

Mejora en la gestión de las mediciones en una empresa refinadora de petróleo

Improvements in the management of measures in a petroleum refining enterprise

Aníbal Barrera García¹, Randel Hernández Ocampo², Frank Machado García³, Midiala Hernández Santana⁴

¹Universidad de Cienfuegos, Cienfuegos, Cuba

²Empresa Oleohidráulica, Cienfuegos, Cuba

^{3,4}Refinería de Petróleo, Cienfuegos, Cuba

Correo electrónico: abarrera@ucf.edu.cu

Este documento posee una licencia Creative Commons Reconocimiento/No Comercial 4.0 Internacional 

Recibido: 26 de septiembre de 2017 Aprobado: 18 de diciembre de 2017

Resumen

En el presente artículo se describe un procedimiento para la evaluación de la calidad de las mediciones basado en la metodología seis sigma, siendo este aplicado en una empresa refinadora de petróleo específicamente en el proceso de almacenamiento de turbo combustible Jet A1. La propuesta garantiza la evaluación y mejora del sistema de gestión de las mediciones así como el conocimiento de la calidad de las mismas en el ensayo acidez. Para dar cumplimiento a lo planteado se utilizaron entrevistas, observaciones directas, revisión de documentos, estudio de repetibilidad y reproducibilidad, además de técnicas estadísticas propias de este tipo de estudio. Como principales resultados de la investigación se determinaron los porcentajes de variación debido a reproducibilidad y repetibilidad en el ensayo acidez, observándose variabilidad, resultando que el método de medición no es el adecuado, el número de categorías distintas (nc) que pueden ser distinguidas confiablemente por el sistema de medición, así como se analizó el estado de los instrumentos de medición que se utilizan estando todos verificados y/o calibrados. Se propusieron un grupo de acciones encaminadas al tratamiento de las deficiencias detectadas durante el estudio, se implementan y evalúan las mismas, evidenciándose que el sistema de medición es aceptable, lo que implica que es capaz de detectar variaciones, demostrando que las soluciones propuestas resuelven el problema y llevan a las mejoras buscadas.

Palabras claves: repetibilidad, reproducibilidad, ensayos, seis sigma

Abstract

In this paper a method for evaluating the quality of the measurements based on the Six Sigma methodology is described, this being applied in a petroleum refiner specifically in the process of storing Turbo Jet A1 fuel. The proposal ensures the evaluation and improvement of the management system of measurements as well as knowledge of the quality of the acidity in the same assay. To comply with the proposed interviews, direct observations, document review, study of repeatability and reproducibility, as well as technical characteristics of this type of study statistics were used. The main results of the research percentages of variation were determined because of reproducibility and repeatability in the acidity test observed variability, resulting in the measurement method is not adequate, the number of different categories (nc) that can be distinguished reliably by measurement system, and the status of calibrated measuring instruments being used all verified and /or analyzed. A set of actions aimed at treatment of deficiencies identified during the study were proposed were implemented and evaluated the same, showing that the measurement system is acceptable, which means it is able to detect variations, demonstrating that the proposed solutions solve the problem and lead to improvements sought.

Key words: repeatability, reproducibility studies, trials, six sigma

INTRODUCCIÓN

La metrología está presente, en todas las actividades de la vida, de aquí que su impacto, cuando esta se realiza de manera confiable, comparable y segura, tenga una repercusión directa en el desarrollo económico, político y social de un país [1]. Esta es una ciencia, y a la vez, es una herramienta que incide sobre los procesos y políticas macroeconómicas de cualquier sociedad y sobre la actitud de las personas frente al manejo de los recursos naturales, materiales y financieros. En su gestión se involucran todos los actores y agentes de los ámbitos privados y público, por lo que se produce, de manera natural, una fuerte interacción entre la metrología y el contexto social donde se desarrolla [2].

Un sistema de medición de buena calidad permite controlar y predecir los resultados de un proceso, y ayuda a identificar y eliminar las causas de variaciones no controladas. Para evaluar este tipo de sistema se utilizan las "Pruebas de Reproducibilidad & Repetibilidad (R&R)" [3,4,5]. Este tipo de prueba constituye una herramienta útil para asegurar la calidad [6].

En los sistemas de mediciones se pueden integrar metodologías de mejora de procesos, como es seis sigma. Siendo esta un programa de mejora de la calidad que tiene como objetivo reducir la variabilidad del proceso a través de la aplicación de los métodos estadísticos y herramientas de gestión de la calidad [7,8,9]. Esta tiene un enfoque de mejora de la calidad y productividad que ha sido implementado con gran éxito en grandes empresas a nivel mundial [10]. Es una filosofía en la cual las variables pueden ser controladas y se utilizan como un medio de gestión de la calidad destinada al cero error [11], la cual ha sido utilizada por grandes empresas para mejorar el rendimiento de sus procesos [12]. Se basa en el ciclo iterativo definir, medir, analizar, mejorar, controlar (DMAIC) empleada para optimizar los procesos existentes [11]. El ciclo planificar-hacer-verificar-actuar (PHVA) y la mejora DMAIC pueden ser estructurados para que se complementan entre sí; reforzando el marco proporcionado por DMAIC [13]. Diversos autores [14] han realizado una sinergia entre los conceptos metrológicos y metodología seis sigma, lo cual desarrollan para incrementar y consolidar la mejoras.

