

22

Fecha de presentación: marzo, 2022
Fecha de aceptación: junio, 2022
Fecha de publicación: septiembre, 2022

SEIS SIGMA

Y GESTIÓN DE RIESGOS APLICADO A LA METROLOGÍA EN EMPRESAS DEL SECTOR DE LA ENERGÍA

SIX SIGMA AND RISK MANAGEMENT APPLIED TO METROLOGY IN ENERGY SECTOR COMPANIES

Aníbal Barrera García¹

E-mail: abarrera@ucf.edu.cu

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8952-4721>

Michael Feitó Cespón¹

E-mail: mfeito@ucf.edu.cu

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1938-6022>

Roberto Cespón Castro²

E-mail: rcespon@uclv.edu.cu

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7749-5254>

¹Universidad de Cienfuegos, Cuba.

²Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Cuba

Cita sugerida (APA, séptima edición)

Barrera García, A., Feitó Cespón, M., & Cespón Castro, R., (2022). Seis sigma y gestión de riesgos aplicado a la metrología en empresas del sector de la energía. *Revista Universidad y Sociedad*, 14(5), 215-224.

RESUMEN

El presente trabajo se realizó en una empresa refinadora de petróleo, con el objetivo de mejorar la gestión de las mediciones a partir de la integración de la evaluación sistemática del desempeño metrológico con el enfoque de riesgos y la metodología seis sigma. Para su cumplimiento se diseñó un procedimiento que permite la mejora del sistema de gestión de las mediciones, así como su retroalimentación. Se evalúan dos índices, uno para la materialización del riesgo metrológico y el otro para su gestión; además se determina el nivel de calidad en sigmas del sistema. Como resultado final se muestra un caso de estudio, donde el procedimiento propuesto permite obtener resultados favorables. Se evidencia su factibilidad como instrumento metodológico para la mejora de la gestión de las mediciones en este tipo de organizaciones.

Palabras clave: calidad; mediciones; metrología; desempeño

ABSTRACT

This work was carried out in a petroleum refining company, with the objective of improving the management of measurements based on the integration of the systematic evaluation of metrological performance with the risk approach and the six sigma methodology. For its fulfillment, a procedure was designed that allows the improvement of the measurement management system, as well as its feedback. Two indexes are evaluated, one for the materialization of the metrological risk and the other for its management; in addition, the level of quality in sigmas of the system is determined. As a final result, a case study is shown, where the proposed procedure allows obtaining favorable results. Its feasibility as a methodological instrument for the improvement of measurement management in this type of organizations is evidenced.

Keywords: quality, measurements, metrology, performance

INTRODUCCIÓN

Con el fin de asegurar la pertinencia de los sistemas de gestión empresarial, la adaptación a las nuevas tecnologías y la alineación de las normas a la estructura de alto nivel desarrollada por la ISO en sus estándares ISO 9001 e ISO 14001 en su versión del año 2015, sobresale el pensamiento basado en riesgo como uno de los elementos de mayor distinción.

Este elemento constituye un aspecto novedoso dentro de la gestión de la calidad, que unido al resto de los enfoques y requisitos de este sistema debe garantizar la satisfacción de las expectativas del cliente o consumidor y que además le brinde protección. Para el logro de este objetivo la normalización y la metrología desempeñan un rol esencial, por lo que la gestión de las mediciones constituye una de las actividades empresariales que mayor atención se le debe prestar, pues a través de la metrología se demuestra el cumplimiento de los requisitos de calidad exigidos por los clientes.

En la mayoría de las organizaciones la gestión metrológica se reduce a lo operacional; es decir, a las calibraciones de los equipos y al otorgamiento de los certificados de calibración; esto se conoce como “confirmación metrológica” y se descuida el “proceso de medición”; es decir, la medición que realiza continuamente el personal de la empresa. Mientras para evaluar el desempeño metrológico solo se utilizan indicadores, en algunos casos, debido a que no siempre se realiza este tipo de evaluación, careciéndose de un índice que permita medir el desempeño en este tipo de sistemas.

Beltrán Sanz (2006) desarrolla un modelo que constituye un cambio en el enfoque tradicional de la gestión metrológica en las organizaciones, reflejándose estos aportes en la Normas Cubanas ISO 10012 (2007) “Sistema de gestión de las mediciones. Requisitos para los procesos de medición y los equipos de medición” y la norma UNE 66180 (2008) “Sistema de gestión de la calidad. Guía para la gestión y evaluación metrológica”. En este modelo se aprecia: responsabilidad de la dirección, gestión de los recursos, confirmación metrológica y realización del proceso de medición, análisis y mejora.

