

Optimización del proceso de refinamiento cáustico dentro del refinamiento de aceite soya, por medio de la aplicación del método Seis Sigma en el sector industrial de alimentos.

Víctor M. Ch. García S.^{1,*}, Paulo R. Lezcano M.¹

¹ Estudiante, Facultad de Ingeniería y Tecnología (Postgrado e Investigación), Universidad Católica Santa María la Antigua (USMA), Panamá, República de Panamá.

*Autor para correspondencia. Correo electrónico: vmchgs@yahoo.com

Recibido: 12 de diciembre de 2016
Aceptado: 15 de diciembre de 2016

Abstract.

One of the main objectives of any industrial activity or business is to obtain an adequate profitability that allows to finance its operations, as well as to generate value to its shareholders; Therefore having a model or information system of profitability happens to be an obligation for any company. Implementing best practices in process management directly and significantly affects the profitability of an organization, so that efficiency and productivity increase, reducing errors and risk in processes. Business process management helps executives determine how to develop, monitor and measure enterprise resources. This project sought to optimize the caustic refinement process of vegetable oil within the Boca la Caja plant of the company Industrias Panamá Boston S.A., through the improvement within the elaboration and quality management processes of the product. The objective was to apply the Six Sigma methodology through the DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve and Control) cycle to the process of oil caustic refinement within the oil refining section, aiming to improve the process capacity of the level of losses in the soapstock (By-product of Centrifuga S₁), which represents a critical factor that affects the performance of the process economically.

The results shown the reduction of losses in the caustic refining process, significantly affecting the effectiveness (process capacity) and the opportunity to generate profits. Likewise, a change of focus was achieved in the way that operations were handled towards a culture of resource optimization based on process control.

Keywords. Six Sigma; Strategic planning of quality; Caustic oil refinement; Process management; Statistical quality control.

Resumen.

Uno de los objetivos principales de toda actividad industrial o negocio es obtener una rentabilidad adecuada que permita financiar sus operaciones, así como generar valor a sus accionistas. Por lo tanto tener un modelo o sistema de información de rentabilidad pasa a ser una obligación para cualquier empresa. Implementar las mejores prácticas en la gestión de procesos incide directamente y de manera significativa en la rentabilidad de una organización, pues la eficiencia y la productividad se incrementan, disminuyéndose los errores y el riesgo en los procesos. La gestión de procesos empresariales ayuda a los ejecutivos a determinar cómo desarrollar, monitorear y medir los recursos de la empresa. Este proyecto buscó la optimización del proceso de refinamiento caustico de aceite vegetal dentro de la planta Boca La Caja de la empresa Industrias Panamá Boston S.A., por medio de la mejora dentro de la gestión de los procesos de elaboración y calidad del producto. El objetivo consistió en la aplicación de la metodología Seis Sigma mediante el ciclo DMAMC (Definir, Medir, Analizar, Mejora y Controla) propio de la misma, al proceso de refinamiento caustico de aceite dentro de la sección de refinamiento de aceites, con la finalidad de mejorar la capacidad de proceso del nivel de pérdidas en el soapstock (Subproducto de la Centrifuga S₁), el cual representa un factor crítico que afecta el desempeño del proceso económicamente.

Los resultados demuestran la reducción de las pérdidas en el proceso, incidiendo de manera significativa en la efectividad (capacidad de proceso) y la oportunidad de generar ganancias. Igualmente se logró un cambio de enfoque en la forma de llevar las operaciones hacia una cultura de optimización de recursos basado en el control de los procesos.

Palabras clave. Seis Sigma; Planificación estratégica de calidad; Refinamiento cáustico de aceite; Gestión de procesos; Control estadístico de calidad.

1 Introducción.

El entorno actual de competitividad en los mercados obliga a las empresas a buscar continuamente oportunidades de mejora que las haga más eficientes, así como minimizar sus márgenes de pérdidas. En este sentido, cada vez son más conscientes de la importancia de la gestión de procesos, como parte esencial a la hora de aportar más valor a sus clientes y reducir sus costos.

Los conceptos que se incluyen dentro de la gestión de procesos constituyen una herramienta fundamental para mejorar la gestión empresarial. Dentro de estos conceptos se estipula la planificación, administración y el control de los recursos disponibles dentro de la organización, con el fin de optimizar el manejo de los mismos. El propósito fundamental de la gestión de procesos es hacer más ren-

table las operaciones, al igual que mejorar el servicio al cliente, a través de incremento de la eficiencia de los procesos de producción, por lo que un aspecto crítico de la administración exitosa(1).

Con respecto a filosofías de gestión, el termino Seis Sigma es hoy en día más amplio que lo que se conoce tradicionalmente como control de calidad(2). La metodología está orientada a la eliminación sistemática de las causas de ineficacia e ineficiencia dentro de un proceso, al igual que se utiliza como medida para el rendimiento y como herramienta para alcanzar objetivos. Citando a De Benito Valencia(3, p. 61): “las posibilidades de mejora y de ahorro de costes son enormes, pero el proceso Seis Sigma requiere el compromiso de tiempo, talento, dedicación, persistencia y, por supuesto, inversión económica”.

Actualmente en Panamá un selecto y pequeño grupo de profesionales está recibiendo el conocimiento en Gestión de Sistemas de Calidad. Sabemos que ya existen más de 100 corporaciones multinacionales establecidas en Panamá y que muchas de ellas poseen programas internos de certificación en gestión de sistemas de calidad, y están capacitando a su fuerza laboral en Panamá, muchos internamente o enviados al exterior a atender cursos y certificaciones en herramientas que van desde Kaizen, “5 S” (Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu, y Shitsuke), ISO, hasta Seis Sigma (Six Sigma) y Lean Six Sigma(4).

