 Análisis de variación entre válvulas .....	39
Tabla 12 Resultados para cálculo de intervalo de confianza .....	40
Tabla 13 Análisis de variación por válvula .....	42
Tabla 14 Resultados de prueba de dispositivos de ajuste de llenadora.....	45
Tabla 15 Descripción diseño factorial .....	47
Tabla 16 Resultados DOE .....	48
Tabla 17 ANOVA Resultados de DOE .....	54
Tabla 18 Velocidades de llenadora durante la producción .....	55
Tabla 19 Matriz de interrelación entre ingredientes y parámetros de calidad .....	57
Tabla 20 Criterios de evaluación para matriz de interrelaciones .....	58
Tabla 21 Parámetros para dispositivo de ajuste de la llenadora .....	59
Tabla 22 Análisis de variación entre válvulas después de reemplazar componentes .....	60
Tabla 23 Resultados para cálculo de intervalo de confianza después de reemplazar componentes desgastados. .....	61
Tabla 24 Especificaciones para carta de control Xbarra-S .....	64
Tabla 25 Plan de control.....	70
Tabla 26 Check list de llenadoras.....	74
Tabla 27 Control de cocina.....	75
Tabla 28 Hoja de registro para calibración de balanzas .....	76
Tabla 29 Hoja de registro para cambio de orings de llenadoras .....	77
Tabla 30 Hoja de registro para cambio de empaques de llenadoras .....	78
Tabla 31 Proyección de ahorros para sobrellenado en 2013.....	79
Tabla 32 Mediciones para Gage R&R para sistema de medición inicial.....	85
Tabla 33 Mediciones para Gage R&R de sistema de medición después de mejora .....	86
Tabla 34 Datos de corrida inicial.....	87
Tabla 35 Datos de corrida de confirmación.....	89
Tabla 36 Estudio Gage tipo I para balanza analítica .....	91

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Pareto de primer nivel costos de sobrellenado por línea de proceso .....	25
Figura 2 Pareto de segundo nivel costos por sobrellenado por tamaño de frasco en línea B. ....	25
Figura 3 Pareto de tercer nivel costos por sobrellenado para productos de 113 g fabricados por la línea B. ....	27
Figura 4 Historial sobrellenado promedio por frasco .....	28
Figura 5 Diagrama SIPOC para la fase de llenado .....	30
Figura 6 Diagrama detallado del proceso mencionado en el SIPOC de la Figura 5 .....	30
Figura 7 Estudio Gage tipo I para balanza analítica Mettler Toledo PG 2002-5, $d = 0.01$ g .....	32
Figura 8 Capacidad de proceso inicial .....	37
Figura 9 Intervalo de confianza inicial para la media .....	40
Figura 10 Reemplazo de orings y empaques de pistones y válvulas de llenadora .....	41
Figura 11 Valor de $C_{pk}$ por válvula .....	43
Figura 12 A, B, C Componentes de llenadora intercambiados y sin identificación .....	44
Figura 13 Dispositivo de ajuste de nivel de llenado .....	45
Figura 14 Análisis de Regresión Dispositivo de Ajuste de Llenadora .....	46
Figura 15 Prueba de normalidad para resultados de DOE .....	50
Figura 16 Gráfica de residuales para $Y_{ij}$ .....	51
Figura 17 Pareto para efectos estandarizados resultados DOE .....	52
Figura 18 Gráfica de efectos principales .....	53
Figura 19 Gráfica de interacciones para $Y_{ij}$ .....	54
Figura 20 Velocidad de llenadora durante la producción .....	55
Figura 21 Carta de control para consistencia del producto .....	56
Figura 23 Consistencia del producto antes y después de mejora .....	58
Figura 24 Cantidad promedio dosificada por cada válvula después de reemplazar componentes desgastados.	61
Figura 25 A, B, C Identificación de componentes de llenadora .....	62
Figura 26 Prueba de normalidad para corrida de confirmación .....	63
Figura 27 Carta de control Xbarra-S para corrida de confirmación .....	64
Figura 28 Análisis de capacidad para corrida de confirmación .....	65
Figura 29 Prueba de homogeneidad de la varianza corrida inicial vs corrida de confirmación .....	66
Figura 30 Comparación de Capacidad de proceso antes y después de DMAIC .....	67
Figura 31 Resumen análisis de capacidad antes y después de DMAIC .....	68
Figura 32 Número promedio de cajas por tanque .....	68
Figura 33 Número promedio de frascos por tanque .....	69
Figura 34 Instructivo para verificación de balanza analítica .....	72
Figura 35 Instructivo para determinar consistencia de producto .....	73



## I. INTRODUCCIÓN

En años recientes se ha incrementado el número de compañías que han usado diferentes tipos de programas de calidad para incrementar la satisfacción de los clientes internos y externos, al mismo tiempo que reducen los costos de no calidad. Seis Sigma es un programa de mejoramiento de la calidad basado en la estadística que ayuda a mejorar los procesos del negocio a través de la reducción del desperdicio y sus costos asociados (Breyfogle, 1999).

Como método para la eliminación de defectos, Seis Sigma ha tenido buenos resultados en la industria de alimentos. Por ejemplo, ejecutivos del gigante de la comida rápida McDonald's iniciaron con el aprendizaje de la filosofía que General Electric adoptó en 1990, y desde entonces, los gerentes han continuado atendiendo los programas e iniciativas con proyectos relacionados (Lee 2005).

La presente investigación fue realizada en la planta de Gerber ubicada actualmente en la ciudad de Querétaro. En 1959 se estableció la primera planta Gerber en México, ubicada en la calle de San Lázaro, en México Distrito Federal. El aumento de la demanda determinó la construcción de una nueva planta en la ciudad de Querétaro, misma que se inauguró el 15 de mayo de 1967. Esta planta actualmente ocupa una extensión de 20 hectáreas, en ella se elaboran más de 100 productos diferentes, ofreciendo al consumidor Mexicano gran variedad en sabores y texturas, pero sobre todo una excelente calidad.

En 2008 comenzó el proceso de integración con una compañía global, formando parte de la división de Nutrición Infantil. La fábrica cuenta con 4 líneas de producción, una para papillas de fruta, dos para carnes y vegetales, y una línea para jugos.

En el presente trabajo se muestra la aplicación de la metodología DMAIC para la reducción de los costos generados por el sobrellenado de los envases en una de las líneas de producción de Gerber, dedicada a la fabricación de papillas de fruta. En el año 2011 los costos totales por el sobrellenado en producto terminado en esta fábrica fueron de MXP \$ 3'754,242.89 anuales, lo que representó el 10 % del total de pérdidas en ese año.

Globalmente se reconocen 4 requerimientos regulatorios que aplican directamente al manejo del contenido neto de los productos pre envasados, los cuales se mencionan a continuación: (Tomaselli, 2011)

1. El contenido neto promedio de un lote de producto pre envasado debe ser igual o superior al contenido neto declarado.
2. Un número limitado de unidades puede tener un contenido neto inferior a un límite especificado
3. Ninguna unidad debe de tener un contenido neto por debajo de un límite absoluto especificado.
4. Un mínimo porcentaje de unidades por encima de un límite (generalmente el contenido neto declarado) es requerido. Esto es una consecuencia del requisito 1.

En México, la norma que regula el contenido neto y que aplica a esta investigación es la NOM-002-SCFI-2011. Esta Norma establece las tolerancias y los métodos para la verificación de los contenidos netos de productos pre envasados y los planes de muestreo usados en la verificación de productos que declaran su contenido neto en unidades de masa o volumen (NOM-002 2011).

Para realizar esta investigación se tomó como base la metodología DMAIC, para efectos de este proyecto lo primero que se hizo fue definir el alcance del mismo, para esto se utilizaron Paretos con la información histórica de los costos generados por el sobrellenado de producto terminado que se tuvieron en 2011. Después se formó el equipo de proyecto y se realizó un análisis de capacidad para evaluar la situación inicial del proceso en la fase de llenado. Con los resultados de ese análisis el equipo del proyecto identificó dos problemas principales: variación grande comparada con las especificaciones, y un proceso descentrado. El siguiente paso fue realizar una lluvia de ideas con el equipo multidisciplinario en la cual se determinaron la causa raíz más probable para cada uno de los dos problemas identificados. Después se evaluó por separado cada una de las propuestas determinadas en la lluvia de ideas, con el fin de verificar su efecto en los dos problemas encontrados. Una vez que se identificaron las verdaderas causas de los problemas, el siguiente paso fue implementar las mejoras, como el

análisis de la consistencia del producto en cada tanque formulado antes de la fase de llenado, el análisis de regresión para el dispositivo de ajuste de nivel de llenado, y el mantenimiento de la maquina llenadora (cambio de componentes). También se identificaron con un número todos los elementos removibles de la llenadora para evitar el intercambio de componentes durante las operaciones de limpieza y desinfección. Una vez que se implementaron todas las mejoras, se llevó a cabo una corrida de confirmación para verificar la efectividad de las acciones tomadas. Finalmente se desarrolló e implementó un plan de control para mantener las mejoras alcanzadas, en el cuál se incluyeron actividades de mantenimiento con el fin de ayudar a mantener bajo control la variación del proceso de llenado. También se incluyeron actividades de monitoreo durante la producción, como es el uso de cartas de control.

En cada una de las diferentes fases de la metodología DMAIC, se utilizaron diversas herramientas estadísticas que ayudaron a poder identificar las causas de los problemas de manera sistemática y así poder tomar acciones que permitieron reducir la variación y centrar el proceso. Con esto, se logró reducir en promedio la sobredosificación en cada frasco.

La hipótesis y los objetivos de esta investigación se describen a continuación:

### **1.1 Hipótesis**

Es posible reducir la variación del proceso de llenado en una la línea de papillas de fruta, a través de la aplicación de la metodología DMAIC para la reducción de costos por sobredosificación en producto terminado.

### **1.2 Objetivo general**

El principal objetivo de este proyecto es Identificar los factores relevantes para el control del volumen de llenado en la línea B para la fabricación de papillas de fruta para poder reducir los costos por sobrellenado.

### **1.3 Objetivos específicos**

- Reducir la sobredosificación promedio en la fabricación por la línea B del producto 9590221 entre 0.2 – 0.5 g por frasco.
- Reducir y controlar la variación del proceso de llenado en la línea B para el producto 9590221,  $\sigma < 0.95$ .
- Calcular el target y los límites de control del proceso de llenado del producto 9590221 fabricado en la línea B que permitan reducir la sobredosificación y cumplir con los requerimientos regulatorios aplicables.

## II. REVISION DE LITERATURA

Muchas áreas de manufactura y procesamiento están actualmente enfocadas en la optimización y en tecnologías de control para mejorar el desempeño y la eficiencia de los procesos. La industria de alimentos y de empaque de alimentos ha enfrentado por años el problema del sobrellenado en los empaques de sus productos. La variación en el contenido de estos envases puede ser el resultado de desviaciones durante el proceso de llenado. Las empresas están restringidas por las regulaciones, las cuales aseguran que los empaques sean llenados dentro del contenido neto definido con una exactitud especificada. El Instituto Nacional de Estándares y Tecnología (NIST) en USA define que la cantidad neta promedio en un lote, debe ser al menos igual al contenido neto declarado en la etiqueta, este valor es conocido como la cantidad nominal. Para cualquier peso o volumen dado, hay un error negativo tolerable asociado (TNE) el cual representa la cantidad permisible que un empaque puede estar llenado por debajo de su valor declarado. Los valores del TNE para una cantidad dada, están disponibles en tablas publicadas en las legislaciones aplicables del país de venta del producto. Variaciones en el contenido neto declarado y en las mediciones son permitidas, cuando son causadas por fuentes comunes de variación que no se puede evitar que ocurran durante las buenas prácticas de manufactura (Vitner, Giller, & Pat, 2006).

En México la norma que regula el contenido neto es la NOM-002-SCFI-2011. Esta Norma establece las tolerancias y los métodos para la verificación del contenido neto de productos pre envasados y los planes de muestreo usados en la verificación de productos que declaran su contenido neto en unidades de masa o volumen (NOM-002, 2011).

Debido a los sistemas mecánicos principalmente empleados en las industrias de alimentos para el llenado, la sensibilidad es baja y el sobrellenado consistente es actualmente el método más confiable para cumplir con las regulaciones. Sin embargo, el sobrellenado produce grandes cantidades de

pérdida de producto innecesario por la adición de pequeñas cantidades en un gran número de empaques (Jeffries, Lai, & Hull, 2003).

Después de muchos años de modificaciones evolutivas se han alcanzado pocas mejoras. En las fábricas embotelladoras de líquidos, el método actual más común para el establecimiento del volumen de llenado y de ahí alcanzar el contenido deseado, es el de la válvula de cierre de equilibrio de presión. Algunas plantas embotelladoras contienen áreas de control sofisticado, dependiendo de la composición del producto, pero reducen el control del llenado a la medición del nivel en los envases y a sistemas de rechazamiento para empaques con un contenido insatisfactorio, los ciclos de control no son comunes. En adición, se tiene una cantidad grande de pérdida en los ajustes de arranque de la línea, cuando el operador trata de alcanzar el correcto balance entre presión y relación de flujo para alcanzar el nivel de llenado deseado (Jeffries, Lai, & Hull, 2003).

La introducción de modernas teorías de control y nuevas tecnologías podrían permitir mayores mejoras. La determinación del valor óptimo, para un proceso de manufactura, tiene un impacto tremendo tanto en la satisfacción del cliente como en la parte financiera. Se han estudiado métodos para determinar los valores apropiados de los procesos, bajo una variedad de circunstancias industriales y económicas. La literatura revisada sugiere que una estrategia razonable para la determinación del valor objetivo óptimo en un proceso, es maximizar los beneficios netos esperados en lo que concierne a la variabilidad de proceso y a las consideraciones financieras. En algunas circunstancias, esta estrategia general puede dictar el re trabajo de envases mal llenados, en otros, esto puede prescribir desechar los envases defectuosos o su donación a un mercado secundario (Shao, Fowler, & Runger, 2000).

El problema de encontrar la media óptima del proceso que minimice los costos de llenado ha sido direccionado por muchas décadas por extensas investigaciones. Sus esfuerzos han estado centrados alrededor de encontrar el peso más bajo aceptable, debajo del cual, el contenido del empaque es considerado como no satisfactorio y la empresa es obligada a pagar altos costos de penalización. Este costo de penalización incluye también la pérdida de clientes,

conocida como costos de mala calidad. Sin embargo, si el producto tiene más que el contenido declarado, esto implica regalar producto. Todas esas investigaciones han resultado en tablas de consulta en sus metodologías de optimización (William, Tang, & Linguo, 2000).

Recientes esfuerzos para resolver este problema han introducido un nuevo giro para la solución de esta situación; una solución analítica ha remplazado las tablas de consulta. Además, la técnica analítica ha sido capaz de proveer una solución final óptima en un problema particular. Otras dos técnicas han sido introducidas, un método estadístico (numérico) y uno gráfico que provee una gran conveniencia para el campo práctico. En muchas instancias, las empresas están continuamente comprometidas con la mejora de la calidad, y muchas de estas mejoras son enfocadas desde un punto de vista Seis Sigma que involucra la reducción de la variación del producto. Previa investigación han tratado con la decisión de escoger un esfuerzo de mejora de la calidad rentable separado de los costos de llenado, resultando en un costo total sub óptimo. Investigadores han desarrollado una relación lineal entre la reducción de costos y la reducción en la desviación estándar para rangos pre-especificados de desviación estándar. Esta relación lineal es meramente una aproximación a la verdadera relación Gaussiana no lineal (Aljohani & Mored, 2009).

Ha habido un incremento en la investigación para la eliminación de los desperdicios como resultado de la ineficiencia de los procesos de producción. En los procesadores de alimentos, el monitoreo por ultrasonido para el control de peso en los empaques tiene el potencial de ser una técnica de medición exacta, la cual es capaz de ser combinada con una estrategia de control adecuada para proveer un método más apropiado para eliminar o reducir el problema de desperdicio (Ridgway, Henthorn, & Hull, 1999).

Los procesadores de alimentos representan un campo de rápido desarrollo e implementación de nuevas tecnologías en proceso, en particular sistemas automatizados, procedimientos de calidad, mejoramientos eficientes y sistemas de sensores para el monitoreo y control de procesos. Avances tecnológicos en el diseño de sensores han tenido un impacto en las técnicas de medición disponibles

para la ingeniería de procesos de alimentos y las investigaciones han sido dirigidas a desarrollar sensores destinados a establecer sistemas que puedan adaptarse a las rápidas mejoras en las tecnologías de procesamiento, especialmente en el área de control de procesos (Griffin, Hull, & Lai, 2001).

Se han desarrollado sistemas para el monitoreo y control del nivel de llenado de botellas durante la producción que utilizan tecnología ultrasónica y control por computadora para regular el nivel del fluido con el fin de tener un sistema de respuesta rápida que es flexible y con muy buena exactitud (Zeng, Whalley, & Hull, 1995)

Sensores de alta tecnología han sido desarrollados recientemente, y un funcionamiento adecuado de estos puede facilitar la eficiencia y procesos con costos competitivos, Sin embargo, sensores inadecuados o un mal funcionamiento de estos pueden significar pérdida de producto, de material de empaque, de inversiones de capital, de tiempo y energía. Los sensores para peso incluyen, sensores para pesado continuo (ejemplo bandas de pesado) y sensores para pesar artículos individuales (ejemplo verificadores de peso), en estos sensores se reconocen el problema de inexactitud a altas velocidades, esto ocurre cuando las velocidades de procesamiento son muy altas, típicamente más de uno por segundo (Pedersen, 1991).

En años recientes, ha crecido el interés en la aplicación de estrategias de control avanzado para mejorar las operaciones de la manufactura de alimentos. Recientemente una investigación especial del comité del instituto de tecnólogos en USA, identifico como el control de proceso se relaciona con las mejoras en el diseño de proceso y eficiencia de operaciones, y lo estableció como una investigación prioritaria. Hay tres tipos básicos de técnicas de control avanzado, reguladores basados en modelos, control de lógica difusa y red neural. Los controladores basados en modelos son formulados matemáticamente de un modelo de proceso y una especificación del funcionamiento de sistema controlado. Este modelo permite la determinación a priori de la estabilidad y propiedades de robustez del proceso controlado. Los controles de lógica difusa son basados en modelos de procesos heurísticos, que es sobre reglas básicas obtenidas por la



experiencia y juicio instintivo. Este tipo de modelo es bien usado para el control de procesos donde los atributos de las salidas no pueden ser medidos directamente pero que pueden ser inferidos usando otra información medible que puede ser obtenida del proceso. Una red Neural artificial tiene la habilidad de aprender patrones asociados con atributos particulares del producto. Los controladores basados en ANN una red neural artificial adquieren el conocimiento de las dinámicas del proceso a través del entrenamiento de conjuntos de datos de entrada y salida del proceso que está siendo controlado (Haley & Mulvaney, 1995).

Roux (2011) Menciona que actualmente en la industria de alimentos se reconocen diferentes tipos de variabilidad durante el proceso de llenado de los empaques. Las diferentes fuentes de variación individuales están combinadas en una variación global para un lote de producción, la cual es llamada  $S_p$ . Hay 4 fuentes de variación que pueden ser controladas para reducir  $S_p$  y hay 3 fuentes de variación que deben ser monitoreadas

Fuentes de variabilidad que pueden ser controladas:

- $S_{\text{producto}}$ : Variación del producto
- $S_{\text{Máquina}}$ : Variación de la maquina llenadora
- $S_{\text{pesado}}$ : Variación de los dispositivos de pesado
- $S_{\text{operaciones}}$ : Variación debida a las operaciones.

Fuentes de variabilidad que deben ser monitoreadas:

- $S_{nc}$ : Variación histórica de lotes producidos
- $S_p$ : Variación del lote de producción
- $S_{mp}$ : Variación máquina - producto

Una maquina llenadora es un sofisticado equipo usado para envasar una vasta variedad de productos como agua, bebidas carbonatadas o alimentos. A través de los años desde que los sistemas de llenado han sido desarrollados, compañías alrededor del mundo han observado constantemente sus procesos con la intención de incrementar las velocidades y la utilización de los equipos. En el constante asunto de incrementar las velocidades de llenado, se ha identificado

que las válvulas de llenado, son uno de los componentes del sistema que limita las velocidades (Rahaman, Bari, & Veale, 2008).

### **2.1 Cómo controlar la variabilidad de la maquina llenadora**

La variabilidad de la máquina de llenado influye en el nivel de los costos por sobrellenado e indirectamente en los costos por rechazo de empaques mal llenados. La variabilidad debe ser tan baja como sea posible y puede ser alcanzada si se controlan los siguientes cinco puntos:

- El principio de llenado está perfectamente conocido.
- Las especificaciones de la máquina de llenado están bien definidas
- La máquina de llenado está correctamente calibrada
- La variabilidad del producto y maquina/producto es conocida y monitoreada
- El diseño y el plan de mantenimiento mantienen el nivel de llenado dentro de especificación (Roux, 2011).

### **2.1 Principios de llenado**

Los principios de llenado deben ser bien conocidos por los departamentos de Producción, Calidad e Ingeniería. La mayoría de los procesos de llenado son basados en diferentes principios, taladro, cámara de vacío, por gravedad, extrusión, etc. Independientemente del tipo de llenadora es muy importante localizar los dispositivos de ajuste globales y cada uno de los parámetros maestros que influyen y determinan la cantidad a llenar por cada válvula. El producto y las características de la llenadora hacen una combinación de variación llamada variabilidad maquina/producto. Las principales causas que influyen en esta combinación son:

- Naturaleza y variabilidad de producto
- Alineación de las válvulas
- Mantenimiento
- Precisión en la calibración y ajuste de los dispositivos para el control de llenado
- Eventos cíclicos, periódicos y esporádicos (nivel de la tolva, paros de línea, terrones, etc.) (Roux, 2011).

### **2.3 Calibración**

Como cualquier mecanismo de llenado tiene cierta holgura, es extremadamente importante checar que cualquier posición dentro del rango de ajuste de los dispositivos, garantizara una correcta dosificación. Se debe de realizar una calibración para definir:

- El impacto de los ajustes sobre la dosificación.
- La linealidad de los dispositivos de ajuste
- La holgura mecánica de los dispositivos de ajuste.

Cada ajuste define la cantidad a dosificar para cada posición del dispositivo de ajuste y debe ser cuantificado. Este valor debe ser claramente comunicado en piso a través de procedimientos operacionales (Kanji, 2008).

### **2.4 Variabilidad del producto**

La variabilidad en el llenado también depende de la naturaleza del producto a ser envasado, polvo, líquido, solido, etc. y sus características físicas, tamaño de partícula, viscosidad, homogeneidad, densidad, etc. Las características del producto pueden fluctuar (la densidad p.ej. en polvo). En ese caso, son necesarios ajustes operacionales para compensar esta fluctuación. En cualquier caso la variabilidad del producto se debe de monitorear para mantenerla tan estable como sea posible para reducir su influencia (Tomaselli, 2011).

### **2.5 Variabilidad de Maquina/producto.**

La variabilidad de Maquina/producto resulta de la interacción entre la máquina y la naturaleza del producto, esta variabilidad es minimizada si se realizan las siguientes actividades:

- Monitorear la variabilidad del producto en el proceso de manufactura
- Calibración y mantenimiento apropiado de la llenadora.
- Calculo de los límites de control
- Monitoreo de la producción por medio de cartas de control de rangos

(Tomaselli, 2011)

## **2.6 Seis Sigma**

La aplicación exitosa de Seis Sigma en la industria manufacturera de alimentos ha resultado en ahorros anuales significativos debido a la reducción en la variabilidad del proceso. En años recientes, se ha incrementado el número de compañías que han usado diferentes tipos de programas de calidad, para incrementar la satisfacción de los clientes internos y externos, al mismo tiempo que reducen los costos de no calidad (Zu, Friendendall, & Douglas, 2008).

Desde inicios de 1980, industrias manufactureras alrededor del mundo han sufrido una revolución en la forma de operar. Los consumidores se han vuelto más y más demandantes y la clave para que las organizaciones sobrevivan es reconocer la importancia de la satisfacción de los clientes (Sung, 2011).

Como método para la eliminación de defectos, Seis Sigma ha tenido buenos resultados en diversas industrias de alimentos. Por ejemplo ejecutivos del gigante de la comida rápida, McDonald's iniciaron con el aprendizaje de la filosofía que General Electric adoptó en 1990, y desde entonces, los gerentes han continuado atendiendo los programas e iniciativas con proyectos relacionados (Lee, 2005)

Compañías que implementan la metodología Seis Sigma hacen uso de las cinco fases para la solución de problemas, Definir, Medir, Analizar Mejorar y Controlar (DMAIC), donde la fase de control juega un importante rol de mantenimiento de las mejoras ganadas en las fases previas y es principalmente alcanzada usando métodos estadísticos. (Rai, 2008).