A partir de un grupo de criterios consultados (Barrera García, et al., 2022), se puede decir que el modelo mencionado le da un tratamiento especial al papel que juega el proceso de confirmación metrológica, pero no tienen como centro la mejora, no realizan la evaluación integral del desempeño mediante un índice general, así como un limitado enfoque del pensamiento basado en riesgos, lo que constituye la clave del éxito en cualquier sistema de gestión.

Entre los autores citados que han propuesto modelos de gestión metrológica se encuentran (Beltrán Sanz, 2006; Beltrán Sanz, et al., 2010; Beltrán Sanz, et al., 2014).

En Cuba se encuentra vigente el Decreto Ley 8 de 2020 De Normalización, Metrología, Calidad y Acreditación y la norma Normas Cubanas ISO 10012 (2007) que constituyen referentes para ayudar a solucionar los problemas metrológicos que se presentan en las empresas. Por otra parte, se encuentra la Resolución 60 (Cuba. Contraloría General de la República 2011), la que establece la obligatoriedad de las empresas de utilizar las evaluaciones de riesgo como herramienta para fortalecer el control interno y la prevención, la que es de obligatorio cumplimiento en el sector empresarial, considerando además un grupo de requisitos contenidos en la Normas Cubanas ISO 31000 (2018) “Gestión del Riesgo. Principios y directrices” y la Normas Cubanas ISO/IEC 31010 (2015) “Gestión del Riesgo. Técnicas de apreciación del riesgo”. Se implementa en todos los procesos definidos por la organización, incluyendo el de gestión metrológica. Es frecuente que las empresas identifiquen los riesgos metrológicos con el objetivo de realizar un estudio de las causas de las posibles amenazas y probables eventos no deseados, daños y consecuencias que puedan producir.

En la práctica, no siempre sucede de esta forma. Se realiza el proceso de identificación y evaluación de riesgos, no siendo utilizado estos resultados para proyectar mejoras, por lo que está latente la probabilidad de causar un daño en el proceso. Se puede concluir que en los estudios consultados se detectan insuficiencias vinculadas al uso del enfoque basado en riesgos en este tipo de sistemas de gestión.

Durante las inspecciones, auditorías y supervisiones metrológicas, que se ejecutan en las empresas de las diferentes provincias del país, se detectan deficiencias en las actividades de metrología, que como es lógico, afectan a la calidad de las producciones y servicios que se realizan y prestan a la población.

El resultado del esfuerzo realizado por la máxima dirección del país para lograr un adecuado trabajo de la metrología aún no ha sido suficiente y en un futuro no lejano, es un problema importante a resolver, con vistas a lograr la gestión de las mediciones en todos los pasos de los procesos de producción o prestación de servicios.

Una de las organizaciones donde la metrología juega un papel fundamental es en las empresas perteneciente al sector de la energía, siendo este un sector priorizado para el desarrollo del país. En ellas existen procesos con alto riesgo operacional, así como un número importantes de instrumentos para el control de los mismos.

Como parte del sistema de gestión de las mediciones se debe considerar la evaluación del desempeño metrológico, definiéndose como un conjunto de pasos estructurado, sistemático y periódico de estimación cualitativa y cuantitativa, que al ser aplicados permitan determinar la capacidad del proceso metrológico, lo que permitirá gestionar de forma racional los recursos en correspondencia con los objetivos y metas establecidas (López González, et al., 2021).

El desempeño solo puede evaluarse si se mide por medio de indicadores. Una organización, un producto o una persona, solo puede evaluarse adecuadamente si se dispone de uno o más indicadores relevantes con los que realizar dicha evaluación (Clemente et. al., 2016).

Al evaluar el desempeño metrológico del sistema en dichas organizaciones, solo se utilizan algunos indicadores, dirigidos fundamentalmente al cumplimiento de los planes de calibración y verificación, no existiendo una forma de poder evaluar integralmente esta actividad, que permita proyectar mejoras que conlleven a un estadio superior en el desarrollo de la gestión de las mediciones, además de la no utilización del pensamiento basado en riesgos para alcanzar dicha mejora.

D'Emilia et al., (2015) realizan una sinergia entre los conceptos metrológicos y metodología seis sigma, debido a que es una estrategia de mejora continua (Gibbons et al., 2012). Su objetivo es reducir la variabilidad a través de métodos estadísticos y herramientas de gestión de la calidad (Gremyr & Fouquet, 2012). Un grupo de autores (Barrera García et al., 2017) toman en consideración esta asociación para incrementar y consolidar las mejoras. Esta puede ser aún más beneficioso si se le integra el pensamiento basado en riesgos a este fin (Barrera García, et al., 2022).

Basado en los aspectos abordados se plantea como problema de la investigación que la gestión de las mediciones en empresas del sector de la energía presenta insuficiencias, como es el escaso uso de indicadores, en su mayor parte, dirigidos fundamentalmente al cumplimiento de los planes de calibración y verificación y la poca utilización de la gestión de riesgos en la actividad, debido a que no se evalúa el desempeño integral a partir de un enfoque basado en riesgos, que permita la retroalimentación.