Por otro lado, académicamente hablando, no existe mucho material respecto a estudios o implementación de esta metodología a nivel industrial para el mejoramiento de sistemas de gestión dentro de empresas en Panamá, por lo que el presente estudio representa un gran aporte para la aplicación y mejora de procesos a nivel industrial.

El estudio se desarrolla en Industrias Panamá Boston S.A que es una empresa dedicada a la producción y comercialización de una amplia gama de productos, entre los cuales se encuentran diferentes tipos de aceites comestibles, que representan el producto de mayor venta dentro de toda su cartera de productos. Dentro de los tipos de aceites comestibles que se procesan en esta planta, se encuentran los aceites de Palma, Girasol, Maíz y Soya, siendo este último el único que es refinado a través de tratamiento cáustico.

Los resultados en el proceso de refinación continua de grasas vegetales son altamente dependientes de las condiciones de trabajo, como por ejemplo la cantidad de legía utilizada y la concentración de la misma. Por lo general, las mayores pérdidas de aceite ocurren en la etapa de neutralización, aunque también las pérdidas en las etapas de desgomado, el re-refinamiento y lavado (siendo todos estos sub-procesos de la refinación caustica) pudiesen, en ciertos, casos ser de una importancia significativa en el rendimiento, especialmente cuando se están procesando aceites con bajo contenido de ácidos grasos libres (FFA, por sus siglas en ingles). De ahí que la cantidad de soda caustica y su concentración debe ser correctamente calculada y rigurosamente verificada durante el procesamiento. Esto

aplica también a las demás condiciones de trabajo en las diferentes etapas de refinación. Para evaluar la efectividad del proceso, se calculan las pérdidas teóricas y se comparan con el valor de las pérdidas proporcionadas por el fabricante de los equipos.

Según los cálculos realizados por el departamento de ingeniería de Refinamiento de Aceites de Industrias Panamá Boston S.A., el proceso de neutralización o refinamiento cáustico genera pérdidas muy por encima de lo establecido por el fabricante, siendo la diferencia de aproximadamente 1.5 % de aceite neutro perdido, cuando el máximo de tolerancia es de 0.5%, lo que representa a nivel económico aproximadamente \$10,000 semanales por concepto de pérdidas. De ahí que surja la necesidad de determinar las causas que pudiesen estar afectando al rendimiento del proceso, con la finalidad de poder controlarlas y llegar a operar finalmente al nivel mínimo posible de pérdidas.

2 Materiales y métodos

2.1 Diseño

La investigación tuvo un enfoque tanto cualitativo como cuantitativo, es decir, un modelo de 2 etapas, siendo la primera la determinación de las hipótesis mediante entrevistas (cualitativa) y la segunda el análisis de los resultados obtenidos en mediciones concretas basadas en esas hipótesis (cuantitativo) (5, 6).

El alcance de la investigación inició de forma correlacional, debido a que el objetivo fue determinar la causa de las pérdidas de aceite neutro partiendo de factores conocidos, y terminó de forma explicativa porque se estableció la afectación del factor determinante a las pérdidas de aceite neutro.

Con respecto al tipo de investigación, se utilizó proyectiva con diseño de campo experimental. La finalidad fue la de efectuar una serie de entrevistas con todas las personas que tienen relación con el proceso de operación de planta y lograra así recabar toda la información necesaria para el desarrollo de la propuesta.

2.2 Población

Para el diagnóstico inicial se consideraron 30 muestras de soapstock o efluentes destinados a la determinación de las pérdidas, que comprenden la preparación y el análisis de un blend representativo de los 3 turnos que rigen las operaciones en la planta. Con respecto al diagnóstico de las condiciones de proceso se utilizaron más de 190 datos por atributo controlado en el proceso de refinamiento cáustico (temperatura de precalentamiento, exceso de adición de NaOH, adición de ácido fosfórico, temperatura de aceite en centrifuga, contrapresión de trabajo de la centrifuga).

En la etapa final del proyecto se tomaron 30 muestras de efluentes para el cálculo de pérdidas en el proceso de refinamiento cáustico luego de las mejoras implementadas, así como más de 45 datos por atributo controlado para la verificación del proceso.

2.3 Procedimiento

Se inició con un diagnóstico de la situación con respecto a las diferencia entre perdidas teóricas y reales de aceite neutro en los efluentes en el proceso. A tal fin el laboratorio determinó el porcentaje de ácidos grasos libres (%FFA) en el efluente de las muestras consideradas dentro de la población utilizando el método AOCS Ca 5a - 40, de esta manera se obtuvo el porcentaje de pérdida de aceite neutro y se determinó la diferencia con respecto al porcentaje de perdidas teóricas.

Según la metodología Seis Sigma y el ciclo DMAMC, se continuó con la primera fase del proyecto o fase de definición mediante la utilización del diagrama SIPOC (por sus siglas en inglés *Supplier - Inputs - Process - Outputs - Customers*), y se identificaron los elementos más relevantes dentro del proceso a mejorar.

La siguiente fase (medición), se identificaron y cuantificaron las variables con más incidencia dentro del proceso de refinamiento caustico por medio de herramientas de calidad como el diagrama causa y efecto, matriz CTQ, diagrama de Pareto, análisis modal de fallas y efectos, para entender el desempeño inicial del proceso en estudio.

Para la fase de análisis con la finalidad de detectar fuentes de variación, mediante el análisis de los datos con detalle, se realizaron pruebas de ajuste de normalidad de datos recolectados, se determinó la capacidad actual del proceso a través de la utilización de herramientas estadísticas como el cálculo de capacidad de proceso y nivel sigma para las variables en estudio (perdidas y variables de operación), se ejecutaron pruebas estadísticas para verificar diferencias significativas para las perdidas con un periodo de tiempo semanal (ANOVA), se realizó un diseño de experimentos de un solo factor para visualizar las correlaciones y dependencias entre variables en estudio. Para todos los experimentos se utilizó un nivel de error α de 0.05.