A pesar de que en la literatura se han reportado muchos casos en los que Seis Sigma no ha entregado los resultados deseados, esta metodología sigue siendo considerada mejor que otras metodologías de mejora (Kumar, David Nowicki, Ramírez-Marquez, & Verma, 2008)

## **2.7 Variabilidad de procesos**

La construcción de procesos continuos en la mayoría de industrias manufactureras requieren grandes inversiones de capital, por eso es crucial que estos procesos produzcan grandes volúmenes de salidas, con los niveles

correctos de calidad. La variabilidad de las salidas en estos procesos, tiene un impacto significativo en la economía de los costos operacionales definidos. En adición la variabilidad de las salidas afecta la efectividad del mercado, medida por la calidad del producto, el plazo de entrega a los clientes y la variedad de la cartera de productos. Como resultado directo ha habido un amplio número de iniciativas sistemáticas para reducir la variabilidad de salida en los procesos. Estas iniciativas pueden ser clasificadas como tecnológicas y operacionales. Las iniciativas tecnológicas incluyen nuevas tecnologías de proceso y automatización para el control de estos sistemas. Las iniciativas operacionales incluyen el desarrollo de una interface efectiva entre los operadores y el sistema de control de procesos (Rajaram & Robotis, 2004).

El manejo de la variabilidad a todos los niveles de la manufactura es uno de las prioridades más importantes para poder ofrecer la variedad demandada por los consumidores, manteniendo los altos estándares de calidad, respuesta y adaptabilidad (Walter, 2011).

Existe la variación en dos perspectivas, la variación debida a la variedad de productos y variación en el volumen de producción, específicamente variación en el tamaño de los lotes. Se han propuesto modelos y técnicas de análisis para el manejo de estas variaciones (Maraghy, Azab, Schuh, & Pulz, 2009).

Una herramienta importante que ayuda a las empresas a controlar la variación del proceso y a alcanzar los objetivos de calidad definidos es el CEP (control estadístico de procesos). Esta herramienta de calidad culmina con estrategias de control de procesos en piso, donde los métodos estadísticos son empleados para el monitoreo de procesos, detección de causas especiales de variación, e iniciando mediciones preventivas y correctivas que involucren a los operadores del proceso. Lograr involucrar a los operadores en piso juega un importante rol en la implementación exitosa de CEP y ellos deben de mantenerlo con una base regular (Pan, et al., 2008).

La garantía de calidad bien organizada y eficaz en la industria de alimentos es un debe para todas las empresas, independientemente de su tamaño. Un sistema de aseguramiento de calidad con respecto al control de peso neto debe

alcanzar las demandas tanto legislativas como el punto de vista económico industrial. Para el control de peso neto dentro de la industria de alimentos las balanzas y sistemas de pesado representan importantes herramientas que permiten a tales sistemas de aseguramiento de calidad realizar estas exigencias. El grado de automatización de todos los tipos de procesos de producción debe ser constantemente incrementado para soportar la presión de los competidores. Al mismo tiempo que las demandas en calidad son incrementadas, los límites de tolerancia se estrechan y controles de proceso integrados asumen más y más importancia. Esto hace el uso de balanzas inteligentes (computarizadas) y sistemas de pesado, como herramientas para el aseguramiento de la calidad un importante factor en la producción (Schulthess, 2002).

En estudios recientes una metodología para el pesado de empaques etiquetados por cantidad que cumpla con el estándar Handbook 133 del NIST (Instituto Nacional Americano de Estándares) ha sido desarrollada para tipos de productos que no pueden ser empacados automáticamente (Vitner & Bechar, 2011).

También se ha descrito un modelo y una metodología para examinar cómo una firma puede escoger el tamaño de un empaque y el precio para un producto que se deteriora con el tiempo. (Koenigsberg & Montoya, 2010).

### III. METODOLOGIA

Para establecer la metodología de esta investigación, se tomó como base la metodología Seis Sigma, Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar, definida por General Electric, mejor conocidas por sus siglas en inglés como DMAIC. A continuación se describen las actividades realizadas durante ésta investigación.

#### 3.1 Etapa Definir

El equipo del proyecto utilizará la fase de definición para definir quiénes son los clientes, y para definir sus necesidades y expectativas. El equipo del proyecto utilizará la fase de Definición para organizarse, determinar funciones y responsabilidades, establecer objetivos y metas, y repasar los pasos del proceso. A continuación se describen los pasos realizados en esta fase para este proyecto.

El primer paso es enunciar la declaración del problema, en ésta se da una descripción breve de lo que es el problema. Además se establecen los objetivos de mejora.

El segundo paso es realizar una junta con los jefes de las áreas de calidad, producción e ingeniería, para definir el alcance del proyecto. Para hacer esto se debe realizar un análisis de los costos históricos que se han tenido por sobrellenado con el propósito de definir la línea de proceso, el tamaño de frasco y el producto específico donde realizar el estudio. Los costos de sobrellenado se calculan de acuerdo a la Ecuación 1

$$CS = (CNPL - CND) \times N \times CEM \text{-----} (1)$$

Dónde

CS = Costo de Sobrellenado

CNPL = Contenido Neto Promedio del Lote

CND = Contenido Neto Declarado

N = Número de unidades llenadas

CEM = Costo Estándar del Material

(Adner, 2011).

Una vez empleada la ecuación se realiza un diagrama de Pareto de 1er nivel con la información histórica de los costos que se han tenido por sobrellenado

en cada línea de proceso, y se elige la línea de proceso en la que se ha tenido una mayor pérdida.

El siguiente paso, es realizar un Pareto de segundo nivel con los costos por sobrellenado que se han tenido en la línea de proceso elegida en el Pareto de primer nivel y elegir el tamaño de frasco donde se ha tenido la mayor pérdida.

Finalmente se realiza un Pareto de tercer nivel con los costos que se han tenido por sobrellenado por código de producto en la línea y tamaño de frasco elegidos en el Pareto de primero y segundo nivel respectivamente y se elige el producto donde se ha tenido la mayor pérdida.

Después de haber definido el alcance del proyecto, el siguiente paso es integrar el equipo de trabajo y realizar el Project Charter del proyecto, el cuál debe de incluir título del proyecto, integrantes del equipo, líder del proyecto, importancia para el negocio, enunciado del propósito, metas e indicadores, alcance, entregables, recursos, interesados en el proyecto, plan preliminar y fecha de inicio y de termino. Se establecen los objetivos de mejora como sigue:

1. Realizar una gráfica de datos con el sobrellenado promedio por frasco en producciones anteriores para el producto definido.
2. Calcular GAP: Diferencia entre la situación actual (Promedio) y el objetivo de mejora.

Y se elabora el mapa de proceso a con todos los elementos obligados para que se considere completo según las iniciales SIPOC, que representan Proveedores, Entradas, Procesos, Salidas y Clientes (por sus siglas en inglés). Después se elabora un diagrama de flujo más detallado del proceso de la fase de llenado indicada en el SIPOC (letra P).

El siguiente paso es identificar las características críticas para la calidad para cliente interno y cliente externo, mejor conocidas por sus siglas en inglés como CTQs (Critical To Quality). Realizar una descripción de cada una de las características críticas para la calidad e indicar los requerimientos aplicables a cada una de ellas.



### **3.2 Etapa Medir**

El propósito de la fase de medición es establecer técnicas para la recolección de información acerca del desempeño actual del proceso que destaque las oportunidades del proyecto y proporcione una estructura para monitorear las mejoras subsecuentes.

En esta etapa, el primer paso es realizar un análisis del sistema de medición, para ello, realizar un estudio Gage tipo I para la balanza analítica Mettler Toledo PG 2002-5, que es el instrumento de medición utilizado para medir el contenido neto.

#### **3.2.1 Gage tipo I para balanza analítica**

1. Verificar que la balanza este nivelada y con calibración vigente.
2. Pesar 50 veces seguidas en la balanza analítica Mettler Toledo PG 2002-5, una pesa master de 200 g, registrar los valores en el Formato 1. Estudio Gage tipo I para balanza analítica incluido en el Anexo.
3. Realizar un análisis gage tipo I de los 50 datos recolectados en el paso anterior en el software Minitab 16, para determinar lo siguiente:
  - a. Los valores de  $C_g$  y  $C_{gk}$
  - b. Los valores de porcentaje de variación (repetibilidad) y Porcentaje de variación (repetibilidad y sesgo).

#### **3.2.2 Gage R&R método del ANOVA**

Realizar este estudio como sigue:

3 operadores

10 partes (representativas de toda la variación del proceso)

3 réplicas.

Cada uno de los operadores, pesar de manera aleatoria en la balanza Mettler Toledo PG 2002-5 cada una de las 10 partes, 3 veces cada una. Se tendrán 90 mediciones en total. Registrar los resultados en el Formato que se encuentra en el Anexo 1.

1. Con los 90 datos recolectados, realizar el estudio de gage R&R método del ANOVA en el software Minitab 16.

2. Determinar el porcentaje de contribución del gage R&R y el porcentaje de contribución parte – parte.

3. Determinar el % study var para total gage R&R el cual debe de ser menor al 10 % y para la parte – parte.

### **3.2.3 Análisis de capacidad inicial**

Después de verificar que el sistema de medición utilizado es adecuado para la determinación del contenido neto, realizar un análisis de capacidad inicial del proceso de llenado para determinar el estado inicial como se indica a continuación:

Línea de proceso: B

Código de producto: 9590221

Tamaño de muestra: 10

Frecuencia: cada 30 minutos.

Registrar los resultados de contenido neto en la Tabla 30 del Anexo 3.

Con los datos recolectados durante el muestreo, realizar un análisis de capacidad con el software Minitab 16 y determine los valores de Cp, Cpk, Ppk y Ppm.

### **3.3 Etapa Analizar**

El propósito de la fase de Análisis, es permitir que el equipo de proyecto se enfoque en las oportunidades de mejoramiento al observar más de cerca la información. A continuación se describen las actividades de esta fase.

Realizar una reunión con todos los integrantes del equipo del proyecto y hacer un análisis de los resultados obtenidos en la fase de medición. Realizar un análisis causa efecto para los problemas encontrados en la fase de medición.

Realizar análisis individual para cada una de las causas definidas en el paso anterior, para determinar su verdadero efecto en los problemas encontrados.

#### **3.3.1 Variación entre válvulas**

Para evaluar la variación entre válvulas, determinar la cantidad de producto dosificado por cada válvula.

Tomar 5 muestras de cada una de las 35 válvulas, (175 muestras en total) en un periodo corto de tiempo para evitar la influencia de otras fuentes de variación.

Calcular el intervalo de confianza para la media aplicando las ecuaciones 2 y 3 (Roux, Net Content Technical Features (Fillers, Weighing devices, Statistical tests), 2011).

$$\text{Intervalo de confianza} = M_{global} \mp 2.58 \times \frac{S_{Align}}{\sqrt{R}} \text{-----} (2)$$

$$S_{Align} = \sqrt{(S_{Global}^2 - S_{Filas}^2)} \text{-----} (3)$$

Dónde:

$S_{Align}$  = Desviación estándar teórica si las válvulas estuvieran alineadas

R = Número de réplicas

$S_{Global}^2$  = Varianza de todos los datos

$S_{Filas}^2$  = Varianza de las medias, calculadas por fila

$M_{Global}$  = Promedio de todos los datos

Determinar si existen válvulas cuya media esté fuera del intervalo de confianza calculado. Si es el caso, significa la cantidad dosificada por esas válvulas es significativamente diferente a la cantidad dosificada por el resto de las válvulas que están dentro del intervalo de confianza.

### 3.3.2 Variación por válvula

Para evaluar la variación que tiene cada una de las válvulas, determinar el valor de Cpk (capacidad de proceso) de cada válvula.

Tomar 5 muestras de cada una de las 35 válvulas, (175 muestras en total) en un periodo corto de tiempo para evitar la influencia de otras fuentes de variación.

Determinar el valor de Cpk con el software Minitab 16 para cada una de las válvulas y determinar si alguna de ellas presenta un Cpk menor a uno.

Realizar gráfica de Cpk's para tener una mejor comprensión de los datos.

### 3.3.3 Intercambio de componentes de llenadora

Verifique que los componentes de la llenadora, válvulas, pistones y camisas tengan número de identificación.

Verifique que los tres elementos hayan sido colocados en su posición correcta.

Realizar ésta actividad durante una semana para verificar que no haya intercambio de componentes de la llenadora

### 3.3.4 Análisis de regresión para dispositivo de ajuste

Realizar análisis de regresión para determinar la cantidad de producto dosificada por cada posición del dispositivo de ajuste. Para esto, hacer un muestreo como se describe a continuación en la Tabla 1.

**Tabla 1** Muestreo para análisis de regresión lineal

Tabla de muestreo para dispositivo de ajuste de llenadora (manivela)		
Posición de dispositivo de ajuste	Giro de la manivela	Número de muestras
-2	-360 °	12
-1	-180 °	12
0	0	12
1	+180 °	12
2	+360 °	12

Determinar el contenido neto de cada una de las muestras. Con los resultados obtenidos, realizar un análisis de regresión lineal con el software Minitab 16.

Determinar coeficiente de correlación de Pearson, la ecuación de regresión y el valor de  $R^2$ .

El valor de la pendiente de la ecuación de regresión será el incremento o disminución en la cantidad promedio dosificada por en cada frasco.

### 3.3.5 Diseño estadístico de experimentos (DOE)

Para verificar el efecto de la consistencia y la velocidad de la llenadora, en el nivel de llenado, correr un diseño de experimentos factorial como se describe en la Tabla 2.

Diseño factorial 2<sup>2</sup>

Factores:

- Consistencia
- Velocidad de llenado

Número de replicas: 10

Variable de respuesta: Contenido neto

**Tabla 2** Descripción del diseño factorial

Corrida	Codificado		Descodificado	
	Factor A	Factor B	Consistencia °Br	Velocidad Fracos/min
1	-	-	4.5	700
2	+	-	5.5	700
3	-	+	4.5	920
4	+	+	5.5	920

Determinar el contenido neto de cada una de las muestras y realizar el análisis de varianza (ANOVA) con el software Minitab 16. Para determinar cuáles de los factores son significativos.

Verificar normalidad de los datos con la prueba de Anderson Darling incluida en el software Mintab 16.

Obtener las gráficas de residuales, Pareto, efectos principales e interacción para determinar cuáles de los factores son significativos.

Obtenga el ANOVA para verificar que factores son significativos.

### **3.3.6 Evaluación de velocidad de llenadora**

Monitorear los cambios de velocidad la llenadora cada 30 minutos durante una corrida de producción para determinar si hay mucha variación o cambios drásticos en la velocidad del llenado. Registrar y analizar los datos recolectados mediante herramientas de análisis gráfico.

### **3.3.7 Análisis de consistencia de producto**

Realizar un análisis de los datos históricos de la consistencia del producto en corridas anteriores, para verificar si existe mucha variación. Utilizar herramientas de análisis gráfico para realizar el análisis.

### **3.4 Etapa Mejorar**

El propósito de la Fase de Mejora es, generar ideas acerca de formas de mejorar el proceso, diseñar, hacer pruebas e implementar mejoras y respaldar las mejoras. A continuación se describen las actividades de esta fase.

Calcular target y límites de control para la carta de control  $\bar{X}$ -S de acuerdo a la variación del proceso y a requerimientos corporativos y regulatorios de la NOM 002 SCFI-2011.

Con el análisis de regresión lineal realizado, elaborar tabla de valores para el dispositivo de ajuste de nivel de llenado la llenadora a fin de poder facilitar el ajuste fino del nivel de llenado al inicio de la producción.

#### **3.4.1 Alineación de válvulas**

Reemplazar las rodajas desgastadas de los pistones por rodajas nuevas y reemplazar los orings desgastados de válvulas y pistones por orings nuevos.

Después, tomar 5 muestras de cada una de las 35 válvulas, (175 muestras en total) en un periodo corto de tiempo para evitar la influencia de otras fuentes de variación.

Calcular el intervalo de confianza para la media aplicando nuevamente las ecuaciones 2 y 3 (Roux, Net Content Technical Features (Fillers, Weighing devices, Statistical tests), 2011).

Verificar si todas las válvulas quedan dentro del intervalo de confianza.

#### **3.4.2 Identificación de componentes de llenadora**

Identificar todas las válvulas y pistones con un número de identificación para evitar intercambio de componentes.

#### **3.4.3 Corrida de confirmación**

Una vez que se hayan implementado las mejoras, realizar una corrida de confirmación para verificar la efectividad de las acciones tomadas, para eso, realizar nuevamente un análisis de la variabilidad del proceso y de la capacidad del proceso de llenado.

### **3.5 Etapa controlar**

El propósito de la Fase de Control es institucionalizar las mejoras del proceso/producto y monitorear el desempeño en marcha.

Una vez que se ha verificado que las acciones tomadas dieron buenos resultados, diseñar e implementar un plan de control, en el cual se describan los controles operacionales, así como las especificaciones para asegurar que la variación del proceso se mantenga bajo control.

En esta etapa utilizar herramientas de control estadístico de procesos, instructivos y formatos.

Con las mejoras implementadas, realizar un análisis del impacto financiero que tendrá el proyecto.

## **IV. RESULTADOS Y DISCUSION**

A continuación se muestran los resultados obtenidos en cada una de las fases de la metodología DMAIC, empleada en esta investigación.

### **4.1 Resultados de la fase Definir**

En la fase definir, los resultados obtenidos fueron la declaración del problema, la definición del alcance del proyecto y el objetivo de mejora. También se generó el Project Charter, el mapeo del proceso y la definición de los CTQs. A continuación se muestran en detalle cada uno de estos resultados.

#### **4.1.1 Declaración del problema**

Actualmente en la planta, la sobredosificación del producto terminado es un costo importante en el árbol de pérdidas de la fábrica. El costo por esta pérdida en el año 2011, fue de MXP \$ 3'754,242.89.

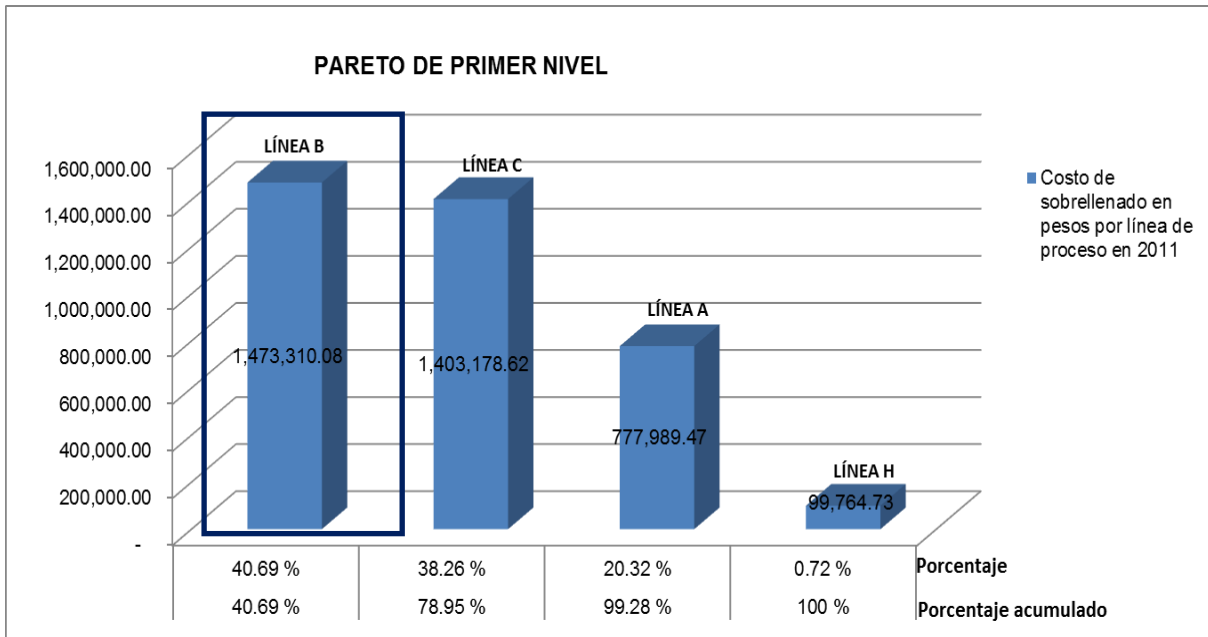
Se desea reducir los costos por sobrellenado del producto 9590221 fabricado en la línea B.

#### **4.1.2 Alcance**

Para fines de esta tesis, se decidió delimitar el estudio a un solo producto fabricado por una sola línea de proceso, por lo que, para delimitar el alcance de este trabajo, se realizaron 3 Paretos, 1 de primer nivel, 1 de segundo nivel y 1 de tercer nivel. A continuación se muestran los Paretos realizados.

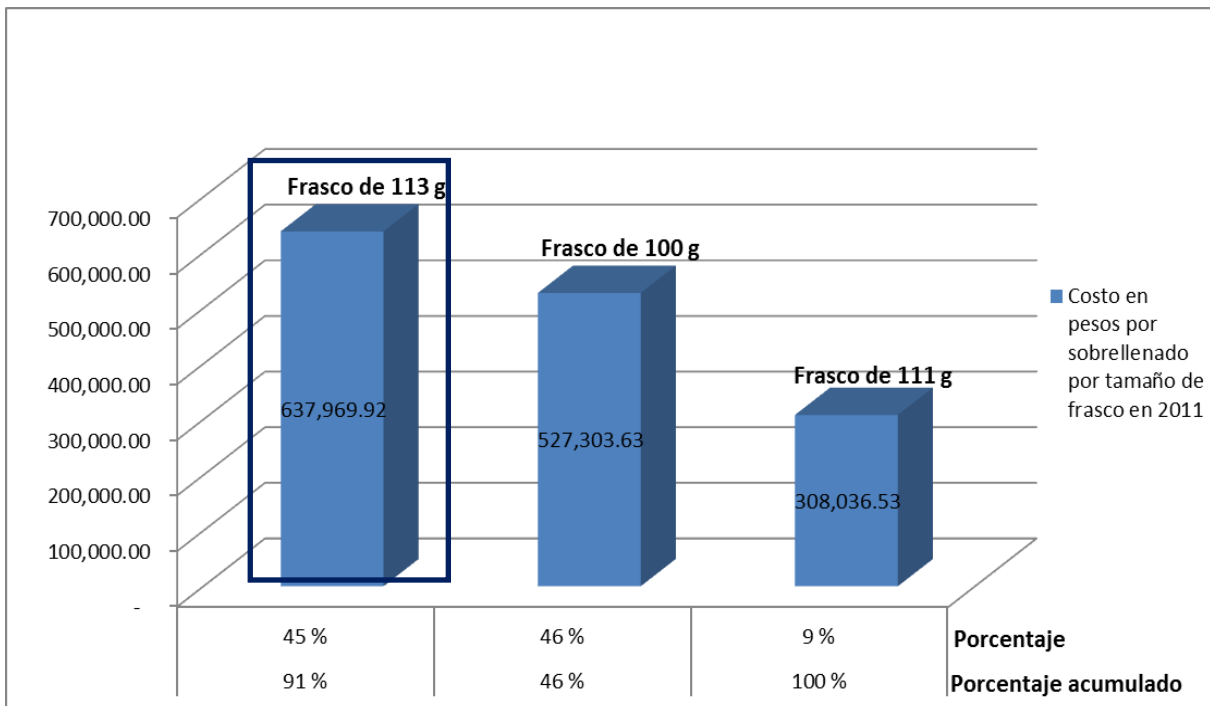
En la Figura 1 se muestra el Pareto de primer nivel con los costos que se tuvieron por sobrellenado en 2011 por línea de proceso. Se elige la línea B para éste proyecto ya que es donde se tuvo el mayor costo de pérdida.