A partir del planteamiento del problema se define como objetivo desarrollar un procedimiento para la mejora de la gestión de las mediciones que integre la evaluación sistemática del desempeño metrológico con un enfoque de riesgos en una organización del sector de la energía, seleccionándose una empresa refinadora de petróleo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El procedimiento para la mejora de la gestión de las mediciones basado en riesgos, fundamentado en la filosofía seis sigma, para ser aplicado en organizaciones pertenecientes al sector de la energía, incorpora en su diseño índices para evaluar el desempeño metrológico. Este procedimiento general (Figura 1) está compuesto por cinco (5) etapas cíclicas (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar). Estas cinco etapas se estructuran a su vez, en catorce (14) pasos consecutivos que se despliegan según el orden en que se ejecutan dentro de sus respectivas etapas.

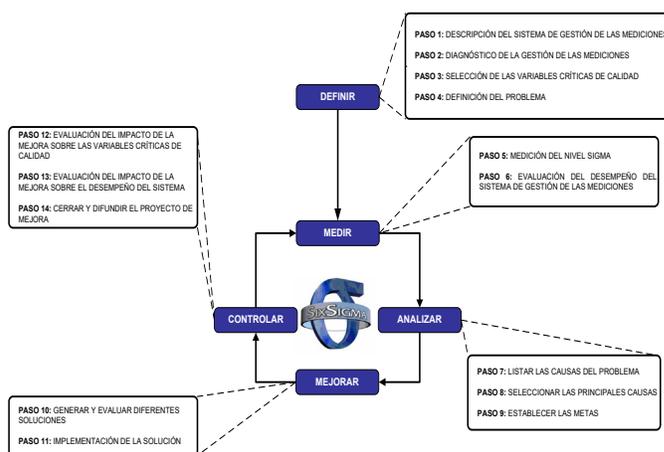


Figura 1. Procedimiento para la mejora de la gestión de las mediciones, a partir de la utilización de la metodología seis sigma. Fuente: elaboración propia.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para la aplicación se tomó como objeto de estudio una empresa refinadora de petróleo, perteneciente al sector de la energía.

Etapas I: Definir

Paso 1: Descripción del sistema de gestión de las mediciones

La empresa refinadora de petróleo que se seleccionó para la investigación cuenta con más de 13 000 instrumentos de medición, los que se encuentran distribuidos por los diferentes procesos que existen en la organización, las magnitudes de los mismos son: presión, temperatura, flujo, volumen, masa, nivel, fisico-químico, electricidad, radio, tiempo, longitud, ángulo, entre otras. El 100 % posee confirmación metrológica desde el punto de vista de la adquisición.

Los recursos financieros destinados a esta actividad se gestionan a partir de las demandas o necesidades de los

servicios de calibración y/o verificación para el año, inversiones, adquisición de instrumentos, entre otros. Cada área es la responsable de esta planificación.

Dentro del sistema de gestión de las mediciones se dispone con un grupo de instrucciones y procedimientos que garantizan el funcionamiento de la actividad.

El personal es competente y la infraestructura adecuada, así como los patrones con la trazabilidad para prestar servicios internos para las calibraciones de los manómetros, termómetros y transmisores, los que presentan el mayor porcentaje de los instrumentos de medición existentes.

Paso 2: Diagnóstico de la gestión de las mediciones

Se define para cada uno de los instrumentos que integran el proceso de medición, el período de calibración y verificación, establecido por el Decreto-Ley 8 (2020) y regulado por la Disposición General DG-01 (2020) "Instrumentos de medición sujetos a la verificación obligatoria y a aprobación de modelo según los campos de aplicación donde serán utilizados". Las principales dificultades en la organización se centraron en:

- No se realizan suficientes estudios para conocer la calidad en los resultados de los sistemas de medición.
- Demora en el tiempo de ciclo de salida y reposición de los instrumentos.
- No se evalúa la incertidumbre de medición en los sistemas de medición fiscal.

Paso 3: Selección de las variables críticas de calidad

Para definir las variables críticas de calidad de mayor impacto a los clientes y los riesgos del proceso de medición, se realizó una sesión con el especialista principal en metrología y personal de amplia experiencia en la temática, de lo que resultaron las siguientes variables:

- Incertidumbre en los sistemas de medición fiscal
- Calibración y/o verificación de instrumentos
- Calidad de las mediciones
- Trazabilidad

Paso 4: Definición del problema

A partir del análisis realizado en los pasos anteriores, se definen los principales riesgos a los que está sometido el sistema de gestión de las mediciones por cada uno

de sus componentes, debido a que estos no se tienen en cuenta para el seguimiento y mejora, midiendo solo algunos indicadores operativos, además los estudios de mejora implementados no responden a los análisis de riesgos de la organización.