Una vez determinada las fuentes de variaciones, se ejecutó la fase de mejora en la cual se desarrollaron planes de capacitación para el personal operativo basados en las condiciones óptimas de procesos, se actualizaron instrucciones de trabajo, se desarrollaron y tabularon parámetros para el desarrollo de una óptima operación, y se establecieron índices básicos de desempeño, cálculo de capacidad y nivel sigma del proceso después de implementadas las mejoras.

Finalmente, y con el objetivo de verificar que las mejoras para asegurar que se haya cumplido con los objetivos sean sostenidas en el tiempo dentro de la fase de control, se elaboró un plan de control y seguimiento para indicadores de procesos, basado en graficas de control X - S, para cada variable del

estudio. Una vez obtenidos de manera cuantitativa los resultados de la mejora se realizó la evaluación económica para el cálculo de los beneficios económicos alcanzados luego de ejecutarse la fase de mejora.

3 Resultados

Los resultados obtenidos para el diagnóstico inicial de las pérdidas reales dentro del proceso y la diferencia con respecto a las pérdidas teóricas, se detallan en la Tabla 1.

Tabla 1:

Resultados de diagnóstico inicial

Muestras (n)	Promedio pérdidas reales	Desviación estándar de pérdidas reales (σ)	Promedio de diferencia entre pérdidas reales vs teóricas
30	3.81%	0.0035	1.07%

3.1 Fase de definición

De acuerdo al diagrama SIPOC (Suppliers, Inputs, Process, Outputs, Clients), dentro del proceso se identificaron como los elementos más relevantes para el estudio:

Inputs: Personal operador, personal supervisor, insumos (soda caustica), aceite crudo.

Process: Neutralización y centrifugación.

Outputs: Efluentes (Soapstock).

3.2 Fase de medición

Del diagrama causa - efecto (Ishikawa), se definieron como variables controlables las siguientes:

1. Agua de Proceso (Material).
2. Control de Operaciones (Métodos).
3. Procedimientos (Métodos).
4. Mantenimiento (Maquinaria).

Las variables consideradas ruido corresponden a:

- Aceite Crudo (Material).
- Tanque de Aditivo (Medio Ambiente).
- Operadores (Personal).
- Supervisión (Personal).
- Equipos de Medición (Mediciones).
- Análisis de laboratorio (Mediciones).

Con la matriz CTQ se priorizaron las variables resultantes del Ishikawa, de acuerdo a la ponderación establecida en conjunto con el personal gerencial del departamento de refinamiento, obteniéndose los resultados que se presentan en la Figura 1.

Matriz Causa y Efecto		Rating de Importancia para el Cliente	100	Total
		CTQ relacionadas	1	
		Reduccion de perdidas de aceite neutro		
Codigo	Factor	Process Input	Ponderación	
A	Metodos	Procedimientos ©	8	800
B		Control de Operaciones ©	10	1000
C	Mediciones	Analisis de Laboratorio ©	5	500
D		Equipos de Medición ©	6	600
E	Personal	Supervisores ©	9	900
F		Operadores ©	3	300
G	Material	Aceite Crudo ©	2	200
H		Agua de Proceso ©	4	400
I	Medio Ambiente	Hermeticidad ©	1	100
J	Maquinaria	Mantenimiento ©	7	700
Total				5500

Figura 1: Matriz CTQ (causa - efecto)

Según la matriz las variables que más afectan a las pérdidas de aceite neutro, corresponden a “procedimientos”, “control de operaciones” y “personal supervisor”.

Para la determinación del modo de falla a atacar se utilizó la herramienta de Análisis Modo potencial de Falla y Efecto (AMFE), se identificaron en conjunto con el personal gerencial del departamento de refinamiento, los puntos de fallos potenciales y se elaboraron planes de acción para contrarrestarlos (Figura 2).

Para las causas potenciales de falla establecidas, se realizaron propuestas de acciones para solventarlas, por modo potencial de falla (Tabla 2)

Tabla 2:

Falla de control de operaciones

Causa potencial de falla	Acción recomendada
1._ ¿Por qué falla el control de operaciones? R: Solo monitorea la adición de legía.	1._ Monitorear al mismo tiempo junto con la legía, las siguientes variables: Aditivos, temperaturas y contrapresión del proceso.
2._ ¿Por qué no se monitorean las variables al mismo tiempo? R: No existe un procedimiento establecido.	2._ Analizar el proceso y documentar un procedimiento de trabajo óptimo.
3._ ¿Por qué no existe un procedimiento establecido? R: No existe un área que sea responsable de la documentación, revisión, auditorías de	3._ Crear un área que documente procesos, revise y audite los procesos.

procesos.