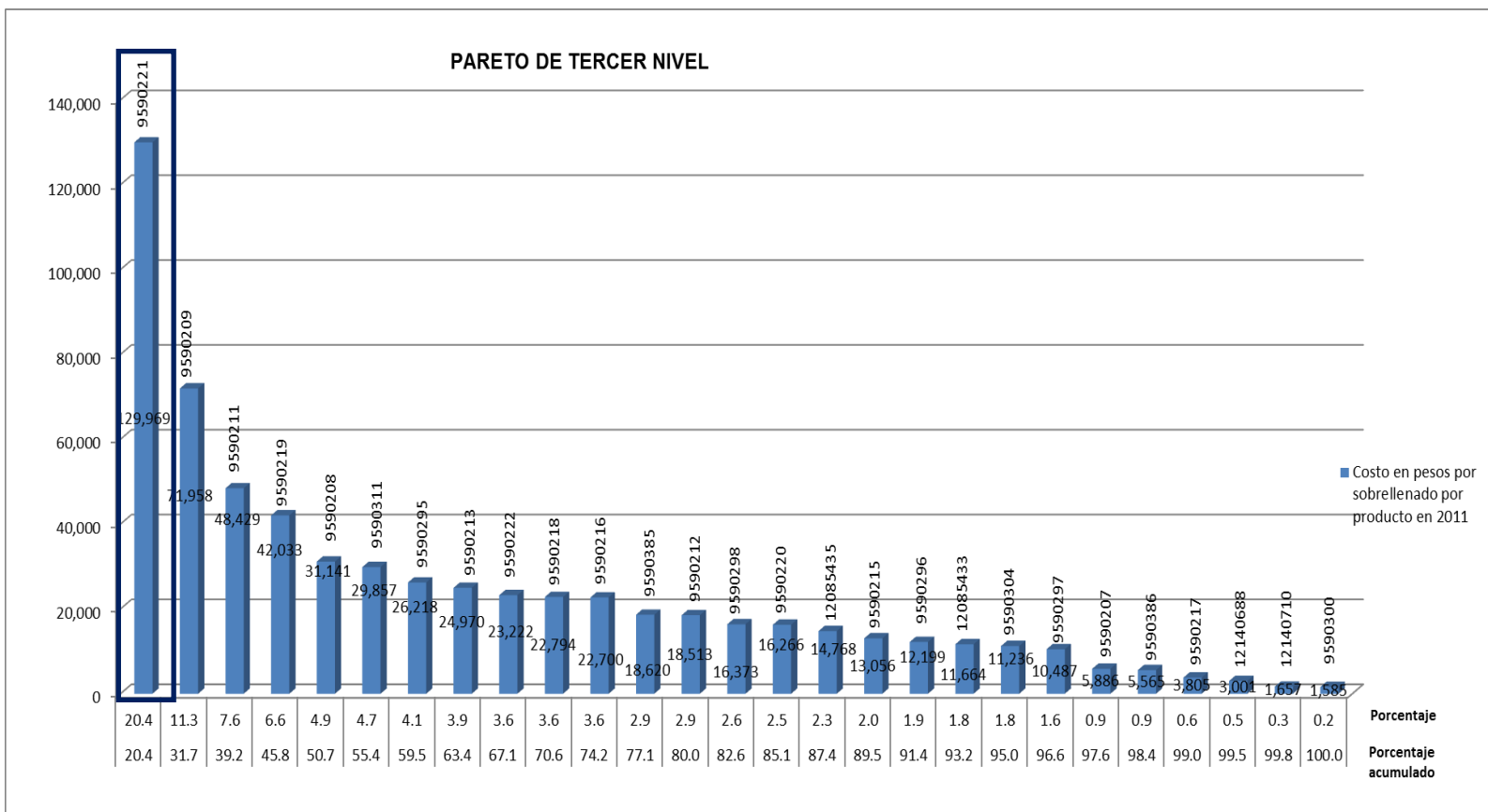
**Figura 1** Pareto de primer nivel costos de sobrellenado por línea de proceso

En la Figura 2 se muestra el Pareto de segundo nivel con los costos de sobrellenado por tamaño de frasco fabricado en la línea B. Se elige el tamaño de 113 g para éste proyecto ya que es donde se tuvo mayor costo de perdida.



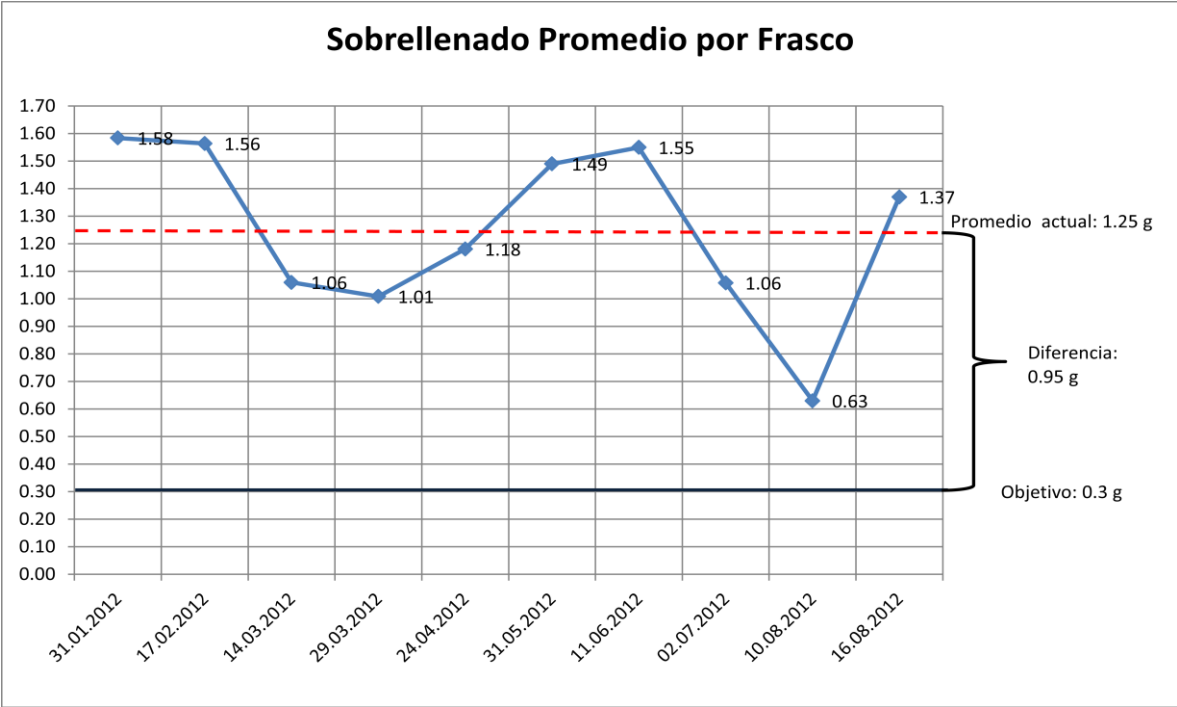
**Figura 2** Pareto de segundo nivel costos por sobrellenado por tamaño de frasco en línea B.

En la Figura 3 se muestra el Pareto de tercer nivel con los costos por sobrellenado en 2011 para los productos de 113 g fabricados por la línea B. Se elige el código de producto 9590221 para éste proyecto ya que es donde se tuvo el mayor costo de perdida.



**Figura 3** Pareto de tercer nivel costos por sobrellenado para productos de 113 g fabricados por la línea B.

En la Figura 4, se muestra el historial de sobrellenado promedio por frasco para el producto 9590221 fabricado por la línea B y el objetivo de la compañía con respecto al sobrellenado.



**Figura 4** Historial sobrellenado promedio por frasco

En la Tabla 3, se muestra el Project Charter del proyecto, utilizado por la empresa. En el cual se muestra la información general del proyecto como es: Título del proyecto, Integrantes del equipo, metas e indicadores, alcance y entregables entre otros.

**Tabla 3 Project Chárter**

<b>DMAIC Sobrellenado en producto terminado</b>			
<b>Portada del Proyecto</b>			
<b>Título del Proyecto:</b> Reducción de costos por sobrellenado de producto terminado en la fabricación de papillas de fruta de 113 g a través de la aplicación de la metodología DMAIC		<b>Integrantes del Equipo:</b>	
<b>Líder del Proyecto:</b> Juan Pablo Veloz		<b>Nombre</b>	<b>Departamento</b>
<b>Importancia para el Negocio:</b> Actualmente en la planta, la sobredosificación del producto terminado es un costo en el árbol de pérdidas de la fábrica. En ejercicio fiscal 2011, las pérdidas por este concepto fueron de 3, 754,242.89 pesos.		Juan Pablo Veloz	Fábrica
		Arturo Reséndiz	Calidad
		Luis Correa	Fábrica
		Jose Armando	Fábrica
		Martin Espinoza	Ingeniería
		Gerardo Quintero	Fabricación
<b>Enunciado del Propósito:</b> · Identificar los factores relevantes para el control del nivel de llenado en una línea B · Reducir la sobredosificación promedio para el producto 9590221 fabricado por la línea B entre 0.2 - 0.5 g por frasco  · Reducir y controlar la variación del proceso de llenado. $\sigma < 0.95$  · Calcular los parámetros estadísticos necesarios para controlar el proceso que permitan reducir la sobredosificación y cumplir con los requerimientos regulatorios aplicables.		<b>Meta en indicadores:</b> • Reducción del 76 % de cajas perdidas por sobrellenado en el producto 9590221 fabricado en la línea B en el 2013 con respecto al 2012.	
<b>Alcance del Proyecto:</b>  Este proyecto será aplicado al producto 9590221 fabricado por la línea B		<b>Entregables:</b> * Plan de control * Especificaciones de proceso	
<b>Recurso:</b> Tiempo, disponibilidad del equipo Recursos para reparar o mejorar equipos en línea		<b>Interesados en el proyecto:</b>	
		<b>Departamento</b>	<b>Nombre</b>
		ASCA	David Valtierra
		FABRICACIÓN	Martin Palomino
		INGENIERÍA	Alejandro Chávez
		GERENCIA	Renzo Fiorentini
			<b>Posición</b>
			Jefe de ASCA
			Jefe de Fabricación
			Jefe de Ingeniería
			Gerente de Fábrica
<b>Plan Preliminar:</b>			
<b>Fase</b>	<b>Herramientas</b>	<b>Fecha de Inicio</b>	<b>Fecha de Término</b>
DEFINE	Pareto, gráficas de datos, estratificación	15/09/2012	31/Enero/2013
MEASURE	Mapa de proceso, Ishikawa, comparaciones múltiples, gauge R&R		
ANALYZE	Ishikawa, lluvia de ideas, 5 por qué?, métodos estadísticos		
IMPROVE	matriz de impactos, capacitación a personal		
CONTROL	CEP, plan de control		15/09/2012

### 4.1.3 Diagrama de proceso

En el Anexo 6 se muestra el diagrama general del proceso de fabricación. En la Figura 5 se muestra el SIPOC de la fase del proceso de interés en este proyecto y en la Figura 6 se muestra el diagrama detallado del proceso.



Figura 5 Diagrama SIPOC para la fase de llenado

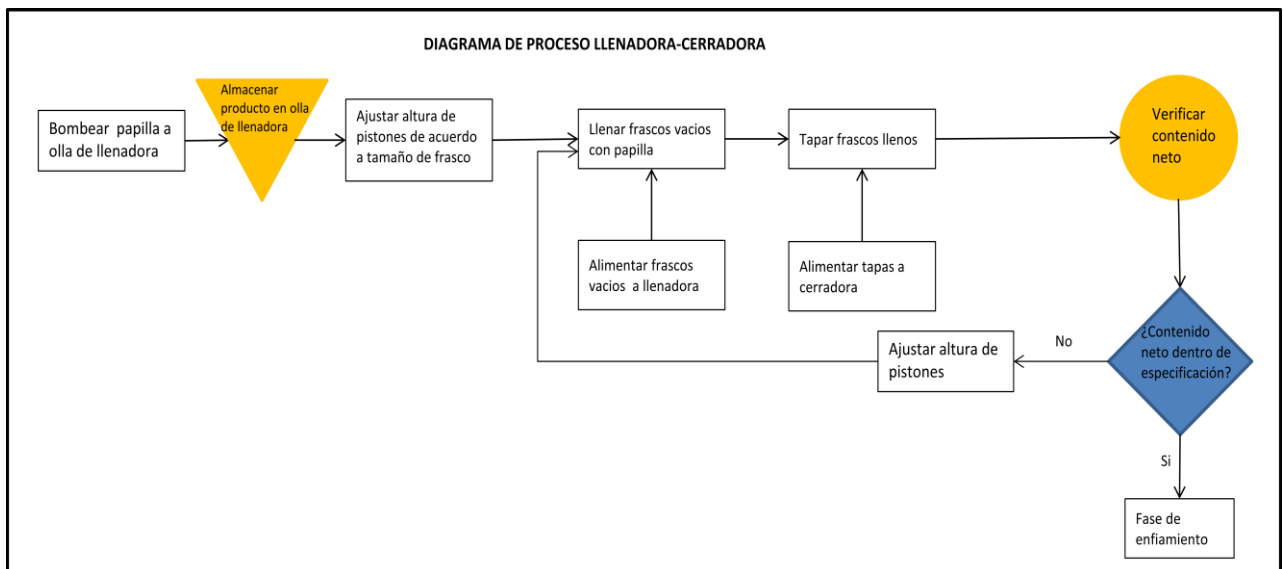


Figura 6 Diagrama detallado del proceso mencionado en el SIPOC de la Figura 5

#### 4.1.4 Definición de CTQ's

En la Tabla 4 se muestran los CTQ's para cliente interno y cliente externo, así como sus requerimientos aplicables.

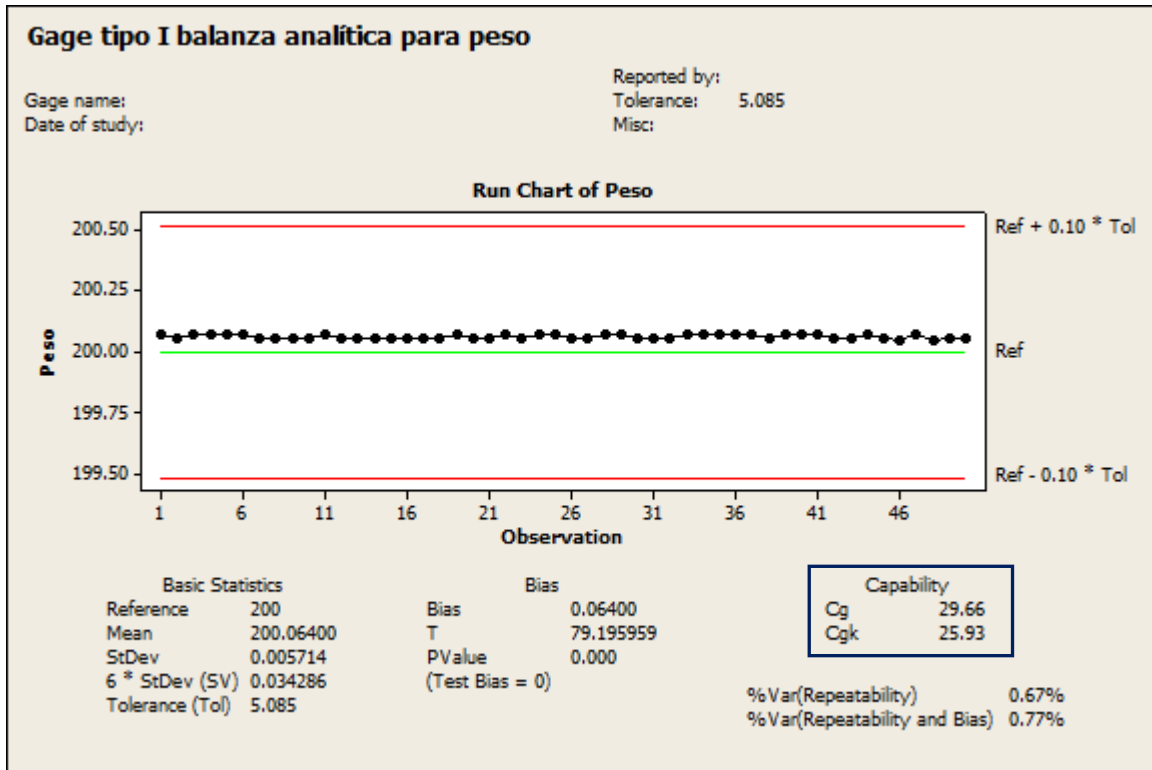
**Tabla 4** Identificación de CTQ's

IDENTIFICACIÓN DE CTQ's			
Tipo de cliente	Cliente específico	Descripción de CTQ	Requerimientos
Cliente interno	Departamento de calidad	Cumplimiento con los requerimientos regulatorios.	Contenido neto promedio del lote $\geq 113$ g
			Máximo 4 % de unidades por debajo de LIE = 108 g de acuerdo a muestreo de aceptación.(NOM SCFI 002)
			Cero frasco con menos de 103 g
	Departamento de fabricación	Papillas con el menor sobrellenado promedio posible.	Sobrellenado promedio por frasco = 0.2 - 0.5 g
Rendimientos por tanque formulado			$\geq 15170$ frascos por tanque
Cliente Externo	Cualquier cliente o consumidor que compre papillas Gerber	Fracos de papilla bien llenos	Fracos con un espacio de cabeza = 10 – 15 mm

## 4.2 Resultados de la fase Medir

### 4.2.1 Estudio Gage tipo I para balanza analítica

Los resultados del estudio de Gage tipo I realizado para la balanza analítica Mettler Toledo PG 2002-5 utilizada para medir el contenido neto en los frascos, muestra un valor de  $C_g$  y  $C_{gk}$  muy altos, lo que indica que el instrumento de medición es adecuado para la medición del contenido neto. En la Figura 7 se muestran los resultados de este estudio.



**Figura 7** Estudio Gage tipo I para balanza analítica Mettler Toledo PG 2002-5, d = 0.01 g

#### 4.2.2 Estudio de Gage R&R para sistema de medición

**Tabla 5** Gage R&R para sistema de medición inicial

Gage R&R Método del ANOVA

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0.21072	3.45
Repeatability	0.00002	0.00
Reproducibility	0.21070	3.45
Operators	0.21070	3.45
Part-To-Part	5.89462	96.55
Total Variation	6.10534	100.00

Process tolerance = 5.085

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 * SD)	%Study Var (%SV)	%Tolerance (SV/Toler)
Total Gage R&R	0.45904	2.7542	18.58	54.16
Repeatability	0.00475	0.0285	0.19	0.56
Reproducibility	0.45902	2.7541	18.58	54.16
Operators	0.45902	2.7541	18.58	54.16
Part-To-Part	2.42788	14.5673	98.26	286.48
Total Variation	2.47090	14.8254	100.00	291.55

Number of Distinct Categories = 7



Los resultados del Gage R&R mostrados en la Tabla 5, en la columna % Study Var indican que el sistema de medición aporta el 18.58 % a la variación de las mediciones, este es un valor alto, por lo que se requiere mejorar el sistema de medición. Se observa que la mayor variación se tiene en la reproducibilidad, 18.58 %. Al hacer un análisis de la variación respecto a la reproducibilidad, se observa que el problema es la variación del peso del frasco vacío el cual se muestra a continuación.

#### 4.2.3 Evaluación de variación de peso del frasco vacío de 113 g

Se evaluó el comportamiento del peso del frasco vacío de tres lotes diferentes utilizados durante una corrida de producción y se determinó si existía una diferencia estadística significativa entre las medias del peso del frasco de cada uno de los tres lotes mediante la ecuación 4 (Roux, 2011).

$$|\text{Promedio actual} - \text{Tara nominal}| \geq 3 * \frac{SD_{Tara}}{\sqrt{n}} \text{----- (4)}$$

Dónde:

- Promedio actual: Es el peso promedio del nuevo lote de frasco vacío (calculado de al menos 10 muestras).
- Tara nominal: Es el peso promedio del frasco vacío calculado de al menos 100 muestras de diferentes lotes.
- $SD_{tara}$  = Es la desviación estándar del peso del frasco, calculada de al menos 100 muestras de diferentes lotes.
- $n$  = es el número de muestras tomadas para determinar el promedio actual

#### 4.2.4 Regla de decisión

Si,  $|\text{promedio actual} - \text{tara nominal}| \geq 3 * \frac{SD_{Tara}}{\sqrt{n}}$  entonces, existe una diferencia significativa entre el peso de los lotes de frasco vacío.

En la Tabla 6 se muestran los resultados para el peso del frasco vacío de 113 g de tres lotes diferentes, utilizados durante una corrida de producción.

**Tabla 6** Comportamiento del peso del frasco vacío de 113 g

COMPORTAMIENTO DEL PESO DEL FRASCO VACIO DURANTE UNA CORRIDA DE PRODUCCIÓN										
Número de muestra	Lote: 11/261-14		Lote: 11/278-1				Lote: 12/14-7			
1	76.65	76.36	76.69	76.75	76.63	76.91	77.89	77.77	77.97	78.04
2	76.64	76.28	76.76	76.58	76.66	77.05	77.9	77.81	77.9	78.32
3	76.78	76.3	76.79	76.39	76.59	76.99	77.79	77.74	77.81	78.1
4	76.77	76.24	76.64	76.66	76.67	76.78	77.77	77.73	77.96	78.12
5	76.67	76.32	76.59	76.59	76.55	76.86	77.88	77.67	78.01	78.21
6	76.6	76.27	76.7	76.57	76.7	76.91	77.73	77.69	77.91	78.12
7	76.55	76.22	76.61	76.58	76.59	77	77.8	77.62	77.98	78.34
8	76.71	76.4	76.73	76.74	76.75	76.85	77.85	77.79	77.92	78.12
9	76.62	76.24	76.78	76.61	76.66	76.95	77.86	77.73	77.93	78.14
10	76.64	76.24	76.76	76.67	76.6	76.82	77.74	77.67	77.88	78.11
Promedio	76.663	76.287	76.705	76.614	76.64	76.912	77.821	77.722	77.927	78.162
Promedio actual del lote	76.48		76.72				77.91			

En la Tabla 7, se muestran los resultados para la comparación del peso del frasco vacío entre diferentes lotes utilizados en una corrida de producción. Los resultados indican que si hay una diferencia significativa entre los diferentes lotes de frasco, por lo que se decide cambiar el método de medición para eliminar la variación aportada por la variación del peso del frasco vacío (peso de la tara).


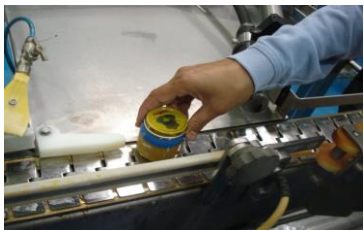


**Tabla 7** Comparación del peso del frasco vacío de tres lotes

MONITOREO DE TARA DEL FRASCO			
Lote de frasco	11/261-14	11/278-1	12/14-7
Tara actual	76.48	76.72	77.91
Tara nominal	76.125	76.125	76.125
Diferencia absoluta	0.35	0.59	1.78
$3*SD_{tara}/\sqrt{n}$	0.53	0.37	0.37
Decisión	No hay diferencia	Si hay diferencia	Si hay diferencia

Tara nominal	76.125
$SD_{tara}$	0.8

En la Tabla 8, se muestra el nuevo método de medición implementado para la determinación del contenido neto.

**Tabla 8** Instructivo para determinación de contenido neto

Instrucciones para determinar contenido neto en línea de proceso	
1. Introducir frascos marcados con peso conocido a línea de proceso.	
2. Recuperar Frascos llenos y cerrados después de la cerradora	
3. Pesar frascos en balanza analítica Mettler Toledo PG 2002-5	
4. Introducir valores en sistema para determinar contenido neto, CN = Peso total- peso de tara	

Después de implementar el nuevo método de medición para la determinación del contenido neto, se realizó nuevamente un estudio Gage R&R para evaluar el nuevo método. El resultado se muestra en la Tabla 9.

