UNIVERSIDAD DE CIENFUEGOS

FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS Y EMPRESARIALES

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

TESIS EN OPCIÓN AL TÍTULO ACADÉMICO DE MÁSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

TÍTULO: **GESTIÓN DE LAS MEDICIONES BASADA EN RIESGOS EN LA REFINERÍA DE PETRÓLEO DE CIENFUEGOS.**

AUTOR: **ING. FRANK MACHADO GARCÍA**

TUTORES: **MSC. ING. ANÍBAL BARRERA GARCÍA**

CIENFUEGOS 2018

Pensamiento

'The *two most important* days in your life are the day you are born and the day you find out why.'

Mark Twain.

Dedicatoria

Agradecimientos

Resumen

RESUMEN

El presente trabajo se realiza en la Refinería Cienfuegos S.A perteneciente al sector de la energía, con el objetivo de 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. Para el 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 a partir de la utilización de la metodología seis sigmas.

Como resultado final se muestra un caso de estudio, referido a la Refinería Cienfuegos S.A, 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 la empresa objeto de análisis.

Palabras claves: calidad, mediciones, metrología, desempeño.

Summary

SUMMARY

The present work is carried out in the Cienfuegos S.A Refinery belonging to the energy sector, with the aim of developing a model for the management of measurements, based on the systematic evaluation of metrological performance with a focus on risks and improvement. For the fulfillment a procedure is designed that allows the improvement of the management system of the measurements, as well as its feedback for the decision making. Two indices are evaluated, one for the materialization of the metrological risk and the other for its management; In addition, the level of quality in sigma's of the system is determined based on the use of the philosophy of six sigma's.

The final result shows a case study, referred to the Cienfuegos SA Refinery, where the proposed procedure allows obtaining favorable results. Its feasibility as a methodological instrument for improving the management of measurements in companies in the energy sector is evidenced.

Keywords: Quality, measurements, metrology, performance.

Índice

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN 16

CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO REFERENCIAL 22

1.1. Gestión de las mediciones en el entorno empresarial 23

1.2.1. Evaluación del desempeño metrológico 25

1.2. Análisis de los sistemas de medición 29

1.2.1 Evaluación de los sistemas de medición 30

1.3. Calidad de las mediciones 31

1.4. Modelos utilizados en la gestión metrológica 32

1.5. Metodologías de mejora de procesos 37

1.6.1. Seis Sigma como metodología de mejora de procesos 38

1.7. Gestión de riesgo empresarial 42

Conclusiones parciales del capítulo 46

CAPÍTULO II: PROCEDIMIENTO PARA LA GESTIÓN DE LAS MEDICIONES BASADO EN RIESGOS 48

2.1. Descripción del procedimiento para la gestión de las mediciones basado en riesgos 48

Etapa I: Definir 51

Etapa II: Medir 55

Etapa III: Analizar 66

Etapa IV: Mejorar 67

Etapa V: Controlar 68

Conclusiones parciales del capítulo 69

CAPÍTULO III: APLICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO PARA LA GESTIÓN DE LAS MEDICIONES BASADO EN RIESGOS 71

3.1. Aplicación del procedimiento propuesto. Caso de estudio: Refinería Cienfuegos S.A 71

Etapa I: Definir 71

Etapa II: Medir 79

Etapa III: Analizar 90

Etapa IV: Mejorar 91

Etapa V: Controlar 93

Conclusiones parciales del capítulo 102

CONCLUSIONES GENERALES 104

RECOMENDACIONES 106

BIBLIOGRAFÍA **108**

ANEXOS **121**

Introducción

INTRODUCCIÓN

El enfoque integral de la calidad brinda un sistema de gestión que asegura que las organizaciones satisfagan los requerimientos de los clientes, y a su vez hagan uso racional de los recursos, asegurando su máxima productividad. Así mismo permite desarrollar en la organización una fuerte ventaja competitiva como es la cultura del "mejoramiento continuo" con un impacto positivo en la satisfacción del cliente, del personal y un incremento de la productividad. Autores como Xiaofen (2013); Myszewski (2013) y Antony (2013); aseguran que los métodos de calidad están siendo el pilar sobre el que se apoya toda empresa para garantizar su futuro. Quién no esté en proceso para normalizar su empresa, implantar un sistema de calidad, obtener la certificación y asegurar la pertinencia del resto de sus sistemas de gestión, no tiene futuro.

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 NC ISO 9001, NC ISO 14001 en su versión del año 2015 y NC 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.

Dentro de la literatura consultada la mayor parte de los artículos científicos abordan las siguientes temáticas:

- Estudios de repetibilidad y reproducibilidad de ensayos de laboratorio.

- Estimación de la incertidumbre de métodos y equipos de medición.
- Trazabilidad de las mediciones
- Sistemas de gestión de las mediciones.

Sobresalen los estudios de repetibiidad y reproducibilidad, debido a que estos son los que garantizan la calidad de la medición, algunos de los autores consultados son: Eicholtz et al. (2005); Kwun Wanga y Wen Yang (2007); Correa y Burgos (2007); Singh et al. (2011); Hamada y Borror (2012); Solminihac et al. (2012); Carrión García y Grisales del Río (2013); Hajipour; Kazemi y Mousavi (2013); Galvania y Carpinettib (2013) y Barrera García, Cambra Díaz y González González (2017).

En la búsqueda realizada en las bases de datos, la mayor parte de los estudios relacionados con la incertidumbre de medida se centran en la estimación en equipos y métodos de medición, siendo escasos en los sistemas de medición.

En menor medida se tratan las temáticas de:

- Modelo de gestión de las mediciones.
- Uso de metodologías de mejoras a la gestión de las mediciones

Estas últimas constituyen ejes esenciales dentro de la gestión metrológica, ya que estos modelos forman esquemas o marcos de referencia para la gestión de las mediciones dentro de una organización, siendo limitado el uso de metodologías de mejoramiento de procesos en este tipo de gestión. La mayor parte de estas aplicaciones se centran en procesos de manufactura. Los autores más citados que han propuesto modelos de gestión metrológica son: Beltrán Sanz (2006); Beltrán Sanz, González Gaya, Domingo Navas (2007); Beltrán Sanz, Muñuzuri Rivas y González Gaya (2010); Beltrán Sanz, Muñuzuri, Rivas y Martín (2014).

El uso de metodologías de mejoramiento de procesos constituye una limitante dentro de esta rama de la ciencia, existe una proporción menor de artículos científicos dentro de la base de datos Science Direct en esta temática con respecto al resto de las antes mencionadas. Autores como D'Emilia et al. (2015) realizan una sinergia entre los conceptos metrológicos y una metodología de mejoramiento de procesos (seis sigmas), la que desarrollan para incrementar y consolidar las mejoras.

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.

La tendencia a desarrollar un desempeño metrológico en las empresas se hace cada vez más necesario, pues habitualmente se encuentran organizaciones que no han valorado adecuadamente el impacto que pueden tener en sus procesos las actividades metrológicas en el resto de los procesos de la organización.

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 183 de febrero de 1998 De la metrología 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 para el control de sus producciones es la Refinería de Cienfuegos, perteneciente al sector de la energía, siendo este priorizado para el desarrollo del país. En ella existen procesos con alto riesgo operacional, así como un número importantes de instrumentos para el control de los mismos.

En esta organización sus producciones son comercializadas por diferentes puntos de medición y transferencia de custodia. La medición de volumen y flujo constituye la base del control de las operaciones de transferencia de custodia y de mediciones fiscales de la entidad. En las condiciones actuales se ha decidido acometer acciones para aumentar el control de los combustibles a través del mejoramiento de los niveles de exactitud de las operaciones de comercialización. Estas acciones se concretan en la adquisición de tecnología de medición con su aseguramiento metrológico y la revisión de los procedimientos de trabajo, que implementen el correcto uso de esta tecnología para la obtención de los niveles de prestaciones referidos.

Al evaluar el desempeño metrológico del sistema en la organización, solo se utilizan algunos indicadores, dirigidos fundamentalmente al cumplimiento de los planes de calibración y verificación, así como el aspecto económico, 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. Lo anterior constituye la situación problemática que identifica la presente investigación.

Basado en los aspectos abordados se plantea el problema científico de la misma.

Problema Científico

La gestión de las mediciones en la Refinería Cienfuegos presenta insuficiencias, debido a la carencia de herramientas que evalúen el desempeño integral del sistema metrológico a partir de un enfoque basado en riesgos, que permita su retroalimentación.

El **Objetivo General** de la investigación es:

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 la Refinería Cienfuegos.

Para el cumplimiento de este objetivo es necesario llevar a cabo los siguientes **objetivos específicos:**

1. Diagnosticar la gestión de las mediciones en la Refinería de Cienfuegos
2. Definir un índice basado en riesgos, su campo de aplicación, formulación y método de cálculo para la evaluación del desempeño metrológico.
3. Proponer mejoras que faciliten el perfeccionamiento de la gestión de las mediciones en la Refinería Cienfuegos.