Por tanto, el problema se define como: El sistema de gestión de las mediciones de la Refinería de Petróleo presenta insuficiencias, como es el escaso uso de indicadores, en su mayor parte, dirigidos fundamentalmente al cumplimiento de los planes de calibración y verificación y la poca utilización de la gestión de riesgos en la actividad, debido a que no se evalúa el desempeño integral a partir de un enfoque basado en riesgos, que permita la retroalimentación.

Etapa II: Medir

Paso 5: Medición del nivel sigma

La evaluación general del sistema de medición se aplica a las variables seleccionadas en la etapa anterior. Las denominaciones y definiciones operativas de estas se presentan a continuación:

- Calibración y/o verificación de instrumentos: Cantidad de instrumentos que no se encuentran calibrados y/o verificados en la organización.
- Trazabilidad: Cantidad de equipos de medición que no sean trazables a patrones nacionales o internacionales.
- Incertidumbre en los sistemas de medición fiscal: Cantidad de sistemas de medición fiscal que tengan evaluada su incertidumbre mediante métodos determinísticos de estadística clásica (frecuentista) y el método bayesiano de soluciones analíticas (Ley de propagación de la incertidumbre).
- Calidad de las mediciones: Porcentaje de variación debido a repetibilidad y reproducibilidad (R&R) en los ensayos de laboratorio químico por encima del 30%.

A partir de las variables descritas se mide el nivel sigma del sistema, se parte de las no conformidades detectadas en auditorías internas y externas, señalamientos, deficiencias, entre otras, asociadas a las variables críticas de calidad en las doce áreas relacionadas con la actividad metrológica. Como son variables discretas, se determina el nivel sigma a partir de la determinación del Defecto por Millón de Oportunidades (DPMO), para ello se realiza el siguiente análisis. Tabla.

Tabla 1: Información primaria para la determinación del nivel sigma del proceso durante el año 2013.

Variables	Resultado de medición	Cantidad no conformidades, asociadas (c)	Requisitos asociados en la legislación	Áreas examinadas	Riesgos asociados
Incertidumbre de medida	40	4	12	2	1
Calibración	0	3	24	12	8
Verificación	0	1	16	2	7
Trazabilidad	414	8	12	12	2
Calidad de las mediciones	10	11	21	1	12
Total		27	85	12	

Fuente: elaboración propia

Las no conformidades externas e internas, la cantidad de sistemas de medición fiscal, cantidad de instrumentos verificados y/o calibrados, así como su trazabilidad son tomados por los miembros del equipo de trabajo de las siguientes fuentes:

- Informes de las auditorías internas y externas
- Certificados de calibración y/o verificación
- Reportes técnicos mensuales
- Informes de otras acciones de control

La determinación del Defecto por Millón de Oportunidades (DPMO) se realiza según la fórmula 1 referida en la norma ISO 31053 (Organización Internacional de Normalización [ISO], 2011) punto 5.2, la que se indica a continuación:

$$Y_{DPMO} = \frac{c}{n_{units} \times n_{CTQC}} \times 1\,000\,000$$

(1)

donde:

c: Número de defectos (no conformidades)

n_{CTQC} : Número de características/unidad crítica para la calidad

n_{units} : Número de unidades críticas examinadas

Las puntuaciones sigma se interpretan según lo expuesto en la tabla 2 siguiente:

Tabla 2: Puntuaciones sigma.

Valor calculado DPMO (Y_{DPMO})	Puntuación Sigma (Z_{value})
308 538,0	2
66 807,0	3
6 210,0	4
233,0	5
3,4	6

Fuente: ISO 53013-1:2011

A partir del análisis anterior se obtiene el siguiente resultado:

$$Y_{DPMO} = \frac{c}{n_{units} \times n_{CTQC}} \times 1000000 = 26470,59 \quad (1)$$

Con este valor se busca su puntuación sigma en la tabla 2, siendo de 3,4354, lo que significa que la calidad es poco satisfactoria.

Paso 6: Evaluación del desempeño del sistema de gestión de las mediciones

Identificación de los índices de riesgo a evaluar y las actividades implicadas

Para la identificación de los índices a evaluar en la Refinería de Petróleo se analiza el sistema de gestión de las mediciones, así como los componentes metrológicos asociados a este, considerándose un total de 29 riesgos, a los que se le asocian indicadores.

Por cada indicador se determinan dos índices desde dos enfoques diferentes:

- IRM: Índice que evalúa los riesgos metrológicos materializados por las desviaciones respecto a estándares de desempeño, que afectan los diferentes componentes del sistema de gestión de las mediciones: Responsabilidad de la dirección, Gestión de los recursos, Confirmación metrológica y realización de los procesos de medición y Análisis y mejora.
- IRGM: Índice que evalúa los riesgos en la gestión metrológica, presentes por la incapacidad en coordinar las actividades para dirigir y controlar el sistema de gestión de las mediciones.