**Tabla 9** Gage R&R para sistema de medición después de mejora

Gage R&R Método del ANOVA

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0.00002	0.00
Repeatability	0.00002	0.00
Reproducibility	0.00000	0.00
Operators	0.00000	0.00
Part-To-Part	7.73322	100.00
Total Variation	7.73324	100.00

Process tolerance = 5.085

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 * SD)	%Study Var (%SV)	%Tolerance (SV/Toler)
Total Gage R&R	0.00482	0.0289	0.17	0.57
Repeatability	0.00475	0.0285	0.17	0.56
Reproducibility	0.00079	0.0047	0.03	0.09
Operators	0.00079	0.0047	0.03	0.09
Part-To-Part	2.78087	16.6852	100.00	328.13
Total Variation	2.78087	16.6852	100.00	328.13

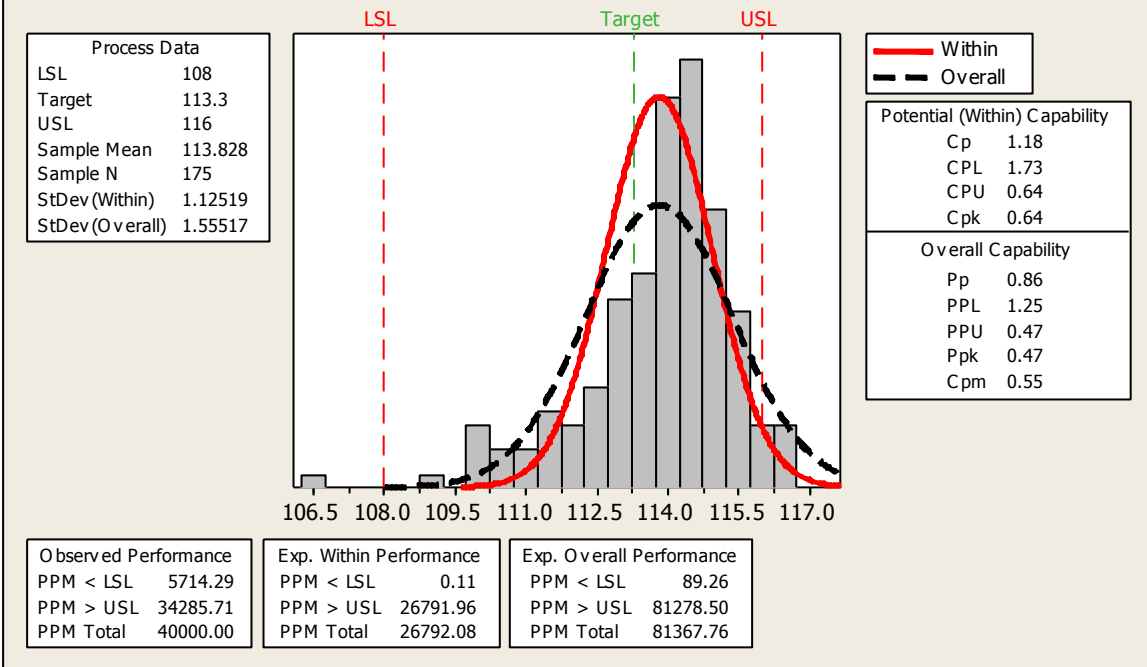
Number of Distinct Categories = 813

Los resultados del Gage R&R, indican que prácticamente el 100 % de la variación es aportada por la variación parte – parte. El total del Gage R&R es de 0.17 por lo que el sistema de medición se considera adecuado para la determinación del contenido neto.

Después de hacer las mejoras al sistema de medición y verificar que este es adecuado para lo que se está midiendo, se realizó un análisis de capacidad inicial del proceso. En la Figura 8 se muestran una gráfica con el análisis de la capacidad inicial del proceso de llenado.

En ella se observa que el valor del Ppk es 0.61, lo cual indica una baja capacidad para cumplir con las especificaciones. En la gráfica se observa que el proceso esta descentrado hacia el límite superior, por lo cual el valor del PPU es más bajo que el valor de PPL, además la variación es grande comparada con las especificaciones.

## Capacidad de Proceso Inicial para Contenido Neto



**Figura 8** Capacidad de proceso inicial

### 4.3 Resultados de la fase Analizar

**Tabla 10** Resumen de Análisis de Causa Efecto.

<b>EFEECTO</b>	<b>POSIBLES CAUSAS</b>
Mucha variación del contenido neto con respecto a las especificaciones	Válvulas entre válvulas (desalineadas)
	Variación por válvula
	Desgaste de orings y empaques de pistones y válvulas
	Intercambio de componentes de la llenadora
Proceso descentrado	Límites de control y target no definidos
	Falta de especificaciones para ajustar altura de pistones de llenadora
	Variación en la consistencia del puré formulado
	Diferentes velocidades de llenado(Tiempo de llenado)

En la Tabla 10 se muestra un resumen de las posibles causas para los dos problemas detectados en el análisis de capacidad inicial, proceso descentrado con respecto al target y para la alta variación en el contenido neto con respecto a las especificaciones.

#### 4.3.1 Análisis de variación entre válvulas

En la Tabla 12 se muestran los resultados para el muestro que se realizó por válvula para verificar la alineación de las mismas. Se tomaron 5 réplicas de cada válvula y se calcularon los promedios dosificados para cada una de ellas.

Se calculó un intervalo de confianza de acuerdo a la ecuación 1 para determinar que válvulas estaban desalineadas.

En la Tabla 11 se muestran los resultados del contenido neto dosificado por cada válvula. Los promedios marcado en rojo son los que estuvieron fuera del intervalo de confianza calculado. Los resultados indican que existe una diferencia significativa en la cantidad dosificada por las válvulas que estuvieron fuera del intervalo de confianza por lo que requieren ser ajustadas.

**Tabla 11** Análisis de variación entre válvulas

Número de válvula	NÚMERO DE RÉPLICA					Rangos	Desv std	Promedio
	1	2	3	4	5			
1	113.54	113.31	113.31	113.2	112.75	0.79	0.29149614	113.222
2	113.7	113.81	113.82	114.27	114.1	0.57	0.23632605	113.94
3	114.11	114.24	114.01	114.31	114.55	0.54	0.20659138	114.244
4	113.69	114.17	113.54	114.47	114.34	0.93	0.40751687	114.042
5	113.29	113.76	113.61	113.64	114.24	0.95	0.34448512	113.708
6	113.86	113.75	113.73	114.19	114.43	0.7	0.3064637	113.992
7	113.93	114.33	114.05	113.88	114.66	0.78	0.32473066	114.17
8	113.59	113.68	113.55	114.04	114.24	0.69	0.30422031	113.82
9	113.84	113.52	113.64	114.26	114.24	0.74	0.33941125	113.9
10	112.93	113.81	113.61	114.19	114.01	1.26	0.48703183	113.71
11	113.9	114.07	114.11	114.09	114.6	0.7	0.26292585	114.154
12	113.68	113.63	114.18	114.38	114.23	0.75	0.34168699	114.02
13	113.54	113.83	113.66	114.12	114.3	0.76	0.31622777	113.89
14	113.69	113.48	113.54	113.86	114.21	0.73	0.29330871	113.756
15	113.65	114.11	114.04	113.93	114.11	0.46	0.19240582	113.968
16	113.98	113.66	113.75	114.29	114.08	0.63	0.25371244	113.952
17	113.61	113.76	113.78	113.68	114	0.39	0.1472413	113.766
18	113.85	113.44	113.03	113.88	114.58	1.55	0.57665414	113.756
19	113.55	114.28	113.85	113.86	114.31	0.76	0.3219472	113.97
20	113.98	113.62	113.65	114.28	114.43	0.81	0.36410163	113.992
21	113.15	113.64	113.71	113.76	114.29	1.14	0.40540104	113.71
22	114.69	114.35	114.62	114.66	115.22	0.87	0.31649645	114.708
23	113.78	113.3	113.4	114.11	114.31	1.01	0.43720704	113.78
24	113.43	113.44	113.38	114.32	114.13	0.94	0.44838599	113.74
25	114.65	114.4	114.03	114.7	114.65	0.67	0.28058867	114.486
26	113.43	113.51	113	113.62	113.25	0.62	0.24324884	113.362
27	113.52	114.37	113.35	113.82	114.11	1.02	0.41728887	113.834
28	114.43	114.04	114.26	114.6	114.15	0.56	0.22277792	114.296
29	113.82	113.73	113.76	114.4	114.06	0.67	0.28103381	113.954
30	113.16	113.4	113.68	113.4	113.24	0.52	0.19919839	113.376
31	113.8	113.76	114.01	114.16	114.01	0.4	0.16574076	113.948
32	113.72	113.47	113.48	114.35	113.71	0.88	0.35837132	113.746
33	113.36	113.47	113.03	114.05	114.35	1.32	0.53639538	113.652
34	114.25	114.07	114.34	114.6	114.5	0.53	0.20825465	114.352
35	114.25	113.78	114.11	113.92	114.34	0.56	0.23075962	114.08

En la Figura 9 se muestra la gráfica con los promedios dosificados por cada válvula y el intervalo de confianza para la media. Se observa que 7 válvulas están desalineadas ya que su promedio cae fuera de los límites del intervalo de confianza calculado. Las válvulas 22, 25, 28 y 34 están dosificando en promedio mayor cantidad de producto y las válvulas 1 y 26 están dosificando menor cantidad en promedio.



**Figura 9** Intervalo de confianza inicial para la media

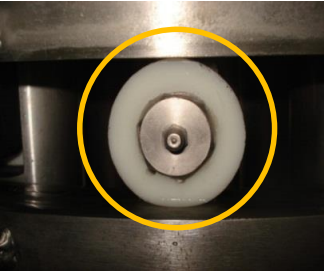
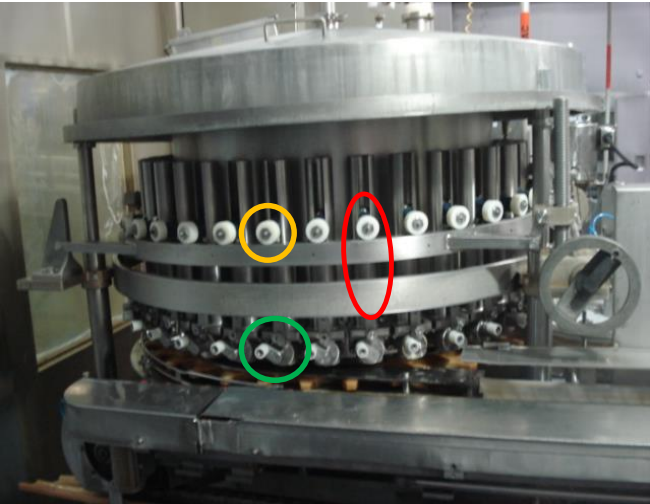


El resultado del cálculo del intervalo de confianza mediante las ecuaciones 2 y 3 se muestra en la Tabla 12.

**Tabla 12** Resultados para cálculo de intervalo de confianza

$S_{Global}^2$ :	0.18	
$S_{Filas}^2$ :	0.09	
$M_{Global}$ :	113.91	
$S_{Align}$ :	0.29	
R= número de réplicas	5	
Intervalo de confianza:	113.57	114.25

Con la revisión de las válvulas que estuvieron desalineadas se encontró que había un diferente grado de desgaste entre diferentes rodajas de teflón de los pistones, así como de los orings de pistones y válvulas. En la Figura 10 se muestran estos componentes. Se decidió reemplazar todas las rodajas y orings de pistones y válvulas para tener un llenado más uniforme entre todas las válvulas de la llenadora.



<b>Remplazo de empaques y orings de elementos de llenadora</b>	
	 <p style="text-align: center;"><b>LLENADORA DE LINEA B</b></p>
<p>Reemplazo de rodajas de teflon</p>  <p>Reemplazo de oring de válvula</p>	
 <p>Reemplazo de oring de pistón</p>	

**Figura 10** Reemplazo de orings y empaques de pistones y válvulas de llenadora

### 4.3.2 Análisis de variación por válvula

Se realizó un muestreo por válvula, para calcular el Cpk por válvula para evaluar la variación que tiene cada válvula en el corto plazo. Sólo la válvula 22 presentó un valor de Cpk menor a 1. Todas las demás válvulas presentaron un Cpk mayor a 1 lo cual indica que la variación en cada válvula en el corto plazo es aceptable comparada con las especificaciones. En la Tabla 13 se muestran los Cpk para cada una de las 35 válvulas de la llenadora.

**Tabla 13** Análisis de variación por válvula

Número de válvula	NÚMERO DE RÉPLICA					Rango	Promedio	Cpk
	1	2	3	4	5			
1	113.54	113.31	113.31	113.2	112.75	0.79	0.29149614	2.56
2	113.7	113.81	113.82	114.27	114.1	0.57	0.23632605	2.2
3	114.11	114.24	114.01	114.31	114.55	0.54	0.20659138	2.06
4	113.69	114.17	113.54	114.47	114.34	0.93	0.40751687	1.2
5	113.29	113.76	113.61	113.64	114.24	0.95	0.34448512	1.21
6	113.86	113.75	113.73	114.19	114.43	0.7	0.3064637	1.64
7	113.93	114.33	114.05	113.88	114.66	0.78	0.32473066	1.38
8	113.59	113.68	113.55	114.04	114.24	0.69	0.30422031	1.83
9	113.84	113.52	113.64	114.26	114.24	0.74	0.33941125	1.57
10	112.93	113.81	113.61	114.19	114.01	1.26	0.48703183	1.22
11	113.9	114.07	114.11	114.09	114.6	0.7	0.26292585	1.72
12	113.68	113.63	114.18	114.38	114.23	0.75	0.34168699	1.45
13	113.54	113.83	113.66	114.12	114.3	0.76	0.31622777	1.69
14	113.69	113.48	113.54	113.86	114.21	0.73	0.29330871	1.97
15	113.65	114.11	114.04	113.93	114.11	0.46	0.19240582	2.66
16	113.98	113.66	113.75	114.29	114.08	0.63	0.25371244	2.04
17	113.61	113.76	113.78	113.68	114	0.39	0.1472413	3.9
18	113.85	113.44	113.03	113.88	114.58	1.55	0.57665414	1
19	113.55	114.28	113.85	113.86	114.31	0.76	0.3219472	1.59
20	113.98	113.62	113.65	114.28	114.43	0.81	0.36410163	1.38
21	113.15	113.64	113.71	113.78	114.29	1.14	0.40611575	1.46
22	114.69	114.35	114.62	114.66	115.22	0.87	0.31649645	0.88
23	113.78	113.3	113.4	114.11	114.31	1.01	0.43720704	1.3
24	113.43	113.44	113.38	114.32	114.13	0.94	0.44838599	1.3
25	114.65	114.4	114.03	114.7	114.65	0.67	0.28058867	1.24
26	113.43	113.51	113	113.63	113.25	0.63	0.24592682	2.88
27	113.52	114.37	113.35	113.82	114.11	1.02	0.41728887	1.33
28	114.43	114.04	114.26	114.6	114.15	0.56	0.22277792	1.83
29	113.82	113.73	113.76	114.4	114.06	0.67	0.28103381	1.84
30	113.16	113.4	113.68	113.4	113.24	0.52	0.19919839	3.5
31	113.8	113.76	114.01	114.16	114.01	0.4	0.16574076	3.12
32	113.72	113.47	113.48	114.35	113.71	0.88	0.35837132	1.62
33	113.36	113.47	113.03	114.05	114.35	1.32	0.53639538	1.14
34	114.25	114.07	114.34	114.6	114.5	0.53	0.20825465	1.88
35	114.25	113.78	114.11	113.92	114.34	0.56	0.23075962	2.06

En la Figura 11, se muestran el Cpk para cada una de las válvulas.

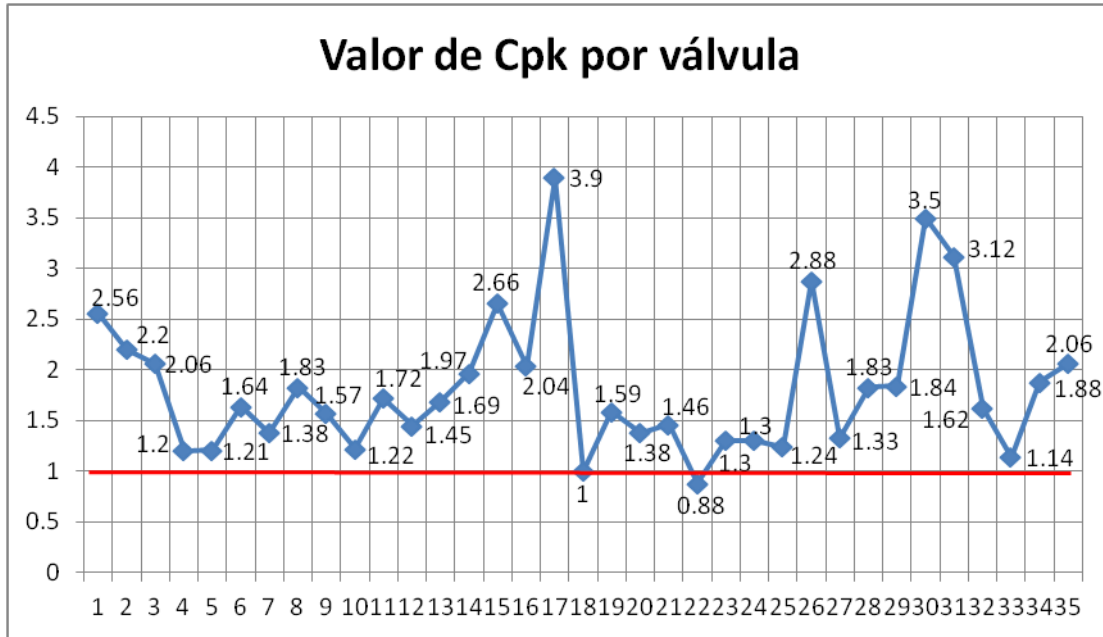


Figura 11 Valor de Cpk por válvula

#### 4.3.3 Intercambio de componentes de la llenadora

Algo que se observó durante la investigación es que, no todas las válvulas y pistones de la llenadora se encontraban identificados con su respectivo número. Como resultado de esto, estos dos componentes eran colocados en diferente posición diariamente durante la actividad de desarmado y armado de la llenadora como parte de las actividades de limpieza y sanitización del equipo. En la Figura 12(A) se muestran que el número de válvula no corresponde con el número de camisa, en la Figura 12(B) se muestra una válvula sin número de identificación y en la Figura 12(C) se muestra el número de identificación del pistón.

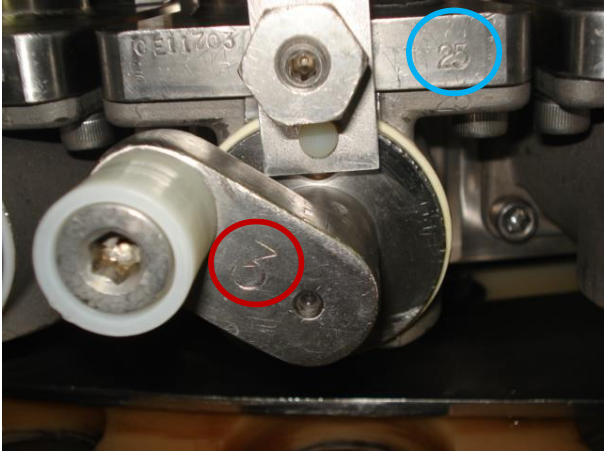
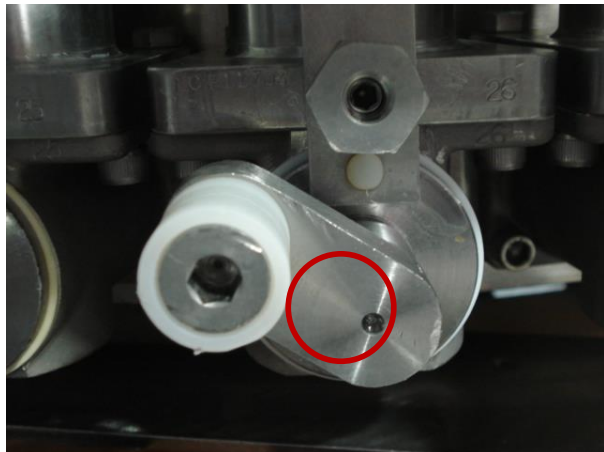

COMPONENTES DE LA LLENADORA INTERCAMBIADOS Y SIN IDENTIFICACIÓN	
DESCRIPCIÓN	IMAGEN
<p>Válvula y camisa intercambiados.  - Número de camisa señalado en azul  - Número de válvula señalado en rojo</p> <p>(A)</p>	
<p>Válvula sin identificación  Señalada en rojo</p> <p>(B)</p>	
<p>Identificación de pistón  Señalada en azul</p> <p>(C)</p>	

Figura 12 A, B, C Componentes de llenadora intercambiados y sin identificación

#### 4.3.4 Análisis de Regresión para dispositivo de ajuste llenadora



**Figura 13** Dispositivo de ajuste de nivel de llenado

En la Figura 13 se muestra el dispositivo de ajuste para la máquina llenadora. Se realizó un análisis de regresión lineal para conocer el incremento o la disminución de la cantidad de producto dosificada por cada posición de dispositivo de ajuste.

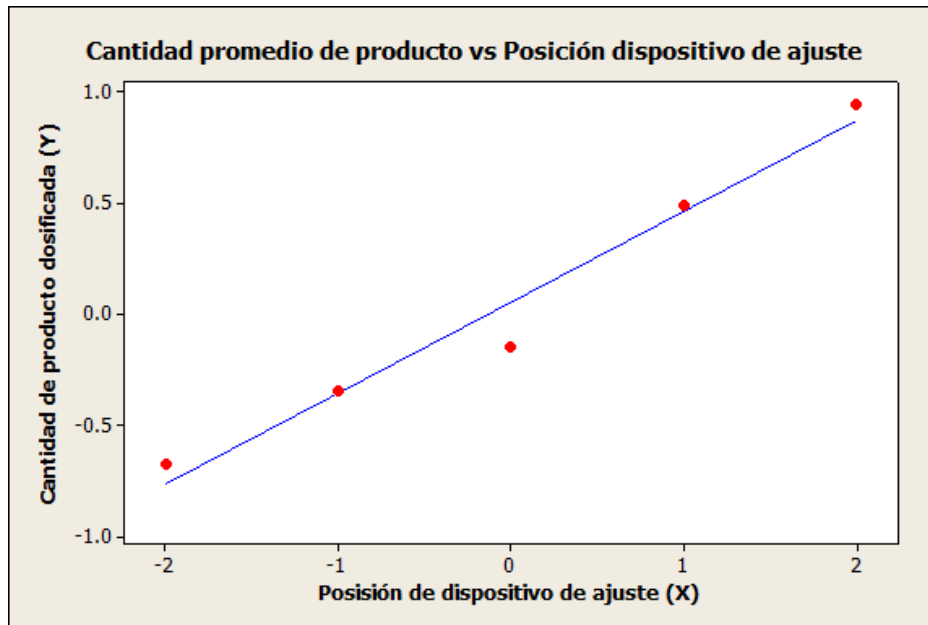
Se tomaron muestras cada vuelta de 180 ° en ambas direcciones de la manivela de ajuste mostrada en la Figura 13. Los resultados de las mediciones se muestran en la Tabla 14.

**Tabla 14** Resultados de prueba de dispositivos de ajuste de llenadora

Giro de la manivela	Posición (X)	Cantidad dosificada(Y)
-360 °	-2	-0.676333333
-180 °	-1	-0.348333333
0	0	-0.149333333
+180 °	1	0.489666667
+360 °	2	0.943666667

En la Figura 14 se muestra la gráfica de regresión para la cantidad de producto dosificada (Y) por cada posición del dispositivo de ajuste (X) de la

llenadora B. En la gráfica se observa que los datos se ajustan de manera aceptable a la recta de regresión.



**Figura 14** Análisis de Regresión Dispositivo de Ajuste de Llenadora

### Análisis de Regresión: Cantidad dosificada (Y) versus Posición dispositivo de ajuste (X)

The regression equation is

$$Y = 0.0519 + 0.408 X$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0.05187	0.06049	0.86	0.454
X	0.40780	0.04277	9.53	0.002

S = 0.135258    R-Sq = 96.8%    R-Sq(adj) = 95.7%

Dónde:

Y = cantidad de producto dosificada por cada posición de dispositivo de juste

X = Posición del dispositivo de ajuste

El valore de R-sq indica que el incremento y la disminución en la cantidad de producto dosificada por cada posición del dispositivo de ajuste de la llenadora de la línea B tienen una buena correlación lineal, por lo que se puede utilizar la ecuación de regresión para realizar predicciones de los ajustes requeridos.

El coeficiente de la variable X mostrada en la ecuación de regresión indica que por cada posición en del dispositivo de ajuste se tendrá un incremento o disminución de 0.408 g en la cantidad promedio de producto dosificada en cada envase.

#### 4.3.5 Evaluación de consistencia del producto y velocidad del llenado

Para la evaluación del efecto de la consistencia del producto y la velocidad de llenado en el contenido neto, se realizó y un diseño de experimentos factorial el cual se muestra a continuación:

Descripción del diseño:

Diseño factorial  $2^2$

Factores:

- Consistencia
- Velocidad de llenado

Número de Replicas: 10

Variable de respuesta: Contenido neto

**Tabla 15** Descripción diseño factorial

Corrida	Codificado		Descodificado	
	Factor A	Factor B	Consistencia °Br	Velocidad Fracos/min
1	-	-	4.5	700
2	+	-	5.5	700
3	-	+	4.5	920
4	+	+	5.5	920

En la Tabla 15 se muestra la descripción de los 4 tratamientos evaluados en su forma codificada y descodificada.