ANÁLISIS DE MODO POTENCIAL DE FALLA Y EFECTO (AMEF)									
No. de Código: AMEF - 01		N° de Revisión del AMEF: 1		09-ago-14					
Área: Refinamiento de Aceites		Fecha de Elaboración:		Seis Sigma Refinamiento de Aceites					
Proceso: Refinamiento Caustico		Equipo:							
PASO DEL PROCESO	MODOS POTENCIALES DE FALLA	EFECTOS POTENCIALES DE LAS FALLAS	CONDICIONES EXISTENTES					ACCIÓN RECOMENDADA	
			SEVERIDAD	CAUSAS POTENCIALES DE FALLA	OCURRENCIA	CONTROLES ACTUALES	DETECCIÓN		PRIORIDAD DE RIESGO NO. (RPN)
B	Falta de control de operaciones	Eficiencia de la planta de tratamiento de agua, proceso de centrifugación (no se separa bien las fases)	10	Mal ajuste de parámetros en equipos	10	Monitoreo manual de una sola variable: adición de soda	9	900	1. Asegurar que el monitoreo de las variables se realice según la frecuencia establecida. 2. Establecer la frecuencia de monitoreo de las variables.
E	Falta de supervisión efectiva	Perdidas de aceite neutro por falta de toma de acción correctiva oportuna	10	Desconocimiento de rangos parámetros de operación	6	NA	5	300	Ver acciones de los 5 xq
A	Fallas en la ejecución de Procedimientos de arranque y parada	Perdidas de aceite neutro en el arranque y parada por mala ejecución del procedimiento	8	Desconocimiento de procedimientos	8	NA	8	512	Ver acciones de los 5 xq
J	Fallas en Mantenimiento de equipos	Perdidas de aceite neutro en la centrifuga por falta de velocidad, o fallas en los mezcladores que no permitan una homogenización y se afecte la separación	5	Falta de programación efectiva de mantenimiento	4	NA	5	100	Ver acciones de los 5 xq
D	Falta de calibración de Equipos de Medición	Perdidas por lecturas erradas al momento de realizar los cálculos	4	Falta de programación para calibración de equipos	8	Calibración	4	128	Ver acciones de los 5 xq

Figura 2: Matriz CTQ (causa - efecto)

3.3 Fase de análisis

Se comprobó la normalidad de la data mediante prueba de ajuste de Kolmogorov - Smirnov, con un nivel de significación de 0.05 (Figura 3).

Se calculó la capacidad de proceso para el porcentaje de las pérdidas de aceite neutro en etapa inicial, con un $Cpk = 0.73$ y un nivel sigma = 2.19.

Igualmente se calculan las capacidades para los parámetros de control de proceso, obteniéndose los siguientes resultados:

- Temperatura de precalentamiento de aceite: No se media para el momento.
- Dosificación de ácido fosfórico: $Cpk = 0.64$; $\sigma = 1.92$.
- Adición de legía: $Cpk = 0.12$; $\sigma = 1.36$.
- Temperatura de aceite en la centrifuga de neutralización: $Cpk = -0.17$; $\sigma = 0$.
- Contrapresión de trabajo en la centrifuga de neutralización: $Cpk = 0.07$; $\sigma = 0.21$.

Con la finalidad de verificar la existencia de diferencias significativas y comparar los valores obtenidos por semana para las pérdidas de aceite neutro en el proceso de neutralización, se utilizó el método de comparación múltiple de análisis de Varianza de una vía (ANOVA).

El nivel de error $\alpha = 0.05$, es decir el nivel de confianza de la prueba fue de un 95%. Para nuestro estudio, se estableció como hipótesis nula H_0 : Los valores de pérdidas en el proceso de neutralización en las distintas semanas NO presentan diferencias significativas entre sí, es decir, se mantienen constantes ($\mu = \mu_0$). Por otra parte, la hipótesis alternativa establecida fue, que las pérdidas del procesos presentan diferencias significativas ($\mu \neq \mu_0$).

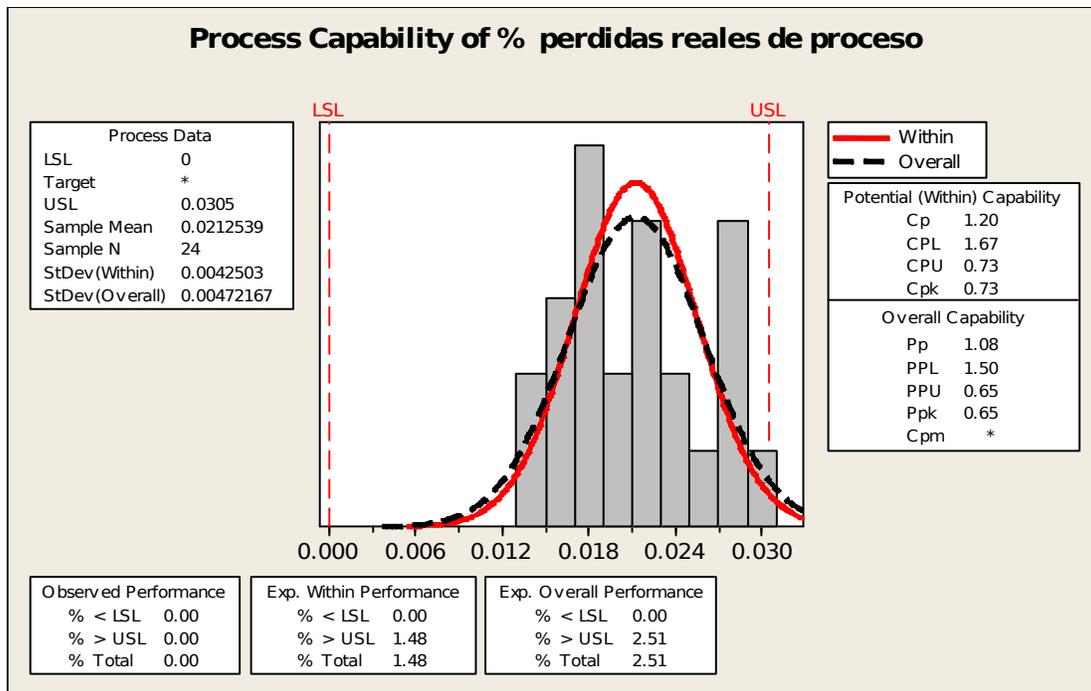


Figura 3: Capacidad de proceso para porcentaje de pérdidas reales

En la Tabla 3 se presentan los valores de las comparaciones realizadas, junto con el p-valor del método ANOVA. Tal y como lo muestra la tabla el p-valor resulta mayor que el nivel α previamente fijado (menor a 0.05) por lo que no existe suficiente evidencia para que la hipótesis nula no sea rechazada, es decir, se mantiene que: Las varianzas correspondientes a las pérdidas de aceite neutro en el proceso de neutralización obtenidas por mes de estudio, NO presentan diferencias significativa entre sí. Dicho de otra manera, se observa que el proceso está controlado de la misma manera a lo largo de todos los turnos de producción, de ahí que todos los supervisores estén alineados y se estén manejando con los mismos parámetros de procesos.