Determinación de los índices de riesgo

Los índices, tanto el IRM como el IRGM se determinan para cada riesgo identificado por componente metrológico: Responsabilidad de la dirección, Gestión de los recursos, Confirmación metrológica y realización de los procesos de medición y Análisis y mejora y a su vez asociados de forma integral al sistema de gestión de las mediciones en la refinería.

Cálculo del Índice de Riesgo Metrológico (IRM)

Dado que existen indicadores que no pueden ser evaluados mensualmente, se define para estos un período de evaluación anual, tomando como base los años 2010, 2011, 2012 y 2013. Para el resto de los indicadores que pueden ser medidos trimestralmente la evaluación se realiza en el año 2013, se compilaron las magnitudes de los indicadores en el periodo de enero a diciembre. Para la identificación de los valores límites de referencias para los indicadores que cuantifican los riesgos analizados se consultan referentes normativos, resoluciones ministeriales, así como opiniones de los expertos en la temática.

Un resumen de los resultados alcanzados luego de calcular el IRM por cada uno de los riesgos identificados,

se evidencia que el 28,57% alcanza la categoría de Moderado, el 21,43% Medio, el 28,57% es evaluado de Alto y el 7,14% de Muy alto, encontrándose el resto de los riesgos evaluados en la categoría de Bajo. Estos resultados se deben tener en cuenta para encaminar las mejoras del sistema de gestión de las mediciones en la empresa objeto de estudio.

Cálculo del Índice de Riesgo en la Gestión Metrológica (IRGM)

Un resumen de los resultados alcanzados luego de calcular el IRGM por cada uno de los riesgos analizados por componente metrológico, se evidencia que el 15,37% alcanza la categoría de Moderado e igual por ciento de Alto, el 7,69% de Muy Alto y el 23,07% es evaluado de Medio, encontrándose el resto de los riesgos evaluados en el nivel Bajo. Estos resultados se deben tener en cuenta para encaminar las mejoras del sistema de gestión de las mediciones (SGM) en la empresa objeto de estudio.

Cálculo del Índice de Riesgo por aspecto metrológico (IRCM), y del sistema (IRS)

En este punto es necesario evaluar el desempeño metrológico global a partir de los dos enfoques planteado (IRM e IRGM), es decir, por cada componente y el sistema. Por lo que es necesario definir el índice de riesgo por componente metrológico (IRCM) y el índice de riesgo del sistema (IRS) como:

- IRCM: Índice que a partir de dos enfoques (IRM e IRGM) evalúa de forma global los riesgos metrológicos materializados por las desviaciones respecto a estándares de desempeño para cada uno de los componentes del sistema, así como la incapacidad en coordinar las actividades para dirigirlo y controlarlo.
- IRS: Índice que a partir de dos enfoques (IRM e IRGM) evalúa de forma global el sistema, teniendo en cuenta los riesgos metrológicos materializados por las desviaciones respecto a estándares de desempeño, así como la incapacidad en coordinar las actividades para dirigir y controlar la gestión de las mediciones.

Para determinar los índices de riesgos por componente metrológico y sistema, se realiza una jerarquización apoyada en el criterio de los expertos, para determinar los pesos o ponderaciones (w) asociados a cada uno de los componentes metrológicos presentes en el SGM mediante el software SuperDecisions.

Luego se realiza una suma ponderada para el nivel de desagregación: Riesgos, Componentes y Sistema, desde dos enfoques diferentes, desde el IRM y el IRGM.

Estos índices evidencian que existen en el componente Confirmación metrológica y realización de los procesos

de medición para el enfoque de materialización de los riesgos una evaluación de Moderado; la que debe ser analizada con profundidad con el objetivo de determinar los factores o riesgos que están incidiendo en dicha valoración, con el fin de acometer medidas para su minimización. Comportándose el resto de los índices para cada nivel desagregado en el sistema con la categoría de evaluación de Bajo.

Etapa III: Analizar

Paso 7 y 8: Listar las causas del problema, seleccionar las principales y confirmarlas

Después de haber identificado los problemas existentes, entre los que se encuentran la insuficiente realización de estudios para conocer la calidad en los resultados de los sistemas de medición, no se evalúa la incertidumbre de medición en los sistemas de medición fiscal ni el desempeño metrológico integral del sistema mediante un enfoque de riesgos, así como los principales riesgos que afectan el sistema de gestión de las mediciones, se hace un análisis de las causas a nivel de sistema que conllevan a las deficiencias en su gestión y por consiguiente en su mejora, que se materializa en los riesgos metrológicos y en mayor medida los asociados a las variables críticas de calidad.