Partiendo del problema científico planteado, la **hipótesis** de la presente investigación es:

El desarrollo de un procedimiento que considere la evaluación integral del desempeño del sistema metrológico a partir de un enfoque basado en riesgos en la Refinería Cienfuegos, contribuirá a la retroalimentación y mejora en la gestión de las mediciones.

El trabajo quedó estructurado de la siguiente forma:

El capítulo I tiene como objetivo caracterizar la ciencia y la aplicación práctica en torno a los sistemas de gestión de las mediciones, así como los aspectos que no han sido suficientemente abordados en las publicaciones de literatura científica relevante tanto nacional como internacional.

En el capítulo II se presenta el desarrollo del procedimiento de mejora aplicado a la gestión de las mediciones, así como la definición de los índices basado en riesgos, su campo de aplicación, formulación y método de cálculo para la evaluación del desempeño metrológico.

En el capítulo III se analizan los resultados alcanzados con la aplicación del procedimiento en la en la Refinería Cienfuegos, donde son determinadas las prioridades para mejorar el desempeño metrológico de la organización.

Capítulo I

CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

Este capítulo tiene como objetivo caracterizar la ciencia y la aplicación práctica en torno a los sistemas de gestión de las mediciones. Para ello se organiza la revisión de la bibliografía consultada como se muestra en la figura 1.1, donde se evidencia la relación intrínseca entre las temáticas tratadas.

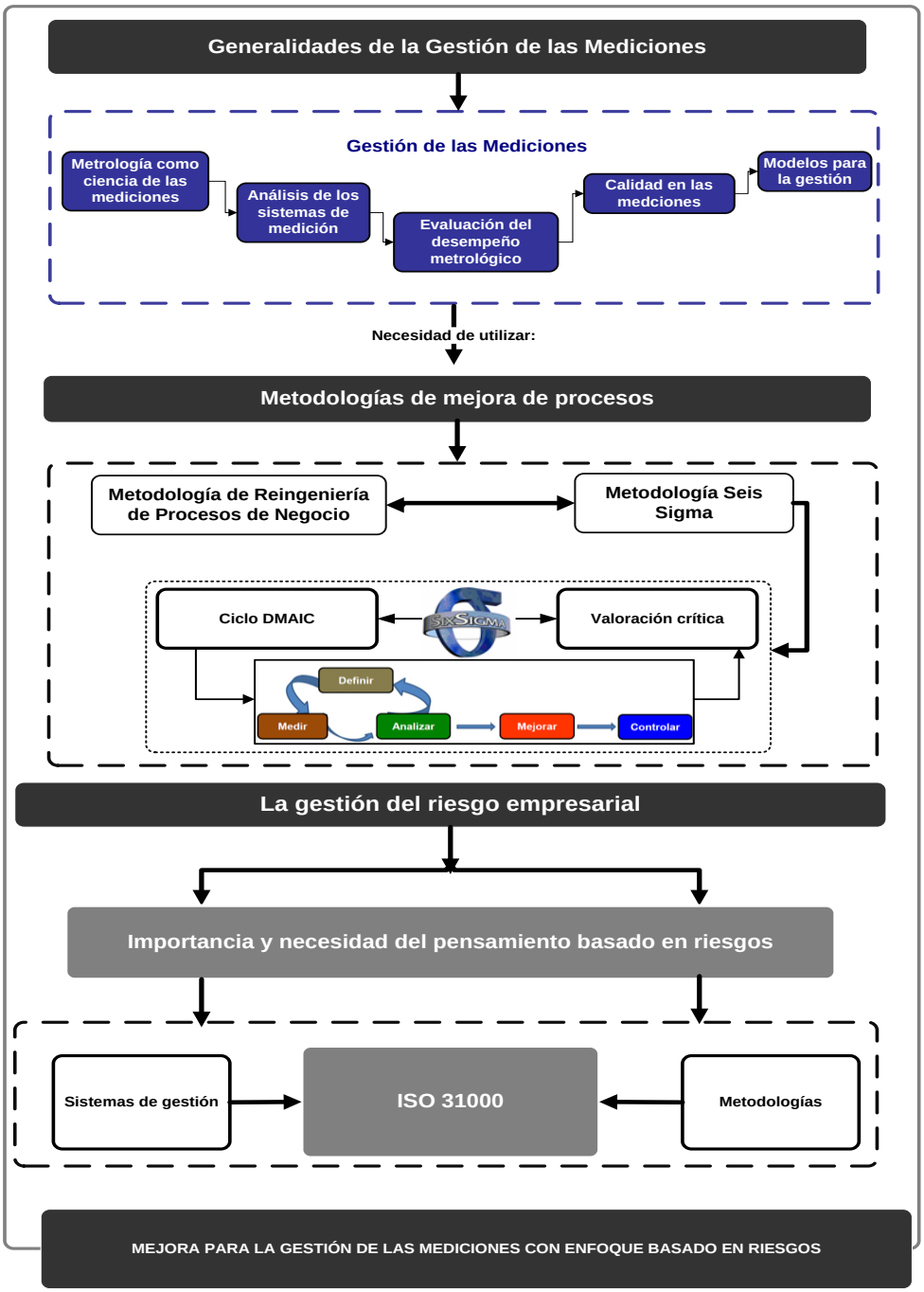


Figura: 1.1: Hilo conductor de la revisión bibliográfica. Fuente: Elaboración propia.

1.1. Gestión de las mediciones en el entorno empresarial

La metrología se establece como el apoyo formal al soporte de las mediciones en orden de valorar los márgenes de calidad que deben cumplir los instrumentos para que sean confiables y puedan asegurar óptimos resultados.

Es conocido el papel de las mediciones en cualquier proceso productivo o de servicios, en el comercio interior y exterior, en la protección del consumidor, en la defensa, en el control de inventarios y en la toma de decisiones trascendentales para la vida económica y social del país. De aquí la importancia de garantizar la exactitud de los instrumentos y los sistemas de medición, y sobre todo, de que los resultados de las mediciones, expresados en las unidades de medida del Sistema Internacional de Unidades, sean confiables, seguros, exactos y comparables (Reyes Ponce y Hernández Leonard, 2014).

La metrología se define como la ciencia de las mediciones, e incluye los aspectos teóricos y prácticos relacionados con las mediciones, independientemente de la incertidumbre y de la rama de la ciencia o la tecnología donde ellas ocurran. Es definida en la ISO 9000 como el conjunto de operaciones que tienen como objetivo determinar el valor de una magnitud.

Llamosa, Milton y Villareal (2011) comentan que la misma está encargada de investigar, experimentar y establecer los patrones de referencia primarios en el ámbito internacional; así como mantener los patrones nacionales de los diferentes países. De manera que, mediante un proceso denominado trazabilidad, el último instrumento utilizado en el ámbito industrial está referido al patrón internacional.

Los autores mencionados explican que el papel de la metrología se hace relevante cuando el proceso de medición es vital en algún tipo de transacción comercial, en aplicaciones militares, en el campo de la salud, en la producción de medicinas o de alimentos; en la realización de pruebas para construcciones de ingeniería civil, de diagnósticos para descubrir la causa de algún problema eléctrico, de trabajos destinados al alcance del uso racional de la energía; en el monitoreo rutinario de los sistemas electromecánicos, mecánicos y electrónicos, en la verificación de límites de contaminantes del ambiente o valores de niveles de radiación, en el monitoreo permanente de las diversas magnitudes físicas que intervienen en los procesos de producción, y muy especialmente, en la realización de pruebas de calidad. Sin la metrología, es imposible verificar la calidad de los productos o de los procesos, definida en la normativa internacional. Dicho de otra manera, la metrología y la normalización son vitales para el aseguramiento de la calidad.

Oramas Pérez (2014) expresa que la metrología tiene como meta ideal obtener un 100% de exactitud, aunque en la práctica esto sea casi imposible de alcanzar. Sin embargo, toda la actividad de la ciencia metrológica gira alrededor de ese ideal, de esa meta, estudiando, estableciendo y suministrando procedimientos, herramientas y mecanismos que nos ayudan a alcanzar esa máxima exactitud.

La metrología está presente, prácticamente, 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; tan es así que en diversas situaciones se tiende a medir el desarrollo de estos a partir del desarrollo que tengan en la metrología (Reyes Ponce; Álvarez Vasallo y Hernández Leonard, 2011).

Reyes Ponce y Hernández Leonard (2014) explican que la aplicación, utilización y desarrollo de la Metrología son, a la vez, causa y consecuencia del progreso científico-técnico, por la relación directa de las mediciones con el desarrollo de la producción industrial, los servicios y la vida económica de la sociedad.

