

Aplicación de la metodología Seis Sigma para reducir la pérdida de café al granel en una planta de envasado

Marcos Buestán^a

Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción
Escuela Superior Politécnica del Litoral
Guayaquil-Ecuador
^ambuestan@espol.edu.ec

ABSTRACT

Six Sigma is a rigorous methodology aimed to identify and eliminate variation sources. Through qualitative and analytical tools application, Six Sigma provides bottom line cost savings and process robustness even in a highly complex process. This article presents the application of Six Sigma through DMAIC approach in a Colombian coffee factory where cost of poor quality (COPQ) related to coffee packing process were considered excessive. DMAIC application revealed that the cost of poor quality was concentrated on two packing references. Focused problem statements were declared for each reference and considered individually for the rest of the DMAIC process. Statistical Hypothesis testing established coffee unit weight and vacuum level as significant factors. Design of experiments (DOE) were conducted in order to identify suitable operational setting for them. Results indicated that new operational settings application and other "just in time" improvement actions provided a significant reduction in product waste.

Keywords: Six Sigma, DMAIC, Design of experiments, coffee packing.

RESUMEN

Seis Sigma es una metodología rigurosa orientada a identificar y eliminar las fuentes de variación. A través de la aplicación de herramienta cualitativas y analíticas Seis Sigma logra además de ahorros, procesos más robustos aunque sean altamente complejos. Este artículo presenta la aplicación de la metodología Seis Sigma a través del enfoque DMAIC en una fábrica que elabora y envasa café en Colombia, donde los costos de no calidad en el proceso de envasado de café se presentaban como excesivos. DMAIC reveló que la mayoría de los costos de no calidad en envasado se encontraban concentrados en dos referencias. Para cada una de ellas se generó un problema enfocada, el cual se abordó de manera independiente a lo largo de toda la metodología. La aplicación de pruebas de hipótesis mostro el peso específico del café y el nivel de vacío del equipo como factores significativos para la reducción de los costos por pérdida. Un Diseño de experimentos fue realizado para identificar los niveles de operación adecuados. Su aplicación junto con el desarrollo de otras iniciativas "just in time" proveyeron de una reducción significativa en la pérdida del producto.

Palabras claves: Seis Sigma, DMAIC, Diseño de Experimentos, envasado de café

1. INTRODUCCIÓN

La constante búsqueda de la ventaja competitiva y de dar respuesta a las exigencias del mercado ha llevado a las organizaciones a la aplicación de herramientas de mejora cada vez más rigurosas. La Metodología de mejora Seis Sigma aplicada a través del proceso lógico de solución de problemas DMAIC, ofrece a las compañías una alternativa basada en el método científico, desarrollada en todas sus etapas a través de la utilización de datos y comprobación de hechos y soportada por un exigente trabajo en equipo, involucramiento de líderes y un intenso entrenamiento.

Las exigencias de esta metodología han sido proporcionales a los éxitos alcanzados a través de su aplicación en la mejora de calidad y de procesos. Estos han sido reportados en cientos de trabajos alrededor del mundo, tanto en su aplicación individual (Hoerl,2002) (Mukhopadhyay, Ray, 2006), (Schall,2012) ,como en combinación con otras metodologías de mejora como Manufactura esbelta (Smith, 2003), (Hill,Kearney,2003), (Fornari, Maszle, 2004). La mayoría de estos trabajos tienen su origen en países desarrollados. En ellos la aplicación de herramientas estadísticas para mejorar el desempeño operacional no genera la resistencia ,que por su rigurosidad numérica, suele presentarse en países no desarrollados, donde en algunos casos pudiera aparecer como excesiva (Rizwan, 2010).

A pesar de esto y de los desafíos que involucra la aplicación de la metodología DMAIC, puede ser aplicada con éxito en entornos donde el empleo de herramientas de análisis estadístico ha sido inusual. Precisamente este trabajo presenta la aplicación de la metodología Seis Sigma, en una planta manufacturera colombiana , parte de un grupo multinacional, donde el uso de herramientas estadísticas estaba limitado a la recolección y presentación de información histórica.