Paso 9: Establecer las metas

A partir de los proyectos seis sigma se pretende mejorar el desempeño del sistema de gestión de las mediciones. En la tabla 3 se muestra por cada una de las variables críticas la situación actual y la meta que se propone la organización lograr a partir de su situación tecnológica actual.

Con respecto a las variables calibración y/o verificación no se tienen en cuenta, debido a que en la organización la mayor parte de los equipos tienen trazabilidad, por tanto, se encuentran en confirmación metrológica. Con respecto a la trazabilidad tampoco se analizan, debido a que no depende de la organización, sino al Estado, este es quien adquiere y disemina los patrones en el país para garantizar la conformación metrológica de los instrumentos.

Tabla 3: Metas del proyecto.

Variables	Situación actual	Meta
Incertidumbre de medida	No se ha estimado	0,2%
Calidad de las mediciones	70 – 90%	30%

Fuente: elaboración propia

Etapa IV: Mejorar

Paso 10: Generar y evaluar diferentes soluciones

Los proyectos seis sigma se realizan cumpliendo con la universalmente conocida metodología DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar), adaptada a las condiciones y recursos disponibles en la organización. Aun cuando la metodología DMAIC estandariza la secuencia a seguir y las herramientas posibles a emplear, cada proyecto es único en dependencia del proceso, de la naturaleza del defecto del alcance y de las metas a alcanzar, por lo que los pasos específicos en su ejecución y las salidas de estos pueden ser diferentes para cada proyecto.

A partir de los resultados obtenidos en las etapas anteriores, se decide desarrollar los proyectos seis sigmas siguientes:

- Proyecto No.1: Proyecto seis sigma aplicado a los procesos de Tratamiento y almacenamiento del Jet A1 e Hidrofinación de diésel.
- Proyecto No.2: Proyecto seis sigma aplicado al proceso de Recepción, almacenamiento, manipulación y entrega de GLP.
- Proyecto No.3: Proyecto seis sigma aplicado a los procesos de Recepción y almacenamiento del crudo y otros insumos; Entrega de Productos Líquidos a Buque; Entrega de productos líquidos por cargadero de pailas y Entregas por oleoductos

Estos proyectos se desarrollan en el período comprendido entre el año 2013 y 2018 siguiendo en cada uno de ellos la metodología DMAIC.

Paso 11: Implementación de la solución

Para realizar la implementación de los proyectos mencionados se diseñan los planes de acción correspondientes, haciendo uso de la técnica de las 5W2H (qué, quién, cómo, por qué, dónde, cuándo y cuánto). En dicho plan se refleja en qué consiste la propuesta, dónde se implementan, la forma en qué se va a realizar, las fechas para cada una, las personas responsables, entre otros.

Entre las principales acciones y resultados alcanzados en los proyectos seis sigmas desarrollados dentro del sistema de gestión de las mediciones en la Refinería objeto de estudio se encuentran:

Proyecto No.1

- 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: "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 Tratamiento y almacenamiento del Jet A1.
- Evaluación de las especificaciones técnicas del Jet A1, según el estándar internacional durante todo el proceso mediante las muestras analizadas y accionar en el proceso para evitar pérdidas por mala calidad y reprocesar producto terminado.

Proyecto No.2

- Estudio de repetibilidad y estabilidad del flujómetro coriolis en la entrega de GLP por camiones cisternas con la utilización del Máster Meter conectado en serie al instrumento durante el período en que se realiza el estudio, demostrándose que el mismo es estable en el tiempo y capaz de mantener sus características metrológicas.
- Evaluación de la confirmación metrológica de todos los instrumentos que intervienen en el proceso de recepción, almacenamiento, manipulación y entrega de GLP.
- Estudio de repetibilidad y reproducibilidad en la entrega de GLP regular por camiones rígidos, demostrando que la forma en que se realiza la entrega por volumen al 90% por rota gauge no permite garantizar condiciones de repetibilidad, pues está condicionado a la temperatura, densidad y al factor humano, siendo conveniente prefijar un valor promedio para cada carro, ya sea en volumen o en masa.

Proyecto No.3

- Estudio de repetibilidad y estabilidad del flujómetro Coriolis utilizado en la entrega de fuel oil por ducto a la Central Termoeléctrica (CTE), demostrándose que el mismo es estable en el tiempo y capaz de mantener sus características metrológicas.
- Evaluación de la incertidumbre en la medición fiscal y transferencia de custodia en los puntos de medición fiscal.
- Verificación del flujómetro Coriolis a la transferencia de fuel oil por ducto a la CTE utilizando la estación patrón Máster Meter, comprobándose que dicho instrumento se encuentra apto para el uso y mantiene sus características metrológicas, demostrándose y validándose los resultados obtenidos en el estudio de repetibilidad y estabilidad realizado.
- Seguridad en la transferencia al evaluar la incertidumbre, teniendo instalado el elemento primario en los puntos de medición fiscal analizados.