Es por ello que el objetivo general de la investigación sea aplicar un procedimiento para la mejora de la gestión de las mediciones mediante el uso de las técnicas relacionadas con la metodología seis sigma, que posibilite mejorar dicho sistema. Con el mismo se obtuvo como resultado la evaluación y mejora del sistema de medición en el proceso seleccionado, así como el porcentaje de variación debido a reproducibilidad y repetibilidad en parte de los ensayos que intervienen en el proceso.

Pese a que se identifican en la literatura consultada gran variedad de estudios relacionados con la calidad de las mediciones, se carece de procedimientos que integren dicha metodología a la metrología de forma sistemática, de manera que tomen en cuenta el enfoque a procesos y la mejora continua. Socializar las prácticas que están siendo desarrolladas y de resultados positivos en relación con esta temática es la principal intención

de la investigación que se presenta, considerando el diseño y aplicación de un procedimiento para la evaluación de la calidad de las mediciones a partir del uso de la metodología seis sigma.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para el desarrollo de la investigación se diseñó un procedimiento, el cual se muestra en la figura 1, organizado metodológicamente en cinco etapas. Cada una de estas etapas cuenta con su correspondiente sistema de actividades y herramientas para su diseño y ejecución, con el propósito de mejorar la gestión de las mediciones en la empresa seleccionada. Para su elaboración se utilizaron criterios de diferentes autores [3,5,13,15].

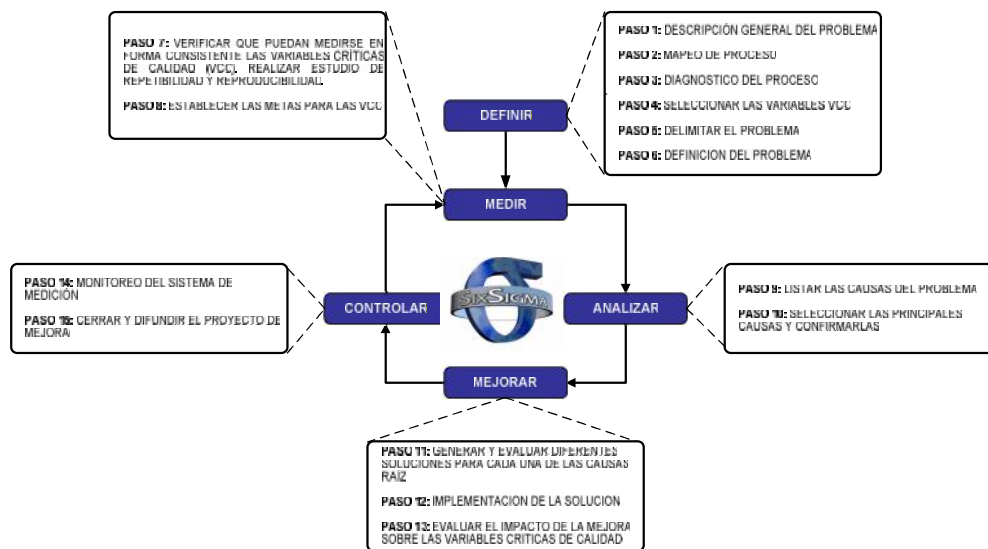


Fig. 1. Procedimiento para la mejora de la gestión de las mediciones a partir de la utilización de la metodología seis sigma

Para la aplicación del mismo se toma como objeto de estudio una empresa refinadora de petróleo, perteneciente al sector de la industria petroquímica.

RESULTADOS

A continuación, se muestran los resultados del estudio realizado por cada una de las etapas y pasos del procedimiento diseñado.

Etapas I: Definir

Paso 1: Descripción general del problema

La empresa refinadora de petróleo cuenta con un Sistema de Gestión de Calidad basado en la NC ISO 9001:2008 [16]. Posee certificación Lloyd Register, la cual se encuentra interrelacionada con la norma NC ISO 10012: 2007 "Sistema de gestión de las mediciones. Requisitos para los procesos de medición y los equipos de medición" [17], específicamente en su apartado 7.6, donde se exponen los requisitos relacionados con el análisis y mejora del sistema de gestión de las mediciones, que es aplicado a cualquier sistema de gestión. Por tanto, los procesos de medición deben considerarse como procesos específicos, cuyo objetivo es apoyar la calidad de los productos elaborados por la organización, aspecto que no se evalúa en la organización mencionada. Estos elementos constituyeron la principal razón por la cual surge la necesidad de evaluar la calidad de las mediciones en los procesos que se desarrollan en dicha industria.