Herramientas de análisis estadístico como pruebas de hipótesis paramétricas y no paramétricas, control estadístico de procesos y diseño de experimentos fueron utilizados con el fin de reducir los costos de no calidad originados en el proceso de llenado del café..

2. ENTORNO PARA LA IMPLEMENTACION

La compañía objeto de estudio mantiene desde hace dos años un proceso de certificación interna de Green Belts, el la cual participan sus ingenieros de procesos y analistas de supply chain. Para esto emplea consultores externos con certificación Black Belt y con experiencia no menor a 4 años en el desarrollo de proyectos y entrenamiento en la metodología Seis Sigma.

Como parte del proceso, la compañía solicita que los aspirantes a la certificación Green Belt, desarrollen dos proyectos con ahorros verificables en sus áreas de trabajo. El proyecto aquí descrito es el segundo de los dos requeridos, por parte del líder del área de llenado de café para la obtención de su certificación.

El área de trabajo donde se elaboró el proyecto está compuesta por una maquina llenadora de café que utiliza un total de diez cabezas de llenado de tipo volumétrico. En ella se puede proceder al llenado de varios tipos de referencias y formatos, las cuales serán establecidas más adelante en el estudio de acuerdo a su importancia con el objetivo del proyecto.

3. METODOLOGIA

La metodología DMAIC tiene como fin último la reducción de la variación en los procesos, a través de la identificación y posterior control de las variables críticas de calidad (Xs). Esto a través del conocimiento obtenido de las relaciones causales entre las variables de entrada identificadas (Xs) y las variables de salida definidas como métricos del proyecto (Ys).

A continuación se presentan de manera general los objetivos de cada una de las etapas de la metodología DMAIC de acuerdo al enfoque usado para el desarrollo de este trabajo:

1. **Definición:** Tiene como objetivo establecer el propósito del proyecto, su alcance y contexto con respecto al negocio.
2. **Medición:** Permite entender y describir de forma más precisa el proyecto, con el fin de establecer problemas enfocados sobre los que sea más eficiente la identificación de causas de influencia.
3. **Analisis:** Identifica y verifica las causas de influencia sobre las variables de respuesta definidas.
4. **Mejora:** Se establecen niveles de operación adecuados para las variables influyentes a través del desarrollo de experimentos. Se formulan planes de acción y se presenta evidencia que muestre el impacto positivo de su aplicación.
5. **Control:** Su fin es mantener los beneficios de las mejoras implementadas a través de la estandarización de procesos y la anticipación y prevención de futuras fallas.

4. DEFINICION

Es la etapa más importante en el desarrollo del proyecto ya que de ella depende el enfoque que se dará al mismo a lo largo de todo su proceso. Las herramientas para su desarrollo son en su mayoría de tipo cualitativo, por lo que su complejidad radica en el conocimiento del proceso y en el mantener claridad en los objetivos.

En este caso de estudio el proyecto tiene origen en los altos costos de no calidad originados durante el proceso de envasado de café. El tema era respaldado por la gerencia e incluido como proyecto de mejora para el año 2012. El desarrollar un proyecto relacionado con uno de los objetivos críticos de la fábrica, asegura la relevancia del mismo y condiciona a la gerencia al momento de otorgar los recursos para su realización (Breyfogle, et al., 2001).

A través del Critical to Quality Tree fue posible traducir las expectativas del cliente en variables más fáciles de medir y sobre las cuales se orientará el proyecto. En este caso el porcentaje de pérdida de granel permite de forma cuantitativa reflejar de mejor forma la variación de uso de café, la principal fuente de costos de no calidad.