**Tabla 16** Resultados DOE

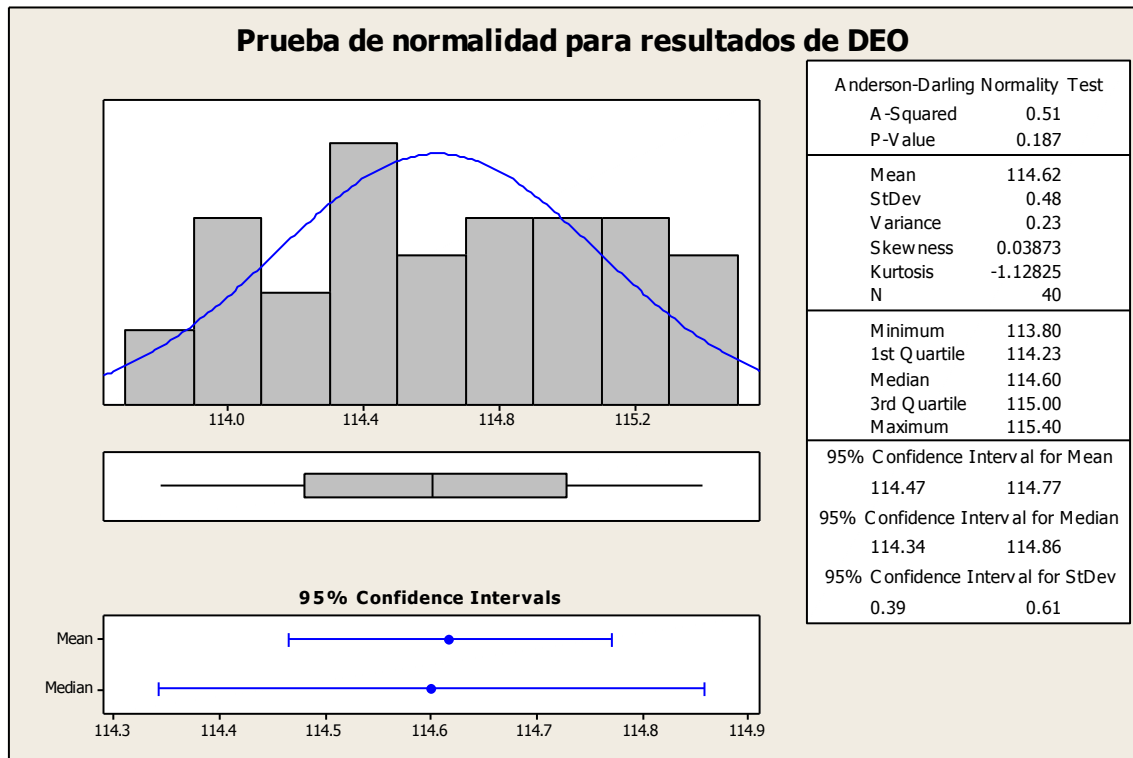
Número de Corrida	RESULTADOS DOE				
	Codificado		Descodificado		Yij
	Factor A	Factor B	Consistencia (°Bw)	Velocidad (Fracos/min)	Contenido neto (g)
1	-1	-1	4.5	700	113.95
2	1	-1	5.5	700	114.5
3	-1	1	4.5	920	115.05
4	1	1	5.5	920	114.8
5	-1	-1	4.5	700	114.2
6	1	-1	4.5	700	114.55
7	-1	1	5.5	920	114.8
8	1	1	4.5	920	115
9	-1	-1	5.5	700	114.55
10	1	-1	4.5	700	114.25
11	-1	1	4.5	920	115.3
12	1	1	5.5	920	114.5
13	-1	-1	4.5	700	114
14	1	-1	5.5	700	114.25
15	-1	1	4.5	920	115
16	1	1	4.5	920	114.65
17	-1	-1	5.5	700	114.05
18	1	-1	4.5	700	114.6
19	-1	1	5.5	920	115.1
20	1	1	4.5	920	114.35
21	-1	-1	4.5	700	114.45
22	1	-1	5.5	700	114.4
23	-1	1	4.5	920	115.15
24	1	1	5.5	920	114.5
25	-1	-1	4.5	700	114.1
26	1	-1	4.5	700	114.3
27	-1	1	5.5	920	115.35
28	1	1	4.5	920	114.6
29	-1	-1	5.5	700	114



**Continuación Tabla 16**

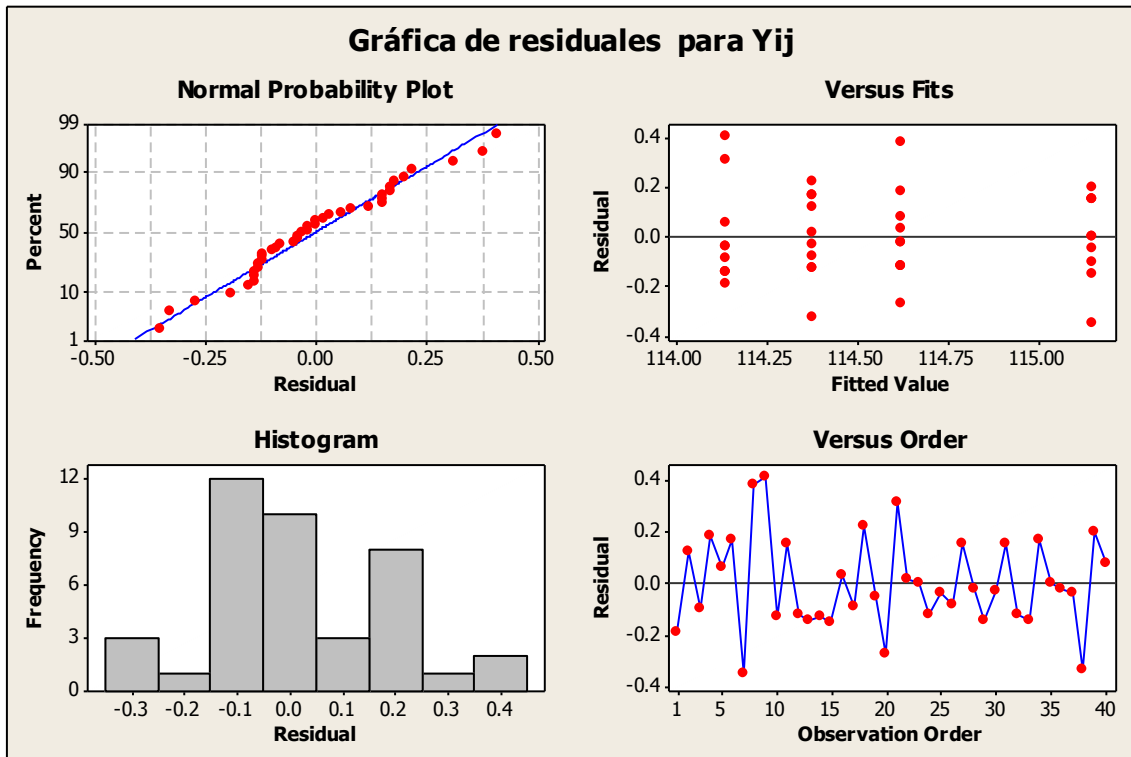
Número de Corrida	RESULTADOS DOE				
	Codificado		Descodificado		Yij
	Factor A	Factor B	Consistencia (°Bw)	Velocidad (Fracos/min)	Contenido neto (g)
30	1	-1	4.5	700	114.35
31	-1	1	4.5	920	115.2
32	1	1	5.5	920	114.5
33	-1	-1	4.5	700	114
34	1	-1	5.5	700	114.55
35	-1	1	4.5	920	115.3
36	1	1	4.5	920	114.6
37	-1	-1	5.5	700	114.1
38	1	-1	4.5	700	114.05
39	-1	1	5.5	920	115
40	1	1	4.5	920	114.7

En la Tabla 16 se muestran los resultados obtenidos para cada uno de los tratamientos evaluados en el diseño de experimentos.



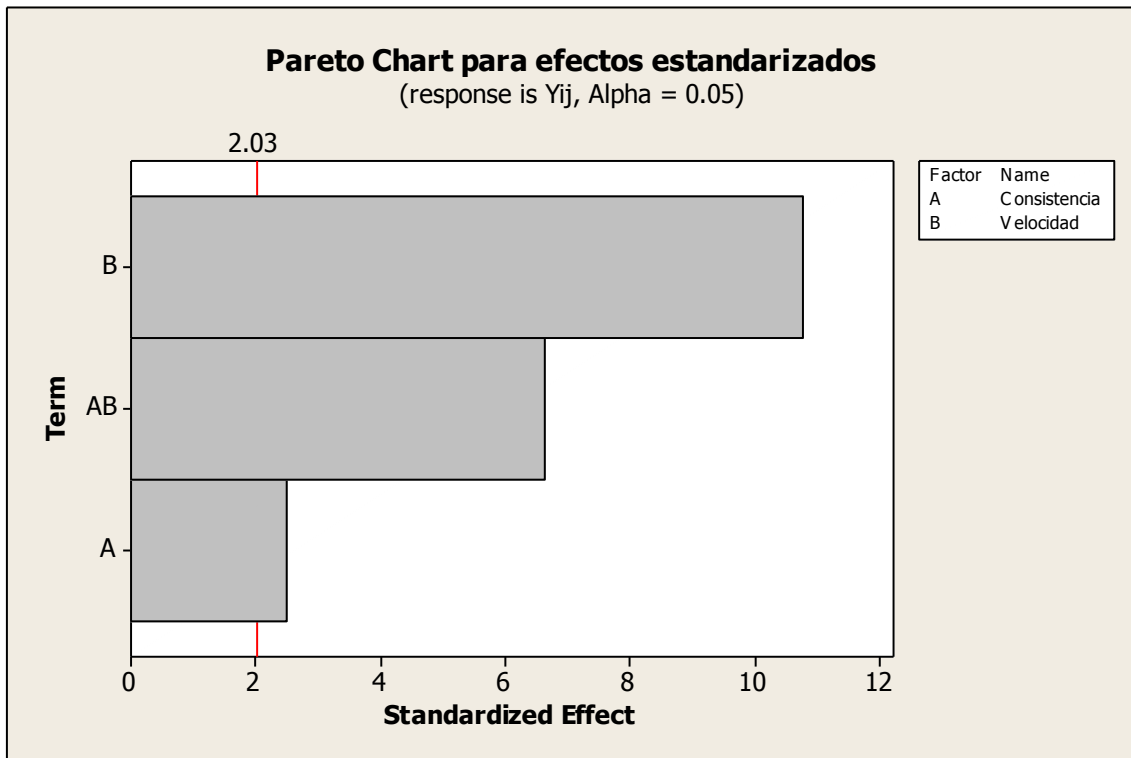
**Figura 15** Prueba de normalidad para resultados de DOE

Para validar si los datos obtenidos en el DOE son normales, se realizó una prueba de normalidad de Anderson Darling, los resultados mostrados en la Figura 15 indican que los datos se ajustan aproximadamente a una distribución normal, ya que el valor de P-value (0.187) es mayor a 0.05.



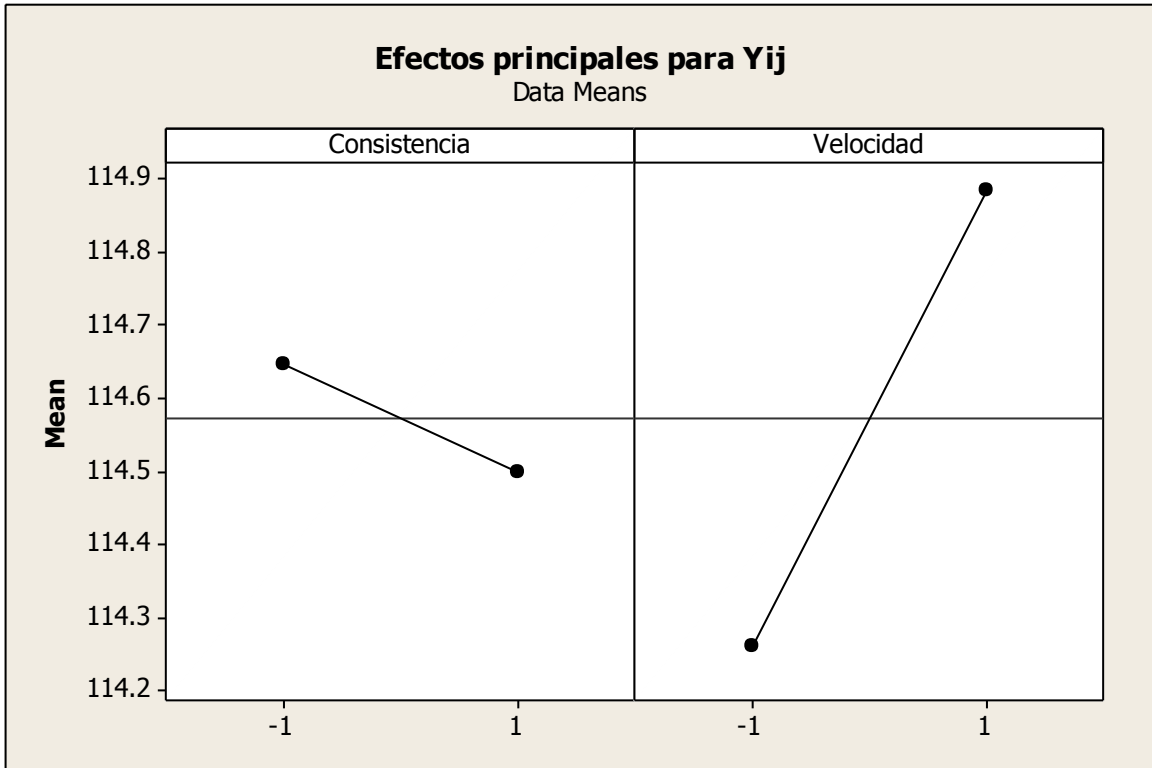
**Figura 16** Gráfica de residuales para Yij

Las gráficas de residuales mostradas en la Figura 16 confirman que los resultados obtenidos del DOE son aproximadamente normales. Además se observa que los datos tienen un comportamiento aleatorio.



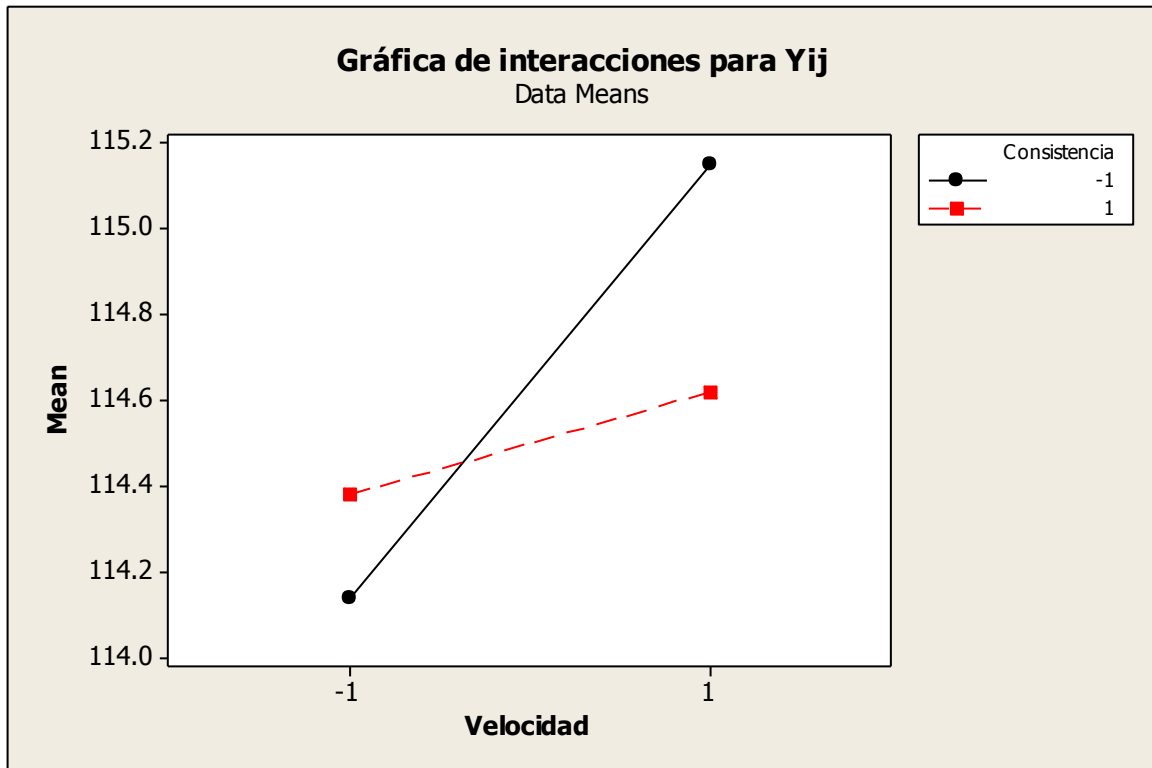
**Figura 17** Pareto para efectos estandarizados resultados DOE

En la Figura 17 se muestra la gráfica de Pareto para los efectos de los factores y la interacción. En la gráfica se observa que los dos factores evaluados consistencia y velocidad son significativos, así como la interacción, siendo el más significativo el factor B, velocidad.



**Figura 18** Gráfica de efectos principales

En la Figura 18 se muestra la gráfica de los efectos principales. Al igual que en la gráfica de Pareto, se observa que la velocidad es la que tiene un mayor impacto en la variable de respuesta que es el contenido neto.



**Figura 19** Gráfica de interacciones para Yij

En la Figura 19 se muestra la gráfica del efecto de la interacción, en ella se observa que también la interacción es significativa.

**Tabla 17** ANOVA Resultados de DOE

Analysis of Variance for Yij, using Adjusted SS for Tests						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P-value
Consistencia	1	0.2102	0.2102	0.2102	6.25	0.017
Velocidad	1	3.9062	3.9062	3.9062	116.12	0
Consistencia*Velocidad	1	1.4823	1.4823	1.4823	44.06	0
Error	36	1.211	1.211	0.0336		
Total	39	6.8097				

S = 0.183409 R-Sq = 82.22% R-Sq(adj) = 80.73%

El ANOVA mostrado en la Tabla 17, se muestran los valores de P-value para los factores consistencia y velocidad y para la interacción. Los resultados confirman que los tres, son significativos y que por lo tanto tienen un efecto significativo en la variable de respuesta.

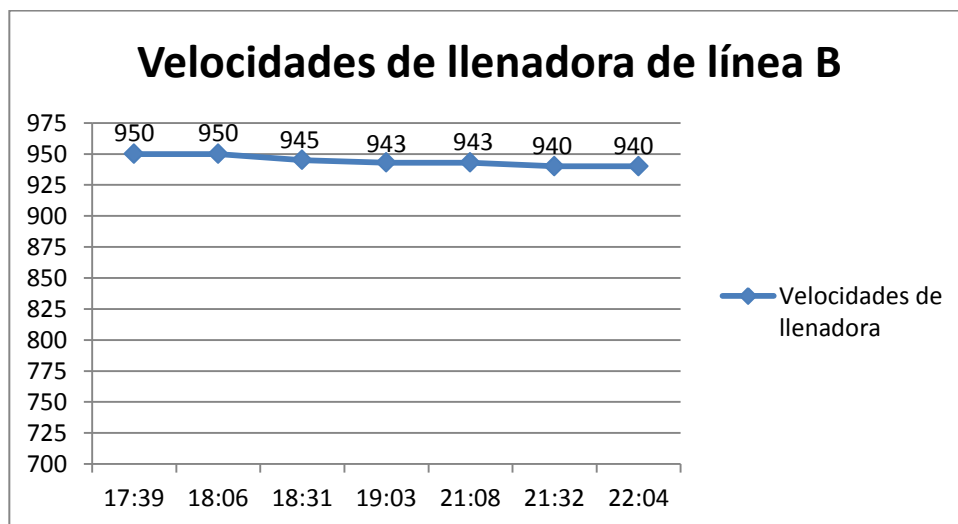
#### 4.3.6 Evaluación de velocidad de llenadora

Los resultados del DOE demuestran que el cambio en la velocidad del llenado (frascos/minuto) tiene un efecto en el nivel de llenado, por lo que se evaluó cómo fue el comportamiento de la velocidad de la llenadora durante una producción. Los resultados se muestran en la Tabla 18.

**Tabla 18** Velocidades de llenadora durante la producción

Producto: 9590221	Línea: B	Fecha: 27/Nov/2012
Hora de inspección	Código de inspector	Velocidad de llenadora (fpm)
17:39	333	950
18:06	333	950
18:31	333	945
19:03	333	943
21:08	114	943
21:32	333	940
22:04	333	940

En la Figura 20, se observa que la velocidad de la llenadora es muy constante durante toda la producción. No se observan cambios drásticos en la velocidad, por lo que no es necesario implementar acciones para controlar este parámetro de operación.



**Figura 20** Velocidad de llenadora durante la producción

### 4.3.7 Análisis de consistencia de producto

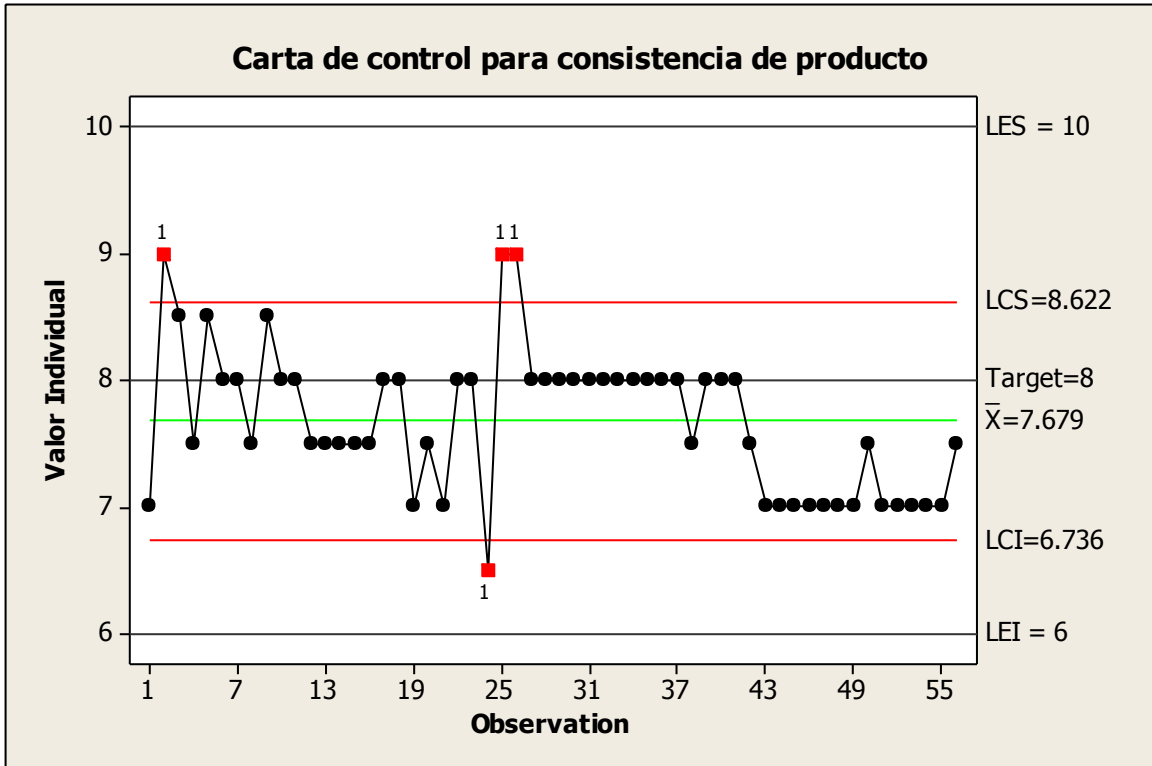


Figura 21 Carta de control para consistencia del producto

En la Figura 21, se muestra el comportamiento de la consistencia durante tres corridas de producción. Cada punto en la gráfica representa el valor de consistencia para cada tanque (1600 kg) de producto formulado. En la gráfica se observa que si hay variación en la consistencia de tanque a tanque, por lo que fue necesario implementar acciones para reducir y controlar la variación. Estas acciones se muestran en la fase mejorar.

### 4.4 Resultados de la Fase Mejorar

Se realizó una matriz de correlación entre los ingredientes del producto 9590221 y sus características de calidad para evaluar cuáles son los ingredientes que tienen un impacto directo en la consistencia. En la Tabla 19 se muestra la matriz de interrelación. En ella se muestra que para la consistencia, los ingredientes que están directamente relacionados son: la cantidad de puré, la cantidad de almidón y la cantidad de agua y vapor para formulación. Las cantidades de estos tres ingredientes son las que se tienen que ajustar y controlar.