Paso 2: Mapeo del proceso

El proceso de mantenimiento, calibración y verificación de los instrumentos de medición, se encuentra subordinado a la Dirección Técnica y la Dirección de Automática, Informática y Telecomunicaciones [18]. Para un

mejor análisis del proceso se diagramó el mismo utilizando la técnica SIPOC, además se elaboró el diagrama de tortuga y la ficha correspondiente al proceso analizado.

Paso 3: Diagnóstico del proceso

En todos los procesos de la entidad analizada, están identificados los instrumentos de medición por un código, el cual se encuentra en correspondencia con su ubicación y sus funciones. Se realizó un estudio de las exigencias de medición en todos los procesos, para seleccionar los instrumentos que cumplan con las especificaciones en cuanto a: precisión, rango, valor de división, unidad de medida, así como asegurar que las unidades de medidas se correspondan con las establecidas en el Sistema Internacional de Unidades. De esta forma se garantiza que los instrumentos adquiridos tengan trazabilidad, para lograr el Aseguramiento Metrológico por el Servicio Nacional de Metrología (SENAMET).

Se encuentra definido para cada uno de los instrumentos que integran el proceso de medición, el período de calibración y de verificación, el cual se establece por el Decreto Ley No. 183 de febrero de 1998 y regulado por la Disposición General DG-01, 2012. Las principales dificultades en la entidad se centraron en:

- Se extiende el período de extracción para la calibración o verificación del instrumento, por imposibilidad de detener el proceso.
- No se cuenta con la reserva necesaria para reponerlo en caso de que el instrumento termine su vida útil.
- Falta de trazabilidad en algunos instrumentos por el SENAMET.
- No se realizan estudios para conocer la calidad en el sistema de gestión de las mediciones.

Paso 4: Seleccionar las variables críticas para la calidad (VCC)

Para definir las variables críticas de calidad de mayor impacto a los clientes del proceso de mantenimiento, calibración y verificación de los instrumentos de medición, se realizó una sesión de trabajo con el equipo de expertos, resultando las siguientes variables: período de verificación y calibración; tiempo de ciclo de salida y reposición del instrumento al proceso, así como la calidad en los sistemas de mediciones.

Para lograr la prioridad de estas variables se reunió el equipo de trabajo, realizando una valoración de cada una de ellas, utilizando la selección ponderada. Finalmente se propuso como variable crítica la calidad en los sistemas de medición.

Paso 5: Delimitar el problema

Para demostrar la influencia de la calidad en las mediciones, se hizo necesario analizarla a través de la calidad del producto, debido a que estas se encuentran presentes en todos los procesos. En la organización objeto de estudio existen diferentes productos que son comercializados, por lo cual se seleccionó el turbo combustible JET A1 teniendo en cuenta criterios técnicos y económicos, para de esta forma estudiar la calidad en las mediciones mediante las variables críticas de este producto.

Paso 6: Definición del problema

El turbo combustible Jet A1 durante su tratamiento en la Planta Merox y en su almacenamiento, así como en los ensayos que se le realizan en el laboratorio químico, intervienen un grupo de instrumentos y procedimientos de trabajo, los cuales repercuten en la calidad final del producto. Pero al existir diversos análisis e instrumentos, así como intervenir cierto número de personas, se corre el riesgo que se obtengan mediciones erradas, lo cual conlleva pérdidas económicas, debido a que se tiene que reprocesar o depreciar el producto, denotándose la necesidad de evaluar la calidad de las mediciones.

A este producto se le evalúan 25 especificaciones, siendo estas variables críticas en su calidad, constituyendo un elemento esencial los resultados de las mediciones tomadas a lo largo del proceso. Para la selección de las variables que tienen mayor repercusión en los requisitos exigidos por los clientes, así como en las especificaciones del producto, se desarrolló el Método Delphi. Como resultado se decidió comenzar el estudio por los ensayos acidez y color.

Etapla II: Medir

Paso 7: Verificar que puedan medirse en forma consistente las variables de calidad

En el proceso seleccionado intervienen una gama de instrumentos, así como ensayos de laboratorio, los cuales responden a diferentes magnitudes tanto físicas como químicas. Por ser estas variables de tipo físico –

químico, son fácilmente medibles, por tanto, el equipo de trabajo revisó la forma en que estas se miden, ya que a través de ellas se evalúa el impacto de la mejora.

En la empresa refinadora, se elabora anualmente el plan de calibración y verificación de los instrumentos existentes en la organización. Con respecto a los instrumentos que no responden a metrología legal (instrumentos industriales) reciben el servicio de reparación y calibración por el laboratorio de la empresa, el cual cuenta con instrucciones y procedimientos donde se describe el proceder de los servicios que presta.

Con respecto a los equipos de medición de los ensayos del laboratorio químico, además de recibir el servicio de calibración, también reciben el servicio de verificación, este es contratado a la Oficina Nacional de Normalización (ONN) o al Instituto Nacional de Investigaciones de Metrología (INIMET), debido a que son instrumentos que interviene en la determinación de la calidad de los análisis de un producto.