Etapa V: Controlar

Paso 12: Evaluación del impacto de la mejora sobre las variables críticas de calidad

Para la evaluación de la solución se debe comparar el estado del sistema antes y después de las acciones tomadas. Se ponen en práctica las medidas fundamentales plasmadas en el plan de mejora, las que son implementadas durante el desarrollo de los proyectos seis sigma.

A partir de las variables críticas de calidad definidas, se calcula por segunda ocasión el nivel sigma del sistema. Los datos recopilados al término del año 2019. Tabla 4.

Tabla 4. Información primaria para la medición del nivel sigma del proceso durante el año 2019.

Variables	Resultado de medición	Cantidad no conformidades, asociadas (c)	Requisitos asociados en la legislación	Áreas examinadas	Riesgos asociados
Incertidumbre de medida	32	2	12	2	1
Calibración	0	3	24	12	8
Verificación	0	1	16	2	7
Trazabilidad	414	7	12	12	2
Calidad de las mediciones	2	8	21	1	12
Total		21	85	12	

Fuente: elaboración propia

El resultado de la determinación del Defecto por Millón de Oportunidades (DPMO) es el siguiente:

$$Y_{DPMO} = \frac{c}{n_{units} \times n_{CTQC}} \times 1000000 = 26470,59 \quad (1)$$

Con este valor se busca su puntuación sigma en la tabla 2, siendo de 3,54175, aunque se mantiene en el rango de calidad tres sigmas, se observa como disminuyen los defectos por millón de oportunidades, contribuyendo a la mejora del sistema.

En la tabla 5 se realiza un resumen de los resultados alcanzados para cada una de las variables de salida de los proyectos, superándose las metas planteadas al inicio del proyecto.

Tabla 5. Resultados del proyecto.

Variables	Situación inicial	Meta	Resultados
Incertidumbre de medida	No se ha estimado	0,2%	0,1%
Calidad de las mediciones	70 – 90%	30%	10%

Fuente: elaboración propia

Paso 13: Evaluación del impacto de la mejora sobre el desempeño del sistema

Para el cálculo de los índices de riesgos metrológicos, luego de implementadas las mejoras, se toma como base los años 2014, 2015, 2016, 2017 y 2018.

Cálculo del Índice de Riesgo Metrológico (IRM)

Se sigue igual proceder en el cálculo del IRM por cada uno de los riesgos identificados. Como resultado se evidencia que el 50% alcanza la categoría de Moderado y Medio, el 28,57% es evaluado de Alto y el 7,14% de Muy alto, encontrándose el resto de los riesgos evaluados en la categoría de Bajo, lo que evidencia una mejora con respecto a la evaluación inicial.

Cálculo del Índice de Riesgo en la Gestión Metrológica (IRGM)

Se sigue igual proceder en el cálculo del IRGM por cada uno de los riesgos identificados. Como resultado se evidencia que el 27,59% alcanza la categoría de Moderado y Alto, el 20,68% es evaluado de Medio y solo el 6,90% Muy alto, encontrándose el resto de los riesgos evaluados en el nivel Bajo.

Cálculo del Índice de Riesgo por aspecto metrológico (IRCM), y del sistema (IRS)

Como resultado al calcular el IRCM y el IRS se evidencian que disminuye el valor obtenido en el componente

Confirmación metrológica y realización de los procesos de medición para el enfoque de materialización de los riesgos, aunque persiste con una evaluación de Moderado.

Paso 14: Cerrar y difundir el proyecto de mejora

Finalmente se realiza una recopilación de todos los documentos utilizados en la investigación, donde se refleja el trabajo realizado, quedando redactado un documento final, el que es depositado en la biblioteca de la organización para ser consultado por el personal interesado. Se refleja en el mismo los principales logros alcanzados luego de poner en práctica las propuestas de mejora, así como los principales impactos.

CONCLUSIONES

El procedimiento utilizado permitió realizar el diagnóstico inicial y evaluar el desempeño metrológico del sistema de gestión de las mediciones, en la refinería de petróleo seleccionada, determinando las principales deficiencias relacionadas con ello, sobresaliendo la insuficiente realización de estudios para conocer la calidad en los resultados de los sistemas de medición, no se evalúa la incertidumbre de medición en los sistemas de medición fiscal ni el desempeño metrológico integral del sistema mediante un enfoque de riesgos, siendo el componente Confirmación metrológica y realización de los procesos de medición de este sistema el que presente las mayores dificultades.

