**SIMPOSIO INTERNACIONAL INDUSTRIA Y ENERGÍA**

**Seis sigma y gestión de riesgos aplicado a la metrología en una empresa refinadora de petróleo**

***Six sigma and risk management applied to metrology in an oil refining company***

**Aníbal Barrera García1, Michael Feitó Cespón2, Roberto Cespón Castro3**

1. Universidad de Cienfuegos, Cuba. E-mail: abarrera@ucf.edu.cu
2. Universidad de Cienfuegos, Cuba. E-mail: mfeito@ucf.edu.cu
3. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, Cuba. E-mail: rcespon@uclv.edu.cu

**Resumen:**

El presente trabajo se realiza 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 cumplimento se diseña 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.

***Abstract:***

*This work is carried out in an oil refining company, with the aim of improving the management of measurements from the integration of the systematic evaluation of metrological performance with the risk approach and the six sigma methodology. For its fulfillment, a procedure is designed that allows the improvement of the measurement management system, as well as its feedback. Two indices are evaluated, one for the materialization of the metrological risk and the other for its management; in addition, the quality level in sigma 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 to improve the management of measurements in this type of organization is evidenced.*

**Palabras Clave:** Calidad; Mediciones; Metrología; Desempeño.

***Keywords:*** *Quality; Measurements; Metrology; Performance.*

**1. 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, ISO 14001 en su versión del año 2015 e ISO 45001:2018, 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 puramente operacional; es decir, a las calibraciones de los equipos y al otorgamiento de los certificados de calibración; esto se conoce como la “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.

En los últimos años se han desarrollado un grupo de modelos o sistemas que constituyen un cambio en el enfoque tradicional de la gestión metrológica en las organizaciones, entre los que se encuentran los dados por: NC ISO 10012: 2007 y la norma UNE 66180:2008; existiendo semejanza y diferencias entre ellos. En estos modelos se aprecia: responsabilidad de la dirección, gestión de los recursos, confirmación metrológica y realización del proceso de medición, análisis y mejora.

Los modelos mencionados le dan 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.

En Cuba se encuentra vigente el Decreto Ley 8 de 2020 De Normalización, Metrología, Calidad y Acreditación y la norma NC ISO 10012: 2007 que constituyen referentes para ayudar a solucionar los problemas metrológicos que se presentan en las empresas. Se emiten grupos de normas que tienen como objetivo perfeccionar la actividad metrológica en el país, como es la NC 1066:2015, la NC 994:2015, siendo está ultima aplicada a los sistemas de medición fiscal y transferencia de custodia de los productos derivados del petróleo, entre otras.

Por otra parte, se encuentra la Resolución 60/2011 de la Contraloría General de la República, 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. 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.

En muchas ocasiones se ve la metrología como una actividad aislada dentro de la gestión empresarial, además se considera que existe una escasa cultura en esta materia.

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.

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.

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 empresa del sector de la energía, seleccionándose una empresa refinadora de petróleo.

**2. Metodología**

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.**

**3. Resultados y discusión**

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

### Etapa 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, 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, físico-químico, electricidad, radio, tiempo, longitud, ángulo, entre otras. El 100 % posee confirmación metrológicas 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 trasmisores, 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 de 2020 y regulado por la Disposición General DG-01 “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 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 relacionas 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 1: Información primaria para la determinación del nivel sigma del proceso durante el año 2013. Fuente: elaboración propia.**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Variables** | **Resultado de medición** | **Cantidad no conformidades, asociadas (c)** | **Requisitos asociados en la legislación** $(n\_{CTQC})$ | **Áreas examinadas**$$(n\_{units})$$ | **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 |  |

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 referida en la norma ISO 31053:2011 punto 5.2, la que se indica a continuación:

$Y\_{DPMO}=\frac{c}{n\_{units}×n\_{CTQC}}×1 000 000$ (1)

donde:

c: Número de defectos (no conformidades)

nCTQC: Número de características/unidad crítica para la calidad

nunits: Número de unidades críticas examinadas

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

**Tabla 2: Puntuaciones sigma. Fuente: ISO 53013-1:2011.**

|  |  |
| --- | --- |
| **Valor calculado DPMO (YDPMO)** | **Puntuación Sigma (Zvalue)** |
| 308 538,0 | 2 |
| 66 807,0 | 3 |
| 6 210,0 | 4 |
| 233,0 | 5 |
| 3,4 | 6 |

A partir del análisis anterior se obtiene el siguiente resultado:

$$Y\_{DPMO}=\frac{c}{n\_{units}×n\_{CTQC}}×1000000=26470,59 $$

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

*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 afecta los diferentes componente 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 porciento 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 (IRAM), y del sistema (IRS)*

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. Este análisis se divide en dos aspectos:

* Preparación del diagrama causa-efecto.
* Preparación de las hipótesis y verificación de las causas más probables.

*Paso 9: Establecer las metas*

Con el proyecto se pretende mejorar el desempeño del sistema de gestión de las mediciones. En la siguiente tabla 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. Fuente: elaboración propia.**

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

### Etapa IV: Mejorar

*Paso 10: Generar y evaluar diferentes soluciones*

Los proyectos seis sigma se realizan cumpliendo con la universalmente conocida metodología DMAIC, 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.

Los resultados de estos proyectos son publicados en revistas científicas y memorias de eventos, tanto nacionales como internaciones.