En la actualidad todos los instrumentos que intervienen en el proceso y en los análisis químicos se encuentran calibrados y/o verificados, estando cumplido el plan al 100 %. El laboratorio químico se encuentra en proceso de acreditación de algunos de sus ensayos por la NC ISO 17025: 2007 "Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración".

Solo se muestra a manera de ejemplo, el análisis que se realizó a uno de los ensayos, específicamente el de acidez durante el proceso de almacenamiento, debido a que el proceso de tratamiento del producto fue desarrollado por [19].

Se tomó para el estudio el tanque TK 1061, por ser el de mayor capacidad (20 000 m³), donde se almacena producto terminado y se efectúa el control final de la calidad, siendo este resultado el que llega al cliente.

Realizar el estudio de repetibilidad y reproducibilidad (R&R)

Los estudios R&R evalúan de forma experimental qué parte de la variabilidad total observada es atribuible al error de medición y cuantifica si este error es aceptable comparando con la variabilidad del producto. Las fuentes de variabilidad que se pueden evaluar en este tipo de estudio son: variabilidad del producto, del instrumento y los operadores. En la investigación se utilizó el método ANOVA y para el procesamiento de los datos el software Minitab 15.

A continuación, se muestra el resultado de los cuatro analistas evaluados, denominados con la simbología A, B, C y D, con dos repeticiones cada uno, y cada uno de ellos tiene diez medidas alternadas.

En este estudio se involucraron cuatro analistas, cada uno determinó el valor de la acidez del producto objeto de estudio en diez muestras dos veces, la desviación estándar estimada del proceso de medición es igual a 0,000 165 3. Incluyendo partes, la variación total (VT) es igual a 0,000 172 9. Debe asegurarse de que el porcentaje de variación total debido a R&R sea relativamente pequeño. En este caso, el valor es igual a 91,46 %, por tanto, el sistema de medición se consideró no aceptable.

El número de categorías distintas (nc) que pueden ser distinguidas confiablemente por el sistema de medición analizado en este estudio es igual a 1. Normalmente, este número debe ser, al menos 5 [3]. De la varianza total, 86,44 % es debida a diferencias entre analistas (reproducibilidad), en tanto que 5,02 % se debe al instrumento (repetibilidad), corroborándose de forma gráfica en la figura 2.

En el gráfico X-barras se aprecia qué parte de los puntos están situados fuera de los límites de control y otra parte dentro de los mismos, lo cual refuerza la idea de que existe variación en el sistema de medición. En el diagrama de barras se observa que prácticamente toda la variación se encuentra en la columna de reproducibilidad. En cuanto al gráfico Mediciones por analista, se puede decir que existen diferencias en las mediciones realizadas por los mismos, evidenciándose en la desviación de la línea horizontal.

Con respecto al gráfico Interacción Analista Muestras, se observa cierta variabilidad en la medida del analista B y C con respecto al A y D. Se puede decir que entre el analista A y D hay similitud en sus mediciones. Este gráfico demuestra que existen diferencias en los resultados del ensayo (acidez en tanque terminado), corroborando el análisis realizado a la salida de planta, por tanto, se deben corregir las desviaciones para realizar otro estudio.

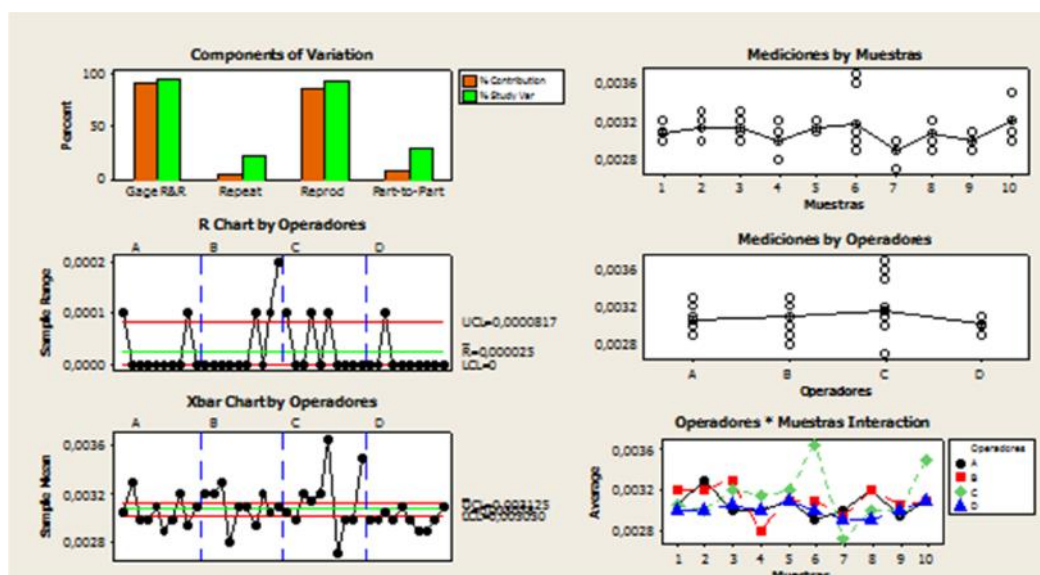


Fig. 2. R&R del sistema de medición característica seleccionada

Paso 8: Establecer las metas para las variables críticas de calidad

Tomando en cuenta la situación de la variable crítica analizada, se planteó como meta reducir el porcentaje de variación total debido a R&R en el ensayo de 100 % a menos del 30 %, así como aumentar el número de categorías distintas (nc) a más de 4.

