

Six Sigma en la reducción de merma del proceso de envasado de Gas Licuado de Petróleo

Cristian Patricio Bazán, Ing.¹, Santiago Saturnino Patricio Aparicio, Dr., Jonatan Rojas Polo, Mg.¹

¹ Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú, cpatricio@pucp.edu.pe, patricio020569@gmail.com, jrojasp@pucp.edu.pe

Abstract— This research was developed in a Hydrocarbon manufacturing company whose main activity is the packaging and sale of Liquid Petroleum Gas (LPG) in its different presentations: 5kg Balls, 10kg Balls, 45g Balls kg and sale in bulk.

The company is located in the city of Lima, Peru and distributes the balls to all the districts of Metropolitan Lima. The present research seeks to solve a problem of variability of the process that allows in a first stage to maximize the profits in the company and then to minimize the production costs per unit of Balloons. The investigation began with a study of the production process that includes the painting and weighing of the balls, filling the balls, leak testing and covering the balls. Subsequently, the voice of the customer was defined for which the internal and external comments on problems related to packaging were reviewed, thus obtaining the CTQ (Critical To Quality), likewise the data collection of the measurement of the Critical variables of our filling process, which are temperature, time, pressure and mass.

For the next stage, the current measurement of the process was carried out using the MINITAB Software, obtaining a high variability in the process, then we proceeded to review the main causes that generate the variability of the process supporting us with the Diagram Ishikawa, Pareto and ANOVA. Finally, an experiment design will be carried out to optimize the dependent and independent variables and also control the changes made.

Keywords— Statistical Process Control, Six Sigma, Design of Experiment, DMAIC.

Resumen— Esta investigación se desarrolló en una empresa manufacturera de Hidrocarburos cuya actividad principal es el envasado y venta de Gas Licuado de Petróleo (GLP) en sus distintas presentaciones: Balones de 5kg, Balones de 10kg, Balones de 45 kg y venta a granel.

La empresa se encuentra ubicada en la ciudad de Lima, Perú y distribuye los balones a todos los distritos de Lima Metropolitana. En la presente investigación se busca resolver un problema de variabilidad del proceso que permita en una primera etapa maximizar las utilidades en la empresa y luego minimizar los costos de producción por unidad de Balones. La investigación se inició con un estudio del proceso de producción que incluye el pintado y pesado de los balones, llenado de los balones, prueba de fuga y tapado de los balones.

Digital Object Identifier: <http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2021.1.1.248>
ISBN: 978-958-52071-8-9 ISSN: 2414-6390
DO NOT REMOVE

Posteriormente se definió la voz del cliente para lo cual se revisó los comentarios internos y externos a problemas relacionados al envasado, obteniendo así los CTQ (Critical To Quality), así mismo se realizó la recolección de datos de la medición de las variables críticas de nuestro proceso de llenado, los cuales son la temperatura, tiempo, presión y masa.

Para la siguiente etapa se realizó la medición actual del proceso utilizando el Software MINITAB, obteniendo una alta variabilidad en el proceso, seguidamente se procedió a revisar las principales causas que generan la variabilidad del proceso apoyándonos con el Diagrama de Ishikawa, Pareto y ANOVA. Por último, se realizará un diseño de experimento para optimizar la variable dependiente e independientes y así mismo controlar los cambios realizados.

Palabras Clave—Control Estadístico de Procesos, Seis Sigma, Diseño de Experimento, DMAIC.

I. INTRODUCCIÓN

El término gas licuado de petróleo (GLP) se usa para nombrar a hidrocarburos que pueden estar en estado líquido a temperatura ambiente y con presiones no tan elevadas, como es el caso del etano, propano y butano [1]. Estos son usados para diferentes aplicaciones alrededor del mundo, debido a que son estables, contienen gran cantidad de energía, en estado líquido el transporte se puede realizar de manera más económica, se puede emplear tanto en estado gaseoso como líquido, su combustión es limpia y tiene bajos niveles de azufre, siendo estos dos últimos factores favorables para el medio ambiente [1]. En el año 2015, se estima que se consumieron más de 284 millones de toneladas alrededor del mundo, siendo el sector doméstico quien empleó casi la mitad de esta cantidad (44%), seguido por los sectores químico (26%), industrial (12%), transporte (9%), hidrocarburos (específicamente refinería) 8% y agrícola 1% [2]. Dentro del sector doméstico, sus usos más comunes a nivel mundial son para calefacción, cocción de alimentos, mantenimiento del jardín, funcionamiento de termas, así como combustible para almacenar energía en caso de emergencias [3].