Con la finalidad de verificar la influencia del factor “Exceso de NaOH” en la variable respuesta “% de perdidas”—siendo la única en principio cuyos datos registrados presentan una variación significativa en cuanto a sus parámetros de control—, se realiza un diseño de experimento para determinar la existencia de diferencias significativas entre los distintos niveles detectados en los registros de planta (Tablas 4 y 5).

Tabla 3:
Análisis de varianza de pérdidas de procesos por semanas de producción

ANOVA: Valor diferencia pérdida real VS semana					
Fuente	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Varianza	F	p
Semana	5	0.0000206	0.0000041	1.5	0.22
Error	19	0.0000503	0.0000026	6	0
Total	24	0.0000709			
S = 0.001628		R ² = 29.06%	R ² (adj) = 10.39%		
Intervalos de confianza (IC95%) para la media basados en desviación estándar combinada					
Semana	n	Media	Desv. Est.	-----+-----+-----+-----+-----	
46	3	0.001333	0.001002	(-----*-----)	
47	5	0.003100	0.001257	(-----*-----)	
48	2	0.001300	0.001556	(-----*-----)	
49	6	0.003983	0.000950	(-----*-----)	
50	5	0.003360	0.002472	(-----*-----)	
51	4	0.003000	0.001881	(-----*-----)	
				-----+-----+-----+-----+-----	
				0.0000	0.0020
				0.0040	0.0060
Desviación estándar combinada = 0.001628					

El nivel de error $\alpha = 0.05$, nivel de confianza de la prueba fue de un 95%. Para nuestro estudio, se estableció como hipótesis nula H_0 : Los distintos niveles medidos para el exceso de soda NO presentan diferencias significativas en cuanto a los resultados de pérdidas, es decir, se mantienen constantes ($\mu = \mu_0$). Por otra parte, la hipótesis alternativa establecida fue, La hipótesis alternativa que las medias son diferentes ($\mu \neq \mu_0$).

El resultado del p-valor es menor al nivel de error por lo que la hipótesis nula es rechazada, es decir, existen diferencias significativas entre los valores de las pérdidas para cada nivel involucrado en el estudio.

Tabla 4:
 Porcentaje de pérdidas para niveles de Exceso de soda.

Exceso de NaOH	Valor de diferencia % de pérdidas en Soapstock (real - teórica)				
	1	2	3	4	5
0.005	0.33	0.52	0.30	0.47	0.41
0.025	0.02	0.01	0.01	0.02	0.01
0.035	0.10	0.07	0.03	0.09	0.15

Con el objetivo de realizar las comparaciones entre los niveles se aplicó el método de comparación múltiple de mínima diferencia significativa (Tabla 6). De las ecuaciones normales, se determinan los valores de los niveles τ_i y el valor de μ . Se calcula la probabilidad inversa de la distribución t-student, tomando en cuenta los grados de libertad establecidos dentro de los grupos. Luego se calcula el índice de diferencias mínima significativa (LSD) y por último establecen las diferencias entre los niveles, comparando el valor absoluto de la resta entre los valores PY_i de cada uno. Si $PY_i - PY_j > LSD$, entonces se puede afirmar que PY_i y PY_j son significativamente diferentes.

Tabla 5:
 Análisis de varianza de 1 factor (exceso de NaOH).

RESUMEN					
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza	
0.005	5	2.03	0.406	0.00853	
0.025	5	0.07	0.014	3E-05	
0.035	5	0.44	0.088	0.00192	
ANOVA: Valor diferencia pérdida real VS semana					
Fuente	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Varianza	F	p
Entre grupos	2	0.43377333	0.2168866	62.085877	4.6844E-07
Dentro de los grupos	12	0.04192	0.0034933		
Total	14	0.475693333			

Existen diferencias significativas entre los niveles de adición de exceso de soda 0.005 y 0.025, al igual que entre los niveles 0.005 y 0.035 (resaltados en color rojo). Por lo que se confirma que cuando se trabaja por debajo del parámetro específico las pérdidas son muy altas. Por otro lado se observa que

entre los niveles 0.025 y 0.035 no hay diferencias significativas, lo que tiene cierta lógica ya que sabemos que aunque pueda haber pérdidas por saponificación estas no son tan significativas como las pérdidas estequiometrias por falta de aditivo.

Tabla 6:
Determinación de diferencias significativa entre niveles en estudio.

Ecuaciones normales		
$15\mu + 5\tau_1 + 5\tau_2 = 0.508$	$\mu = 0.01126667$	$t_{0.975}(12) = 2.17881$
$5\mu + 5\tau_1 = 0.406$	$\tau_1 = 0.06993333$	$p = 0.04316377$
$5\mu + 5\tau_2 = 0.014$	$\tau_2 = -0.00846667$	$LSD = 0.09404578$
$5\mu + 5\tau_3 = 0.088$	$\tau_3 = 0.00633333$	
	PY₁	PY₂
PY₂	0.39200	-
PY₃	0.31800	0.074000

3.4 Fase de mejora

Una vez definida la situación actual, se comenzó a trabajar en las mejoras, para ello el objetivo se basó no solo en optimizar los valores de los principales factores, si no trabajar en la capacitación del personal y establecimiento de planes de inspecciones formales para el control de procesos.