Etapa III: Analizar las causas raíz

Pasos 9 y 10: Listar las causas del problema, seleccionar las principales y confirmarlas

Después de haber identificado los problemas existentes, se hizo un análisis de las causas. Este análisis se dividió en dos aspectos: preparación del diagrama causa-efecto; preparación de las hipótesis y verificación de las causas más probables.

- Preparación del diagrama causa-efecto: Se realizó el análisis de causa y efecto para determinar las causas posibles que influyen en la variación del sistema de medición en el ensayo seleccionado. Dicho diagrama se construyó en una sesión de tormenta de ideas de conjunto con el equipo de mejora [19].
- Planteamiento de las hipótesis y verificación de las causas más probables: El equipo de mejora revisó las causas posibles y seleccionó las más probables mediante una votación basada en la experiencia.

Etapa IV: Mejorar

En esta etapa se propusieron, implementaron y evaluaron las soluciones a las causas raíces detectadas, demostrando con datos, que las soluciones propuestas resuelven el problema y llevan a las mejoras buscadas.

Paso 11: Generar y evaluar diferentes soluciones para cada una de las causas raíces

A partir de los resultados obtenidos, se generaron un grupo de soluciones para las causas raíces detectadas u oportunidades de mejora. A estas propuestas se le aplicó la Matriz UTI para definir las prioridades de mejora. Por consenso del equipo de trabajo, se decidió priorizar las siguientes: gestionar la capacitación adecuada a las características del puesto analizado y actualización de la tecnología utilizada, así como formar a los analistas en la operación de los nuevos equipos adquiridos, así como la familiarización con la documentación

Paso 12: Implementación de la solución

Para realizar la implementación de las soluciones se diseñaron los planes de acción correspondientes, haciendo uso de la técnica de las 5W y 2H, donde se refleja en qué consiste la propuesta, dónde se implementan, la forma en qué se va a realizar, fechas para cada una, personas responsables, entre otros. Orientado a la revisión

de las medidas propuestas se diseñó un plan de control, según previo análisis en sesión de trabajo entre los integrantes del equipo [19].

Paso 13: Evaluar el impacto de la mejora sobre las variables críticas de calidad

Luego de implementadas las mejoras, se esperó un período de once meses para realizar el cálculo de los indicadores del plan de control, nuevamente ejecutar el estudio de repetibilidad y reproducibilidad para la variable crítica acidez [20].

En este estudio en el cual están involucrados cuatro analistas, cada uno midiendo la característica de calidad en diez muestras dos veces como propone [3], la desviación estándar estimada del proceso de medición resultó ser 0,000 019 7. Incluyendo partes, la variación total (VT) fue de 0,000 098 5. El porcentaje de variación total debido a R&R, es relativamente pequeño, coincidiendo con el criterio expresado por otros autores [4,5]. En este caso, el valor que se alcanzó es 3,98 %, por tanto, el sistema de medición se consideró aceptable, a partir de lo planteado por la ISO 13053: 2011 [11]. El número de categorías distintas (nc) que pueden ser distinguidas confiablemente por el sistema de medición analizado en este estudio, es igual a 6. De la varianza total el 3,98 % es debida al instrumento (repetibilidad), corroborándose de forma gráfica en la figura 3.