En el Perú, de acuerdo con la Encuesta Residencial de Consumo y Usos de Energía (ERCUE) del 2018, se pudo identificar que 8 de cada 10 hogares encuestados, emplean al GLP como fuente de energía, destacando que su principal uso es para la cocción de alimentos, y se obtuvo que una mediana de 33 soles para el gasto mensual en los hogares [4], no obstante, en los últimos meses se han reportado alzas en el precio del GLP en algunos distritos de Lima como

Magdalena del Mar, La Molina y Santiago de Surco ha llegado venderse por S/. 40. De hecho, solo en balones de 10kg se reportó un consumo cercano a 6.4 millones de balones al mes, siendo la cantidad promedio por hogar de 1.01 balones por mes [4]. También se puede agregar que ha habido un incremento mayor al 400% respecto a la demanda desde el año 2000 al 2017 [5]. De acuerdo con el Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (OSINERGMIN), si bien el precio se determina por la oferta y demanda, también se emplea el precio spot del mercado de Propano en Mont Belvieu, Texas, como referencia a nivel internacional, aunque también influyen condiciones como el clima, la producción mundial entre otros [6]. Sin embargo, no siempre se cumple con ello, ya que por ejemplo en el 2018, el valor de referencia se redujo en cerca al 30% de su valor, mientras que el precio en el Perú subió en más del 3% [7]. Un motivo de ello puede deberse a la sobreproducción, la cual es representada por la gran cantidad de plantas envasadoras en Perú (70), superando por mucho a los otros países sudamericanos, siendo Colombia el segundo con mayor cantidad de plantas (27), lo cual generó un stock de aproximadamente 4 millones de balones de gas [5]. A partir de esta información, se puede apreciar que este aumento de precios que no tiene un comportamiento parecido al de su referencia, perjudicaría a cerca del 80% de la población peruana. Teniendo en cuenta la recordada promesa electoral de 2011 de precios bajos del balón de gas – desde 12 soles y no más de 30 –, se comprende el descontento generalizado. Podríamos preguntarnos cómo es que se forman los precios al consumidor. Para esto es necesario analizar la estructura del mercado y cómo este ha evolucionado en el tiempo. Por otro lado, surge la duda sobre si existe algún ente regulador de precios y de qué manera interviene en el mercado. Ante ello, se ha analizado la estructura de costos del balón de gas, con lo cual se ha determinado que el 19% de este se encuentra en la distribución [8]. Para reducir los precios se debe de promover la competencia y enseñarle a la población cómo conseguir precios más bajos, ofreciéndole información: dónde y quién vende a mejor precio, como pueden conseguirlo, etc., para que así los productores y envasadores estén obligados a bajar sus precios si quieren seguir en el negocio [9], ya que aún existirá demanda para este mercado tal como se muestra en la figura 1.

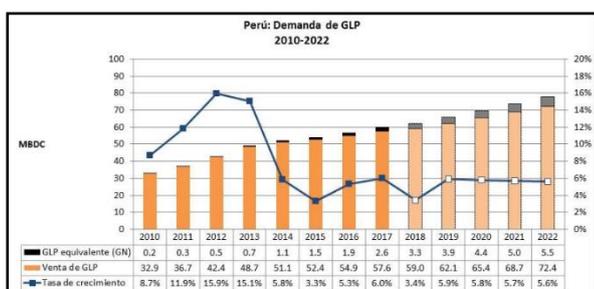


Fig. 1. Demanda de GLP desde el 2010 al 2022

II. CONCEPTOS

En este punto se detallará los principales conceptos que estructuran la propuesta de metodología.

A. Seis Sigma

Six Sigma se enfoca en reducir la variación y/o defectos de lo que hacemos, siendo su parámetro base la desviación estándar. Conceptualmente Six Sigma es un índice de capacidad de proceso; para llegar a este nivel, imaginando que un proceso se comporta con una distribución normal, seis desviaciones estándar deben encontrarse entre los límites de especificación superior e inferior. El valor de Six Sigma sirve como parámetro de comparación común entre compañías iguales o diferentes e inclusive entre los mismos departamentos de una empresa, tan diferentes como compras, cuentas por cobrar, mantenimiento, ingeniería, producción, recursos humanos; etc. [10].

El corazón de la metodología es el modelo DMAIC para la mejora de procesos; Definir la oportunidad, Medir el rendimiento, Analizar la oportunidad, Mejorar el rendimiento y Controlar rendimiento [11].

B. Voz del Cliente (VOC)

La voz del cliente es la percepción que tiene el cliente sobre alguna situación particular dentro del proceso de negocio de una compañía. Entendiéndose como cliente al receptor del resultado de un proceso determinado, un cliente puede ser tanto interno como externo.

En este sentido, es importante identificar como es percibido el proceso por el cliente además de las características medibles que son críticas para el cliente.

El líder del proyecto de mejora debe conocer siempre cual es la actual percepción del cliente respecto al proceso y respecto al estado del proyecto. Las quejas del cliente se utilizan para facilitar las mejoras. A partir de este punto, se puede identificar qué es lo crítico para el cliente (CTC) y se pueden establecer métricas para hacerles seguimientos (KPI) [12].

C. Capacidad del Proceso

La capacidad del proceso se puede definir como el intervalo de la variación que incluirá casi todos los productos que se obtengan mediante el proceso. Dicho de otra forma, mide el nivel de cumplimiento de los requerimientos solicitados por el cliente.

El propósito es tener procesos en donde la variabilidad de los productos sea lo suficientemente pequeña para que de esta forma todos los productos fabricados se encuentren dentro de la tolerancia. Sin embargo, dado que la variabilidad no puede ser eliminada, el control de esta es la clave para mejorar la calidad de los productos [13].

D. Diseño de Experimento

Para el experimento de optimización, es necesario crear un diseño de modelado con los 2-5 factores críticos que tienen la mayor influencia en la respuesta. El objetivo experimental es determinar los ajustes de los factores críticos que crearán una respuesta deseada, tal como un valor máximo o mínimo, un valor objetivo, o un rango objetivo. El logro de este objetivo es a menudo un proceso de dos pasos. Minitab realiza una prueba en el diseño modelado inicial para ver si hay curvatura en los factores continuos. Si se detecta la curvatura, el segundo paso es añadir más carreras a su diseño para que pueda modelar la curvatura y usar ese modelo para determinar la mejor configuración para los factores críticos [14].