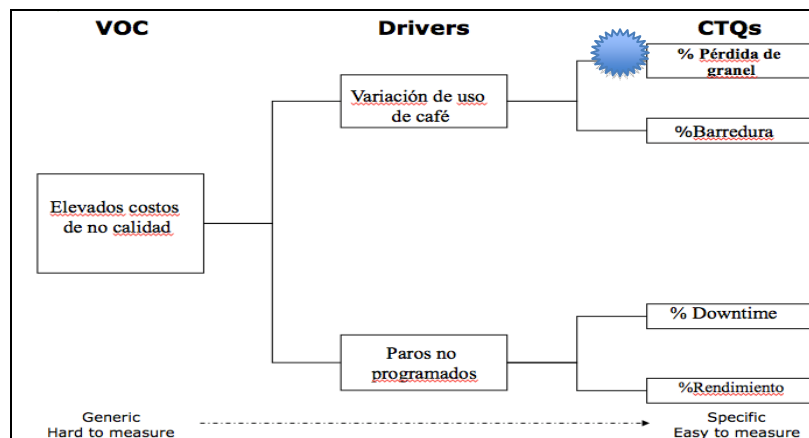


Figura 1. Critical to Quality Tree

Se obtuvo información histórica acerca del porcentaje de pérdida de granel, por cada lote de producción elaborado, durante el año 2011 y parte del 2012, (Figura 2). De acuerdo a estos registros el promedio de sobre-dosificación del año 2011 fue de 1.5%, más del doble de los establecido como estándar máximo para eso año que fue de 0.6%.

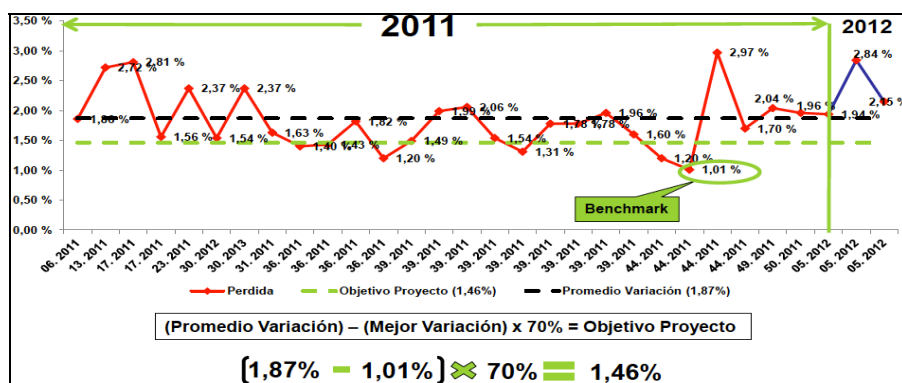


Figura 2. Time Series Plot Porcentaje de Pérdida de granel 2011-2012

Para el establecimiento del objetivo se calcula el promedio de los datos históricos y se define el dato con menor pérdida como marca de referencia interna (1,01%). Esta práctica protege al proyecto de definir oportunidades de mejora en donde la única forma de alcanzarlas es a través de la innovación tecnológica.

Aunque la mejora potencial es de 0,86% (Promedio-Referencia interna), podría ser demasiado ambicioso esperar que el proyecto pueda reducir en su totalidad este valor. Se eligió ser conservador y establecer la oportunidad

basados en el nivel de ahorro que la compañía exigía como mínimo para la realización de este proyecto. De esta forma el nivel de pérdida promedio objetivo fue de 1,46% lo que implicó una mejora que promete tomar un 70% de la oportunidad actual (Figura 2).

5. MEDICION

La etapa de Medición tiene como objetivo establecer problemas enfocados, mucho más específicos que el problema original determinado durante la etapa de Definición. El contar con problemas específicos hace más eficiente la búsqueda de las causas potenciales de variación durante las etapas de análisis y mejora.

Con el objetivo de identificar los problemas específicos debemos previamente determinar los criterios de estratificación, su selección puede verse apoyada por preguntas como: ¿Cuál es el problema?, ¿Dónde se origina?, ¿Cuándo se presentan?, ¿Cómo se da el problema?, ¿Existe relación con alguna persona o proveedor?

Los criterios para estratificar proyectos DMAIC pueden ser de:

1. **Tiempo:** Existe relación entre el comportamiento de la variable de respuesta y el momento en que este se genera pudiendo ser turno, día, semana o periodo durante el año.
2. **Lugar:** Los resultados de la variable respuesta son diferentes de acuerdo a la máquina, locación, línea, o región donde estos se presentan.
3. **Tipo:** Cuando el resultado está relacionado con la característica de cierto elemento de entrada como el tipo de material o el origen de una materia prima.
4. **Síntoma:** Los resultados de la variable de respuesta se presentan en término de los defectos observados.
5. **Personas:** Cuando existe una relación entre los resultados de la variable de respuesta y las personas a cargo del proceso, o proveedores que intervienen en el mismo.