Se diseñó un programa de capacitación para supervisores enfocado en temas de control de procesos, específicamente para la planta de refinamiento caustico, en el cual se incluyen los principios teóricos, los efectos sobre el aceite tratado, al igual que los parámetros de operación por sección establecidos por parte del proveedor de los equipo. Las secciones que incluidas en la capacitación fueron:

- Sección de Calentamiento del aceite.
- Sección de pretratamiento acido.
- Sección de Neutralización.
- Sección de Centrifugación.
- Sección de Lavado.
- Sección de Secado.

Igualmente y colaboración con la gerencia del departamento de Refinamiento de Aceite, se desarrolló una prueba para evaluar la efectividad de la capacitación, basada en el contenido por secciones. Dentro del programa de capacitación se encuentran definidos:

- Programa de Entrenamiento.
- Responsable de la Capacitación.
- Habilidades a adquirir.

- Evaluación / Criterio de salida.
- Frecuencia de Capacitación.
- Criterio de Aprobación.
- Cronograma de Capacitaciones.

Con la finalidad de evaluar el estatus de conocimiento que poseían los supervisores se realizó una prueba diagnóstica utilizando el formato desarrollado y se evidenció que existían fallas en el conocimiento de los parámetros de operación de la planta de refinamiento caustico. Luego de recibida la capacitación se volvió a aplicar la prueba pudiéndose evidenciar la adquisición del conocimiento de una manera notable (Tabla 7).

Tabla 7:
Resultado de capacitaciones para proceso de refinamiento caustico.

Supervisor	Resultado de Prueba diagnostico 04/08/2014	Resultado de Prueba Capacitación 13/09/2014
Turno I	11 / 20	17 / 20
Turno II	12 / 20	20 / 20
Turno III	05 / 20	17 / 20

Dentro de la fase de mejora se actualizaron los instructivos de trabajo de los operadores incluyéndose las actividades de monitoreo a desempeñar y cálculos responsabilidad del supervisor encargado, así como la parte de frecuencias y acciones correctivas en caso de desviaciones, con la finalidad de estandarizar el trabajo. Por otra parte se desarrollaron planes de inspección de parámetros de operación para las distintas plantas que conforman el departamento. Los mismos consisten en los criterios de rangos de trabajos y zonas de corrección, para todas las etapas de los procesos de refinamiento, incluyendo el punto de inspección donde tiene que tomarse la data y la frecuencia establecida.

Para un mejor control de las operaciones y la cuantificación de la eficacia o la mejora obtenida, se establecieron indicadores básicos de desempeño para todos los parámetros de control de proceso de la planta de refinamiento caustico. Del mismo modo se levantó un procedimiento detallado en donde se incluye el diagrama de flujo para la producción de aceites de PABO S.A., desde el punto en que se seleccionan los materiales hasta la obtención del producto terminado.

Como evidencia de las mejoras implementadas se determinaron los valores Cpk y nivel sigma y se establece una comparación con los valores del diagnóstico inicial (Tabla 8).

A nivel general se evidencia la mejora en el nivel de pérdidas de aceite neutro en el proceso de neutralización de un 37 % en la capacidad del proceso. Del mismo modo se observan puntos de mejora con respecto al control de proceso como lo es el caso de la temperatura de precalentamiento de acei-

te, que aunque incide de una menor manera en las pérdidas es un factor que pudiese ayudar a disminuir las mismas.

Tabla 8:
Resultado de implementación de mejoras del proyecto.

Atributo	Etapas Inicial	Etapas Final	% de Mejora
Temperatura de Pre calentamiento	No se medía como parametro	Cpk: 0.13 Nivel σ : 0.39	-
Adición de Acido Fofórico	Cpk: 0.64 Nivel σ : 1.92	Cpk: 1.33 Nivel σ : 4.00	108 %
Adición de Exceso de NaOH	Cpk: 0.12 Nivel σ : 0.36	Cpk: 1.14 Nivel σ : 3.46	850 %
Temperatura de aceite en S1	Cpk: -0.17 Nivel σ : 0	Cpk: -0.39 Nivel σ : 0	Desmejora
Contrapresión de Trabajo en S1	Cpk: 0.07 Nivel σ : 0.21	Cpk: 0.36 Nivel σ : 1.08	414.3 %
Nivel de Perdidas en Soapstock S1	Cpk: 0.73 Nivel σ : 2.19	Cpk: 1.00 Nivel σ : 3.00	37 %

3.5 Fase de control

Se diseñó un plan de monitoreo para las operaciones, como complemento al seguimiento de las mejoras implementadas.

El plan incluyó un procedimiento donde se establece que para cada atributo y a manera de control estadístico de procesos, se debe calcular lo siguiente:

- a) Promedios.
- b) Desviación Estándar.
- c) Capacidad del proceso. (Cpk)
- d) Nivel Sigma.
- e) Rango de Operación.
- f) Gráficos de Control X - S.

Con respecto al análisis de estos valores, se estableció una frecuencia de revisión periódica dentro del procedimiento, al igual que el análisis de los resultados de los atributos de los KPIs con la gerencia de la planta con la finalidad de determinar si se está generando mejora continua. Como ejemplo se muestra el seguimiento al gráfico de control del porcentaje de exceso para adición de NaOH en el proceso de neutralización (Figura 4).