**Tabla 19** Matriz de interrelación entre ingredientes y parámetros de calidad

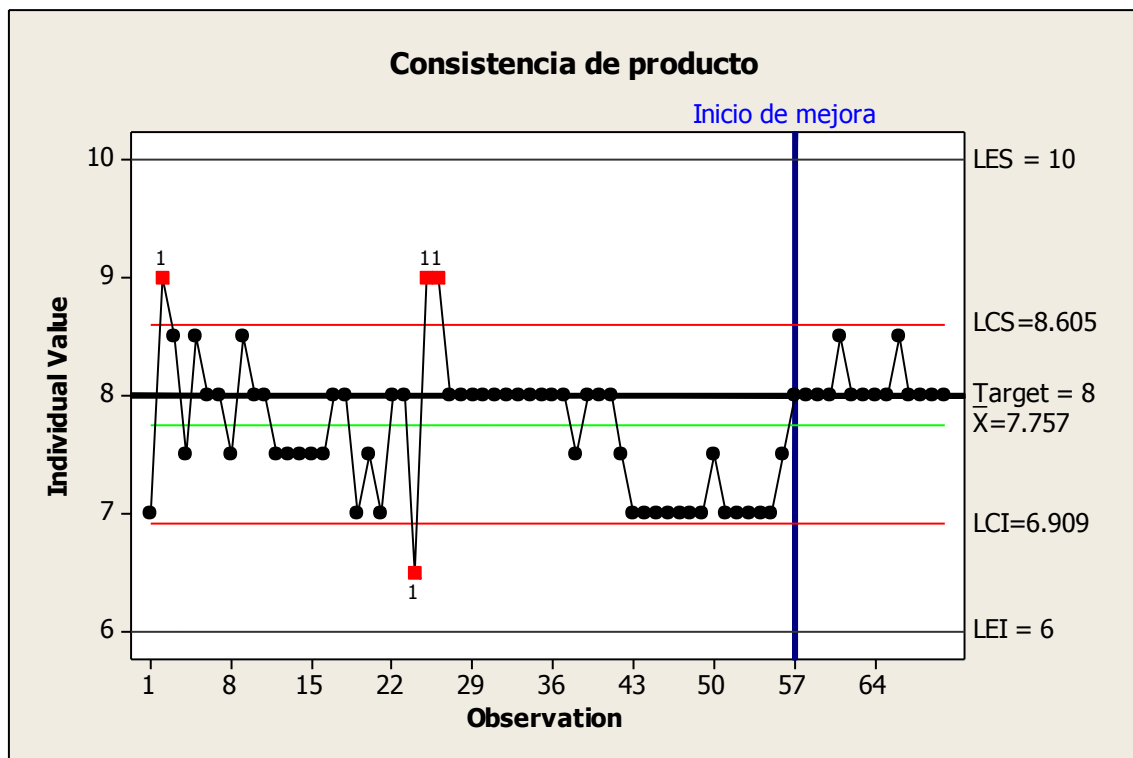
Matriz de interrelaciones entre ingredientes y parámetros de calidad												
PARAMETROS DE CALIDAD		Consistencia	Brix	Solidos totales	pH	Vitamina C	% Acidez total	Olor	Sabor	Relación °Bx/ácidez	Concentración de hierro	
INGREDIENTES	9590221	7 - 9 °Bw	14 - 16 °Bw	17 - 19 %	Max 3.95	37- 45 mg/100 g	0.2 - 0.4	Mango	Mango	40-80	6 - 12 mg/l	Totales
Mango pure 29 °Bx		5	5	5	5	3	5	5	5	5	1	44
Azúcar Morena std		1	5	5	1	1	1	1	1	5	1	22
Almidon de Maíz tipo G IN		5	3	3	1	1	1	1	1	1	1	18
Sabor Mango Liq Robertet		1	1	1	1	1	1	1	5	1	1	6
Ácido citrico INS330 25 kg		1	1	1	5	1	5	1	3	5	1	14
Vitamina C ácido ascórbico		1	1	1	3	5	3	1	1	3	1	20
Minerales prem 10 fortitech		1	1	1	1	1	1	1	1	1	5	6
Agua para formulación y vapor		5	5	5	5	5	3	1	1	5	5	28
		20	22	22	22	18	20	12	18	26	16	

En la Tabla 20 se muestran los criterios de evaluación utilizados en la matriz de interrelaciones mostrada en la Tabla 19.

**Tabla 20** Criterios de evaluación para matriz de interrelaciones

Criterios de evaluación	
1	Baja relación
3	Relación intermedia
5	fuerte relación

Para poder tener un control más eficiente de la consistencia del producto, se implementó el análisis de este parámetro para cada uno de los tanques formulados antes de que el producto se bombeado a la tolva de la llenadora. El propósito de este análisis, es poder ajustar la consistencia del producto en caso de que se requiera. En la Figura 23, se muestra un comparativo de los resultados de la consistencia, antes y después de la implementación del análisis.



**Figura 22** Consistencia del producto antes y después de mejora

#### 4.4.1 Parámetros para dispositivo de ajuste (manivela) de llenadora

**Tabla 21** Parámetros para dispositivo de ajuste de la llenadora

Posición de dispositivo de ajuste	Giro de la manivela	Cantidad dosificada
-2	-360 °	- 0.816 g
-1	-180 °	- 0.408 g
0	0	0
1	+180 °	+ 0.408 g
2	+360 °	+ 0.816 g

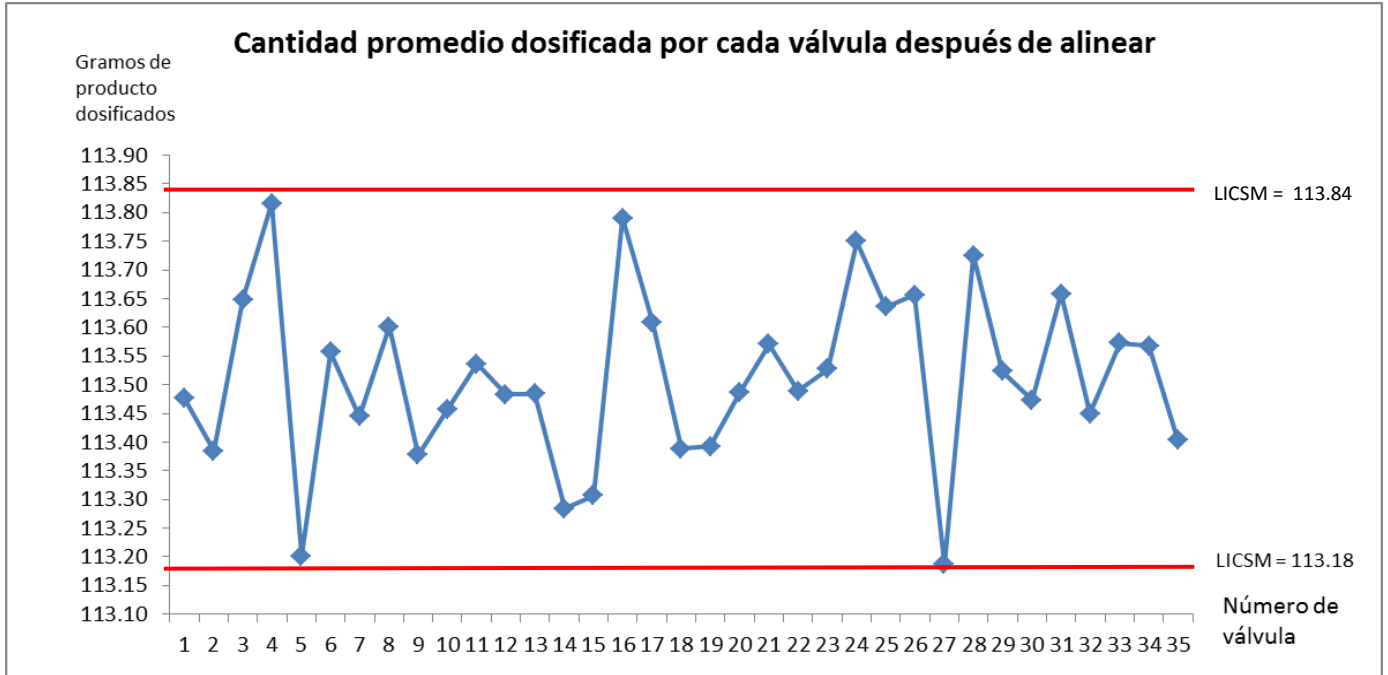
Con el análisis de regresión lineal realizado en la fase analizar, se determinó el incremento o disminución en la cantidad dosificada por cada posición del dispositivo de ajuste (manivela) de nivel de llenado de la maquina llenadora. En la Tabla 21 se muestran las cantidades dosificadas para diferentes posiciones del dispositivo de ajuste. Esta tabla fue entregada al personal de piso encargada del control del llenado, para ayudar en el ajuste fino del nivel de llenado.

#### 4.4.2 Alineación de válvulas

Después de reemplazar los elementos desgastados de la llenadora, mostrados en la Figura 10, se volvió a realizar un muestreo por válvula para evaluar la alineación de las válvulas. Los resultados se muestran en la Tabla 22.

**Tabla 22** Análisis de variación entre válvulas después de reemplazar componentes

Número de válvula	NÚMERO DE RÉPLICA					Rangos	Desv std	Promedio
	1	2	3	4	5			
1	113.46	113.56	113.56	113.67	113.14	0.54	0.20481429	113.48
2	113.30	113.25	113.47	113.40	113.50	0.25	0.10535907	113.384316
3	113.92	113.24	113.22	114.00	113.87	0.78	0.38536146	113.648945
4	113.91	113.83	113.99	114.01	113.34	0.67	0.2754699	113.815725
5	113.47	112.85	113.39	113.27	113.02	0.62	0.2600009	113.201224
6	114.07	113.68	113.34	113.14	113.55	0.93	0.35266343	113.557012
7	113.50	113.36	113.51	113.65	113.21	0.44	0.16780887	113.444311
8	113.83	113.65	113.59	113.37	113.56	0.46	0.16446098	113.601011
9	113.16	113.22	113.97	113.21	113.33	0.81	0.33691904	113.377631
10	113.57	114.00	113.18	113.30	113.23	0.82	0.33984967	113.456013
11	113.83	113.89	113.27	113.65	113.04	0.85	0.36744737	113.536323
12	114.04	113.21	113.61	113.25	113.30	0.82	0.347085	113.482716
13	113.62	113.67	113.40	113.10	113.63	0.56	0.23792662	113.483899
14	113.80	113.25	113.21	113.23	112.92	0.88	0.31787843	113.284354
15	113.31	113.30	113.65	112.86	113.40	0.79	0.2850431	113.306604
16	113.76	114.32	113.83	113.36	113.68	0.96	0.34793533	113.790587
17	114.03	113.13	112.90	113.75	114.23	1.32	0.57143015	113.608648
18	113.36	113.78	113.80	112.77	113.22	1.03	0.42647141	113.388168
19	113.76	113.09	113.50	112.83	113.77	0.94	0.4165901	113.392089
20	113.75	113.32	113.92	113.16	113.28	0.76	0.33181412	113.487083
21	113.93	113.48	113.41	113.56	113.47	0.52	0.20873004	113.570823
22	113.37	114.08	113.84	113.11	113.06	1.02	0.45181341	113.489234
23	113.57	113.72	113.30	113.50	113.55	0.42	0.15038585	113.526879
24	113.25	113.90	114.10	114.00	113.49	0.85	0.36179936	113.749486
25	113.47	113.78	113.97	113.43	113.53	0.53	0.22894898	113.64
26	113.83	113.57	114.15	113.22	113.51	0.93	0.35042399	113.656117
27	113.35	112.93	113.23	113.49	112.93	0.56	0.25050361	113.186449
28	113.97	113.58	113.95	113.50	113.63	0.48	0.22061362	113.724947
29	113.36	113.46	113.07	113.67	114.05	0.97	0.36350028	113.523594
30	113.35	113.56	113.45	113.56	113.45	0.21	0.08662438	113.473614
31	113.65	113.79	113.44	113.79	113.61	0.35	0.14517283	113.657945
32	113.92	113.28	113.43	113.69	112.93	0.99	0.38007793	113.449276
33	113.39	113.49	113.05	113.86	114.07	1.01	0.40001376	113.573084
34	113.62	113.71	114.28	112.97	113.27	1.30	0.49108377	113.568095
35	113.41	113.49	113.26	113.53	113.34	0.27	0.11106667	113.404373



**Figura 23** Cantidad promedio dosificada por cada válvula después de reemplazar componentes desgastados




En la Figura 24, se muestran los promedios dosificados por cada válvula después de reemplazar los elementos desgastados, así como el intervalo de confianza. En la gráfica se observa que todas las válvulas se encuentran dentro del intervalo de confianza, por lo que se considera que están alineadas. En la Tabla 23, se muestran los resultados para el cálculo del intervalo de confianza.

**Tabla 23** Resultados para cálculo de intervalo de confianza después de reemplazar componentes desgastados.

$S_{Global}^2$ :	0.10	
$S_{Filas}^2$ :	0.02	
$M_{Global}$ :	113.51	
$S_{Align}$ :	0.29	
R= número de réplicas	5.00	
Intervalo de confianza:	113.18	113.84

#### 4.4.3 Identificación de componentes de llenadora

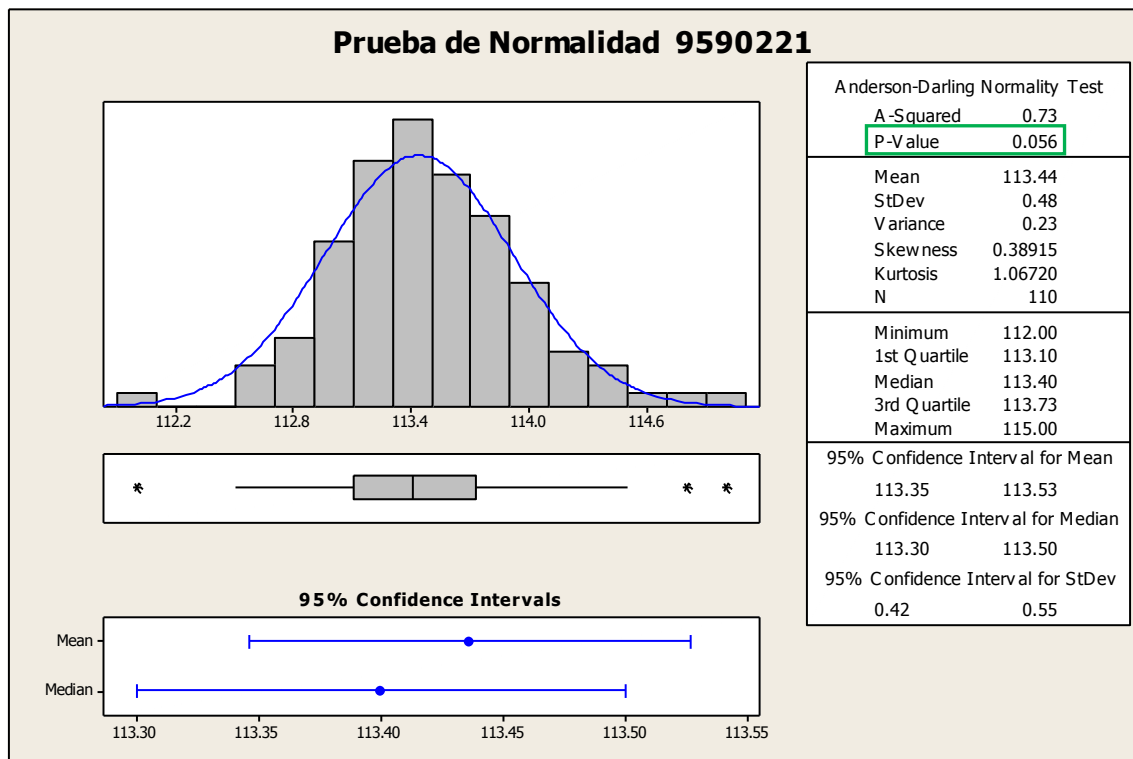
Para evitar el intercambio de componentes de la llenadora durante el desarmado y armado, fueron identificados todos los pistones y válvulas que no tenían número de identificación. En la Figura 25(A) se muestra el número de identificación de válvula, en la Figura 25(B) se muestra el número de identificación de la camisa y en la Figura 25(C) se muestra el número de identificación del pistón.

<b>Identificación de componente de llenadora</b>	
	<b>Identificación de válvula</b>  (A)
	<b>Identificación de camisa</b>  (B)
	<b>Identificación de pistón</b>  (C)

**Figura 24 A, B, C** Identificación de componentes de llenadora

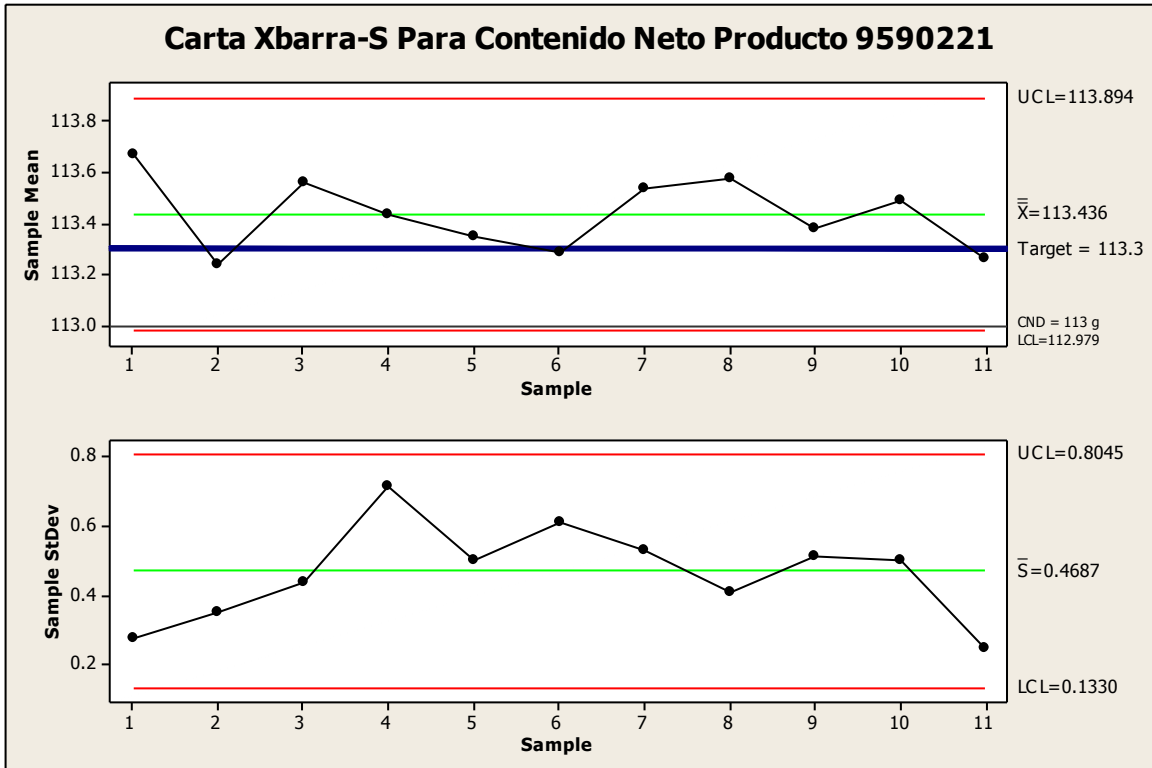
#### 4.4.4 Corrida de confirmación

Después de realizar todas las mejoras descritas en las fases anteriores, se realizó una corrida de confirmación para validar el resultado de las mejoras en el proceso. Se monitoreo el proceso durante una corrida larga de producción y se analizaron los datos. En la figura 26, se muestra la prueba de normalidad realizada con el software Minitab 16 para los datos de la corrida de confirmación, de acuerdo al valor del P-value mayor a 0.05 mostrado en la figura, se puede decir que los datos siguen una distribución aproximadamente normal.



**Figura 25** Prueba de normalidad para corrida de confirmación

Para poder controlar el contenido neto durante la producción, se implementó el uso de cartas de control Xbarra-S. En la Figura 27, se muestra la carta de control Xbarra-S implementada para la corrida de confirmación, en ella se observa que todos los datos están dentro de los límites de control, tanto para la carta de promedios, como para la carta de desviaciones estándar. Se observa un proceso mucho más estable y más centrado en el target que al inicio del proyecto.



**Figura 26** Carta de control Xbarra-S para corrida de confirmación

#### 4.4.5 Cálculo de target y límites de control

El target para el peso neto del producto fue definido de acuerdo a los requerimientos corporativos de Nestlé y a los requisitos de la NOM-002-SCFI-2011 y es mostrado en la Tabla 23.

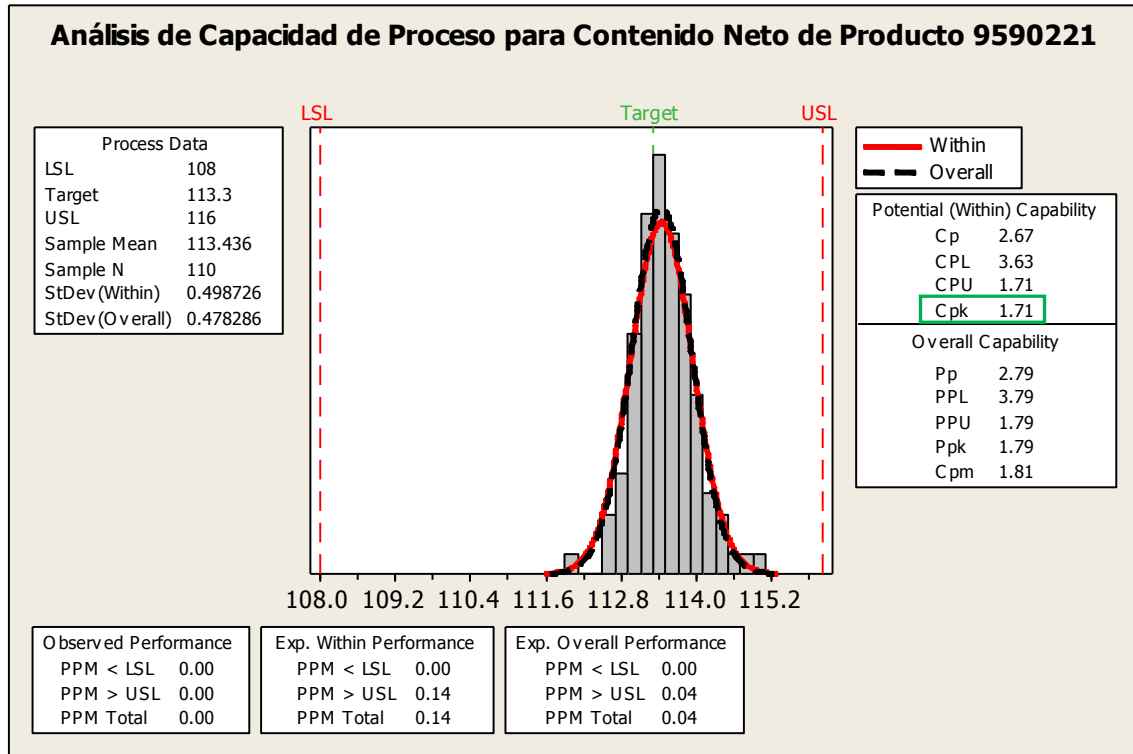
Los límites de control para la carta de promedios y carta de desviaciones estándar fueron calculados en base a la variación final del proceso después de implementar todas las mejoras. En la tabla 24 se muestran estos valores.

**Tabla 24** Especificaciones para carta de control Xbarra-S

Carta de promedios		Carta de Desvest	
Target =	113.3	S límite =	0.904
LCS =	112.979	LCS =	0.804
LCS =	113.894	LCI =	0.133



En la Figura 28, se muestra el análisis de capacidad para la corrida de confirmación. El análisis indica una muy buena capacidad de proceso con respecto a las especificaciones, el valor de Cpk es de 1.71 que es muy aceptable, además el proceso se encuentra centrado en el target.