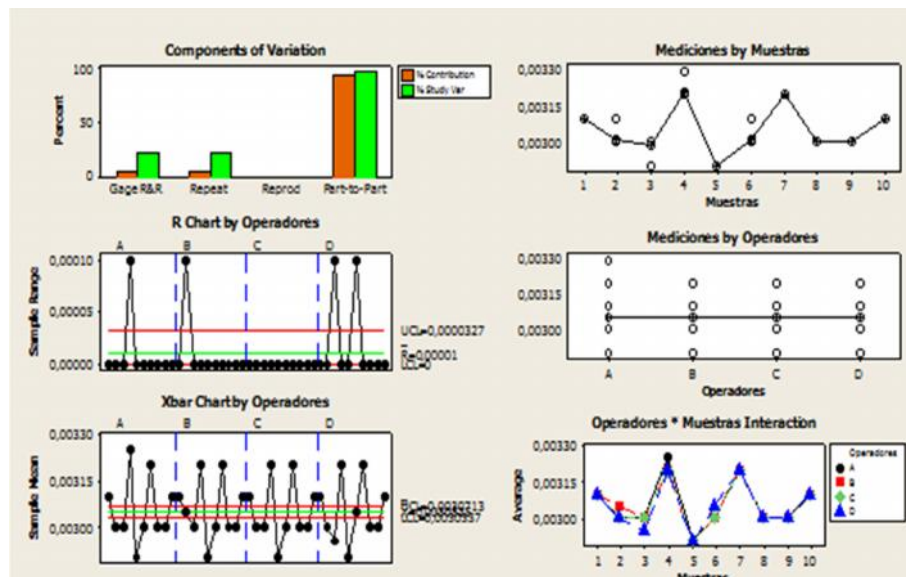


Fig. 3. R&R del sistema de medición luego de implementar las mejoras

De forma general se evidencia que el sistema de medición es aceptable. La mayor parte de la variación se encuentra en la columna parte a parte, lo que implica que el estudio es capaz de detectar variaciones. Se puede decir que no existen diferencias en las mediciones realizadas entre los analistas, se observa una homogeneidad para medir por parte de los mismos, evidenciándose en los gráficos mostrados anteriormente.

Comparando los datos obtenidos con los registrados en el estudio inicial, se aprecia lo que se indica en la tabla 1.

Tabla 1. Evaluación del impacto de mejora en la variable crítica acidez en tanque terminado

Criterio	Tanque terminado		Comentario
	Antes	Después	
R&R del sistema de medición total	91,46	3,98	Mejóro la variación del sistema de medición
Repetibilidad	5,02	3,98	Disminuyó la variación de las mediciones con un instrumento con el mismo analista
Reproducibilidad	86,44	0,00	Disminuyó la variación de las mediciones del objeto con diferentes analistas
Operadores*Muestras	83,16	0,00	Disminuyó, por tanto existe homogeneidad para medir por parte de los analistas.
Parte a parte	8,54	96,02	Aumentó, lo que implica que el estudio es capaz de detectar variaciones
nc	1	6	Aumentó el número de categorías distintas (nc) que pueden ser distinguidas confiablemente por el sistema de medición analizado

Etapa V: Controlar

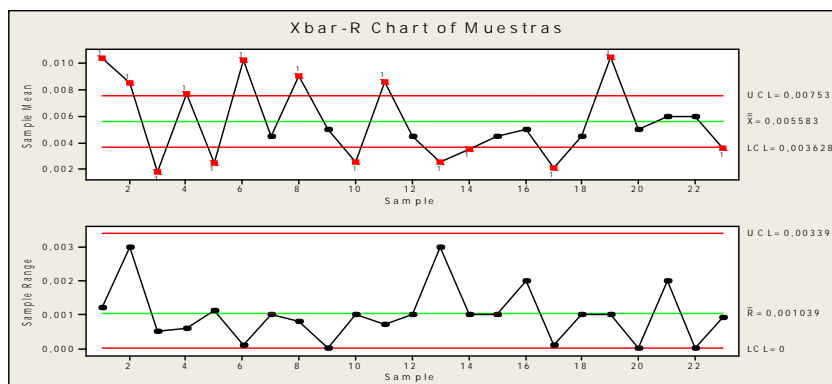
El objetivo de esta etapa es desarrollar un conjunto de actividades, con el propósito de mantener el estado y desempeño del proceso a un nivel aceptable.

Paso 14: Monitoreo del sistema de medición

Para realizar monitoreos en los sistemas de mediciones, se utilizan los estudios de estabilidad, en los cuales se mide cada cierto intervalo de tiempo una variable. Estos proveen información clave sobre el estado del proceso de medición. Esta información puede ser utilizada para definir intervalos de calibración o el momento de realizar otro estudio R&R.

Para efectuar el monitoreo se utilizó una carta de control, la cual permite obtener una visualización del comportamiento de las mediciones realizadas a la variable acidez a través del tiempo [3]. Para este estudio se tomaron las muestras correspondientes a cinco meses de trabajo, cuyos valores son obtenidos del Informe Técnico que emite el laboratorio.

Luego se procedió a verificar si los datos siguen distribución normal utilizando la prueba de Kolmogorov-Smirnov. Con la ayuda del software Minitab15 se obtuvieron los gráficos de control \bar{X} -R, con el objetivo de conocer el comportamiento de la acidez del Jet A1 en el período analizado (figura 4).


Fig. 4. Carta \bar{X} -R para el análisis de la acidez en tanque terminado

Del análisis de los gráficos anteriores se concluyó que en la carta-R se observa que la variabilidad dentro de muestras se encuentra en control estadístico, es decir, el proceso de medición es estable en cuanto a su variabilidad. Mientras la carta \bar{X} se observa que la mayor parte de los puntos se encuentran fuera de los límites de control, ya que aquí esta carta no se interpreta de forma convencional en el contexto de monitoreo de instrumentos de medición [3]. Por tanto, el proceso de medición está haciendo un mejor trabajo y es capaz de discriminar entre una muestra y otra.

Paso 15: Cerrar y difundir el proyecto de mejora.