E. Sistema de Producción

Por sistema de producción se refiere a una serie de elementos organizados, relacionados y que interactúan entre ellos, y que van desde las máquinas, las personas, los materiales, e incluso hasta los procedimientos [15]. Todos esos componentes relacionados hacen que las materias primas y la información que intervenga en el proceso, sea transformada y llegue a ser un producto o servicio terminado, teniendo un resultado de calidad, costo y plazo [16].

III. CASO DE ESTUDIO

Con la finalidad de ejemplificar el uso de varias de las técnicas y metodologías presentadas en la sección anterior, se explicará el siguiente caso de aplicación en la empresa donde se desarrolló la investigación.

A. Situación actual

En este punto, se describe la empresa, además se detalla un breve diagnóstico para identificar los problemas principales y elaborar el planeamiento de las propuestas de mejora. La empresa busca con ello mejorar su nivel de competitivamente en el mercado, mediante un mayor valor percibido, además de productos reconocidos por su calidad, innovación y precio justo.

A.1 Descripción de la empresa

Planta envasadora de GLP Extra Gas S.A., ofrece Gas Licuado de Petróleo envasado en sus presentaciones de 5, 10 y 45 kilogramos que cubren un amplio rango de aplicaciones en el uso doméstico, el comercio y la industria.

La experiencia de su nuestro personal en envasado y comercialización de gas envasado y al granel contribuye desde 1993 al desarrollo de la micro y pequeña empresa y la industria nacional, mejorando constantemente los procesos productivos de sus clientes a través de una completa gama de aplicaciones del gas licuado de petróleo y el servicio específico adaptado a sus necesidades particulares.

Su ubicación estratégica de la Planta Envasadora, la experiencia en distribución y atención al cliente de sus accionistas y personal permitieron expandirse rápidamente en los mercados de Callao, Ventanilla, Puente Piedra, Ancón; posteriormente, a los conos Norte, Sur y Este de Lima metropolitana; así como a las provincias de Huaral, Huacho, Barranca y Paramonga. En los años 1996 amplió su mercado a las Provincias de Huancayo, Pucallpa y Ayacucho.

La empresa dispone de un área de 1000m². El área administrativa y el área de operaciones de la empresa se encuentran ubicadas en una sola planta. Las oficinas del área administrativa se encuentran en la parte derecha de la planta, mientras que el área de producción se desarrolla en una plataforma situada el medio de toda el área de la planta. En la Fig. 2, se observa el layout de la empresa.



Fig. 2. Layout de la Empresa

La empresa presenta una estructura jerárquica vertical. En la figura 3 se detalla el organigrama de la empresa.

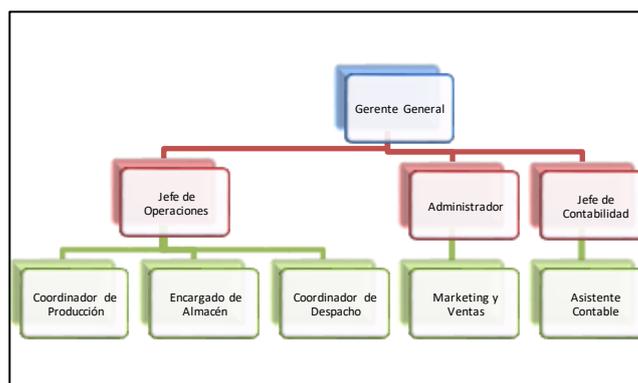


Fig. 3. Estructura Organizacional de la Empresa

A.2 Productos que comercializa

Los productos que produce y distribuye la empresa se diferencian principalmente por el peso envasado. Entre ellos tenemos balones envasados de 5, 10 y 45 Kilogramos

A.3 Proceso de Producción

En el proceso de envasado de GLP en los balones, se realizan diferentes operaciones. Entre ellas tenemos:

- **Pintado de los Balones:** Se realiza el pintado de los balones canjeados en los distribuidores, al color característico del producto color verde y logo amarillo.
- **Tara de los Balones:** Se realiza el pesado de los balones sin cantidad de gas alguna, de tal manera que, al realizar el llenado del gas, este sea el más exacto posible.
- **Llenado de los Balones:** Se realiza el llenado de los balones en todas las presentaciones, en 8 estaciones de llenado.
- **Revisión de Fugas**
- **Tapado**

A.4 Identificación y Priorización de Problemas

Para determinar los problemas más recurrentes se utilizará la data histórica correspondiente a los años 2019 y 2020, con dichos datos se realizará un análisis de la situación de cada actividad de acuerdo con los indicadores definidos.

La compañía viene midiendo varios indicadores que son críticos dentro de los procesos operativos de la empresa, en la siguiente tabla se muestra los indicadores que se definieron dentro del proceso de Envasado, el cual es el más importante.

En la siguiente Tabla I se muestran los problemas que se presentan con más frecuencia y el impacto económico que genera dentro del proceso a la empresa.