El porcentaje de exceso para la adición de NaOH se mantiene dentro de los límites de control, al igual que dentro de los límites de especificación establecidos [1, 3] %, solo en una ocasión se registra un valor por debajo de los parámetros, que según el reporte de supervisor se debe a una falla en la manguera de la bomba dosificadora, que fue reparada al momento. Del mismo modo se observa un patrón de estabilidad durante todas las corridas registradas, lo que denota un mantenimiento de las condiciones de operaciones independientemente de las condiciones o parámetros del aceite crudo, lo cual represento el objetivo principal del proyecto.

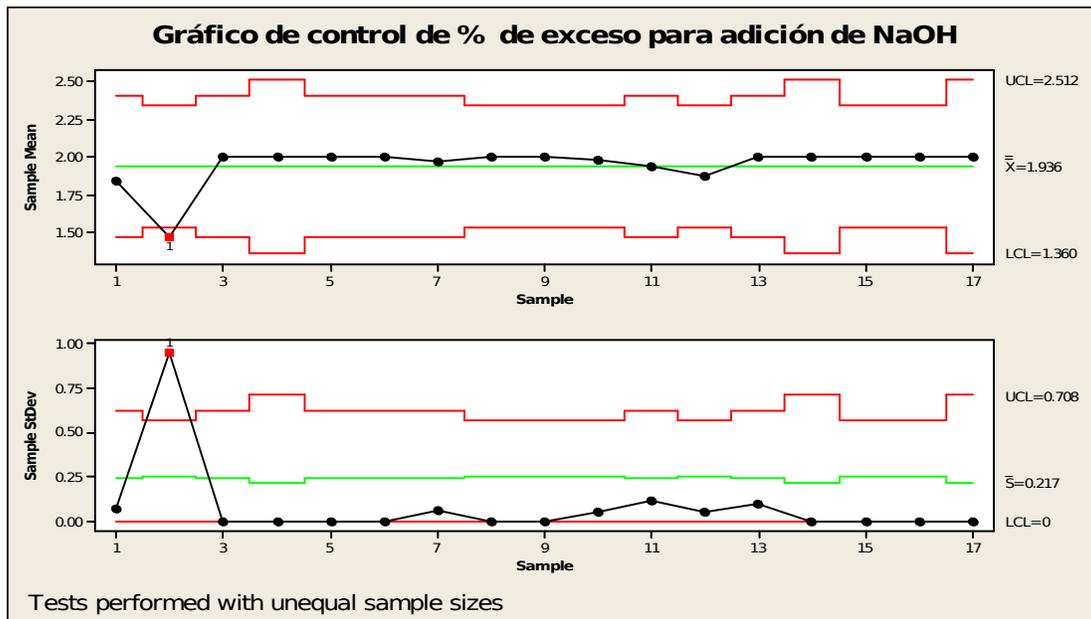


Figura 4: Gráfico de control X - S % de exceso de NaOH.

Finalmente se calculó las pérdidas reales dentro del proceso y la diferencia con respecto a las pérdidas teóricas después de implementadas las mejoras (Tabla 9).

Tabla 9:
 Resultados de fase final

Muestras (n)	Promedio pérdidas reales	Desviación estándar de pérdidas reales (σ)	Promedio de diferencia entre pérdidas reales vs teóricas
30	2.86%	0.0020	0.75%

3.6 Fase de definición

Ejecutada la fase de mejora y control, se alcanzó una reducción en los niveles de pérdidas de aceite neutral en el proceso de refinamiento caustico de 25 %, al igual que una reducción en la diferencia entre pérdidas reales y teóricas a 0.75 %.

Se realizó la comparación del valor de las pérdidas de aceite neutro por un periodo de tiempo semanal, con la finalidad de evaluar cuanto represento la mejora en términos económicos (Tabla 10).

El valor de las perdidas por semanas se reduce a 8.239,36 US\$, lo que implica una oportunidad de venta de 10.985,76 US\$ mensual (131.829,12 US\$ a nivel anual).

Tabla 10:
 Valor de perdidas semanales de aceite de soya en planta de refinamiento caustico.

Producción Semanal			
Caudal de producción	3951	3951	Kg / h
Tiempo de producción	134	134	horas
Capacidad de producción	529.434 (529,434)	529.434 (529,434)	Kg (Ton métrica)
Valor de Ton métrica de Aceite	691,67	691,67	US\$ / Ton métrica
Promedio de pérdidas de proceso	0,03	0,0225	%
Perdidas semanales de aceite	15,88	11,91	Ton métrica
Valor de Perdidas Semanales	10.985,80	8.239,36	US\$

4 Discusión

La presente investigación muestra los resultados de la aplicación de la metodología Seis Sigma (DMAIC) en una empresa procesadora de aceite vegetal en la República de Panamá.

Los resultados obtenidos demuestran la efectividad de la aplicación mediante la reducción de la variabilidad del proceso, ya que se ha alcanzado el objetivo principal de optimización, representado en una disminución a un nivel de pérdida de 0.75 % en promedio con respecto a las perdidas teóricas, incrementándose el rendimiento del proceso de neutralización en un 25 % dentro del refinamiento del aceite vegetal de Soya. Del mismo modo se ha comprobado estadísticamente el incremento del nivel Sigma y la capacidad de proceso para las variables en estudio, obteniéndose un incremento del 37 % para la variable principal (perdidas de proceso), pasando de un Cpk de 0.73 a 1.00 y de un nivel sigma de 2.19 a 3.00.

Mediante la ejecución del diseño de experimentos, se determinó que el factor de mayor incidencia en cuanto a pérdidas de aceite neutro del proceso es el porcentaje exceso de adición de NaOH, en particular cuando el atributo está por debajo del límite de especificación. La mejora registrada para este atributo es la mayor obtenida con respecto a todos los demás atributos, siendo su Cpk inicial de 0.12 y alcanzando en la etapa final un Cpk = 1.14.