En este caso se seleccionó como criterios de estratificación:

- 1) El origen de la pérdida del granel: Pudiendo ser por Sobre-dosificación o re-trabajo
- 2) Tipo de formato del envasado de café pudiendo ser de 85 gr. o 170 gr. Utilizando diagramas de Pareto fue posible acotar el problema en función de los estratos en donde se evidencia mayor oportunidad de Mejora.

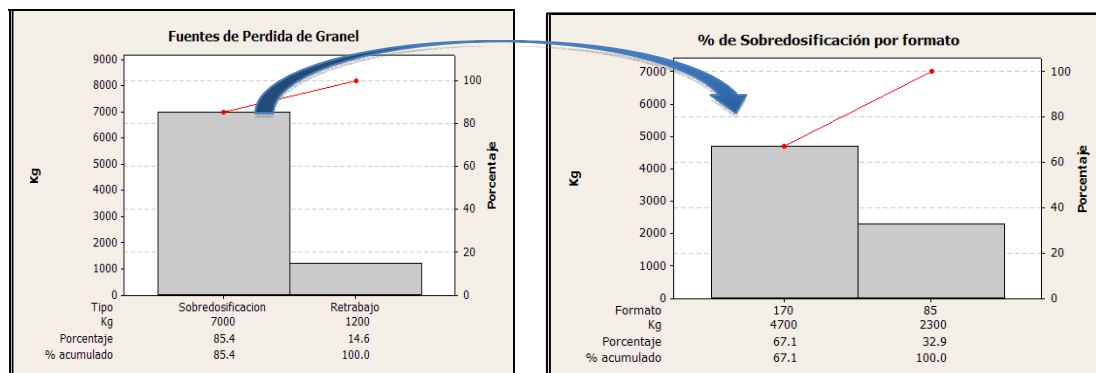


Figura 3: Diagramas de Pareto para estratificación de problemas

De la información obtenida de los diagramas de Pareto el proyecto debe centrarse en las pérdidas por Sobre-dosificación (85.4%). El centrarnos en una sola referencia no era factible por los niveles de ahorro exigido. En el caso de la referencia de 170 gr, la oportunidad sería apenas del 57% ($85\% \times 67\%$).

Cada referencia incluida fue considerada un problema enfocado específico. Las declaraciones de problema, para cada uno de ellos se presentan a continuación:

1. 67.1% de la pérdida de granel de café se origina por sobre-dosificación durante el llenado de envases en formato de 170 gr.
2. 28% de la pérdida de granel de café se origina por sobre-dosificación durante el llenado de envases en formato de 85 gr.

Los registros históricos y de tiempo actual de sobre-dosificación fueron tomados empleando una báscula electrónica. Por su naturaleza, el resultado del estudio R&R mostró un nivel de aportación menor al 0.5%, lo que permitió seguir adelante con el análisis de los datos sin que exista necesidad de modificar el sistema de medición.

La verificación de la estabilidad de los procesos es un requisito fundamental previo el desarrollo de análisis estadísticos más complejos. Un proceso inestable pone en riesgo cualquier conclusión llevada a cabo durante las etapas de Análisis y Mejora. Para la verificación de la estabilidad se empleó un gráfica de tipo I-MR, donde previa verificación de la normalidad, se procedió a graficar los niveles de llenado por envase de 170 gr. y 85 gr. A continuación se presentan las gráficas de dos cabezas de llenado obtenidas para la presentación de 170 gr.