Tabla I
Problemas por Indicador

N	Indicador	Problema	Impacto económico
1	Cantidad de balones apilados	No completar la carga mínima diaria, para ser envasado	S/. 3,000.00
2	Tiempo de preparado	Demorar más de lo estipulado.	S/. 7,200.00
3	Índice de productividad	La productividad en el envasado, no llega a ser el mínimo esperado.	S/. 11,400.00
4	Índice de merma	La merma este por encima del máximo esperado.	S/. 37,050.00
5	Cantidad de balones apilados	No completa la carga mínima del pedido de los clientes.	S/. 4,500.00

A continuación, con la finalidad de priorizar los problemas más recurrentes identificados previamente, se procederá a tomar como referencia el impacto económico que está involucrado en cada uno de ellos y que afectan directamente a la empresa. En ese sentido, se ordenarán los problemas de mayor a menor impacto económico y posteriormente se calcularán los porcentajes acumulados. A continuación, en la Tabla II, se muestran los problemas con sus respectivos impactos:

Tabla II
Problemas ordenados según impacto económico

N	Problema	Impacto económico	% acumulado	80-20
4	La merma este por encima del máximo esperado.	S/. 37,050.00	59%	80%
3	La productividad en el envasado, no llega a ser el mínimo esperado.	S/. 11,400.00	77%	80%
2	Demorar más de lo estipulado.	S/. 7,200.00	88%	80%
5	No completa la carga mínima del pedido de los clientes.	S/. 4,500.00	95%	80%
1	No completar la carga mínima diaria, para ser envasado	S/. 3,000.00	100%	80%

Posteriormente, se construyó un Diagrama de Pareto como se puede observar en la figura 4, con la finalidad de identificar el 20% de los problemas que originan el 80% de las fallas en el proceso de envasado.

De acuerdo con el diagrama, se determina que los principales problemas que impactan negativamente en el proceso son: Índice de merma (#4), Índice de productividad (#3) y tiempo de preparado (#2).

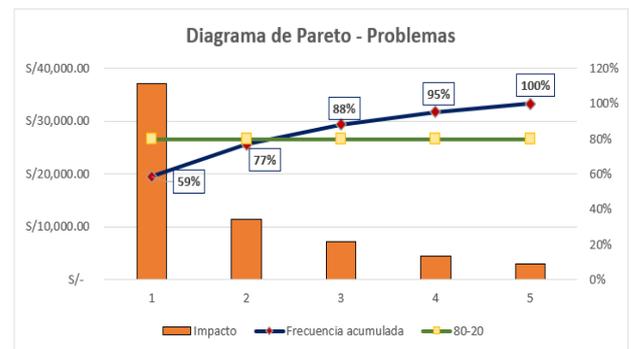


Fig. 1: Diagrama de Pareto - Problemas

por los tres problemas mencionados previamente (4, 3 y 2 respectivamente), se analizará solamente el problema 4 (Índice de Merma), ya que es el que genera mayor impacto económico a la empresa (aproximadamente 59 % del impacto total).

B. Propuesta de Mejora

De acuerdo con la literatura de optimización de procesos, se abordará con la metodología Six Sigma.

B.1 Definir

Para definir la voz del cliente, se revisó todos los comentarios de los clientes internos y externos correspondientes a problemas relacionados al envasado. Se identificó una de las características críticas de la calidad para los balones llenos de Gas Licuado de Petróleo; Critical Quality Tree (CQT) que se muestra en la figura 5.

Se puede observar que la voz del cliente (VOC) se interpreta con el siguiente requerimiento: que el contenido del balón lleno debe ser de contenido exacto, eso quiere decir de 10 kilogramos.

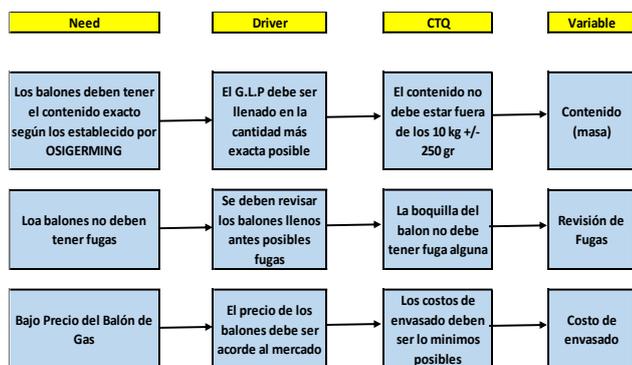


Fig. 5: Diagrama CTQ para el proceso de envasado de Gas Licuado de Petróleo

Se puede definir según figura 5, que los CTQ más importante para el proceso de envasado del Gas Licuado de Petróleo, es que el contenido de Gas Licuado de Petróleo debe ser de 10kg con una variación de 250 gramos, estos límites son establecidos por OSINERMING.

B.2 Medir

Con el proceso ya descrito, se procedió a recolectar información sobre la variable definida previamente: Contenido (masa) del Gas Licuado de Petróleo.

Luego de tener los datos de la variable contenido(masa) del Gas Licuado de Petróleo, se procedió a obtener la media el cual es de 10.029 kilogramos y la desviación estándar de 0.355 kilogramos, como se muestra en la figura 6.