Algunos autores, entre los que se encuentra Johnston, Presidente de la Organización Internacional de Metrología Legal, promueven la identificación de tres ramas fundamentales, en dependencia de su campo de aplicación:

- Metrología Científica, que establece las bases para las mediciones, asegura la trazabilidad consistente al Sistema Internacional de Unidades (SI).
- Metrología Industrial, que permite la diseminación de las unidades y brindan confianza de que las mediciones son comparables.
- Metrología Legal, que establece los requisitos legales cuando son necesarios para el aseguramiento de mediciones confiables, seguras y exactas.

Es importante resaltar que la comunidad científica relacionada con las mediciones analíticas está promoviendo también la identificación de la Metrología Química como una rama independiente, la que ha alcanzado un notable desarrollo en Brasil.

Un sistema de gestión metrológico asegura que el equipo y los procesos de medición son correctos para su uso previsto, siendo indispensable para alcanzar los objetivos de la calidad del producto, así como gestionar el riesgo de obtener resultados de mediciones incorrectas. Al igual que las normas NC ISO 9001, NC ISO 14001 e NC ISO 45001 se menciona claramente la necesidad de implementar un sistema para el control del proceso de medición.

No existe la medición perfecta, toda medición contiene errores que pueden ser motivados por diferentes causas entre las que se encuentran: la persona que realiza la medición, el método,

instrumento, condiciones ambientales. El error de medición se define como el resultado de la diferencia entre una medición y el valor de una medición de referencia (NC OIML V2:2012).

Para González Camps y Reyes Ponce (2014) la metrología está unida a la calidad, esta unión se puede ver debido a que no hay calidad sino se realizan controles para determinar el cumplimiento de los requisitos y no hay control si no se realizan mediciones. Es importante que haya gestión de la calidad en las mediciones, de esta forma se garantiza que las mismas se realicen con las condiciones necesarias que permitan lograr su confiabilidad.

La norma NC ISO 10012 es la que establece los requisitos generales para documentar el sistema de confirmación metrológica, la que se define como el conjunto de operaciones requeridas para asegurarse de que el equipo de medición es conforme a los requisitos correspondientes a su uso previsto. Los métodos existentes para el control de las mediciones se basan en el monitoreo y el análisis regular de los datos de las mismas, utilizándose gráficos de control y patrones para su comprobación.

Los recursos involucrados en un proceso de medición incluyen equipo de medición, procedimientos de medición, operador. Las características del desempeño requerido para el uso propuesto del proceso de medición deben ser caracterizadas, por ejemplo, por la incertidumbre en uso, estabilidad, rango, resolución, repetibilidad, reproducibilidad y nivel de habilidad del operador. Es necesario implementar un sistema para el control del proceso de medición, que sea adecuado dentro de los límites de incertidumbre requeridos, garantizando los parámetros de calidad exigidos por normas y referencias internacionales.

Un aspecto que se debe tener en cuenta dentro de la gestión de las mediciones es la evaluación del desempeño metrológico, tema poco tratado, tanto a nivel nacional como internacional.

1.2.1. Evaluación del desempeño metrológico

Los requisitos metrológicos están presentes en todos los procesos del sistema de gestión global de una organización que precisen de la medición para evaluar su conformidad. Se destacan los relacionados con el seguimiento y medición del producto, los procesos, del comportamiento ambiental, la seguridad y salud laboral, entre otros.

En febrero de 2008, se publica la norma UNE 66180 “Sistemas de gestión de la calidad. Guía para la gestión y evaluación metrológica”, la misma es basada en la norma NC ISO 10012 y especifica las directrices para la gestión, operación y evaluación de los procesos metrológicos operativos y de soporte necesarios de un sistema de gestión de las mediciones para aquellas

organizaciones que deseen mejorar la eficacia y eficiencia de su gestión metrológica, como parte de su sistema de gestión de la calidad.

La tendencia a desarrollar un desempeño metrológico en las empresas se hace cada vez más necesario, pues habitualmente se encuentra organizaciones que no han valorado adecuadamente el impacto que pueden tener en sus procesos las actividades metrológicas en el resto de los procesos de la organización (Beltrán Sanz, Muñuzuri Sanz, Rivas Zapata y Martín Encinas, 2014).

El autor de la presente investigación lo define como como un proceso de valoración estructurado, sistemático y periódico de estimación cualitativa y cuantitativa que permite determinar la capacidad del proceso metrológico para gestionar adecuadamente sus recursos en concordancia con los objetivos y metas establecidas.

Al evaluar el desempeño es necesario establecer indicadores, que demuestren su evolución a lo largo del tiempo y permitan su comparación con referenciales internos y externos. Los indicadores cuantifican un determinado aspecto metrológico, caracterizan su estado, y tienen la función de evaluar y comparar los resultados de su comportamiento con años anteriores, evidenciando las mejoras metrológicas acaecidas.

La implementación de la evaluación del desempeño metrológico (EDM) se realiza en correspondencia con lo establecido en la NC ISO 10012:2007, basada en el ciclo de Deming, lo que le ofrece un alto nivel de interacción con el resto de las normas ISO correspondientes a los diferentes sistemas de gestión. Este proceso comienza con la planificación de la evaluación, donde se seleccionan los indicadores a utilizar. Luego se recopilan los datos y se analizan los resultados, para ser comunicados a la alta dirección.

La Norma UNE 66180 reconoce la validez de la evaluación metrológica, tanto en las entidades que han implementado sistema de gestión de las mediciones según NC ISO 10012 como en aquellas donde no. En las empresas que han implantado estos sistemas se aplican criterios propios de cada entidad para la identificación y evaluación sistemática de los aspectos metrológicos. La evaluación metrológica puede aportar información para definir si un aspecto metrológico es significativo o no, y analizar en cada etapa el cumplimiento de los objetivos y metas previstos en el sistema.

Se considera oportuno precisar entonces que la evaluación del desempeño metrológico es un proceso sistemático y periódico de evaluación de los resultados metrológico de una organización. Se apoya en un conjunto de conocimientos o tecnología, donde se incluye un

sistema de indicadores que debe permitir retroalimentar la gestión metrológica y orientar el proceso de toma de decisiones en las organizaciones.

A pesar de la relevante presencia de la metrología en los modelos normalizados de gestión, se ha observado, a través de diversos estudios realizados por el Servicio de Información, Metrología, Calibración y Ensayos (SIMCE) en esta materia, que es habitual encontrar organizaciones que desconocen lo perjudicial que resulta la no evaluación de los procesos metrológico. Para facilitar esta tarea, desde el año 2005 el SIMCE ha realizado un grupo de proyectos que tienen como objetivo la inclusión de modelos normalizados para la gestión eficaz y eficiente de la metrología en las empresas, sustentada en la NC ISO 10012 y UNE 66180.

Durante los años 2007 y 2008 se llevan a cabo proyectos que tienen como objetivo lo mencionado anteriormente, implementándose en un grupo de empresas españolas. Estos proyectos se basan siguiendo un procedimiento compuesto por cuatro etapas:

- Capacitación de las empresas en las normas de gestión metrológicas.
- Autoevaluación de las empresas de su sistema de gestión de las mediciones.
- Evaluación externa de las organizaciones, para lo que es necesaria, al menos, una visita y que sirve para realizar el diagnóstico de su sistema de gestión de las mediciones, elaborando un informe que incluye un análisis cualitativo (con puntos fuertes y áreas de mejora) y cuantitativo del mismo.
- Aplicación de herramientas que faciliten la implantación de las áreas de mejora detectadas.

Entre los principales resultados de estos proyectos se tienen:

- Las organizaciones que tienen implementado el sistema de gestión de la calidad basado en la NC ISO 9001, o con sistemas basados en NC ISO 17025, poseen mayores facilidades y obtienen mejores resultados en los elementos que constituyen los sistemas de gestión de las mediciones.
- Las áreas de mejora en las organizaciones se centran en los procesos metrológicos operativos (confirmación metrológica, procesos de medición y estimación de incertidumbre de medida y trazabilidad).
- A partir de los datos de empresas que están utilizando la norma UNE 66180 para mejorar su gestión metrológica, y que ya se encuentran en su segundo ciclo de

evaluación, puede observarse, el avance en el grado de madurez de su gestión metrológica.

Por otra parte, investigaciones relevantes como son las de los autores Valencia Cárdenas y Restrepo Morales (2016) plantean el uso de técnicas como el Análisis de Ecuaciones Estructurales (SEM) que comprende el Análisis del Factor Confirmatorio (CFA) mediante un análisis de regresión. Otros como Osorio Gómez, Herrera Umaña y Vinasco, (2008) utiliza el Proceso Analítico Jerárquico (AHP) para establecer diferentes criterios para medir el desempeño del proceso, entre otros como Sarache Castro, Costa Salas y Martínez Giraldo (2014) proponen una metodología para evaluar el desempeño por medio de un indicador de gestión.