Finalmente se realizó una recopilación de todos los documentos utilizados en la investigación, donde se reflejó el trabajo, quedando redactado un documento final. Se plasmaron en este, los principales logros alcanzados luego de poner en práctica las propuestas de mejora, así como los principales impactos.

DISCUSIÓN

Tomando en consideración que las investigaciones relacionadas con la calidad de las mediciones se han basado únicamente en los estudios de repetibilidad y reproducibilidad, puede decirse que la investigación que se presenta posee valor metodológico al proveer de un procedimiento que permite realizar la evaluación de la calidad de las mediciones de forma sistemática, articulando con criterios de diferentes autores consultados [3,5,13,15], así como los enfoques de gestión por procesos, mejora continua y el uso de la metodología seis sigma, siendo este último elemento no identificado en estudios anteriores.

Un elemento a destacar es que el procedimiento toma en cuenta la participación de los trabajadores en la búsqueda y propuesta de acciones de mejora. Este hecho permite que el personal entienda su papel en el logro de las metas y que se sientan parte de este proceso.

Entre los resultados relevantes que se extraen de la investigación se encuentran:

- Estudio de repetibilidad y reproducibilidad del ensayo acidez del Jet A1, donde se muestran las deficiencias de la reproducibilidad para evidenciar la acreditación de este ensayo por la NC ISO 17025: 2006 "Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración".
- Evaluación de la confirmación metrológica de los instrumentos que intervienen en el proceso de almacenamiento del Jet A1 y de las especificaciones técnicas del Jet A1 según el estándar internacional mediante las muestras analizadas, para de esta forma evitar pérdidas por mala calidad.
- Monitoreo del sistema de medición para el ensayo acidez, donde se evidencia que el proceso de medición es estable en cuanto a su variabilidad, luego de haber implementado las acciones de mejora propuestas.

Esta investigación se presentó ante la Dirección Técnica, y el Jefe de Laboratorio Químico, contando con total apoyo, la cual debe ser extendida a otros procesos dentro de la organización.

CONCLUSIONES

- Se realizó un estudio de repetibilidad y reproducibilidad al ensayo acidez, observando variabilidad en las mediciones, resultando que el método de medición no es el adecuado.
- Los mayores errores que ocurren actualmente en las mediciones son causados por la propia persona que ejecuta la medición, y en ello incide notablemente la falta de capacitación de esa persona para el trabajo que realiza, las deficiencias en el control que sobre ellos se debe realizar, así como la no aplicación de un sistema de gestión de las mediciones.
- Se propuso un grupo de acciones encaminadas al tratamiento de las deficiencias detectadas durante el estudio, se implementaron y evaluaron las mismas, evidenciándose con el uso de las cartas de control que el sistema de medición es aceptable, lo que implica que es capaz de detectar variaciones, demostrando que las soluciones propuestas resuelven el problema y llevan a las mejoras buscadas.
- Con la utilización de la carta-R se observa que la variabilidad dentro de muestras se encuentra en control estadístico, es decir, el proceso de medición es estable en cuanto a su variabilidad. Mientras la carta- \bar{X} se observa que la mayor parte de los puntos se encuentran fuera de los límites de control, por tanto, el proceso de medición está haciendo un mejor trabajo y es capaz de discriminar entre una muestra y otra.