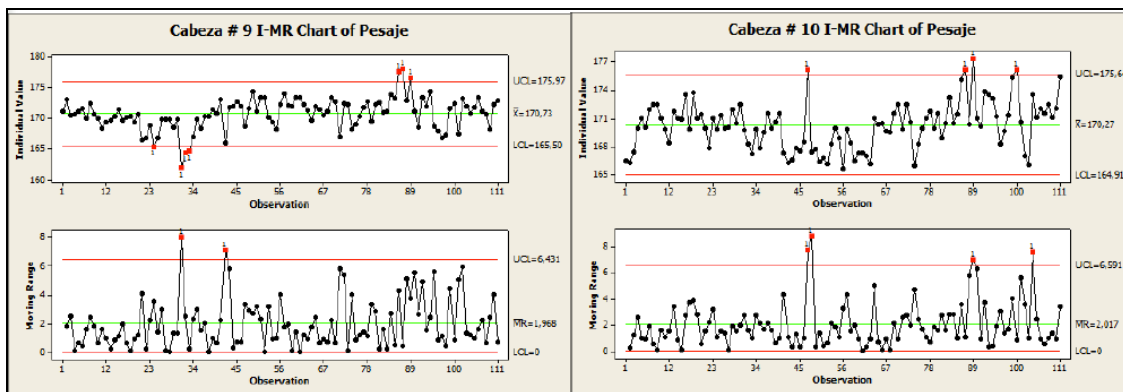


Figura 4: Análisis de Estabilidad de proceso a través de gráficas I-MR

Apenas en una de las cabezas de envasado en el formato de 85 gr. se pudo apreciar un proceso estable, en los otros casos fue notoria la falta de control estadístico (Figura 4). Este resultado volvió prioritaria la identificación de las causas especiales de variación y el establecimiento de planes de acción para lograr la estabilidad.

6. ANALISIS

La etapa de análisis se inició identificando las condiciones básicas de operación no restauradas. En mucho de los casos la sola restauración de las mismas permite lograr una mejora contundente, sino en capacidad al menos en estabilidad de los procesos. Las condiciones básicas del proceso no restauradas, pueden ser reconocidas a través de signos de anormalidad captadas mediante el contacto cercano de los miembros del equipo del proyecto. A través de un recorrido de observación se identificaron un total de 15 condiciones básicas no restauradas, sobre las cuales se generaron planes de acción.

Posteriormente a través de una herramienta causa-efecto como es el diagrama de Ishikawa (Ishikawa, 1988) y con la ayuda del equipo, se procedió a la identificación de potenciales causas de variación relacionadas a cada uno de los dos problemas enfocados. Las variables identificadas en el Ishikawa fueron ponderadas usando una matriz causa-efecto, donde a través de la escala no lineal 1,3, o 9, para evitar similitudes en los resultados de la prioridad, se evaluó junto con el equipo el nivel de influencia que dichas variables tienen con respecto a la variable de respuesta.

	Matriz Causa Efecto	Variables Salidas Y's	
		Sobredosificación Granel	Total
		1 (10)	
Variables Entradas X's	Peso Especifico Granel	9	90
	Vacio (parametro)	9	90
	Boquillas de Llenaje	3	30
	Mangueras de Aire sistema de vacio	1	10
	Empaque plato	1	10
	Campanas y pistones	3	30
	Empaquetadura Tinajas de Vacio	3	30

○ Condiciones Básicas
○ X potenciales

Figura 5: Ponderación de variables potenciales usando una matriz Causa-Efecto

Al presentar el mayor nivel de ponderación (90) se establecieron como variables para análisis el Peso Específico del Granel y el Nivel de Vacío del Equipo. Las variables restantes aunque importantes podían ser abordadas a través de planes de acción, sin la aplicación previa de herramientas estadísticas.

Peso Específico: El peso específico del café es una variable resultado del proceso de fabricación que mide el nivel de gramos por litro que posee el producto. Por la complejidad del mismo existe una alta variabilidad en los resultados obtenidos por cada lote. Esta variable fue considerada de alto impacto, ya que el equipo utilizado para el llenado al ser de tipo volumétrico es muy sensible a la relación gramos versus volumen. Un lote con peso específico alto, podrá incluir mayor cantidad de gramos en el mismo volumen por lo que se tenderá a la sobredosificación. Por el contrario un lote con peso específico bajo podría generar infradosificación.

Nivel de vacío: El nivel de vacío del equipo ajusta el volumen de producto que ingresará por cada llenado. La falta de un proceso estandarizado y el desconocimiento de su influencia hacen de esta variable un factor de estudio a verificarse.