Ninguno de los autores anteriores menciona la evaluación del desempeño metrológico, sino que proponen vías de valoración del desempeño de forma general en una organización y no se enfocan el sistema de gestión de las mediciones, encontrándose solo dos artículos bajo este concepto.

- Metrological management evaluation based on ISO 10012: an empirical study in ISO -14001- certified Spanish companies. Autores: Jaime Beltrán Sanz; Jesús Muñuzuri Sanz, Miguel Ángel Rivas Zapata y Cristina González Gaya. Publicado en la Revista *Energy*, volumen 35, pp 140-147 en el año 2010.
- Development of a metrological management model using the AHP and SEM techniques. Autores: Jaime Beltrán Sanz, Jesús Muñuzuri Sanz, Miguel Ángel Rivas Zapata y Enrique Martín Encinas. Publicado en la Revista *International Journal of Quality & Reliability Management,* volumen 31, No.7, pp 841-857 en el año 2014.

En este sentido se plantea que se deben implementar metodologías a través de indicadores metrológicos que permitan obtener una imagen cuantitativa de las capacidades científica y tecnológica de los sistemas de medición, contando con indicadores normalizados que permitan evaluar los esfuerzos realizados dirigiendo acciones a las áreas que presenten debilidades y fortaleciendo aquellas que han alcanzado cierto nivel de desarrollo.

Resulta necesario para arribar a conclusiones sobre la evaluación del desempeño metrológico no solo el uso de los resultados de un o grupo de indicadores, se recurre también a los índices o conjuntos de indicadores convertidos mediante una función matemática que los sintetiza, permitiendo una visión general de la situación en cuestión.

El gran reto de los índices es convencer, evaluar y reflejar la situación real. Las críticas más frecuentes se concentran en los criterios y razones para seleccionar las variables que se

incluyen en el índice, la forma de integrarlas, así como la heterogeneidad y los problemas con la calidad de la información.

De forma general se aprecia que dentro del sector empresarial se utilizan diferentes indicadores metrológicos, fundamentalmente los de tipo operativos, es decir, relacionados con la calibración y/o verificación de los instrumentos de medición, siendo escaso el uso de indicadores de gestión en este campo. El análisis de la información metrológica se realiza de forma individual por indicador, no empleándose índices que permitan dar una valoración global de la actividad.

En la mayoría de las organizaciones la gestión metrológica se reduce solo a la parte operacional, es decir, al conjunto de operaciones requeridas para asegurarse de que el equipo de medición es conforme a los requisitos correspondientes a su uso previsto, lo que es más conocido como “confirmación metrológica” y se descuida el “proceso de medición”, que es donde más riesgo existe y/o donde frecuentemente ocurren los mayores errores en las mediciones, además de ser donde participa el hombre de manera directa.

1.2. Análisis de los sistemas de medición

Hoy en día se acepta la necesidad de medir los resultados de los procesos para la toma de decisiones oportunas y adecuadas. El impacto de estas acciones depende en gran medida de la calidad de los datos de la medición. 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. En la figura 1.2 se muestran las posibles fuentes de variación observadas en el proceso.

La concordancia entre los métodos y sus mediciones puede alterarse por los siguientes elementos o fuentes de error: variabilidad de los observadores, variabilidad dada por el instrumento de medida y variabilidad debida a medir en momentos diferentes en el tiempo (Cortés Reyes; Rubio Romero y Gaitán Duarte, 2010) y (Ramírez Barrera, 2011).

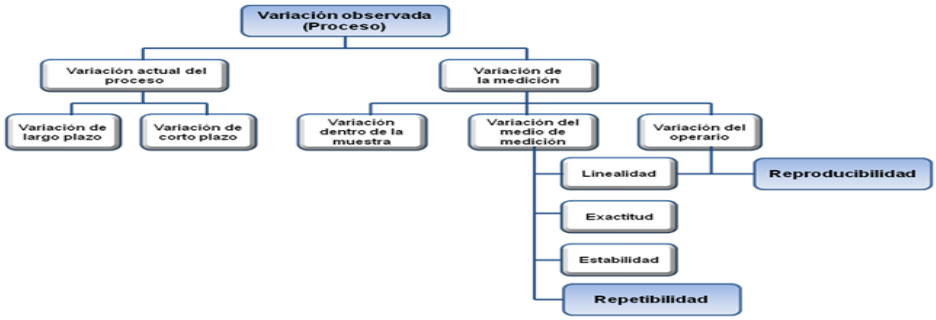


Figura 1.2. Fuentes de variación observadas en el proceso. Fuente: (Gutiérrez y de la Vara Salazar, 2004).

Con el establecimiento de la norma NC ISO 10012:2007, se aporta un marco de referencia para un sistema de gestión de las mediciones con el objetivo de que equipos y métodos de medición sean adecuados para el uso previsto, además estos son compatibles con el resto de los sistemas de gestión.

1.2.1 Evaluación de los sistemas de medición

Para evaluar este tipo de sistema se utilizan las "Pruebas de Reproducibilidad & Repetibilidad (R&R)" (Gutiérrez Pulido y de la Vara Salazar, 2004) y (Kwun y Wen, 2007). Mientras que (Solminihac et al., 2012) manifiestan que este tipo de prueba constituyen una herramienta útil para asegurar la calidad.

Repetibilidad refleja la variabilidad de las mediciones repetidas de la misma parte por el mismo operador (ISO 13053: 2011); (Eicholtz et al., 2012) y la reproducibilidad refleja la variabilidad cuando la misma parte se mide por diferentes operadores (Boos y Stefanski, 2011).

Diversos autores como Carrión García y Grisales del Río (2013); Singh et al. (2011); Galvania y Carpinettib (2013); Solminihac et al. (2012); Hamada y Borror (2012); Eicholtz et al. (2012); Hernández Rivero et al. (2012); Hajipour; Kazemi y Mousavi (2013); Viña et al. (2013); Savic y Gersak (2015) y Correa y Burgos (2007) utilizan este tipo de prueba para analizar y evaluar sistemas de medición en diversos procesos.

Los criterios de decisión habituales son (ISO 13053: 2011):

- R&R <10%: el sistema de medición es aceptable.
- 10% <R&R <30%: el sistema de medición necesita mejoras.
- R&R> 30%: el sistema de medición no es adecuado.

El índice de repetibilidad es calculado utilizando las pruebas estadísticas de Análisis de Varianza (ANOVA) (Gutiérrez Pulido y de la Vara Salazar, 2004); (Kwun y Wen, 2007); (Brazzale et al., 2010); (Pryseley et al., 2010); (Santoya Achón y Coello Reina, 2011) y (Viña Rodríguez et al., 2013).

Viña Rodríguez et al. (2013) expresa que una de las principales fuentes de variabilidad que afectan los resultados de la evaluación de un producto, o del proceso del que ese producto proviene, es la medición. Ésa es la razón por la que se requiere, y se justifica económicamente, que se dé la debida importancia a la evaluación de la calidad de los procesos de medición. Por ello constituye un aspecto a tener en cuenta al elaborar un sistema de gestión de las mediciones.

1.3. Calidad de las mediciones

Muchas personas, ante el resultado de una medición, en cualquiera de las actividades cotidianas, se han hecho la pregunta *¿ese equipo medirá bien, será confiable el resultado?* Esta pregunta encierra un contenido importante porque la obtención de un resultado confiable, solo es posible si se entienden los elementos que constituyen las bases técnicas que establecen la confianza en esa medición. La calibración de un instrumento es una condición necesaria para el aseguramiento de la calidad de las mediciones, la misma es suficiente cuando exista compatibilidad entre las condiciones y los métodos de empleo de esos instrumentos con la exactitud que se pretende en la medición.

Ospina Gutiérrez; Botero Arboláez y Mendoza Vargas (2008) comentan que la calibración y ajuste de los instrumentos de medida no garantiza por sí sola la calidad de las medidas ya que esta no actúa sobre: los posibles errores humanos, los defectos que puede presentar una pieza o las condiciones ambientales, lo que hace es contribuir al correcto funcionamiento de los instrumentos.

En el proceso de medición la presencia de variabilidad metrológica es lo que determina que, cuando se efectúe una serie de mediciones los valores resultantes varíen alrededor de un intervalo. No se obtiene siempre el mismo valor porque no es posible reproducir en cada momento las mismas condiciones para la medición. La figura 1.3 representa las bases técnicas para garantizar la calidad de la medición. Cada uno de estos elementos desempeña un papel fundamental para la materialización del objetivo central, que es la garantía de la calidad de la medición (Reyes Ponce; Hernández Leonard y Hernández Ruíz, 2013).