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 son:

**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**

* Verificación de los requisitos establecidos en la NC 994 en los puntos de medición fiscal y transferencia de custodia de la Refinería.
* Estudio de repetibilidad y estabilidad del flujómetro Coriolis utilizado en la entrega de fuel oíl 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, a partir de lo establecido en la NC - Guía 1066.
* Verificación del flujómetro Coriolis a la transferencia de fuel oíl por ducto a la CTE utilizando la estación patrón Máster Meter y conforme a la NC 918, comprobándose que dicho instrumento se encuentra apto para el uso y mantiene sus características metrológicas, demostrándose y validándose los resultados obtenido 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 2018 (ver tabla 4).

**Tabla 4. Información primaria para la medición del nivel sigma del proceso durante el año 2018. Fuente: elaboración propia.**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Variables** | **Resultado de medición** | **Cantidad no conformidades, asociadas (c)** | **Requisitos asociados en la legislación** $(n\_{CTQC})$ | **Áreas examinadas**$$(n\_{units})$$ | **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 |  |

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

$Y\_{DPMO}=\frac{c}{n\_{units}×n\_{CTQC}}×1000000=20588,23$

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. Fuente: elaboración propia.**

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

*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 (IRAM), y del sistema (IRS)*

Como resultado al calcular el IRAM 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.

**4. Conclusiones**

1. 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.
2. Se determinó el Índice de Riesgo por Aspecto Metrológico (IRAM) 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.
3. 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.

**5. Referencias bibliográficas**

Alonso Torres, C. (2014). Orientaciones para implementar una gestión basada en procesos. *Ingeniería Industrial*, XXXV (2), 159-171.

Arthur, J. (2014). Lean Six Sigma: A Fresh Approach to Achieving Quality Management. *Quality Management Journal,* 21(3).

Barrera García, A., Cambra Díaz, A. y González González, J.A. (2017). Implementación de la metodología seis sigma en la gestión de las mediciones. *Universidad y Sociedad*, 9(2), 8-17.

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, UNED. Madrid.

Beltrán Sanz, J., Muñuzuri Sanz, J. Rivas Zapata, M. A. y 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. y 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.

Contraloría General de la República de Cuba (2011). Resolución 60. Normas de Control Interno. La Habana, Cuba.

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. Instrumentos de medición sujetos a verificación y los campos de aplicación donde serán utilizados. Oficina Nacional de Normalización. La Habana. Cuba.

ISO 13053: 2011. Quantitative methods in process improvement. Six Sigma. Ginebra, Suiza.

NC OIML V2: 2012Vocabulario Internacional de Metrología. Conceptos fundamentales y generales y términos asociados (VIM). [OIML V2:2010, (traducción certificada), IDT]. ONN, La Habana, Cuba. (publicada por la OIML en 2010)

NC 918: 2012. Metros contadores paralíquidos diferentes del agua. Métodos y equipos para la verificación. ONN, La Habana, Cuba.

NC 994: 2015. Condiciones y requisitos técnicos para la medición fiscal y transferencia de custodia o propiedad de petróleo y sus derivados. ONN, La Habana, Cuba.

NC Guía 1066: 2015. Guía para la expresión de incertidumbre de medición. ONN, La Habana, Cuba.

NC ISO 9000: 2015. Sistemas de gestión de la calidad. Vocabulario. [ISO 9000:2015, (traducción certificada), IDT]. ONN, La Habana, Cuba. (publicada por la ISO en 2015)

NC ISO 9001: 2015. Sistemas de gestión de la calidad. Requisitos. [ISO 9001:2015, (traducción certificada), IDT]. ONN, La Habana, Cuba. (publicada por la ISO en 2015)

NC ISO 10012: 2007. Sistemas de gestión de las mediciones. Requisitos para los procesos de medición y los equipos de medición. [ISO 10012:2003, (traducción certificada), IDT]. ONN, La Habana, Cuba. (publicada por la ISO en 2003)

NC ISO/IEC 17025:2017. Requisitos generales relativos a la competencia de los laboratorios de ensayo/prueba y calibración. [ISO/IEC 17025:2017, (traducción certificada), IDT]. ONN, La Habana, Cuba. (publicada por la ISO en 2017)

NC ISO 31000: 2015Gestión del Riesgo. Principios y directrices. [ISO 31000:2009, (traducción certificada), IDT]. ONN, La Habana, Cuba. (publicada por la ISO en 2009)

NC ISO/IEC 31010: 2015Gestión del Riesgo. Técnicas de apreciación del riesgo. [ISO/IEC 31010:2009, (traducción certificada), IDT]. ONN, La Habana, Cuba. (publicada por la ISO en 2009)

NC ISO 45001: 2018Sistemas de Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo. Requisitos con orientación para su uso. [ISO 45001:2018, (traducción certificada), IDT]. ONN, La Habana, Cuba. (publicada por la ISO en 2018)

Savic, M., & Gersak, G. (2015). Metrological traceability of a system for measuring electrodermal activity. *Measurement,* 59(1), 192-197.

UNE 66180:2008 Guía para la gestión y evaluación metrológica. AENOR, Madrid, España.

[Zawiah Md Dawa, S](http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0263224114004102)., Yusuf, K., Abdul Rashid, S.H., Md Shalahim, N.S., Suliani Abdullah, N., Mohd Kamil, N.S. (2015). Determination of the significant anthropometry dimensions for user-friendly designs of domestic furniture and appliances – Experience from a study in Malaysia. *Measurement,* 59(1), 205-215.