Para la verificación de las variables señaladas como potencialmente significativas, se plantearon y evaluaron hipótesis que relacionaban las mismas con respecto a las referencias incluidas en este estudio (85 gr., 170 gr.). El uso de media o mediana para la evaluación de la significancia de los factores, dependió de la distribución de los datos (normal, no-normal) y por tanto el tipo de prueba utilizada. A continuación se detallan las hipótesis nulas planteadas.

Ho1: La mediana del peso del producto llenado en **envases de 85gr.** no se ve influenciado por el **peso específico del granel.**

Ho2: La media del peso del prodcto llenado en **envases de 170gr.** no se ve influenciado por el **peso específico del granel.**

Ho3: La mediana del peso del producto llenado en **envases de 85gr.** no se ve influenciado por el **nivel de vacío del equipo.**

Ho4: La media del peso del producto llenado en **envases de 170 gr.** no se ve influenciado por el **nivel de vacío del equipo.**

Para probar las hipótesis Ho1 y Ho2 se registraron valores del peso del producto llenado en las referencias de 85 gr. y 170 gr. considerando diferentes niveles de peso específico, de acuerdo a lo provisto normalmente por el area de fabricación. En el caso de las hipótesis Ho3 y Ho4 se realizó lo propio, considerando el peso del producto llenado de acuerdo a los niveles de vacío normalmente utilizados.

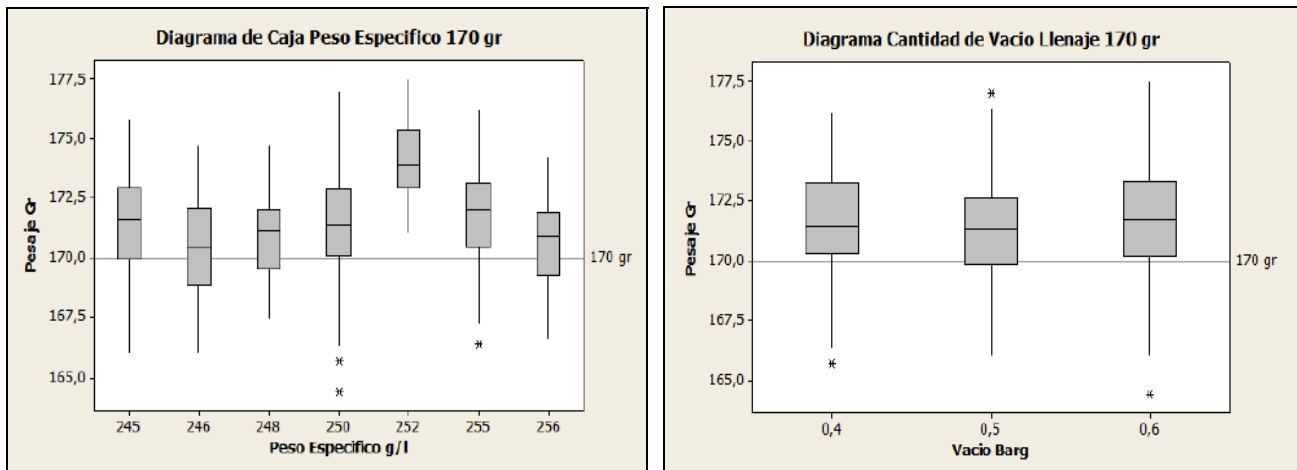


Figura 6. Peso de producto llenado de acuerdo al peso específico y nivel de vacío para referencia 170 gr.

Las hipótesis alterna, el tipo de prueba realizada para su evaluación, así como el p_{valor} obtenido para cada una de las hipótesis nulas planteadas, pueden observarse a continuación en la siguiente tabla resumen:

Tabla 1. Resumen de los resultados de las pruebas de hipótesis

Hipótesis nula (Ho)	Hipótesis alterna (Ha)	Prueba utilizada	Pvalor
Ho1	La mediana del peso de producto llenado en formato de 85 gr. es diferente para al menos un nivel de peso específico	Kruskar-Wallis	0,000
□ □ □	La media del peso de producto llenado en formato de 170 gr. es diferente para al menos un nivel de peso específico	ANOVA	0,000
Ho3	La mediana del peso de producto llenado en formato de 85 gr. es diferente para al menos un nivel de vacío.	Mann-Whitney	0,000
□ □ □	La media del peso de producto llenado en formato de 170 gr. es diferente para al menos un nivel de vacío.	ANOVA	0,0025

Para los dos formatos bajo estudio, los factores peso específico y nivel de vacío fueron encontrados influyentes ($P < 0,05$). En la etapa de mejora se establecerán los niveles de operación más adecuados resultado de la aplicación del Diseño de Experimentos.