Variable	N	N*	Media	Error estándar de la media	Desv.Est.	Varianza	Mínimo	Q1	Mediana	Q3
Contenido	200	0	10.029	0.0251	0.355	0.126	9.143	9.779	9.993	10.245
Variable	Máximo									
Contenido	11.097									

Fig. 6: Estadística descriptiva de los datos de la variable contenido

Para la variable contenido(masa) por ser de tipo continua, se verificará el ajuste de los datos a una distribución normal. En la figura 7, se observa el resultado de realizar la prueba de normalidad Anderson Darling a la variable en mención; se puede afirmar con un 95 % de confianza que los datos se ajustan a una distribución normal con media 10.03 kilogramos y una desviación estándar de 0.3548, dado que el p-value tiene un valor de 0.391 y por ende es mayor a alfa (0.05).

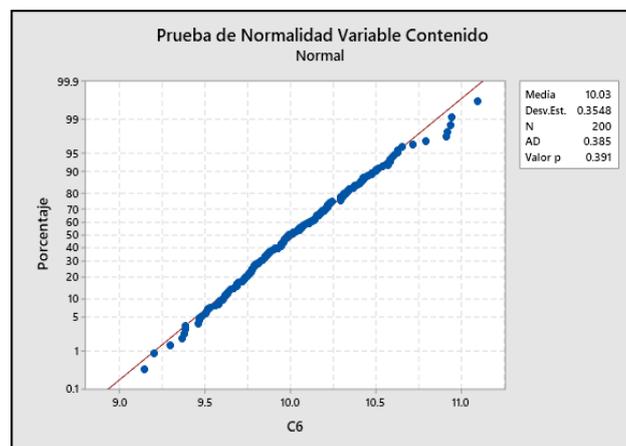


Fig. 7: Prueba de Normalidad para la variable masa

Para la variable “Contenido (masa)” se utilizó una gráfica de control por variable X-S, dado que los datos corresponden a una variable continua. En la figura 8 se presenta el gráfico de control X-S en el cual se observa que la variable se encuentra estadísticamente bajo control y no se visualizan los patrones no aleatorios.



Fig. 8: Grafico de control Xbarra-S de la variable contenido(masa)

Los principales requisitos para iniciar un estudio de capacidad del proceso consisten en que esté se encuentre estadísticamente estable y que las mediciones individuales del proceso se comporten siguiendo una distribución normal en caso se trate de una variable continua

Como se puede observar en la figura 9, que corresponde al análisis de capacidad de proceso para la variable “contenido”, se muestra un valor de índice Cp de 0.14 y un valor de ppm de 680,000.00 lo cual indica que el proceso no es capaz de cumplir con los requerimientos del cliente.

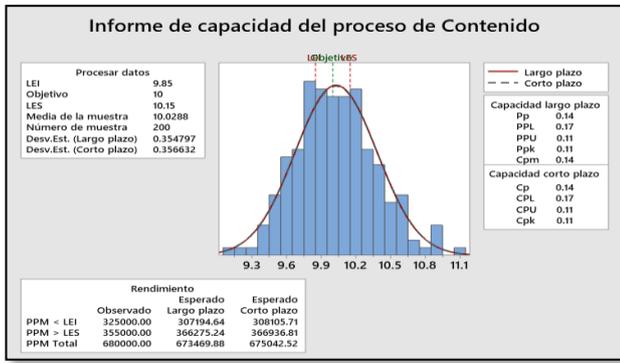


Fig. 9: Grafico del Análisis de Capacidad del Proceso – variable contenido

B.3 Analizar

Se realizó una “Lluvia de Ideas” con todos los involucrados del proceso, se elaboró un listado de posibles causas y en base a ello, se construyó el diagrama causa y efecto agrupando las causas en categorías, de esta manera podremos determinar la causa o causas raíces.

A continuación, en la figura 10 se muestra el diagrama causa y efecto para la problemática de alta variabilidad en el envasado.

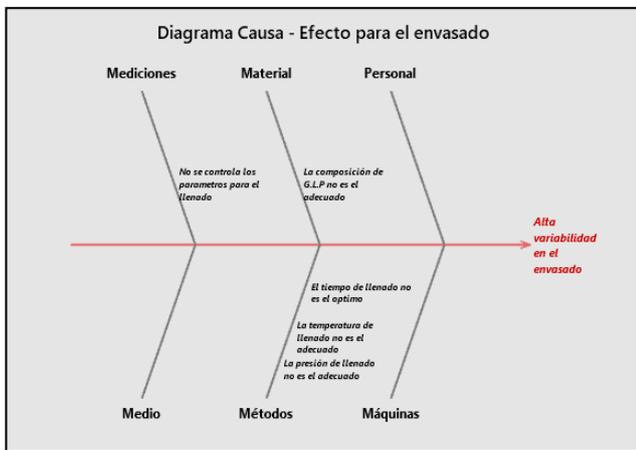


Fig. 10: Diagrama Causa - Efecto

Luego de determinar en el diagrama causa-efecto, que una de las causas principales para que haya alta viabilidad de la cantidad(masa) en el llenado de Gas Licuado de Petróleo, es la variable presión, realizaremos un análisis ANOVA para determinar si esta variable influye en la otra.

Tabla III
Datos obtenidos con diferentes presiones

Presión	Contenido (kg.)				
100	8.94	8.79	8.80	8.69	8.98
105	9.20	9.35	9.12	9.27	9.36
115	9.63	9.62	9.56	9.70	9.73
120	9.93	10.06	10.01	10.05	9.92
125	10.35	10.21	9.97	10.13	9.92

Se puede observar en la figura 11, que la varianza de los residuos es el mismo, cumple con una distribución normal y no existe un patrón en los datos, por lo tanto, podemos afirmar que la variable presión influye en la cantidad(masa) del balón.