**Figura 27** Análisis de capacidad para corrida de confirmación

Se realizó una prueba de homogeneidad de la varianza entre la corrida inicial y la corrida de confirmación para probar que existe diferencia significativa entre la variación del proceso inicial y la variación del proceso al final del proyecto.

$$H_0: \sigma_1 = \sigma_2$$

$$H_a: \sigma_2 > \sigma_1$$

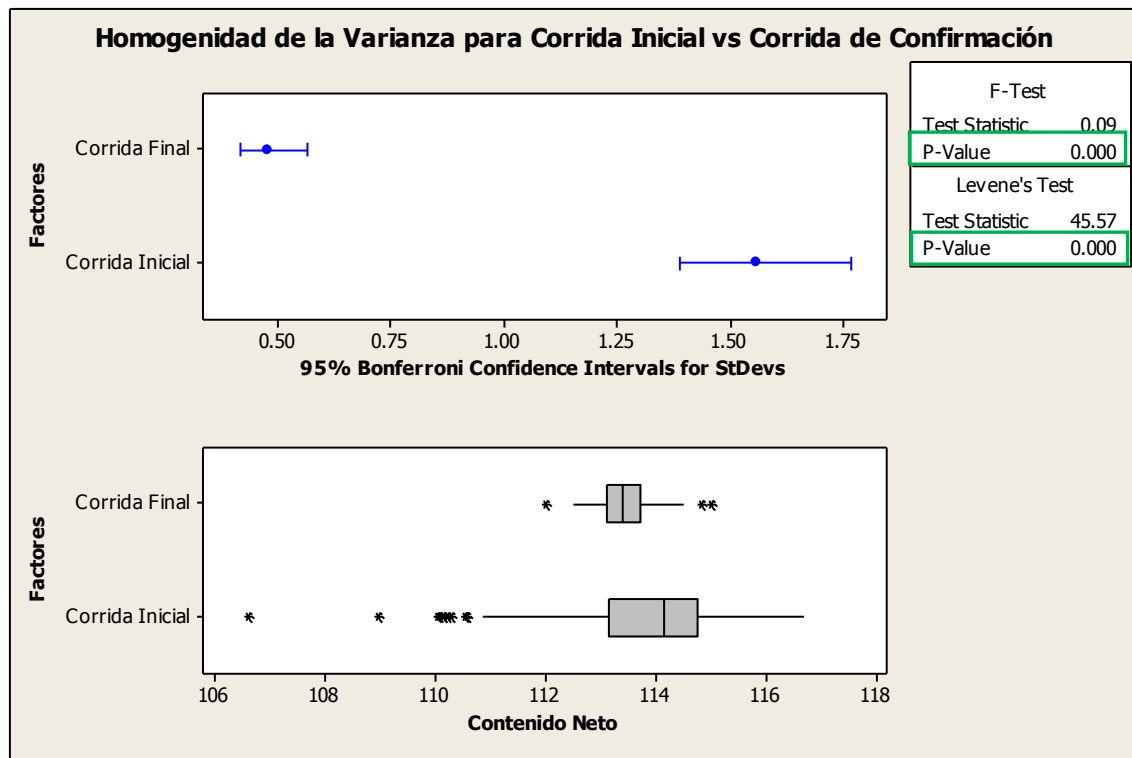
Dónde:

$\sigma_1$  = Variación inicial del proceso

$\sigma_2$  = Variación final del proceso

En la Figura 29 se muestran los resultados de la prueba de homogeneidad de la varianza realizada en la con el software Minitab 16, los valores de P-value

indican que si existe una diferencia significativa. Gráficamente se observa que la variación del proceso al final es mucho menor que la variación del proceso inicial.



**Figura 28** Prueba de homogeneidad de la varianza corrida inicial vs corrida de confirmación.

En la Figura 30 se muestra un análisis comparativo de la capacidad de proceso entre la corrida inicial y la corrida de confirmación. Las gráficas de la izquierda de la figura, muestran claramente que hubo una reducción de la variación del proceso en la corrida de confirmación respecto a la corrida inicial. Además se observa que el proceso de la corrida de confirmación está más centrado en el target. El valor del Ppk aumento de 0.47 a 1.79 y los DPMOs se redujeron de 40000 a 0. Este análisis fue realizado con el software Minitab 16.

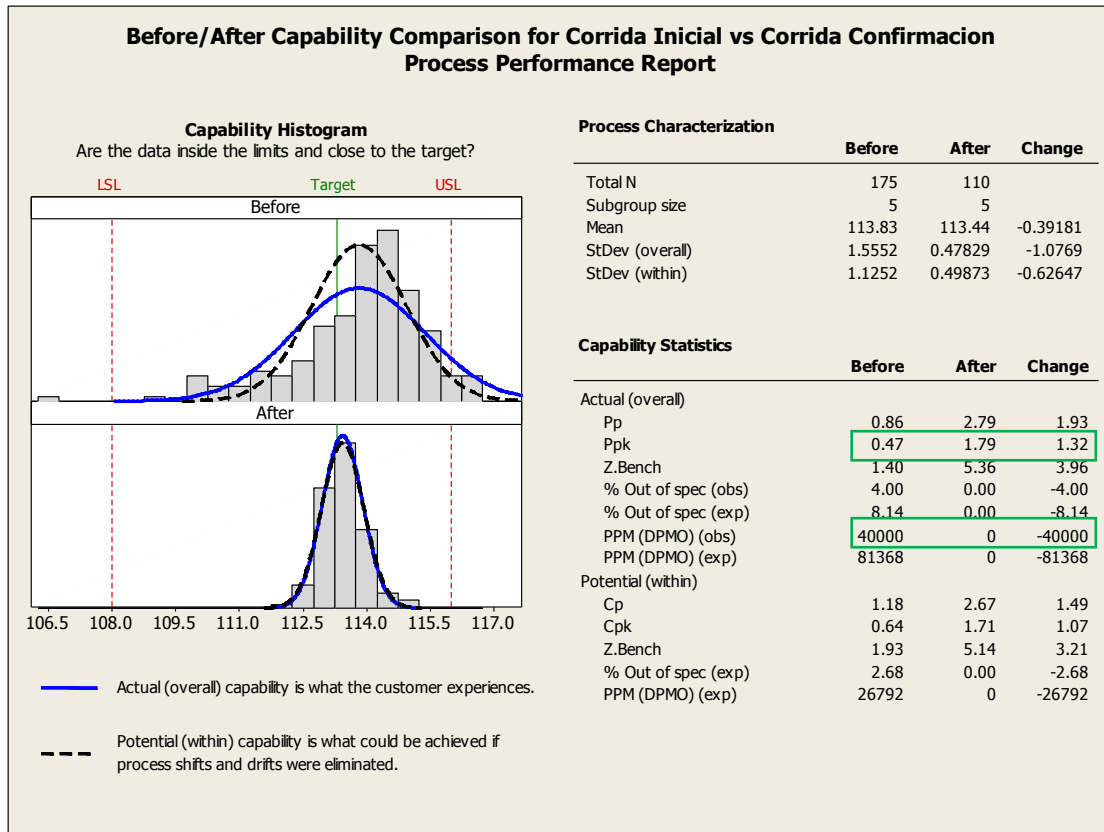


Figura 29 Comparación de Capacidad de proceso antes y después de DMAIC

En la Figura 31 se muestra que la desviación estándar del proceso fue reducida de manera significativa de acuerdo al valor de P-value < 0.05. También el valor del P-value para el cambio en la media muestra que hubo un cambio significativo en la media del proceso, ahora el proceso está más cerca del target.

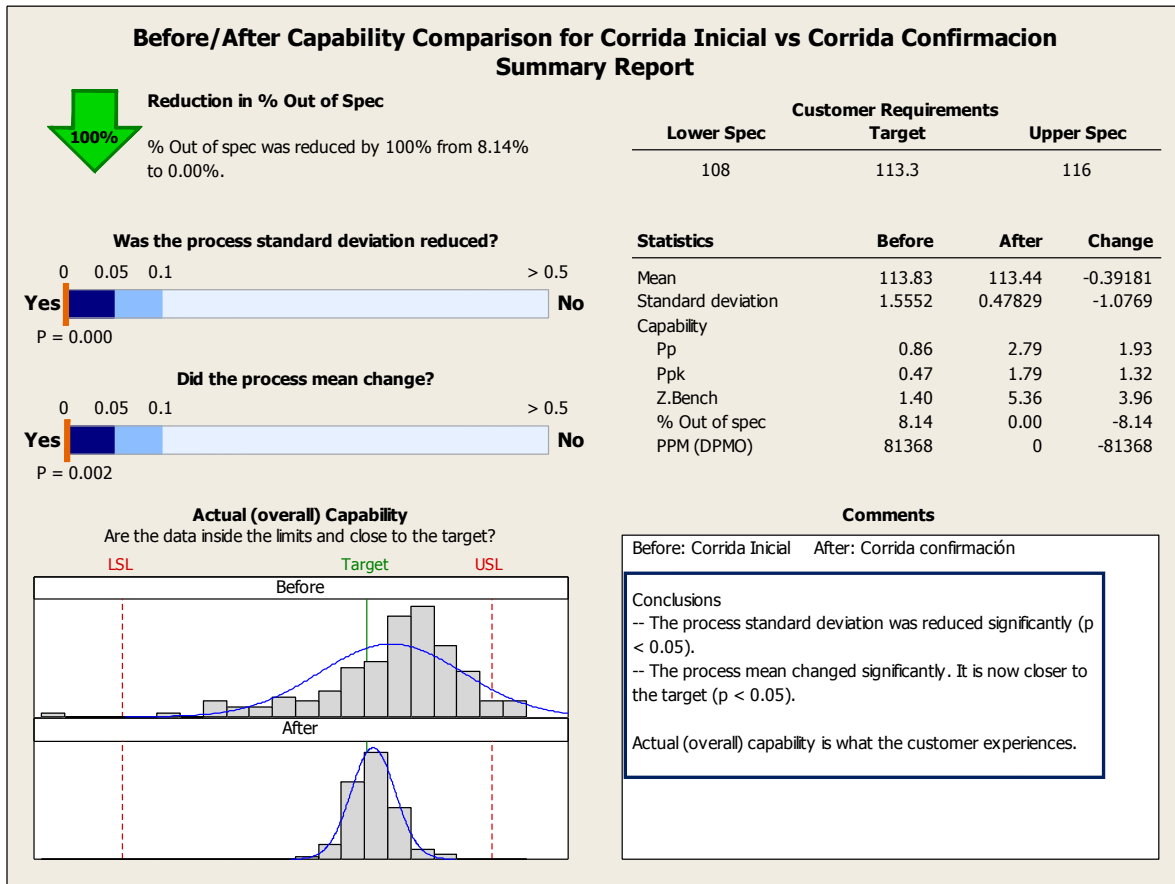


Figura 30 Resumen análisis de capacidad antes y después de DMAIC

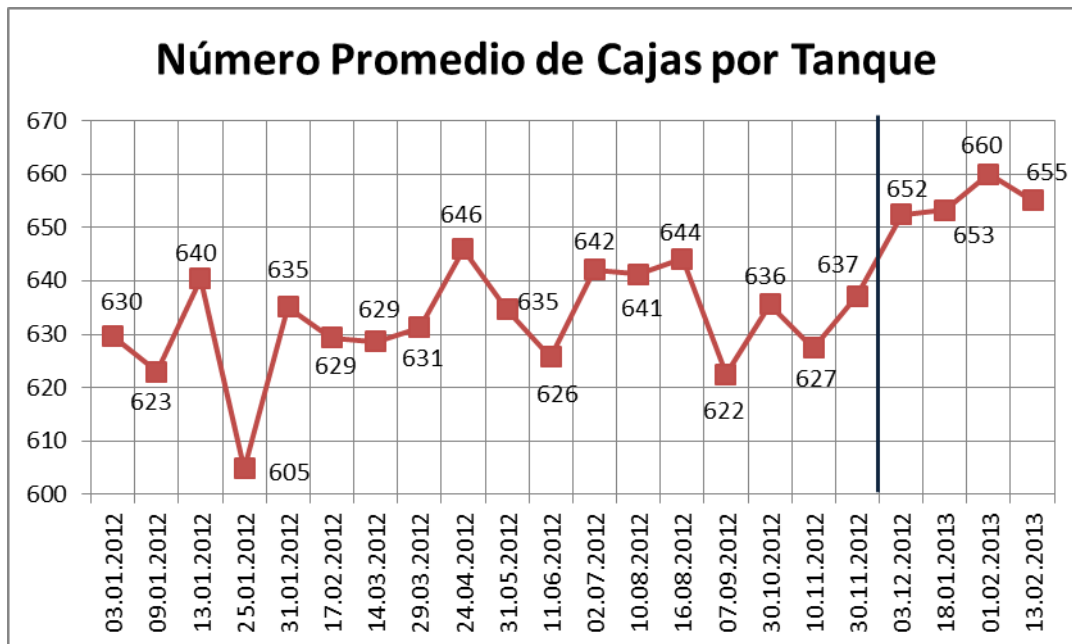
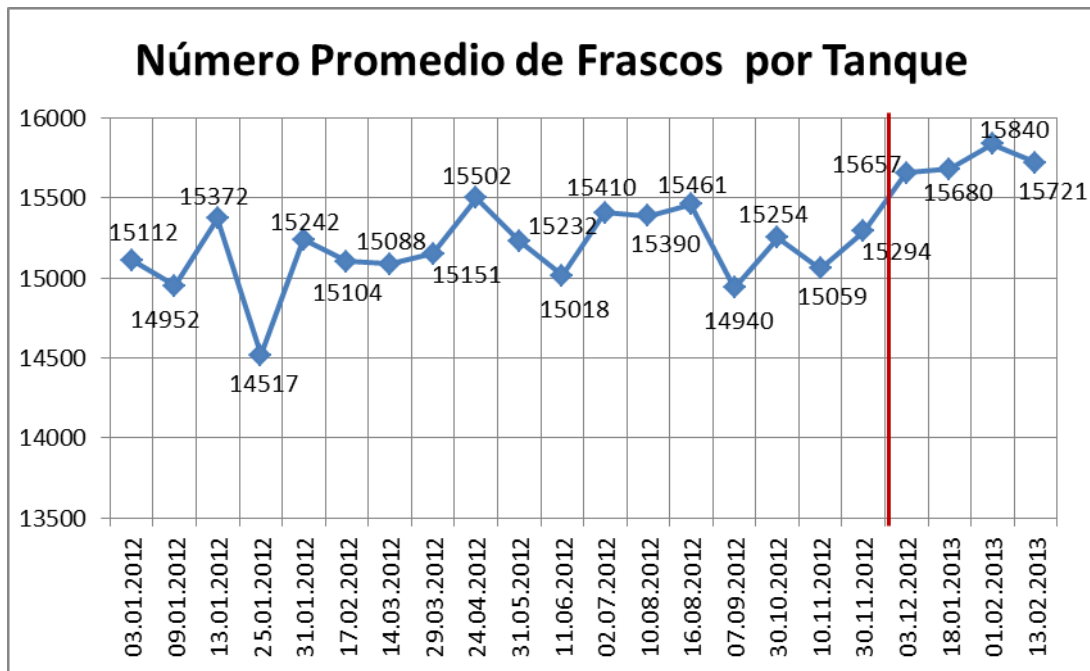


Figura 31 Número promedio de cajas por tanque

En la Figura 32 se muestra el historial de los rendimientos promedio en número de cajas por tanque formulado para el producto 9590221 antes de las mejoras. Los cuatro valores después de la línea negra indican los rendimientos obtenidos después de las mejoras.



**Figura 32** Número promedio de frascos por tanque

En la Figura 33 se muestra el historial de los rendimientos promedio en número de frascos por tanque formulado para el producto 9590221 antes de las mejoras. Los cuatro valores después de la línea roja indican los rendimientos obtenidos después de las mejoras.

#### 4.5 Resultados de la Fase Controlar

##### 4.5.1 Plan de control



Después de que se validó que las mejoras realizadas, tuvieron un resultado positivo y que se alcanzaron los objetivos planificados, se desarrolló un plan de control para lograr mantener estas mejora a través del tiempo. En la Tabla 24, se muestran descritas todas las actividades que se tienen que realizar para mantener las mejoras logradas en el proceso de llenado de la línea B.

**Tabla 25 Plan de control**

PLAN DE CONTROL								
<b>Departamento:</b>	Fabricación		<b>Línea:</b>	B				F.FQNN.F-090-0
<b>Proceso:</b>	Llenaje		<b>Página:</b>	1	de: 2			
<b>Ubicación:</b>	Área de Llenadora		<b>Fecha de Revisión:</b>	01/02/2013				
<b>Carácterística/ Parámetro</b>	<b>Especificaciones requeridas</b>	<b>Método de medición</b>	<b>Tamaño de muestra</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Quién Mide</b>	<b>Dónde Mide</b>	<b>Dónde se Registra</b>	<b>Regla de decisión/Medida correctiva</b>
Verificación de calibración de balanza analítica	Calibración vigente	Verificación	1	cada año	Técnico Instrumentista	Caseta de Llenadoras	F.FQNN.I-010-0 Hoja de registro calibración de balanzas	Enviar a calibrar balanza analítica Mettler Toledo PG 2002-5
Verificación de balanza analítica Mettler Toledo PG 2002-5	Balanza nivelada (Valor master-lectura balanza) <= 0.1 g	I.FQNN.F-091-0 Instructivo verificación de balanza analítica	1	1 vez al inicio de cada turno	Técnico de Llenadora	Caseta de Llenadoras	Sistema SIMCA	Ajustar nivelación de balanza Solicitar calibración de blanza
Monitoreo de peso Neto	Carta Xbarra LCS = 113.3 LCI = 112.97 Carta S LCS = 0.804 LCI = 0.133	I.FQNN.F-092-0 Instructivo para determinar contenido neto	10 frascos	cada 30 minutos	Técnico de Llenadora	Caseta de Llenadoras	Sistema SIMCA	Ajuste de nivel de llenado/Solicitar apoyo a mantenimiento
Verificación de armado de llenadora	Válvulas, pistones y camisas empataadas	Inspección visual	35	Al inicio del turno	Técnico de mantenimiento	Llenadora	F.FQNN.F-017-2 Check List Llenadora	Colocar partes en posición correcta
Cambio de orings de pistones y válvulas	Cumplimineto a plan de mantenimiento	Verificación	35	Cada 15 días	Técnico de mantenimiento	Llenadora	F.FQNN.I-011-0 Hoja de registro cambio de orings	Cambio de orings

Continuación Tabla 24

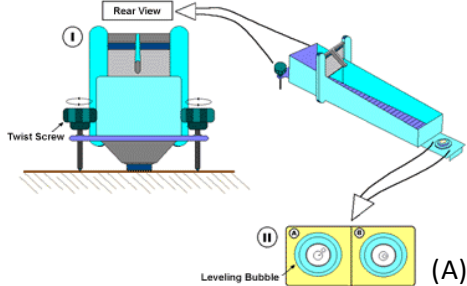
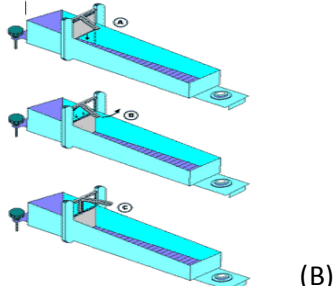
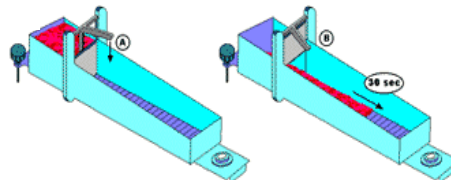
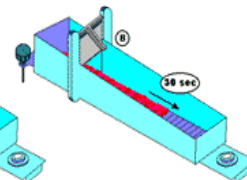
PLAN DE CONTROL								
<b>Departamento:</b>	Fabricación			<b>Línea:</b>		B		F.FQNN.F-090-0
<b>Proceso:</b>	Llenaje			<b>Página:</b> 2		de: 2		
<b>Ubicación:</b>	Área de llenadora			<b>Fecha de Revisión:</b>		2/1/2013		
<b>Carácterística/ Parámetro</b>	<b>Especificaciones requeridas</b>	<b>Método de medición</b>	<b>Tamaño de muestra</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Quién Mide</b>	<b>Dónde Mide</b>	<b>Dónde se Registra</b>	<b>Regla de decisión/Medida correctiva</b>
Cambio de empaques de pistones y válvulas	Cumplimiento a plan de mantenimiento	Verificación	35	Cada 6 meses	Técnico de mantenimiento	Llenadora	F.FQNN.I-012-0 Hoja de registro cambio de empaques	Cambio de empaques
Monitoreo de consistencia de producto	LCS = 8.62	I.FQNN.F-093-0 Instructivo para medir consistencia	100 g	Cada tanque formulado	Técnico de cocina	Área de formulación	F.FQNN.F-094-0 Control de cocina	Ajustar consistencia de producto
	LCI = 6.73							

PLAN DE CONTROL DISPOSITIVO DE MEDICIÓN	I.FQNN.F-091-0
INSTRUCTIVO PARA VERIFICACIÓN DE BALANZA ANALITICA	Pagina 1 de 1
Descripción de actividades	Imagen
1. Verificar que la balanza analitica este bien nivelada. Esto se realiza verificando que la burbuja de nivelación este dentro del círculo, como se muestra en la imagen.	
2. Si la burbuja de nivelación este decentrada, ajustar la altura de las patas de la balanza hasta tener la nivelación correcta.	
3. Pesar las pesas estándar de 10, 20 y 200 g de manera individual para verificar la exactitud de la balanza con las pesas estándar de 10, 20 y 200 g.	
4. Verificar que la diferencia entre el valor master y la lectura de la balanza no sea mayor a 0.1 g.	
5. Registrar los resultados en el sistema SIMCA.	

**Figura 33** Instructivo para verificación de balanza analítica

En la Figura 34 se muestra el instructivo para la verificación de la balanza analítica utilizada para la determinación del contenido neto.



INSTRUCTIVO PARA MEDIR CONSISTENCIA DE PRODUCTO	I.FQNN.F-093-0
Pagina 1 de 1	
Descripción de actividades	Imagen
<p>1. Verifique que la burbuja de nivelación este centrada. En caso de ser necesario, ajustar la altura de las patas del consistometro para tener la nivelación correcta.</p>	 <p>Diagram (A) illustrates the leveling process. It shows a rear view of the consistometer with a leveling bubble. The bubble is centered between two marks, indicating that the instrument is level. Labels include 'Rear View', 'Twist Screw', and 'Leveling Bubble (A)'.</p>
<p>2. Coloque la compuerta en posición cerrada como se muestra en la imagen.</p>	 <p>Diagram (B) shows the gate of the consistometer in the closed position. The gate is a vertical plate that can be moved to allow or prevent the product from flowing through the channel. It is shown in three different positions: (a) closed, (b) partially open, and (c) fully open. Label (B) is at the bottom right.</p>
<p>3. Coloque el producto a evaluar en el compartimento que se muestra en la figura.</p>	 <p>Diagram (C) shows the product being placed into the channel of the consistometer. The product is shown as a red mass being poured into the channel. Label (C) is at the bottom left.</p>
<p>4. Abra la compuerta del consistometro rápidamente y deje correr el producto por 5 segundos sobre el carril graduado del consistometro.</p>	 <p>Diagram (D) shows the product flowing through the channel of the consistometer. The product is shown as a red mass moving through the channel. A timer icon indicates a 5-second duration. Label (D) is at the bottom right.</p>
<p>5. Al término de los 5 segundos, tome la lectura.</p>	

**Figura 34** Instructivo para determinar consistencia de producto

En la Figura 35 (A, B, C y D) se muestra el instructivo para la determinación de la consistencia en la línea de proceso.

En la Tabla 26 se muestra el check list para la verificación del armado de la llenadora en el cuál se incluye la verificación de la correspondencia de orings y válvulas con su respectiva camisa.