7. MEJORA

Con el objetivo de identificar los niveles de operación para los factores establecidos como críticos en la etapa de Análisis, se planteó un diseño de experimentos de tipo factorial general. Los factores y niveles del mismo pueden observarse a continuación.

Tabla 2. Diseño del experimento para factores significativos

Referencias	Peso específico	Vacío		
85 gr.	240 gr./litro	-0,3	-0,4	-0,5
	245 gr./litro			
	250 gr./litro			
170 gr.	240 gr./litro	-0,3	-0,4	-0,5
	245 gr./litro			
	250 gr./litro			

Los resultados del Diseño de Experimentos con respecto al nivel de significancia de los niveles principales e interacciones, pueden ser observados en la siguiente tabla resumen:

Tabla 3. Resultados del Diseño de Experimentos

Referencia	Factores	Pvalor
Formato 85 gr.	Peso específico	0,0034
	Vacío	0,000
	Peso específico*vació	0,004
Formato 170 gr.	Peso específico	0,000
	Vacío	0,004
	Peso específico*vació	0,003

Con el fin de obtener una guía que pueda ser aplicada con facilidad en planta, los resultados fueron resumidos en una matriz que permite determinar con rapidez el nivel de vacío requerido en el equipo de acuerdo al peso específico con que llega el café desde fabricación.

Formato 85 gr			
Vacío (Barg)	Peso Especifico		
	240 g/l	245 g/l	250 g/l
-0,3	✗	✓	✗
-0,4	✓	✗	✗
-0,5	✗	✗	✓

Figura 7: Matriz resumen de resultados del diseño de experimentos para referencia de 85 gr.

Como resultado de la aplicación de los nuevos niveles de operación, junto con la restauración de las condiciones básicas, fue posible evidenciar una diferencia significativa en la sobre-dosificación del café (Figura 8). La evidencia mostró el paso de un nivel de sobre-dosificación de 1,85% a 1,35%, un 0,11% menos de lo establecido como meta para el proyecto (1,46%). Esto logró un nivel de ahorro financiero que superó las expectativas de la compañía y potencializó la iniciativa DMAIC dentro de la empresa para el desarrollo de proyectos adicionales.

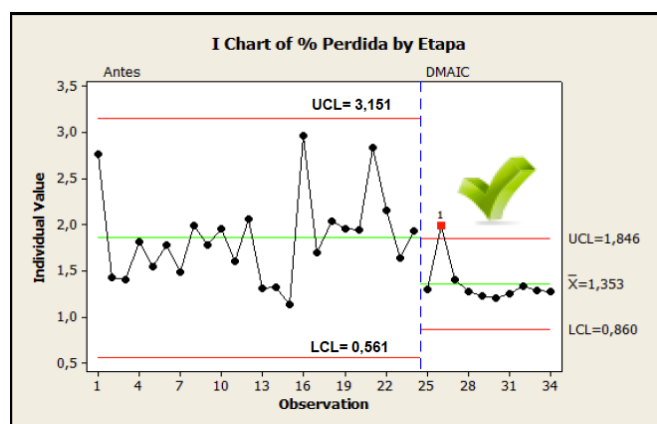


Figura 8: Evidencia de mejora significativa luego de implementación de los planes de acción

8. CONTROL

Se establecieron medidas orientadas a mantener en el tiempo las mejoras implementadas. Las mismas estuvieron relacionadas con los factores determinados como influyentes en las etapas de análisis y mejora. Por ejemplo con el objetivo de monitorear el peso específico del granel, se establecieron formatos de control de modo que el peso específico sea registrado y comunicado al personal de llenado por cada lote elaborado. El conocer el peso específico del lote producido y comunicarlo oportunamente permitirá asegurar el ajuste correcto del vacío y el control de la sobre-dosificación. Adicionalmente se establecieron controles visuales (Figura 9) en el vacuómetro con el objetivo de señalar los niveles adecuados de operación en cuanto a vacío, esto complementado con la matriz resumen de resultados (Figura 7). permite a los operarios de la llenadora aplicar el nivel de vacío adecuado en función del peso específico del granel del café.