Figura 1.3. Bases técnicas para garantizar la calidad de la medición. Fuente: (Reyes Ponce; Hernández Leonard y Hernández Ruíz, 2013).

Cada uno de los aspectos mencionados en la figura anterior se encuentran explicados en (Reyes Ponce; Hernández Leonard y Hernández Ruíz, 2013).

Para obtener medidas confiables dentro de un sistema de medición, es necesario no sólo capacitar al personal que vaya a manejar los instrumentos sino también controlar las condiciones ambientales del sitio donde se mide y además realizar una calibración periódica del instrumento utilizado (Ospina Gutiérrez; Botero Arboláez y Mendoza Vargas, 2008).

Una de los elementos que influyen en la calidad de las mediciones es la incertidumbre, definida por Cruz Quesada (2011) y Carvajal y Kottow (2012), como " *un parámetro asociado al resultado de una medición, que caracteriza la dispersión de los valores que pueden ser fundamentalmente atribuidos a un mensurando*". Se reconoce que el resultado de la evaluación de la misma es parte esencial de cualquier análisis cuantitativo. Una forma de utilizar la estimación de la incertidumbre de la medición como una herramienta de evaluación crítica metrológico es la identificación de fuentes de incertidumbre en el resultado analítico, así como en la evaluación de la incertidumbre para mediciones repetidas (Cruz Quesada, 2011) y (Solaguren-Beascoa Fernández; Ortega López y Serrano López, 2013). Las decisiones pueden ser correctas o incorrectas y están influenciados por la incertidumbre de la medición.

Correa y Burgos (2007) y el autor de la presente investigación coinciden en que el proceso de medición no es un proceso que se presente siempre constante, lo que hoy no parece ser una fuente de variación mañana probablemente si lo sea, esto conduce a un tratamiento diferente en cada caso presentado. Por esto, los autores mencionados demuestran la necesidad de aplicar metodologías como el diseño experimental, en el que puedan ser considerados estos cambios, donde se pueda actuar a medida que éstos se presenten.

Coincide con este criterio Brazzale et al. (2010) y Viña Rodríguez et al. (2013) presentando el primero de ellos un procedimiento para la evaluación de un sistema de medición utilizando estudios de repetibilidad y reproducibilidad integrando el diseño experimental. Mientras los segundos autores presentan una metodología para la estimación de la repetibilidad en un método de ensayo basada en un diseño experimental.

A partir del análisis bibliográfico realizado en los epígrafes anteriores, se puede concluir que 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, siendo estos de máxima importancia para alcanzar la mejora, así como garantizar la calidad en las mediciones, aspecto que es analizado dentro del siguiente apartado.

1.4. Modelos utilizados en la gestión metrológica

Los modelos de gestión constituyen ejes esenciales dentro de la actividad metrológica, ya que estos forman esquemas o marcos de referencia para la gestión de las mediciones dentro de una

organización, siendo limitado el uso de metodologías de mejoramiento de procesos en este tipo de gestión, la mayor parte de estas aplicaciones se centran en procesos de manufactura. Los autores más citados que han propuesto modelos de gestión metrológica son: Beltrán Sanz (2006); Beltrán Sanz, González, Domingo (2007); Beltrán Sanz, Muñuzuri, Rivas y González (2010); Beltrán Sanz, Muñuzuri, Rivas y Martín (2014).

Se presenta entonces la necesidad de una evaluación más profunda de la literatura sobre el vínculo entre modelos de gestión de las mediciones, pensamiento basado en riesgos y mejora de procesos. Para ello se realizó una revisión de los artículos que se relacionan con esta temática en revistas referenciadas en la web de la ciencia, dedicadas a las mediciones y su gestión; se consultaron los trabajos publicados en revistas científicas que incluyeran la frase “measurement management models" en el título, palabras claves o resúmenes, acumulando un total de 1553 artículos o resúmenes.

En la figura 1.4 se muestra la distribución de los artículos por año, siendo estable la producción científica publicada, la que aún resulta elevada, lo que demuestra que existen problemas no resueltos e interés por los científicos en esta área. Las revistas con mayor número de publicaciones en la problemática tratada se muestran en la tabla 1.1.

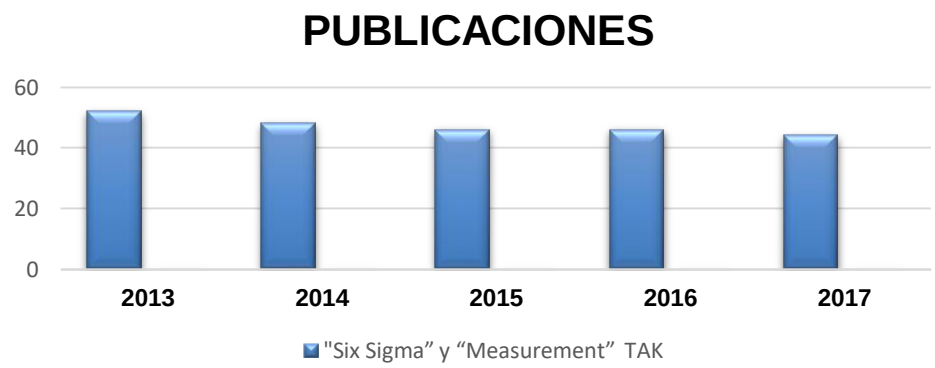


Figura 1.4. Resultados de la revisión en revistas científicas en la base de datos Science Direct de los términos “measurement management models” filtrado en Title, Abstract, Keywords (TAK).

Tabla 1.1. Las diez publicaciones revisadas en la base de datos Science Direct con mayor incidencia de los términos “measurement management models”en TAK en sus artículos.

Forest Ecology and Management	Agricultural and Forest Meteorology
Journal of Hydrology	Applied Energy
Science of The Total Environment	Journal of Power Sources
Agricultural Water Management	Procedia Engineering
European Urology	Ecological Modelling

A continuación, se analizan los dos modelos más citados en la bibliografía utilizados a nivel internacional.

Según Reyes Ponce, Hernández Leonard y Hernández Ruíz (2013) uno de los modelos con reconocimiento internacional es el dado en la norma NC ISO 10012:2007 “Sistemas de Gestión de las mediciones. Requisitos para los procesos de medición y equipos de medición”, siendo el más utilizado para la gestión metrológica en las organizaciones. Es importante destacar que la norma describe un modelo de gestión y no un conjunto de requisitos para demostrar competencia técnica. Esta especifica los requisitos necesarios y proporciona una guía para la gestión con la calidad requerida, de los procesos de medición y confirmación metrológica de los equipos de medición utilizados. El modelo como tal responde a la importancia y requerimientos de todo el proceso de medición como parte integrante e inseparable de la calidad y de cualquier proceso de mejora.

Esta norma es referencia para aquellas organizaciones que pretenden demostrar:

- Asegurar que el equipo y los procesos de medición sean adecuados para el uso previsto.
- Alcanzar los objetivos de calidad del producto.
- Gestionar el riesgo de obtener resultados de medición no confiables.

Seguir las exigencias descritas en esta norma facilita el cumplimiento de los requisitos para las mediciones y el control de los procesos de medición especificados en otras normas, por ejemplo, NC ISO 9001 y NC ISO 14001.

En la figura 1.5 se muestra el modelo dado en la norma NC ISO 10012:2007, que aborda el enfoque por procesos y mantiene la filosofía de la mejora continua.

Figura 1.5. Modelo del sistema de gestión de las mediciones. Fuente: NC ISO 10012: 2007.

Este sistema tiene dos estadios determinantes, como entrada y salida, estos son: el cliente, con los requisitos de medición de su proceso y la entrega de los resultados como satisfacción de su solicitud.

El modelo planteado en la norma mencionada es indispensable cuando los clientes y sus proveedores necesiten especificar las características del producto, como una referencia técnica que respalde la legislación y los reglamentos, y como una herramienta en la evaluación y auditoría de los sistemas de gestión.

El mismo establece cinco grupos de requisitos mínimos que son genéricos, y pretende que se apliquen por las organizaciones, los grupos se muestran a continuación:

- **Requisitos generales:** En este grupo se definen los requisitos generales a tener en cuenta para el diseño del sistema y para que éste se gestione adecuadamente.
- **Responsabilidad de la dirección:** Se establecen los requisitos que debe tener en cuenta la dirección de la organización para gestionar su sistema de gestión de las mediciones. Contempla las decisiones a tomar por la dirección y la definición de la persona que llevan a cabo la función metrológica en la empresa, las consideraciones a realizar para garantizar que el sistema está enfocado al cliente, la determinación de los objetivos de la calidad del sistema de gestión de las mediciones y los aspectos a tener en cuenta para realizar la revisión del sistema por la dirección.
- **Gestión de los recursos:** En cuanto a recursos humanos, enfatiza en la definición y documentación de las responsabilidades de todo el personal involucrado en el sistema, así como en la necesidad de que el personal demuestre su aptitud para la función que realiza.
- **Confirmación metrológica y realización de los procesos de medición:** Se enumeran los requisitos asociados al proceso de confirmación metrológica y a la realización de los procesos de medición, desde su planificación hasta la entrega del producto al cliente, incluyendo la evaluación de la incertidumbre de las mediciones y la garantía de la trazabilidad de las mediciones.
- **Medición, análisis y mejora:** Este grupo está asociado con las mediciones que es necesario realizar a cada proceso del sistema y al sistema como tal, la recopilación y análisis de la información para la retroalimentación de los procesos y su mejora. Sus exigencias son similares a las de otros sistemas.