REFERENCIAS

1. Reyes Ponce Y. Importancia de la metrología y su repercusión en el desarrollo. Revista Anales de la Academia de Ciencias de Cuba, 2011.1(1):1-9. ISSN 2304-0105. Disponible en Web: <http://www.revistaccuba.cu/index.php/acc/article/viewFile/99/83> [consultado enero 2013].
2. Hernández Leonard A. La metrología en el marco de la actualización del modelo económico cubano. NC le Actualiza, 2015.03:2. ISSN 2309-5253. Disponible en Web: <http://www.cgdc.cubaindustria.cu/docs/NC-le-actualiza.pdf> [consultado enero 2016].
3. Gutiérrez Pulido H, De La Vara Salazar R. Control Estadístico de la Calidad y Seis Sigma. México. Editorial McGraw-Hill, 2004. 500 pp. ISBN 970-10-4724-9.
4. Kwun Wanga F, Wen Yang C. Applying principal component analysis to a GR&R study. Journal of the Chinese Institute of Industrial Engineers, 2007. 24(2):182-189. ISSN 1017-0669. Disponible en Web: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10170660709509032#preview> [consultado setiembre 2013].
5. Correa A. Diseño e implementación de una metodología estadística para ensayos de producto terminado en Cementos El Cairo S.A. Revista Dyna, 2007. 74(151):195-207. ISSN 0012-7353. Disponible en Web: <http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/viewFile/904/1315>. [consultado noviembre 2013].
6. Solminihaç H, Bustos, M. Echaveguren T, Chamorro A, Vargas S. Desarrollo conceptual de un sistema integrado para el control de calidad en mediciones de resistencia al deslizamiento. Revista Ingeniería de Construcción, 2012. 27(1):75-92. ISSN 0718-5073. Disponible en Web: http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-50732012000100005&lng=en&nrm=iso&tlng=es [consultado septiembre 2013].
7. Dailu, G, Aksoy K. Altı Sigma Nedir? AR V, 2009. 18 (2):132-139. ISSN 1300-3755. Disponible en Web: <http://www.scopemed.org/fulltextpdf.php?mno=19543> [consultado noviembre 2013].
8. Gremyr I, Fouquet J. Design for Six Sigma and lean product development" *International Journal of Lean Six Sigma*, 2012. 3(1):45-58. ISSN 2040-4166. Disponible en Web: <http://www.emeraldinsight.com/journals.htm?issn=2040-4166 & volume = 3 & issue = 1 & articleid = 17024888 & show=pdf> [consultado septiembre 2013].
9. Galvânia L, Carpinetti L. Análise comparativa da aplicação do programa Seis Sigma em processos de manufatura e serviços. *Produção*, 2013. 23(4):695-704. ISSN 1300-3755. Disponible en Web: http://www.scielo.br/pdf/prod/v23n4/aop_t6_0002_0489.pdf [consultado noviembre 2013].
10. Felizzola Jiménez H, Luna Amaya C. Lean Six Sigma en pequeñas y medianas empresas: un enfoque metodológico. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*. 22(2):263-277. ISSN 0718-3305. Disponible en Web: http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_pdf&pid=S0718-33052014000200012&lng=es&nrm=iso&tlng=es [consultado enero 2016].
11. International Organization for Standardization. Quantitative methods in process improvement. Six Sigma. *ISO 13053: 2011*. 48 pp. Ginebra, Suiza. 2011.
12. Gonçalves Amitrano F, Amodio Estorilio C, Franzosi Bessa L, Hatakeyama K. Six Sigma application in small enterprise. *Concurrent Engineering*, 2016. 24(1):69-84. DOI 10.1177/1063293X15594212. Disponible en Web: <http://cer.sagepub.com/content/24/1/69.abstract> [consultado enero 2016].
13. Gibbons P, Kennedy C, Burgess S, Godfrey P. "The development of a value improvement model for repetitive processes (VIM)" *International Journal of Lean Six Sigma*, 2012. 3(4):315-338. ISSN 2040-4166. Disponible en Web: <http://www.emeraldinsight.com/journals.htm?issn=2040-4166&volume=3&issue=4&articleid=17065659&show=pdf> [consultado noviembre 2013].
14. D'emilia G, Di Rosso G, Gaspari A, ALESSANDRA M. Metrological interpretation of a six – sigma process for improving the online optical measurement of automotive turbocharger dimensions. *Journal of Automobile Engineering*, 2015. 229(2):261-269. DOI 10.1177/0954407014539671. Disponible en Web: <http://pid.sagepub.com/content/229/2/261.short> [consultado enero 2016].
15. Guadalupe Echeverría VR. Diseño de una metodología a través de indicadores metrológicos que asegure los sistemas de medición en las industrias productoras de artículos plásticos, para mejorar la calidad de sus productos. Director: Marcos Tapia. Tesis de maestría, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador, 2008.
16. Oficina Nacional de Normalización. Sistemas de gestión de la calidad. Requisitos. NC-ISO 9001.2008. 32 pp. La Habana, Cuba. 2008.

17. Oficina Nacional de Normalización. Sistemas de gestión de las mediciones. Requisitos para los procesos de medición y los equipos de medición. NC-ISO 10012: 2007. 30pp. La Habana, Cuba. 2007.
18. Borroto Pérez L, Hernández Santana M. El enfoque basado en procesos aplicado a la gestión de las mediciones en la refinería de petróleo. Revista Normalización, 2011. 22(2):48 – 61, ISSN 2223-179X. Disponible en Web: <http://www.cgdc.cubaindustria.cu/products/revista-normalizacion-numero-2-ano-2011.htm> [consultado diciembre 2013].
19. Hernández Santana M. Procedimiento para la mejora del sistema de gestión de las mediciones utilizando técnicas Seis Sigma en el proceso de Tratamiento del Turbo combustible Jet A1 en la Unidad de Negocio Refinería. Director: José Manuel Arias. Tesis de maestría, Universidad de Cienfuegos, Cienfuegos, 2012.
20. Gibbons P, Kennedy C, Burgess S, Godfrey P. The development of a value improvement model for repetitive processes (VIM) *international journal of lean six sigma*, 2012. 3(4):315-338. ISSN 2040-4166. Disponible en Web: <http://www.emeraldinsight.com/journals.htm?issn=2040-4166&volume=3&issue=4&articleid=17065659&show=pdf> [consultado noviembre 2013].
21. Machado García F. Mejora de la gestión de las mediciones en el proceso de tratamiento y almacenamiento del turbo combustible Jet A1 en la Unidad de Negocio Refinería de Cienfuegos. Director: Aníbal Barrera. Tesis de grado, Universidad de Cienfuegos, Cienfuegos, 2013.