Figura 9: Medidas de Control implementadas

La capacitación en el manejo del equipo en función del peso específico, como parte de la capacitación básica del puesto, aseguró la sostenibilidad de la mejora en el tiempo. Esta última medida permitió la entrega definitiva del proyecto al dueño del proceso ya que con ella se aseguraba el mantenimiento de las mejoras en el largo plazo (Yang,Basem,2002).

9. CONCLUSIONES

El presente artículo muestra los resultados de la aplicación de la metodología DMAIC en una empresa productora y envasadora de café en Colombia. La efectividad de la aplicación puede notarse por los resultados que superan las expectativas planteadas al inicio del proyecto. Como factores de éxito podemos destacar el soporte de la

gerencia, y el involucramiento constante del sponsor durante todo el desarrollo del proyecto. Adicionalmente la experiencia y el conocimiento del proceso por parte del desarrollador del proyecto (Green Belt) fueron notorias durante el análisis de las causas potenciales (Análisis) y el Diseño del Experimento (Mejora). Se destaca adicionalmente la aplicación de herramientas estadísticas usualmente fuera de los contenidos básicos de preparación para Green Belts, como son las pruebas no paramétricas Kruskal-Wallis y Mann Whitney. La facilidad con la que fueron aplicadas e interpretadas por parte del desarrollador del proyecto, muestra que las mismas son factibles de aplicación incluso en ambientes en donde las herramientas estadísticas no han sido usualmente empleadas.

10. RECOMENDACIONES

Se sugiere el desarrollo de un estudio formal basado en investigación de casos que permita identificar los factores que influyen en el tiempo de desarrollo de proyectos DMAIC. Usualmente el tiempo que se emplea para la capacitación y elaboración de proyectos en muchos casos se extiende muy por encima de lo esperado por parte de las empresas. Esto hace menos atractiva la aplicación de esta metodología y en algunos casos pone en riesgo la sostenibilidad de programas Seis Sigma en el largo plazo.

REFERENCIAS

- Breyfogle, et al. (2001). *Managing Six Sigma. A practical Guide to Understanding, Assesing, and Implementing the Strategy that Yields Bootom-Line Success.* ,John Wiley and Sons, New York.
- Fornari, A.& Maszle, G. (2004). Lean Six Sigma Leads Xerox. *Six Sigma Forum Magazine*, Vol. 3 , No. 4,p11-16
- Hill, W., & Kearney, W. (2003). The Honeywell Experience. *Six Sigma Forum Magaine*, Vol. 2 , No. 2,pp 34–37
- Hoerl, Roger. (2002). An Inside Look at Six Sigma at GE. *Six Sigma Forum Magazine*, Vol. 1, No. 3,pp 35–44.
- Ishikawa, K. (1988). *What is Total Quality Control? the Japanese Way.* New York: Prentice Hall.
- Mukhopadhyay, A., & Ray, S. (2006). Reduction of Yarn Packing Defects Using Six Sigma Methods. *Quality Engineering*, Vol. 18 , No. 2,pp 189–206.
- Rizwan, A. (2010). *Six Sigma and Developing Countries, Quality Management and Six Sigma*, Coskun (Ed.)
- Schall, Susan. (2012). Variability Reduction: A Statistical Engineering Approach to Engage Operations Teams in Process Improvement. *Quality Engineering*, Vol. 24, No. 2,pp 264–279.
- Smith, Bonnie. (2003). Lean and Six Sigma - A One-Two Punch. *Quality Progress*, Vol. 36, No. 4,pp 37–41.
- Yang, K., & Basem, S. (2002). *Design for Six Sigma.*, 2nd edition, McGraw-Hill International, New York.

AUTORIZATION AND DISCLAIMER

Authors authorize LACCEI to publish the paper in the conference proceedings. Neither LACCEI nor the editors are responsible either for the content or for the implications of what is expressed in the paper.