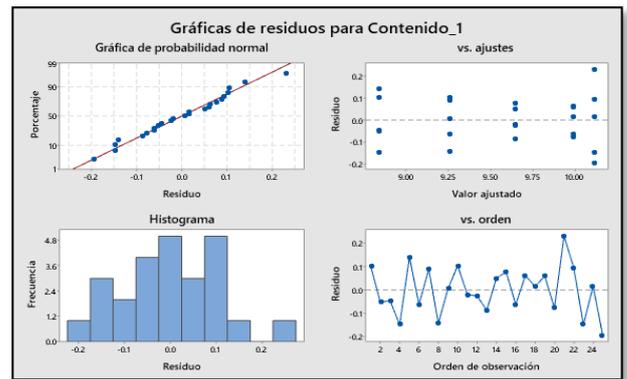


Fig. 11: Grafico 4 en 1 para residuos

Así mismo según en el diagrama causa-efecto, se propuso que una de las causas principales para que haya alta viabilidad de la cantidad(masa) en el llenado de Gas Licuado de Petróleo, es la variable temperatura, realizaremos un análisis ANOVA para determinar si esta variable influye en la otra.

Tabla IV
Datos obtenidos con diferentes temperaturas

Temperatura (°C)	Contenido (kg.)				
-37.5	10.21	10.01	10.12	9.94	10.23
-35.6	10.18	10.26	10.01	10.06	10.00
-34.8	10.08	10.04	10.12	9.96	10.17
-33.4	10.12	10.07	9.98	9.81	9.97
-32.8	10.03	9.99	9.99	9.97	10.33

Se puede observar con el análisis de los residuos en figura 12, que la varianza de estas es diferente por lo tanto podemos afirmar que la temperatura no afecta en la cantidad de llenado de los balones.

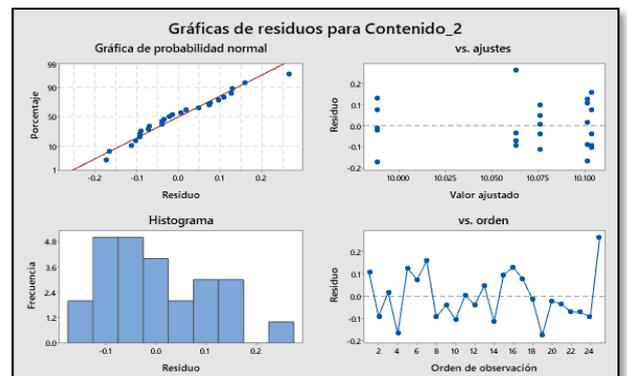


Fig. 12: Grafico 4 en 1 para residuos

Por último, según en el diagrama causa-efecto, se propuso que también una de las causas principales para que haya alta viabilidad de la cantidad(masa) en el llenado de Gas Licuado de Petróleo, es la variable tiempo de llenado, realizaremos un análisis ANOVA para determinar si esta variable influye en la otra.

Tabla V
Datos obtenidos con diferentes tiempos

Tiempo (segundo)	Contenido (kg.)				
46	10.37	10.37	10.15	10.11	10.29
44	10.12	10.06	10.12	10.19	10.17
42	10.09	9.96	9.94	9.98	10.01
40	9.70	9.87	9.82	9.74	9.61
38	8.57	8.71	8.71	8.67	8.61

Se puede observar en figura 13, que la varianza de los residuos es el mismo, cumple con una distribución normal y no existe un patrón en los datos, por lo tanto, podemos afirmar que la variable tiempo de llenado, influye en la cantidad(masa) del balón.

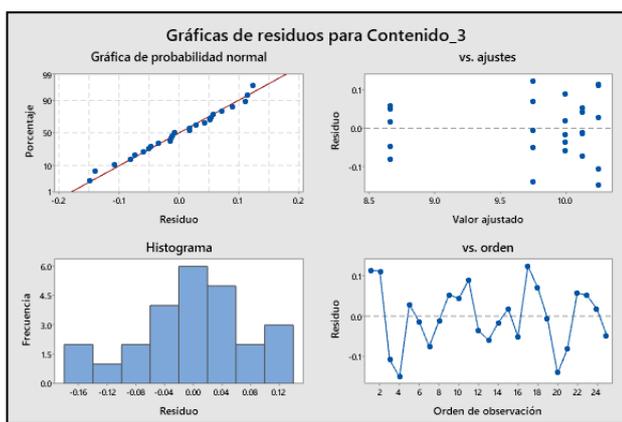


Fig. 13: Gráfico 4 en 1 para residuos

B.4 Mejorar

Antes de efectuar el análisis de Diseño de Experimentos, se analizarán los factores controlables y no controlables involucrados en el proceso de envasado, con la finalidad de determinar la cantidad de factores que involucrará el análisis; ya sea de un factor o multivariable.

Los factores determinados que afectan al proceso son controlables, tales como la presión de llenado que puede ser controlado en la máquina de envasado, así mismo el tiempo de llenado que puede ser controlado por el operario de envasado.

Tabla VI
Factores controlables

Factor	Regulación
Presión	Máquina de envasado.
Tiempo	Maquina de envasado/operario.