La implementación de las mejoras en la gestión de procesos (entrenamiento al personal supervisor, actualización de instructivos, establecimiento de rangos de operación y planes de seguimientos) logró que se obtuvieran mayores beneficios no solo a nivel de estandarización y control, sino a nivel económico para la organización. En términos económicos se espera que la oportunidad de producción de aceite se incremente para una ganancia de 131,829.12 USD al año.

De los factores identificados dentro del estudio que inciden en las pérdidas, se priorizaron los 3 primeros de acuerdo al principio de Pareto (Control de Operaciones, Procedimientos y Personal Supervisor) y se desarrollaron planes de mejora en base a los mismos, quedando como posibilidades de mejora latente factores tan importantes como lo son el mantenimiento planta y la metrología del proceso, en las que se deben centrar los esfuerzos de la organización para lograr reducir las diferencias de pérdidas definidas teóricamente.

El Seis Sigma es una herramienta valiosa para el logro de la visión y la estrategia dentro de la organización, basada en la mejora continua de los procesos, pero su principal aporte pudiese ser la mejorar de la competitividad de la organización dentro del mercado. La metodología Seis Sigma más allá del monitoreo de sus herramientas, supone un cambio de mentalidad y cultura dentro de la organización que se debe propagar desde los puestos más altos de la jerarquía hasta los más bajos.

Como factores de éxito para el logro de los objetivos se destaca el compromiso de la gerencia y el involucramiento constante del sponsor durante todo el desarrollo del proyecto (gerente de refinamiento y servicios industriales), al igual que todos los supervisores y colaboradores que conforman la planta de refinamiento caustico. Adicionalmente la experiencia y el manejo de las herramientas de calidad por parte de los autores del proyecto fueron esenciales durante el análisis de las causas potenciales (Análisis), el análisis estadístico de las variables y el Diseño del Experimento (Mejora). El enfoque de mejora en la gestión de procesos otorgada por las autores al proyecto, se relaciona con el estudio del impacto y utilización de la gestión del cambio y rediseño de estructuras organizacionales, demostrando que la aplicación de Seis Sigma es factible incluso en ambientes en donde las herramientas estadísticas no son usualmente empleadas.

Se debe tener presente que el ciclo DMAIC debe repetirse periódicamente, es decir, se deben volver a revisar fallas potenciales o nuevas del proceso, las posibles causas de los defectos y su correlación con el defecto definido y principalmente monitorear el nivel Sigma en el que se encuentra el proceso. Esto será un buen indicador para conocer y reducir la variabilidad de los procesos, ya que un proceso con poca variabilidad será un proceso sostenible a largo plazo.

Actualmente en Panamá no existe mucha información académica con respecto a la aplicación del método Seis Sigma para el mejoramiento de procesos a nivel industrial, considerando mejoras en la gestión de procesos, por lo que este proyecto representa un aporte importante para la comunidad

científica del país, en pro del desarrollo de la eficiencia y competitividad de la industria panameña de alimentos. La intención del aporte es que un futuro cualquier organización del país pueda desarrollar metodologías para el diseño y mejoramiento de cualquier proceso dentro de su cadena productiva, mediante la caracterización del uso de técnicas de diseño de experimentos y control estadístico de procesos que permita el diseño y mejoramiento eficiente de procesos como base fundamental de la reducción de la variabilidad que afecta directamente el uso de recursos, costos y satisfacción de los clientes.

Finalmente, las políticas de toda organización deben estar orientadas hacia la detección de problemas reales, de manera tal que se produzca mejora continua dentro de los procesos, y así poder obtener un incremento en la satisfacción de clientes para obtener una mayor rentabilidad, con lo cual la empresa logrará alcanzar mejores resultados financieros. Está claro que todas las herramientas son complementarias, pero se deben utilizar en el momento y lugar adecuado. Es la combinación adecuada de varias de ellas en conjunto con un marcado liderazgo gerencial lo que hace a las empresas exitosas.

5 Referencias

1. EVANS, JR y WILLIAM, L. *Administración y control de procesos* [The management and control of quality]. 2ª ed. Traducido al español por Virgilio González Pozo. México: Grupo Editorial Iberoamericana, 1995. ISBN: 9789706250506
2. DE BENITO VALENCIA, CM. La mejora continua en la gestión de calidad: Seis sigma, el camino para la excelencia. *Economía Industrial* [en línea]. Madrid: Ministerio de Ciencia y Tecnología Castellana. 2000, no. 331, pp. 59-66. ISSN: 0422-2784. Disponible en: <http://www.minetad.gob.es/Publicaciones/Publicacionesperiodicas/EconomiaIndustrial/RevistaEconomiaIndustrial/331/10.CRUZ%20M.%20DE%20BENITO.pdf>
3. GUTIÉRREZ PULIDO, H. y DE LA VARA, R. *Control estadístico de la calidad y Seis Sigma*. 2ª ed. México: McGraw-Hill, 2009. ISBN: 9789701069127
4. ELLERBEE, JW. Educación en sistemas de gestión de calidad en Panamá. *Capital Financiero* [en línea]. Panamá: Nueva Prensa Financiera. 12-18 de mayo de 2014, vol. 13, no. 689, p 9. Disponible en: <http://www.capital.com.pa/educacion-en-sistemas-de-gestion-de-calidad-en-panama/>
5. KERLINGER, F. (1983). *Investigación del comportamiento: Técnicas y metodología* [Foundations of behavioral research]. 2ª ed. Traducido al español con la colaboración de José Rafael BLENGIO y José Carmen PECINA. México: Ed. Interamericana, 1981. ISBN: 9789682500398
6. HERNÁNDEZ, R., COLLADO, C., LUCIO, P. (2003). *Metodología de la investigación científica*. 3ª ed. México: McGraw-Hill. ISBN: 9789701036327