Después de cumplir estas etapas en necesario evaluar el sistema para comprobar su eficacia a través de evaluaciones, auditorías, revisiones por parte de la dirección o autoevaluaciones, buscando generar confianza en la capacidad de sus procesos y en la calidad de las mediciones.

Otro de los modelos es el desarrollado por Jaime Beltrán Sanz, a partir de estudios realizados durante los años 2006 y 2007 basados en el diseño y validación de un modelo de evaluación metrológica, sentando las bases de un estándar cuantitativo para evaluar el grado de madurez de la gestión metrológica de las organizaciones basado en la norma NC ISO 10012, este es posteriormente incorporado en la norma UNE 66180:2008 “Sistemas de gestión de la calidad. Guía para la gestión y evaluación metrológica”.

El modelo propuesto por Beltrán Sanz (2006) parte de dos supuestos, uno es que sigue la filosofía de mejora continua, es decir el ciclo Deming; y segundo que el modelo se basa en una combinación lineal de variables (equivalentes a los elementos y requisitos que componen el sistema de gestión metrológico).

A partir de datos empíricos obtenidos de su aplicación en un grupo de empresas españolas seleccionadas al azar, Beltrán Sanz (2014) propone mejorar el modelo, por un lado analizar las relaciones intravariables utilizando el modelado de ecuaciones estructurales (SEM), buscando de esta forma validar dicho modelo de evaluación en sí; y por medio de técnicas de proceso de jerarquía analítica (AHP) estimar los pesos de los diferentes elementos y componentes del modelo de evaluación, con el fin de representar mejores resultados de las estrategias de mejora de las empresas.

Con la técnica SEM se demuestra que el modelo sigue el ciclo de mejora propuesto por Deming (Incluido en la NC ISO 10012) y con la técnica AHP se realiza una ponderación, obteniendo como resultado diferentes pesos en los elementos y variables del modelo, descartando de este modo el supuesto de que todos contribuían de igual forma.

Además de que:

- Las organizaciones que tienen implementado el sistema de gestión de la calidad basado en la NC ISO 9001, o con sistemas basados en la NC ISO 17025, poseen mayores facilidades y obtienen mejores resultados en los elementos que constituyen los sistemas de gestión de las mediciones.
- Las áreas de mejora en las organizaciones se centran en los procesos metrológicos operativos (confirmación metrológica, procesos de medición y estimación de incertidumbre de medida y trazabilidad).

- A partir de los datos de empresas que están utilizando la norma UNE 66180 para mejorar su gestión metrológica, y que ya se encuentran en su segundo ciclo de evaluación, puede observarse, el avance en el grado de madurez de su gestión metrológica.

Luego de analizar los modelos anteriores el autor de la presente investigación concluye que el modelo de Jaime Beltrán Sanz, tiene mayor robustez, partiendo de que la NC ISO 10012 es la base del suyo, además de que demuestra en la práctica y a través de la técnica SEM que el modelo sigue la filosofía de la mejora continua. A su vez ninguno de los modelos antes mencionados gestiona, ni garantizan la calidad del personal que opera en los procesos de medición, detectándose este punto, como uno fundamental a mejorar, por la relevancia y/o riesgo que aporta al mismo.

Como se ha analizado en los epígrafes anteriores, la gestión de las mediciones puede ser tratada como un proceso, debido a que la misma tiene elementos de entradas, los que son transformados para obtener salidas. A este proceso se le pueden aplicar diferentes metodologías de mejora a partir de los nuevos enfoques existentes.

1.5. Metodologías de mejora de procesos

A partir de los criterios expuestos por (Brown, 2013), se destacan un grupo de metodologías utilizadas en la mejora de procesos, realizando una valoración de cada una de ellas a partir de fortalezas y debilidades. Dentro de estas sobresalen las siguientes (McCarty et al., 2004 y Brown, 2013):

- Reingeniería de Procesos de Negocio
- Seis Sigma

En el **Anexo No.1** se muestra una comparación de las metodologías de mejora de proceso mencionadas.

Del análisis realizado previamente, el autor de la actual investigación decide seleccionar Seis Sigma como la metodología a utilizar, debido a que esta supera a las debilidades descritas en el resto de las analizadas. El método de desarrollar Seis Sigma es más comprensivo y fácil de aplicar, una vez que se tienen claras las herramientas requeridas, también contiene un acercamiento sistemático para encontrar soluciones a los problemas ocultos y controlar el desempeño de los resultados.

1.6.1. Seis Sigma como metodología de mejora de procesos

Seis Sigma es una herramienta de la gestión de calidad desarrollada en el contexto industrial, donde han demostrado su utilidad durante décadas (Abbas y Pintelon, 2012). Es una metodología 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. Seis Sigma está atrayendo la atención de ganancias financieras obtenidas por algunas empresas con el desarrollo de proyectos de Seis Sigma (Sanders y Hild, 2000; Hoerl, 2001; Schroeder et al., 2007; Mergulhao y Martins, 2008; Arthur, 2014 y Machado, 2013), coincidiendo con estos criterios autores tales como (Reyes Aguilar, 2002; McCarty, 2004; John et al., 2008; Daglioglu; Inal y Aksoy, 2009; Gutiérrez Pulido, 2010; Gremyr y Fouquet, 2012 y Galvania y Carpinettib, 2013). Es una metodología en la que las variables pueden ser controladas y se utilizan como un medio de gestión de la calidad destinada al cero error (ISO 13053: 2011 y Ingelsson y Martensson, 2014). Esta metodología obliga a las personas a medir los procesos (Eckes, 2003; Gygi; DeCarlo y Williams, 2005; ISO 13053: 2011; Galvania y Carpinettib, 2013 y Panat et al., 2014).

Cada etapa requiere la aplicación de los métodos estadísticos y herramientas de gestión de la calidad (Schroeder et al., 2007; Mergulhao y Martins, 2008 e ISO 13053: 2011). Tiene tres áreas prioritarias de acción: satisfacción del cliente, reducción del tiempo de ciclo y disminución de los defectos (Gutiérrez Pulido, 2010).

Es una metodología sistemática para la mejora continua de la calidad del proceso y para el logro de la excelencia operativa, así como de la mejora de procesos, que permite a las organizaciones aumentar sus ganancias a través de la eficiencia de los procesos mediante la mejora la calidad y la eliminación de fallos y errores. Estudios realizados en las empresas manufactureras instaladas en Brasil, Tailandia y los Estados Unidos demuestran lo planteado anteriormente (Reyes Aguilar, 2002; Calia y Guerrini, 2005; Pinto y Carvalho, 2006; Fernándes y Turrioni, 2007; Andrietta y Miguel, 2007 y Lertwattanapongchai y Swierczek, 2014).

Autores como (Huang et al., 2010 y Goodman, 2012) plantean que la misma es aplicable a cualquier área de trabajo, aplicada de manera continua puede convertirse en una forma de trabajo y una filosofía para cualquier organización. Seis Sigma ha sido utilizada por grandes empresas para mejorar el rendimiento de sus procesos de fabricación. Sin embargo, el interés y la aplicación de esta metodología en las empresas pequeñas y medianas es algo emergente en la actualidad (Gonçalves Amitrano et al., 2015). Esta metodología se contextualiza como nuevos conocimientos para ser absorbidos por las empresas medianas y pequeñas (McAdam et al., 2014).

La ISO 13053: 2011 plantea que esta filosofía se basa en el ciclo iterativo definir, medir, analizar, mejorar, controlar (DMAIC) (ver figura 1.6) empleada para optimizar los procesos existentes (Gutiérrez Pulido, 2010; ISO 13053: 2011; McAdam et al., 2014 y Kumar y McKewan, 2011).

Figura 1.6. Secuencia Seis Sigma DMAIC. Fuente: ISO 13053: 2011.

Mientras que Galvania y Carpinettib (2013) definen once factores críticos para la implementación efectiva de Seis Sigma, estando entre ellos: el cambio cultural; capacitación; capacidad para la gestión de proyectos, entre otros, coincidiendo con este criterio el autor de la presente investigación.