El diseño de experimentos propuesto es un diseño factorial completo 2k que permitirá determinar el efecto de los dos factores, así como sus interacciones; de acuerdo con

ello, en figura 14 se muestra el resumen del diseño de experimentos con los dos factores involucrados: Presión de llenado (A), Tiempo de llenado (B).

Resumen del diseño		
Factores:	2	Diseño de la base: 2; 4
Corridas:	20	Réplicas: 5
Bloques:	1	Puntos centrales (total): 0

Fig. 14: Diseño Factorial 2k para dos factores

En la Tabla VII se muestra el resumen de las mediciones para el diseño de experimento, el cual servirá para determinar si existe o no influencia de los factores en el contenido de llenado.

Tabla VII
Resumen del diseño de experimento

Factor 1	Factor 2	Presión	Tiempo	Contenido
1	1	125	46	9.12
-1	1	100	46	9.57
1	-1	125	38	10.46
-1	-1	100	38	10.45
1	1	125	46	9.36
-1	1	100	46	9.33
1	-1	125	38	10.39
-1	-1	100	38	10.66
1	1	125	46	9.43
-1	1	100	46	9.59
1	-1	125	38	10.54
-1	-1	100	38	10.48
1	1	125	46	9.44
-1	1	100	46	9.56
1	-1	125	38	10.41
-1	-1	100	38	10.63
1	1	125	46	9.31
-1	1	100	46	9.56
1	-1	125	38	10.41
-1	-1	100	38	10.66

Finalmente, se concluye que los factores: Presión(A) y Tiempo (B), influye sobre la variable de respuesta. Asimismo, en la figura 15 se establece la siguiente ecuación con los coeficientes de los factores que influye en la variable de respuesta.

Ecuación de regresión de unidades no codificadas
Contenido = 2.14 + 0.0190Presión + 0.1689Tiempo

Fig. 15: Ecuación de correlación

Con la finalidad de determinar cuál es el nivel óptimo de los factores influyentes de tal manera que la variable de respuesta alcance el valor objetivo de 10kg; se utilizó el optimizador de Minitab.

Como se muestra en la figura 16, se puede observar la combinación de los niveles óptimos para cada factor a fin de obtener el valor objetivo de la variable contenido el cual es de 10 kg por balón.

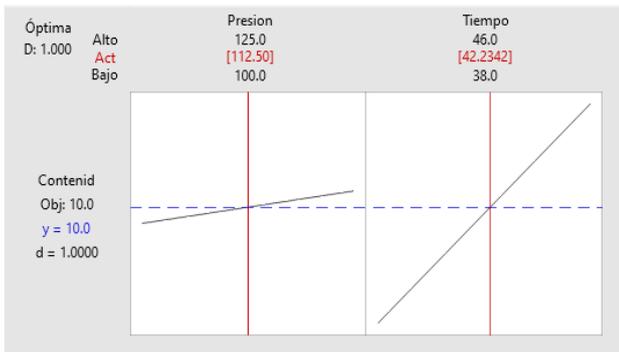


Fig. 16: Optimización de Factores

B.5 Control

Para la variable “Contenido (masa)” se volvieron a tomar datos luego de los ajustes realizados a las variables presión y tiempo de llenado.

Así mismo se utilizó una gráfica de control por variable X-S, dado que los datos corresponden a una variable continua. En la figura 17 se presenta el gráfico de control X-S en el cual se observa que la variable se encuentra estadísticamente bajo control y no se visualizan los patrones no aleatorios.

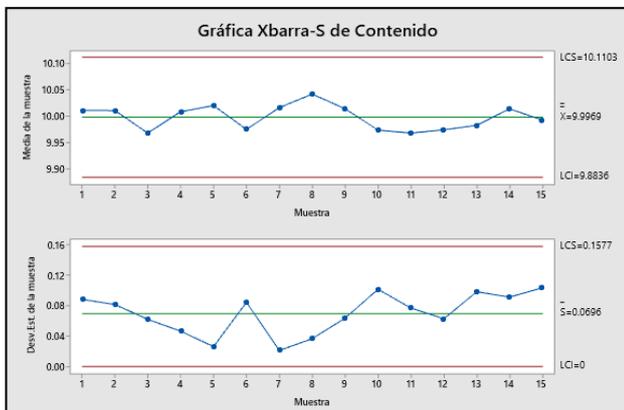


Fig. 17: Grafico de Control X-S para la variable contenido

Así mismo se realizó un nuevo grafico de capacidad de proceso, como se puede observar en figura 18, que corresponde al análisis de capacidad de proceso para la variable “contenido”, se muestra un valor de índice Cp de 0.66 y un valor de ppm de 45,017.00 lo cual indica que el proceso es capaz de cumplir con los requerimientos del cliente.