Se determinó el Índice de Riesgo por Componente Metrológico (IRCM) y el Índice de Riesgo del Sistema (IRS) a partir de dos enfoque desde la materialización del riesgo y la gestión de este, evidenciándose que existen en el componente Confirmación metrológica y realización de los procesos de medición para el enfoque de materialización de los riesgos la evaluación de Moderado, comportándose el resto de los índices para cada nivel desagregado en el sistema con la categoría de Bajo, lo que contribuye a la retroalimentación y mejora del sistema.

El conjunto de acciones propuestas por cada uno de los proyectos seis sigma implementados, facilitan la corrección y adecuación de las principales tareas encaminadas a mejorar el sistema de gestión de las mediciones, así como a plantear el compromiso de la dirección, la capacitación del personal y el cumplimiento de las metas propuestas como elementos distintivos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Barrera García, A., Hernández Santana, M., Botana Beltrán, L.O., Martínez Hernández, T., & Carrasco Padrón, O.O. (2017). Verificación de las características metrológicas de un contador de flujo Coriolis utilizado en transferencia fiscal. Ingeniería, Investigación y Tecnología, XVIII (4), 433-444.

- Barrera García, A., Feitó Cespón, M. & Cespón Castro, R. (2022). Índices para evaluar el desempeño metrológico basado en riesgos en empresas del sector de la energía. *Visión de Futuro*, 26(1), 38-60.
- Beltrán Sanz, J. (2006). Análisis de un modelo de autoevaluación y de un proceso de auditoría de los sistemas de gestión de las mediciones basados en la norma UNE-EN ISO 10012:2003. (Tesis Doctoral). Universidad Nacional de Educación a Distancia UNED.
- Beltrán Sanz, J., Muñuzuri Sanz, J. Rivas Zapata, M. A. & González Gaya, C. (2010). Metrological management evaluation base don ISO 10012: an empirical study in ISO -14001- certified Spanish companies. *Energy*, 35, 140-147.
- Beltrán Sanz, J., Muñuzuri Sanz, J., Rivas Zapata, M. A. & Martín Encinas, E. (2014). Development of a metrological management model using the AHP and SEM techniques. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 31(7), 841-857.
- Clemente F., Papi M., Pontecorvi L. & Menichetti A. (2016). Evaluation of indices for the measurement of quality in health systems. *International Journal of Metrology and Quality Engineering*, 7(4), 405.
- D'Emilia, G., Di Rosso, G., Gaspari, A. & Massimo, A. (2015). Metrological interpretation of a six-sigma process for improving the online optical measurement of automotive turbocharger dimensions. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*, 229(2), 261-269.
- Decreto-Ley 8. (2020). De Normalización, Metrología, Calidad y Acreditación. Oficina Nacional de Normalización, La Habana, Cuba.
- Disposición General 01. DG 01 (2020). Instrumentos de medición sujetos a verificación y los campos de aplicación donde serán utilizados. Oficina Nacional de Normalización. La Habana. Cuba.
- Gibbons, P. M., Kennedy, C., Burgess, S., & Godfrey, P. (2012). The development of a value improvement model for repetitive processes (VIM). *International Journal of Lean Six Sigma*, 3(4), 315-338.
- Gremyr, I., & Fouquet, J.-B. (2012). Design for Six Sigma and lean product development. *International Journal of Lean Six Sigma*, 3(1), 45-58.
- Organización Internacional de Normalización. (2011) Quantitative methods in process improvement. Six Sigma (ISO 13053). Ginebra, Suiza.
- López González, E., Pérez de Armas, M., Cabrera Macías, Y., López Cabrera, E., Escoriza Martínez, T. & Galvéz González, A. M. (2021). Consideraciones acerca del desempeño metrológico en unidades de salud. *Medisur*, 19(1), 142-156.
- Normas Cubanas ISO 9000. (2015). Sistemas de gestión de la calidad. Requisitos. Oficina Nacional de Normalización, La Habana, Cuba.
- Normas Cubanas ISO 10012 (2007). Sistemas de gestión de las mediciones. Requisitos para los procesos de medición y los equipos de medición. Oficina Nacional de Normalización, La Habana, Cuba.
- Normas Cubanas ISO/IEC 17025 (2017). Requisitos generales relativos a la competencia de los laboratorios de ensayo/prueba y calibración. Oficina Nacional de Normalización, La Habana, Cuba.
- Normas Cubanas ISO 31000 (2018) Gestión del Riesgo. Principios y directrices. Oficina Nacional de Normalización, La Habana, Cuba.
- Normas Cubanas ISO/IEC 31010 (2015) Gestión del Riesgo. Técnicas de apreciación del riesgo. Oficina Nacional de Normalización, La Habana, Cuba.
- Cuba. Contraloría General de la República. (2011). Resolución 60. Normas de Control Interno., La Habana
- UNE 66180 (2008) Guía para la gestión y evaluación metrológica. AENOR, Madrid, España.