Antony (2006) añade que Seis Sigma se ha implementado con éxito en muchas empresas de fabricación, sin embargo, su aplicación en el sector de los servicios sigue siendo limitada. Él lo atribuye al hecho de que muchas empresas todavía tienen la impresión que Seis Sigma es sólo para industrias de fabricación.

Gibbons et al. (2012) opina que 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 (ver figura 1.7).

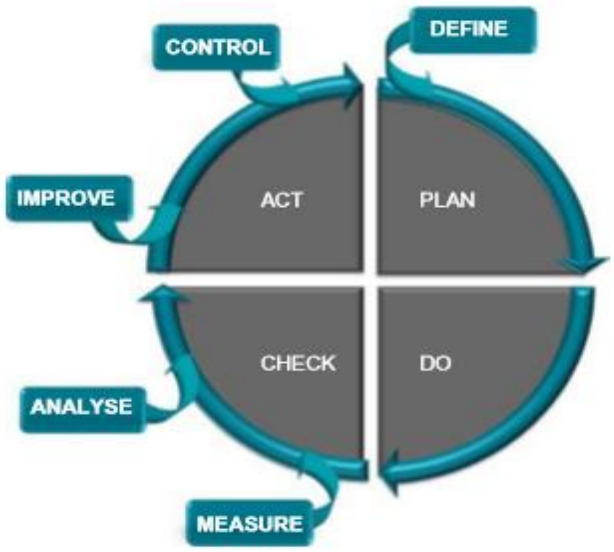


Figura 1.7. Complementación del DMAIC y PDCA. Fuente: (Gremyr & Fouquet, 2012)

La diferencia esencial entre el ciclo PHVA y el ciclo DMAIC radica en que mientras el ciclo PHVA en sus fases P (plan) y H (hacer) define lo que hay qué hacer, el ciclo DMAIC define además de lo que hay que hacer, el cómo se hace.

Valoración crítica de la metodología Seis Sigma

Seis Sigma tiene sus propias limitaciones, las críticas principales se resumen a continuación (Aubyn Salkey, 2008):

- Los procesos se mejoran independientemente.
- Falta de consideración por los factores humanos.
- La infraestructura requiere una inversión significativa.
- La meta Seis Sigma (3.4 partes por millones de oportunidades) es absoluta, pero esto no siempre es una meta apropiada y no necesita ser cumplida rigurosamente.
- Trabaja solo sobre la calidad.
- Debido a las demandas dinámicas del mercado, las características críticas de calidad de hoy necesariamente no son significativas mañana.

Reosekar y Pohekar (2014) manifiesta que estos autores realizan un análisis de 179 artículos de investigación publicados entre 1995 y 2011 en 52 revistas seleccionadas de renombre, con el objetivo de explorar el campo de Seis Sigma, indagar en sus limitaciones, aspectos emergentes y tendencias futuras. Entre los resultados obtenidos por estos investigadores se encuentran:

- Necesidad de la difusión de la investigación en el ámbito de aplicación de Seis Sigma.
- Necesidad de colaboraciones de investigación más interregionales.
- Necesidad de la integración de la filosofía Seis Sigma con otras filosofías.
- Falta de implementación, es decir, las pruebas y la validación de los modelos o marcos propuestos por los investigadores.

Los resultados de una revisión realizada por el autor de la presente investigación, de artículos publicados en la Web de la Ciencia que incluyen los términos "*Six Sigma*" y *"Measurement"* en los últimos 5 años hasta diciembre 2017, se muestra en la figura 1.8. La estabilidad del número de artículos publicados cada año que de manera directa o indirecta se refiere al uso de esta metodología para alcanzar la mejora, demuestra el amplio interés mundial de los científicos por esta forma de gestión.

Figura 1.8. Resultados de la revisión en revistas científicas en la base de datos Science Direct de los términos "Six Sigma" y "Measurement" filtrados en Title, Abstract, Keywords (TAK).

Del análisis anterior se evidencian que no son abundantes los trabajos donde se implemente dicha metodología para la mejora de la gestión de las mediciones. Autores como D'Emilia et al. (2015) realizan una sinergia entre los conceptos metrológicos y metodología seis sigma, la que desarrollan para incrementar y consolidar las mejoras, lo que puede ser aún más beneficioso si se le integra el pensamiento basado en riesgos a este fin.

En la actualidad existen varias metodologías que abordan la gestión de riesgos empresarial. El enfoque de estas abarcan las necesidades de diferentes industrias, tamaños de empresas y escenarios al mismo tiempo. Cada estándar define su propio alcance, estructura de procesos, definiciones, terminologías, entre otros elementos.

Las empresas enfrentan la complejidad de entender e interpretar varios estándares simultáneamente para dar solución a sus necesidades (Pérez Lorences, 2014). Por tanto, uno de los retos que actualmente se enfrenta en la gestión de riesgos es cómo analizar, adaptar, comparar e integrar las diferentes metodologías y marcos existentes. Con independencia del estándar que sea usado, su implementación requiere de experiencia, conocimiento y recursos específicos; esto unido a un alto grado de esfuerzo e inversión, como factores claves para el éxito.

Dentro de la gestión empresarial el pensamiento basado en riesgos es utilizado en múltiples ámbitos, ejemplo: Gestión ambiental; Gestión de la seguridad y salud en el trabajo; Gestión económica y financiera; Gestión de la calidad; Gestión metrológica, entre otros. En el siguiente

epígrafe se relacionan brevemente los principales estándares y marcos de trabajo encontrados en la literatura relacionados con la temática.

1.7. Gestión de riesgo empresarial

Durante los últimos años, se ha empezado a manejar diferentes concepciones y términos aplicados al tema de la gestión de riesgos, algunos transitando sobre una perspectiva tradicional de prevenir y otros en la búsqueda de planteamientos innovadores de estrategia para reducción de vulnerabilidades, la mitigación de desastres y aprovechar las oportunidades que también traen los riesgos (Brito Gómez, 2017).

La autora mencionada comenta que existen normas que orientan como enfrentar a los riesgos desde un punto de vista de gestión que contribuyen a que la cultura de riesgos comience a ser práctica en todas las organizaciones sean estas con fines de lucro o no.

El termino riesgo se define en la norma NC ISO 31000:2009 como la incidencia de factores e influencias internas y externas a las que se enfrentan organizaciones de todos tipos y tamaños, que hacen incierto saber si y cuando se conseguirán los objetivos. El riesgo implica la previsión y el control del futuro, es decir, la probabilidad de que ocurra un desastre, pero no el desastre en si (Beck, 2002). Para el autor mencionado, "*riesgo es el enfoque moderno de la previsión y control de las consecuencias futuras de la acción humana, las diversas consecuencias no deseadas de la modernidad*". Toscana Aparicio y Hernández Canales (2017) y en la norma NC ISO 9000:2015 se delimita como el efecto de la incertidumbre.

Para Ramírez Castro y Ortiz Bayona (2011) lo considera como parte fundamental de la actividad empresarial la gestión de incidentes, que a su vez se encuentra estrechamente relacionada con la gestión de riesgos. La adecuada gestión de incidentes evita que sean activados los planes de recuperación, por ello es importante que las respuestas a incidentes sean efectivas y se tengan identificados los riesgos que pueden estar asociados. La materialización de riesgos puede implicar impactos sobre el negocio, asociado a altos costos por recuperación e indisponibilidad de los servicios o productos que ofrece la organización.

La gestión empresarial debe afrontar no sólo las consecuencias legales de no gestionar adecuadamente el riesgo y proteger a las personas y al medio ambiente, sino también los riesgos potenciales de reclamaciones, devoluciones, multas, penalizaciones, retirada de licencias comerciales, pérdida de imagen corporativa. Por tanto, existe la necesidad de prevenir los sucesos no deseados en las organizaciones y sugerir cómo los decisores estratégicos pueden planificar para prevenirlos (Brearley, 1991 y Melo Crespo, 2015).

La gestión de riesgos de acuerdo a los principios plasmados en la NC ISO 31000, contribuye a:

- logro de los objetivos y mejora del desempeño,
- se encuentra presente en las actividades y procesos principales de la organización,
- contribución especial a la toma de decisiones por parte de los directivos de la empresa,
- enfoque sistémico, oportuno y estructurado que contribuye a la eficacia y eficiencia empresarial,
- adaptable, transparente y participativa.

En la norma NC ISO 31000:2009 el término "Gestión de riesgo" se refleja como la arquitectura (principios, marco de trabajo y proceso) para gestionar los riesgos de manera eficaz. La norma NC 45001:2018 define el término mencionado como la aplicación sistémica de políticas, prácticas y procedimientos de gestión para analizar, valorar y evaluar los riesgos, incluyendo la evaluación, tratamiento y la comunicación del riesgo. Para los autores; Maxitana y Naranjo (2009) y Bolaño Rodríguez (2011) la gestión de riesgo no es más que la identificación, evaluación, selección e implementación de opciones apropiadas para disminuir el riesgo y convertirlo en aceptable.