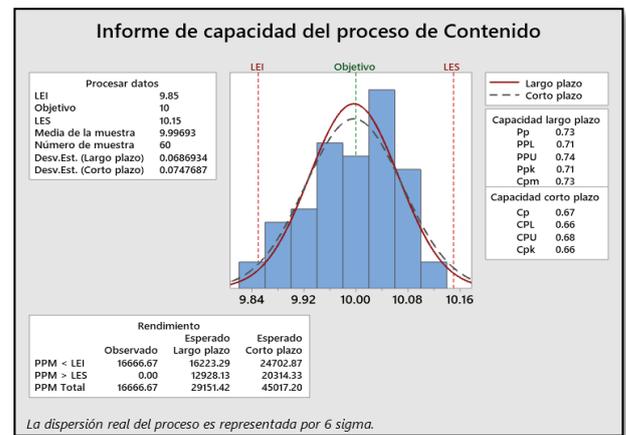


Fig. 18: Grafico de Capacidad del proceso – variable contenido

Así mismo para asegurar la continuidad de la reducción de variabilidad y estabilidad del proceso se tendrán que instalar equipos para la medición exacta de la presión de llenado y el tiempo de envasado, estos equipos serán barómetros y cronómetros automatizados.

IV. RESULTADOS

Según indica en tabla VIII, para obtener una variable de repuesta equivalente a 10 kilogramos por balón, se debe llenar a una presión de 112.50 Psi y en un tiempo de 42.23 segundos a fin de reducir la alta variabilidad.

Tabla VIII
Condiciones óptimas para el llenado

Factor	Optima
Presión	112.50 psi
Tiempo	42.23 seg.

V. CONCLUSIONES Y RECOMEDACIONES

A partir del análisis de la información, se pudo concluir que las variables críticas del proceso son, el contenido, presión y el tiempo de llenado, siendo la variable contenido dependiente de las otras dos.

Así mismo con el diseño de experimento los ajustes para un correcto llenado de Gas Licuado de Petróleo es con una presión de 112.5 Psi y con un tiempo de llenado de 42.23 segundos, luego de esta implementación la empresa tiene ingresos adicionales por 57,432.00 soles mensuales.

Se recomienda mantener a la empresa la mejora continua, de tal manera que se vayan alcanzando mejores objetivos para la empresa, luego de haber realizado la implementación Seis Sigma en el proceso de envasado.

REFERENCIAS

- [1] American Society for Testing and Materials (2003). Fuels and Lubricants Handbook: Technology, Properties, Performance and Testing.
- [2] Argus Media (2016). Statistical Review of Global LPG 2016. World LPG Association. Publicado el 26 de septiembre de 2016. Revisado el 28 de octubre de 2018. <https://www.wlpga.org/publication/statistical-review-global-lpg-2016/>
- [3] World LPG Association. Revisado el 15 de diciembre de 2018. Recuperado de <https://www.wlpga.org/about-lpg/applications/at-home/>
- [4] Organismo Superior de la Inversión en Energía y Minería (2018). Informe de Resultados Consumo y Usos de los Hidrocarburos Líquidos y GLP Encuesta Residencial de Consumo y Usos de Energía – ERCUE 2018. http://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/Institucional/Estudios_Economicos/ERCUE/ERCUE-Hidrocarburos-Informe-2018-GPAE-OS.pdf
- [5] Gestión (2018). SPGL: Precios de balón de gas son altos debido a informalidad. Publicado el 09 de agosto de 2018. Revisado el 28 de diciembre de 2018. <https://gestion.pe/economia/spgl-precios-balon-gas-son-altos-debido-informalidad-241002>
- [6] Organismo Superior de la Inversión en Energía y Minería (2015). La Industria de los Hidrocarburos Líquidos en el Perú 20 años de aporte al desarrollo del país. http://www.osinergmin.gob.pe/seccion/institucional/acerca_osinergmin/estudios_economicos/libros
- [7] Gestión (2019). OPECU: Usuarios habrían pagado S/. 1,225 millones de más por el balón de gas en el 2018. Publicado el 31 de enero de 2019. Revisado el 10 de enero de 2019. <https://gestion.pe/economia/opecuusuarios-habrian-pagado-s-1-225-millones-balon-gas-2018-257432>
- [8] Gestión (2018). ¿Cómo se compone el precio de un balón de gas? Publicado 09 de agosto de 2018. Revisado el 15 de febrero de 2019. <https://gestion.pe/economia/compone-precio-balon-gas-241015>
- [9] COMEXPERU. El mercado del gas licuado de petróleo (GLP). <https://semanariocomexperu.wordpress.com/el-mercado-del-gas-licuado-de-petroleo-glp/> Último acceso el 05 de Julio del 2018.
- [10] Deming, E. (1989). Calidad, Productividad y Competitividad. La salida de la crisis. Madrid: Díaz de Santos.
- [11] Metodología DMAIC (2017). [Figura]. Recuperado de <https://tracsolution.com/blog/dmaic-problem-solving/>
- [12] De Jesus, G. (2017). Análisis y mejora de procesos en una empresa de automatización industrial y electrificación aplicando la metodología DMAIC (Tesis de bachiller). PUCP, PERU.
- [13] Delgado, E. (2015). Propuesta de un plan para la reducción de la merma utilizando la metodología six sigma en una planta de productos plásticos (Tesis de maestría). PUCP, PERU.
- [14] Montgomery, D. & Runger, G. (2008). Probabilidad y estadística aplicadas a la ingeniería. México: Limusa.
- [15] Maynard Kong (2010). "Investigación de operaciones: Programación lineal, Problemas de transporte y Análisis de redes".
- [16] Iris Abril Martínez Salazar Gastón Vértiz Camarón Jesús Fabián López Pérez Guillermo Jiménez Lozano Luis Antonio Moncayo Martínez Marco Antonio Montufar Benítez Eva Selene Hernández Gress (2014). Investigación de operaciones.