**Tabla 26** Check list de llenadoras

MANTENIMIENTO		CHECK LIST DE LLENADORAS													
		IDENTIFICACIÓN:					F.QNN.F-017-2								
FECHA:					TURNO:		HORA DE ARRANQUE:								
											LÍNEA "B"				
TRANSPORTADORES							CERRADORA								
Formato	Lubricación			Laterales Guías		Guía Superior			Formato	Tapa					
	4 oz	6 oz	100 grs.	4 oz	6 oz	4 oz	6 oz	100 grs.		4 oz=3.8	6 oz=4.8				
Mesa de Inspección	0.60%	0.80%	0.60%	2 3/8	2 3/8	3	3 13/16	2 15/16	Altura de regleta	Punto 1		Punto 2			
Horizontal-arriba	0.60%	0.60%		2 3/8	2 3/8	3	3 13/16	2 15/16		4 oz	6 oz	100 grs.	4 oz	6 oz	100 grs.
Inclinada volteador 1	0.60%	0.60%		2 3/8	2	3	3 13/16	2 15/16	Nivel	0.78		1 1/16	0.7	1 3/16	
Lavador volteador 2	0.60%	0.60%		2 1/8	2	2 1/8	3 13/16	2 15/16	Altura en tornillo	1.25	3 1/3	1.29	3 5/16		
Entrada a llenadora	0.60%	0.60%		2 3/8	2 3/8	2 13/16	3 13/16	2 15/16	Presión						
Lubricación															
LLENADORA															
Sincronización:				Formato											
				1			2			Verificación de armado					
				Guía superior	Guía lateral					No. Carrisa	No. Válvula	No. Pistón	Observación		
	4 oz	6 oz	4 oz	6 oz	100 grs.										
Estrella monitoreo	2 13/16	3 13/16	2 3/8	2 3/8			1								
Gusano de entrada	2 13/16	3 13/16	2 3/8	2 3/8			2								
Gusano Estrella 1	2 13/16	3 13/16	2 3/8	2 3/8			3								
Estrella 1 - Guía respaldo	2 13/16	3 13/16	2 3/8	2 3/8			4								
Estrella 1 - Estrella 2			2 3/8	2 3/8			5								
Estrella 2 - Guía media de Estrella 1			2 3/8	2 3/8			6								
Estrella 2 - Barandal			2 1/2	2 1/2			7								
Estrella 2 - Cadena Lateral			2 1/2	2 1/2			8								
Transferencia Estrella 1 - Estrella 2			≈ 1 1/16	≈ 1 1/16			9								
Transferencia Estrella 2 - Cadena Salida			≈ 1 1/16	≈ 1 1/16			10								
Guía salida superior - Barandal							11								
Guía salida inferior - Brandal							12								
Transp. - Cadena Lateral							13								
Lubricación							14								
<b>Sincronización de Estrella de Tapa</b>							15								
Estrella-Tapa							16								
Tapa-Frasco							17								
Plancha-Frasco							18								
Observaciones:							19								
							20								
							21								
							22								
							23								
							24								
							25								
							26								
							27								
							28								
							29								
							30								
							31								
							32								
							33								
							34								
							35								
REALIZO						ESPECIALISTA TÉCNICO									
FIRMA:						FIRMA:									
NOMBRE:						NOMBRE:									



**Tabla 28** Hoja de registro para calibración de balanzas

HOJA DE REGISTRO PARA CALIBRACION DE BALANZAS							
No.	Ubicación de balanza	Descripción	Número de serie	Marca	Responsable de calibración	Fecha de calibración	Próxima fecha de calibración
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
13							
14							
15							
16							
17							
18							
19							
20							
21							
22							
23							
24							
25							
26							

Comentarios:

F.FQNN.I-010-0

Vigente a partir de: dic-12

En la Tabla 28 se muestra la hoja de registro para el control de la calibración de las balanzas.

**Tabla 29** Hoja de registro para cambio de orings de llenadoras

HOJA DE REGISTRO PARA CAMBIO DE ORINGS DE LLENADORAS						
No.	Línea	Frecuencia	Técnico de mantenimiento	Fecha de cambio	Próxima fecha de cambio	Observaciones
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						
21						
22						
23						
24						
25						
26						

Comentarios:

F.FQNN.I-011-0

Vigente a partir de: dic-12

En la Tabla 29 se muestra la hoja de registro para el control de cambio de orings de válvulas y pistones de las llenadoras.

**Tabla 30** Hoja de registro para cambio de empaques de llenadoras

HOJA DE REGISTRO PARA CAMBIO DE EMPAQUES DE LLENADORAS						
No.	Línea	Frecuencia	Técnico de mantenimiento	Fecha de cambio	Próxima fecha de cambio	Observaciones
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						
21						
22						
23						
24						
25						
26						

Comentarios:

F.FQNN.I-012-0

Vigente a partir de: dic-12

En la Tabla 30 se muestra la hoja de registro para el control de cambio de empaques de válvulas y pistones de la llenadora.

En la Tabla 31 se muestra la proyección de ahorros en 2013 para el producto 9590221 si se mantienen las mejoras alcanzadas. El ahorro total anual será de 141,168.46 pesos.

**Tabla 31** Proyección de ahorros para sobrellenado en 2013

Forecast 2013 para Producto 9590221			Proyección de Perdidas		Proyección de Ahorro	
Mes	Cajas	Frascos	Proyección frascos perdidos antes de mejora	Proyección frascos perdidos después de mejora	Diferencia en número de frascos	Ahorro Esperado
Enero	33542	805008	8905	2137	6768	21,453.82
Febrero	12702	304848	3372	809	2563	8,124.33
Marzo	24532	588768	6513	1563	4950	15,690.93
Abril	13257	318168	3520	845	2675	8,479.32
Mayo	23776	570624	6312	1515	4797	15,207.38
Junio	12976	311424	3445	827	2618	8,299.59
Julio	12976	311424	3445	827	2618	8,299.59
Agosto	15807	379368	4197	1007	3189	10,110.33
Septiembre	20567	493608	5460	1310	4150	13,154.87
Octubre	25096	602304	6663	1599	5064	16,051.67
Noviembre	16441	394584	4365	1048	3317	10,515.84
Diciembre	9038	216912	2399	576	1824	5,780.80
<b>TOTAL ANUAL</b>	<b>220,710</b>	<b>5,297,040</b>	<b>58,596</b>	<b>14,063</b>	<b>44,533</b>	<b>141,168.46</b>

## CONCLUSIONES

En base a los resultados obtenidos se concluye que se cumple la hipótesis planteada: Es posible reducir la variación del proceso de llenado en una la línea de papillas de fruta, a través de la aplicación de la metodología DMAIC para la reducción de costos por sobredosificación en producto terminado. Se acepta  $H_a$ .

$H_0: \sigma_1 = \sigma_2$  y  $H_a: \sigma_2 > \sigma_1$ . Dónde,  $\sigma_1$  es la variación inicial del proceso de llenado y  $\sigma_2$  es la variación final del proceso de llenado después de aplicar el DMAIC.

Con la aplicación de la metodología DMAIC, se logró reducir la variabilidad del proceso de llenado un 70 %. Al inicio de la investigación, la desviación estándar del proceso era de 1.55 y al final se redujo a 0.47. Esta reducción de la variabilidad, permitió centrar el proceso en el target, sin incumplir con los requerimientos regulatorios de la NOM 002 SCFI.

Con las mejoras logradas, se espera tener un ahorro de MXP \$ 141,168.46 anual en 2013.

Los principales factores identificados, que afectan el nivel de llenado del producto 9590221, fabricado por la línea B son: El correcto ajuste de la altura de los pistones de la llenadora, variaciones en la consistencia del producto ( $^{\circ}Bw$ ), orings y empaques de pistones y válvulas desgastados y rodajas de teflón de pistones desgastados.



## LITERATURA CITADA

- Adner, G. (2011). Managing Manufacturing Performance. *Technical Instruction*, 32.
- Aljohani, M. S., & Mored, A. A. (2009). Optimal Variance Reduction Technique that Minimizes Filling Production Cost with Optimum Target Weight. *Industrial & Management Systems Engineering*, 1 - 5.
- Breyfogle, F. W. (1999). Smarter Solution Using Statistical Methods. *Implementing Six Sigma*, 23-24.
- Griffin, S. J., Hull, J. B., & Lai, E. (2001). Development of a Novel Ultrasound Monitoring System for Container Filling Operations. *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 109, 72.
- Haley, T. A., & Mulvaney, S. J. (1995). Advanced Process Control Techniques for the Food Industry. *Trends in Food Science & Thechnology*, (6), 103 - 105.
- Jeffries, M., Lai, E., & Hull, J. (2003). A new approach to process control for a bottling plant. *Journal of Material Processing Technology*, 122 - 127.
- Kanji, K. (2008). Reality Check of Six Sigma for Business Excellence. *Total Quality Management*, 19, 6, 575 - 582.
- Koenigsberg, O., & Montoya, R. K. (2010). Package size decisions. *Management Science*, 56, 485 - 494.
- Kumar, U. D., David Nowicki, J., Ramírez-Marquez, E., & Verma, D. (2008). On the optimal selection of process alternatives. *Int. J. Production Economics*, 111, 456 - 467.
- Lee, R. (2005, March 8). McDonald adopts business practice that made GE Famous. *Knight Ridder Tribune Business News, Washington*, p. 1.
- M. Jeffries, E. L. (2003). A new approach to process control for a bottling plant. *Journal of Materials Processing Technology*, 122 - 127.
- Maraghy, H., Azab, A., Schuh, G., & Pulz, C. (2009). Managing variations in products, processes and manufacturing systems. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 58, 441 - 446.
- NOM-002. (2011). Productos preenvasados-Contenido neto-Tolerancias y métodos de verificación. *Norma Oficial Mexicana*, 1.
- Pan, D. Z., Yu, P., Cho, M., Ramalingam, A., Kim, K., Rajaram, A., et al. (2008). Design for manufacturing meets advanced process control: A survey. *Journal of Process Control*, 18, 975 - 984.

- Pedersen, L. (1991). Assessment of sensors used in the food industry. *Food Control*, 87 - 97.
- Rahaman, M., Bari, S., & Veale, D. (2008). Flow investigation of the product fill valve of filling machine. *Journal of Food Engineering*, 85, 252 - 258.
- Rai, B. K. (2008). Implementation of statistical process control in an Indian tea packaging company. *Int. J. Business Excellence*, 160 - 175.
- Rajaram, K., & Robotis, A. (2004). Analyzing variability in continuous processes. *European Journal of Operational Research*, 156, 312 - 325.
- Ridgway, J., Henthorn, K., & Hull, J. (1999). Controlling of overfilling in food processing. *Journal of Materials Processing Technology*, 92 - 93, 360 - 367.
- Roux, A. (2011). Net Content Technical Features (Fillers, Weighing devices, Statistical tests). *Technical Instruction*, 6, 7.
- Roux, A. (2011). Net Control monitoring and Control. *Technical Instruction*, 4.
- Schulthess, R. (2002). WEIGHING. *Encyclopaedia of Food Science and Food Technology and Nutrition*, 2 - 8.
- Shao, Y. E., Fowler, J. W., & Runger, G. C. (2000). Determining the optimal target for a process with multiple. *Int. J. Production Economics*, 65, 229 - 242.
- Sung, H.-C. H.-H. (2011). Applying six sigma to manufacturing processes in the. *Scientific Research and Essays*, 6, 3, 580 - 591.
- Tomaselli, Y. (2011). Net Content Program Using Static Scales. *Technical Instruciones*, 1 - 8.
- Vitner, G., & Bechar, A. (2011). Count-to-weight transform of pre-packed packages, a case study: An efficient implementation of the NIST Handbook 133 requirements. *biosystems engineering*, 108, 204 - 210.
- Vitner, G., Giller, A., & Pat, L. (2006). A Proposed Method for the Packaging of Plant Cuttings to reduce Overfilling. *Biosystems Engineering*, 93,3,353 - 358.
- Walter, R. (2011). Net Content Management. *Technical Instruction*, 3.
- William, W. W., Tang, K., & Linguo, G. (2000). Process Improvement for a Container Filling Process with Random Shifts. *International Journal of Production Economics*, Vol. 66 23 - 31.
- Zeng, Z., Whalley, R., & Hull, J. B. (1995). The Monitoring and Control of a Retail Food Container Filling Machine. *Journal of Process Mechanical Engineering*, 1-3.

Zu, X., Friendendall, L. D., & Douglas, T. (2008). The evolving Theory of Quality Management: The Role of Six Sigma. *Journal of Operations Management*, 1.

## GLOSARIO

ANN: Red Neural Artificial (Artificial Neural Network)  
CEP: Control estadístico de Procesos  
CTQ: Crítico para la calidad (Critical to Quality)  
DMAIC: Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar (Define Measure Analyze Improve Control)  
TNE: Error Negativo Tolerable (Error Negativo Tolerable)  
Minitab: Software estadístico.  
NIST: Instituto Nacional Americano de Estándares  
USA: Estados Unidos de América (United States of America)  
SIPOC: Proveedor, Entrada, Proceso, Salida, Cliente (Supplier Input Process Output Customer)  
GAP: Diferencia entre situación actual y objetivo de mejora  
DOE: Diseño de estadístico de experimentos (Design of experiments)  
ANOVA: Análisis de Varianza

**ANEXOS**

**ANEXO 1. Mediciones para Gage R&R para sistema de medición inicial.**

**Tabla 32** Mediciones para Gage R&R para sistema de medición inicial

<b>Mediciones para el Gage R&amp;R</b>				
<b>Número de parte</b>	<b>Operador</b>	<b>Réplicas</b>		
		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
<b>1</b>	<b>A</b>	107.59	107.59	107.58
	<b>B</b>	108.47	108.46	108.46
	<b>C</b>	107.79	107.79	107.78
<b>2</b>	<b>A</b>	110.26	110.26	110.26
	<b>B</b>	111.14	111.13	111.14
	<b>C</b>	110.46	110.45	110.46
<b>3</b>	<b>A</b>	110.61	110.61	110.61
	<b>B</b>	111.48	111.49	111.49
	<b>C</b>	110.79	110.80	110.81
<b>4</b>	<b>A</b>	111.43	111.43	111.43
	<b>B</b>	112.31	112.31	112.29
	<b>C</b>	111.63	111.63	111.62
<b>5</b>	<b>A</b>	112.10	112.10	112.10
	<b>B</b>	112.98	112.97	112.98
	<b>C</b>	112.30	112.30	112.30
<b>6</b>	<b>A</b>	112.79	112.79	112.79
	<b>B</b>	113.66	113.67	113.67
	<b>C</b>	112.99	112.99	112.99
<b>7</b>	<b>A</b>	113.35	113.35	113.35
	<b>B</b>	114.24	114.23	114.23
	<b>C</b>	113.55	113.55	113.55
<b>8</b>	<b>A</b>	113.85	113.85	113.84
	<b>B</b>	114.73	114.73	114.73
	<b>C</b>	114.05	114.05	114.05
<b>9</b>	<b>A</b>	114.55	114.55	114.56
	<b>B</b>	115.43	115.43	115.43
	<b>C</b>	114.75	114.75	114.75
<b>10</b>	<b>A</b>	116.07	116.07	116.06
	<b>B</b>	116.95	116.94	116.94
	<b>C</b>	116.27	116.27	116.27

**ANEXO 2. Mediciones para Gage R&R de sistema  
de medición después de mejora.**

**Tabla 33** Mediciones para Gage R&R de sistema de medición después de mejora

Mediciones para el Gage R&R				
Número de parte	Operador	Réplicas		
		1	2	3
1	A	106.62	106.62	106.61
	B	106.62	106.61	106.61
	C	106.62	106.62	106.61
2	A	110.28	110.28	110.28
	B	110.28	110.27	110.28
	C	110.28	110.27	110.28
3	A	111.42	111.42	111.42
	B	111.41	111.42	111.42
	C	111.4	111.41	111.42
4	A	112.71	112.71	112.71
	B	112.71	112.71	112.69
	C	112.71	112.71	112.7
5	A	111.41	111.41	111.41
	B	111.41	111.4	111.41
	C	111.41	111.41	111.41
6	A	113.82	113.819	113.82
	B	113.81	113.819	113.82
	C	113.82	113.819	113.82
7	A	115.25	115.25	115.25
	B	115.26	115.25	115.25
	C	115.25	115.25	115.25
8	A	114.1	114.1	114.09
	B	114.1	114.1	114.1
	C	114.1	114.1	114.1
9	A	115	115	115.01
	B	115	115	115
	C	115	115	115
10	A	115.61	115.61	115.6
	B	115.61	115.6	115.6
	C	115.61	115.61	115.61

### ANEXO 3. Datos de corrida inicial

Tabla 34 Datos de corrida inicial

Datos de Corrida de Confirmación					
Producto:	9590221				
Fecha	Contenido Neto	Fecha	Contenido Neto	Fecha	Contenido Neto
10/11/2012	112.7	10/11/2012	115.83	10/11/2012	113.5
10/11/2012	106.62	10/11/2012	115.72	10/11/2012	115.39
10/11/2012	113.29	10/11/2012	116.59	10/11/2012	115.98
10/11/2012	111.88	10/11/2012	116.09	10/11/2012	114.24
10/11/2012	111.41	10/11/2012	115.73	10/11/2012	110.28
10/11/2012	113.82	10/11/2012	114.68	10/11/2012	113.76
10/11/2012	115.26	10/11/2012	115.03	10/11/2012	113.82
10/11/2012	114.86	10/11/2012	113.9	10/11/2012	114.37
10/11/2012	114.23	10/11/2012	116.68	10/11/2012	113.73
10/11/2012	114.61	10/11/2012	115.61	10/11/2012	114.67
10/11/2012	115.02	10/11/2012	114.65	10/11/2012	115.61
10/11/2012	115.11	10/11/2012	113.61	10/11/2012	115.3
10/11/2012	115.51	10/11/2012	114.69	10/11/2012	114.75
10/11/2012	115.12	10/11/2012	115.68	10/11/2012	112.06
10/11/2012	116.3	10/11/2012	114.97	10/11/2012	110.09
10/11/2012	114.56	10/11/2012	114.87	10/11/2012	108.98
10/11/2012	114.29	10/11/2012	114.53	10/11/2012	110.53
10/11/2012	115.01	10/11/2012	114.15	10/11/2012	113.2
10/11/2012	116.52	10/11/2012	114.61	10/11/2012	112.05
10/11/2012	115.16	10/11/2012	115.9	10/11/2012	112.71
10/11/2012	114.96	10/11/2012	115.04	10/11/2012	111.58
10/11/2012	114.18	10/11/2012	114.54	10/11/2012	112.05
10/11/2012	114.79	10/11/2012	112.75	10/11/2012	111.6
10/11/2012	114.54	10/11/2012	114.04	10/11/2012	111.69
10/11/2012	115.63	10/11/2012	114.15	10/11/2012	111.22
10/11/2012	114.19	10/11/2012	113.15	10/11/2012	113.04
10/11/2012	113.89	10/11/2012	112.91	10/11/2012	112.71
10/11/2012	113.97	10/11/2012	113.26	10/11/2012	110.03
10/11/2012	114.18	10/11/2012	113.46	10/11/2012	113.04
10/11/2012	114.14	10/11/2012	113.47	10/11/2012	114.29

Continuación Tabla 28

<b>Datos de Corrida de Confirmación</b>					
<b>Producto:</b>	<b>9590221</b>				
<b>Fecha</b>	<b>Contenido Neto</b>	<b>Fecha</b>	<b>Contenido Neto</b>	<b>Fecha</b>	<b>Contenido Neto</b>
10/11/2012	114.05	10/11/2012	113.04	10/11/2012	114.13
10/11/2012	115	10/11/2012	113.85	10/11/2012	114.3
10/11/2012	113.91	10/11/2012	113.31	10/11/2012	110.57
10/11/2012	113.5	10/11/2012	113.4	10/11/2012	113.64
10/11/2012	113.8	10/11/2012	112.72	10/11/2012	110.16
10/11/2012	114.13	10/11/2012	113.37	10/11/2012	114.38
10/11/2012	114.33	10/11/2012	112.78	10/11/2012	114.55
10/11/2012	114.79	10/11/2012	112.83	10/11/2012	115.71
10/11/2012	114.37	10/11/2012	112.79	10/11/2012	114.83
10/11/2012	114.67	10/11/2012	112.51	10/11/2012	114.19
10/11/2012	114.53	10/11/2012	111.42	10/11/2012	115.15
10/11/2012	114.12	10/11/2012	110.86	10/11/2012	114.57
10/11/2012	114.51	10/11/2012	111.33	10/11/2012	115.95
10/11/2012	114.26	10/11/2012	111.82	10/11/2012	113.3
10/11/2012	114.38	10/11/2012	111.13	10/11/2012	113.26
10/11/2012	114.76	10/11/2012	112.84	10/11/2012	114.14
10/11/2012	114.75	10/11/2012	112.95	10/11/2012	115.36
10/11/2012	114.06	10/11/2012	113.13	10/11/2012	114.38
10/11/2012	114.44	10/11/2012	113.24	10/11/2012	115.25
10/11/2012	114.69	10/11/2012	112.67	10/11/2012	114.52
10/11/2012	113.3	10/11/2012	114.1	10/11/2012	112.31
10/11/2012	114.45	10/11/2012	115.25	10/11/2012	113.81
10/11/2012	116.55	10/11/2012	113.73	10/11/2012	115
10/11/2012	114.19	10/11/2012	113.59	10/11/2012	112.63
10/11/2012	114.62	10/11/2012	113.94	10/11/2012	112.83
10/11/2012	114.76	10/11/2012	115.13		
10/11/2012	114.5	10/11/2012	110.22		
10/11/2012	114.32	10/11/2012	110.14		
10/11/2012	114.26	10/11/2012	114.1		
10/11/2012	114.11	10/11/2012	114.4		



**ANEXO 4. Datos de corrida de confirmación**

**Tabla 35 Datos de corrida de confirmación**

<b>Datos de Corrida de Confirmación</b>					
<b>Producto:</b>	<b>9590221</b>				
<b>Fecha</b>	<b>Contenido Neto</b>	<b>Fecha</b>	<b>Contenido Neto</b>	<b>Fecha</b>	<b>Contenido Neto</b>
14/12/2012	113.5	14/12/2012	113.1	14/12/2012	113.5
14/12/2012	113.3	14/12/2012	112.6	14/12/2012	113
14/12/2012	113.8	14/12/2012	113.3	14/12/2012	113.8
14/12/2012	113.4	14/12/2012	113.8	14/12/2012	112.7
14/12/2012	113.9	14/12/2012	114	14/12/2012	113.6
14/12/2012	113.4	14/12/2012	113.8	14/12/2012	113
14/12/2012	113.9	14/12/2012	113.3	14/12/2012	112.8
14/12/2012	113.5	14/12/2012	112.6	14/12/2012	114.3
14/12/2012	114.1	14/12/2012	113.2	14/12/2012	113.8
14/12/2012	113.9	14/12/2012	113.8	14/12/2012	113.3
14/12/2012	113	14/12/2012	113.1	14/12/2012	114
14/12/2012	113.7	14/12/2012	112	14/12/2012	113
14/12/2012	113.5	14/12/2012	114.4	14/12/2012	113.3
14/12/2012	113.1	14/12/2012	113.7	14/12/2012	113.8
14/12/2012	113.1	14/12/2012	113.1	14/12/2012	113.4
14/12/2012	112.5	14/12/2012	113	14/12/2012	113.2
14/12/2012	113.4	14/12/2012	113.3	14/12/2012	113
14/12/2012	113.5	14/12/2012	113.6	14/12/2012	114.5
14/12/2012	113.5	14/12/2012	113.5	14/12/2012	113
14/12/2012	113.1	14/12/2012	113.2	14/12/2012	113.7
14/12/2012	113.5	14/12/2012	113	14/12/2012	113.1
14/12/2012	113.7	14/12/2012	113.7	14/12/2012	113.2
14/12/2012	113.3	14/12/2012	113.6	14/12/2012	113.6
14/12/2012	113.2	14/12/2012	113.4	14/12/2012	113.1
14/12/2012	114.1	14/12/2012	113.1	14/12/2012	113.5

Continuación Tabla 29

<b>Datos de Corrida de Confirmación</b>					
<b>Producto:</b>	<b>9590221</b>				
<b>Fecha</b>	<b>Contenido Neto</b>	<b>Fecha</b>	<b>Contenido Neto</b>	<b>Fecha</b>	<b>Contenido Neto</b>
14/12/2012	113.3	14/12/2012	113.4	14/12/2012	113.2
14/12/2012	112.9	14/12/2012	114.8	14/12/2012	112.8
14/12/2012	113.9	14/12/2012	113	14/12/2012	113.6
14/12/2012	114.3	14/12/2012	113.8	14/12/2012	113.2
14/12/2012	113.4	14/12/2012	113.6	14/12/2012	113.3
14/12/2012	112.7	14/12/2012	113.9		
14/12/2012	113.1	14/12/2012	113.3		
14/12/2012	113.3	14/12/2012	113		
14/12/2012	115	14/12/2012	113.9		
14/12/2012	114.2	14/12/2012	113.2		
14/12/2012	112.7	14/12/2012	114		
14/12/2012	112.9	14/12/2012	113.3		
14/12/2012	113.5	14/12/2012	113.7		
14/12/2012	113.6	14/12/2012	113.3		
14/12/2012	113.4	14/12/2012	114.2		

## ANEXO 5. Datos para Gage tipo I

Tabla 36 Estudio Gage tipo I para balanza analítica

MECIONES PARA GAGE TIPO I. BALANZA LLENADORA			
No.	200 g	No.	200 g
1	200.07	26	200.06
2	200.06	27	200.06
3	200.07	28	200.07
4	200.07	29	200.07
5	200.07	30	200.06
6	200.07	31	200.06
7	200.06	32	200.06
8	200.06	33	200.07
9	200.06	34	200.07
10	200.06	35	200.07
11	200.07	36	200.07
12	200.06	37	200.07
13	200.06	38	200.06
14	200.06	39	200.07
15	200.06	40	200.07
16	200.06	41	200.07
17	200.06	42	200.06
18	200.06	43	200.06
19	200.07	44	200.07
20	200.06	45	200.06
21	200.06	46	200.05
22	200.07	47	200.07
23	200.06	48	200.05
24	200.07	49	200.06
25	200.07	50	200.06