Hacer énfasis en el enfoque de riesgo constituye uno de los cambios fundamentales de la NC ISO 9001:2015 y un aspecto que aplica a todo el sistema de gestión de la organización, pues al decir la gestión del riesgo en las empresas:

- Facilita el logro de los objetivos, reduce incertidumbre y permite una planificación estratégica más efectiva,
- Reconoce oportunidades para obtener ganancias y reducir pérdidas
- Mejora el desempeño de la organización generando valor agregado para la sociedad
- Aporta información para tomar adecuadas decisiones estratégicas y operacionales, mejorando la eficacia operacional
- Optimiza la eficiencia operacional y la sostenibilidad
- Protege y mejora los activos, además de la imagen de la organización
- Mejora la prevención de pérdidas, la gestión de los incidentes, los controles y permite la mejora continua de todos los procesos.

Coronado y Prieto, (2015) proponen tres de las metodologías más utilizadas para la gestión del riesgo, dependiendo de los enfoques y su aplicación en los diferentes tipos de organizaciones.

Uno de estos enfoques es el COSO por sus siglas en inglés (Committee of Sponsoring Organizations of the Treadway Commission), en el que se define la administración del riesgo

como un proceso continuo que interviene en todos los niveles de la organización, afectando a su personal de manera directa. Este tiene una base eminentemente económica y de gestión.

El FERMA (Federation of European Risk Management) define los riesgos a través de las amenazas para el cumplimiento de los objetivos estratégicos y operacionales, y de las oportunidades asociadas. Para la gestión del mismo analiza tanto los factores internos como externos que inciden en la organización.

La norma NC ISO 31000 muestra una metodología en la que se establecen principios y guías para el diseño, implementación y mantenimiento de la gestión de los riesgos en forma sistemática y transparente, aplicable a cualquier tipo de organización, ya sea pública, privada, entre otras. Mientras la norma NC ISO/IEC 31010 “Gestión del riesgo” expone las técnicas de evaluación de riesgos, con el propósito de identificarlos y señalando lo que puede suceder en diferentes situaciones, que pueden afectar a la consecución de los objetivos propuestos.

La NC ISO/IEC 31010 propone una serie de cuestiones a tener en cuenta en el proceso de apreciación del riesgo. Principalmente se tratan de una serie de directrices que van a determinar, en gran medida, el criterio de identificación de cada riesgo. Estas directrices pasan por establecer el contexto y objetivos de la organización, con el fin de adaptar dicho criterio a los aspectos propios de la organización; otra parte fundamental es el establecimiento del alcance y el tipo de riesgos que se consideren tolerables; además son determinantes los recursos disponibles y la comunicación entre las partes internas y externas. Por último, es un factor determinante para el éxito los métodos y técnicas utilizadas para la apreciación del riesgo, que comprenden la identificación de los mismos, el análisis de estos y su posterior evaluación.

El autor de la presente investigación considera que la metodología propuesta en la norma NC ISO 31000, así como las técnicas de apreciación expuestas en la NC/IEC 31010 son adaptables, amplia e integrable con otras normas ISO y/o metodologías, lo que permite que los sistemas de gestión empresarial funcionen con mayor armonía. Reducir, anticipar y administrar el riesgo es parte de la rutina diaria para las organizaciones que han integrado la gestión de riesgos en su estrategia empresarial. La norma mencionada considera la gestión de riesgos como un proceso complejo, que incluye diferentes etapas que abarcan la caracterización del contexto, la identificación, análisis, evaluación, tratamiento, monitoreo y comunicación y consulta donde la evaluación implica la identificación, estimación y valoración del riesgo.

Muchas han sido las investigaciones donde se aplican las etapas de la metodología recomendada por la norma, los autores Cano Zamora y Mesa Salazar (2015) en consonancia

con lo expresado anteriormente, plantea que el adecuado manejo de los riesgos favorece el desarrollo y crecimiento de la entidad, desarrollando cada etapa de la norma desde una perspectiva empresarial, para así poder aterrizar el enfoque genérico de esta en la gestión de cualquier forma de riesgo de una manera sistemática, transparente y fiable. Dentro de las etapas esta:

Contexto estratégico Organizacional: Condiciones internas y externas de cualquier índole, que pueden generar eventos que originan oportunidades o afectan negativamente el cumplimiento de la misión y objetivos de una institución.

Identificación del Riesgo: Se determinan las causas, con base en los factores internos y/o externos, de manera que todos los servidores de la entidad conozcan y visualicen los riesgos, se realiza su inventario y se definen los posibles efectos (consecuencias),

Análisis del Riesgo: Establece la probabilidad de ocurrencia del mismo y sus consecuencias, además de orientar la clasificación del riesgo mediante dos aspectos probabilidad, impacto y evaluación del riesgo.

Política de administración de Riesgos: Se identifica las opciones para tratar y manejar los riesgos basadas en la valoración de los mismos, para de esta forma tomar decisiones adecuadas y fijar los lineamientos, que van a transmitir la posición de la dirección y establecer las guías de acción necesarias.

En Cuba está vigente la Resolución 60/2011 de la Contraloría General de la República, 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 se puede aplicar de forma efectiva la legislación, pues en ocasiones los procesos no responden a las mejores tecnologías, por lo que está latente la probabilidad de causar un daño en el proceso. Además, muchas empresas pretenden llegar más allá de los límites impuestos por las normas, o evaluarse contra estándares corporativos más estrictos u otros internacionalmente reconocidos. Esta visión empresarial es una realidad palpable en la actualidad, donde según (Ayensa, 2009): “(…) *no sólo basta con satisfacer las necesidades de*

los clientes (entiéndase sociedad), sino anticiparse a ellas e incluso superarlas". Esto convierte a la empresa en una organización innovadora y capaz de adelantarse a sus competidores.

Para la estimación de riesgos se han desarrollado métodos cualitativos y cuantitativos. De los cualitativos se pueden destacar: Método ¿Qué pasa si?; Análisis de modo, falla y efecto (AMFE); HAZOP; Árboles de fallas; Diagramas de Ishikawa; Índice Mod y Análisis del árbol de efectos.

Para López Moreda (2010) en lo que respecta a los métodos cuantitativos destacan los trabajos de Welberg Anders, William Fine y Richards Pickers (Zaror, 2000) (Fine, 2001) (MAPFRE, 2008) (Aguilera, 2009) han realizado destacados trabajos con métodos cuantitativos, los que se pueden complementar con modelos matemáticos que permitan estimar la magnitud de las afectaciones o daños como son el PHASTxvi, SCRIxvii, ARCHIExviii o el ALOHAxix (Zaror, 2000) (QUINIMET, 2006) (Aguilera, 2009).

Para Melo Crespo (2015) tener una adecuada gestión de riesgos significa que los indicadores característicos se mantienen dentro de los límites establecidos, que los riesgos a los que se exponen se mantienen controlados y no ocurren impactos negativos que afecten la gestión.

Conclusiones parciales del capítulo

1. La evaluación del desempeño metrológico es una necesidad, debido a su impacto en los procesos del sistema de gestión global de la organización y su contribución en la planificación y toma de decisiones gerenciales. Es preciso la elaboración de herramientas que permitan generar una actitud sistemática global que garantice la retroalimentación de la gestión metrológica empresarial. En este sentido, la aplicación del enfoque de riesgo puede considerarse como un punto de partida.
2. Para el desarrollo del procedimiento de mejora se selecciona la metodología Seis Sigma, debido a que es más comprensiva una vez que se tienen claras las herramientas requeridas, contiene un acercamiento sistemático para encontrar soluciones a los problemas ocultos y controlar el desempeño de los resultados, se basa en técnicas estadísticas, obligando a la medición de los procesos. Su utilización en los sistemas de gestión de las mediciones puede aportarle robustez a la etapa de mejora, lo que constituye motivo de investigación.
3. A partir de la gestión de riesgos se pueden prevenir los sucesos no deseados en las organizaciones y sus procesos. Su uso se ha generalizado en los diferentes sistemas de gestión empresarial, incluyendo el sistema de gestión de las mediciones, demostrándose su utilidad para la toma de decisiones.

Capítulo II

CAPÍTULO II: PROCEDIMIENTO PARA LA GESTIÓN DE LAS MEDICIONES BASADO EN RIESGOS

Para el desarrollo del procedimiento se selecciona la metodología seis sigma, debido que contiene un acercamiento sistemático para encontrar soluciones a los problemas ocultos y controlar el desempeño de los resultados, se basa en técnicas estadísticas, obligando a la medición de los procesos, aportando robustez a la etapa de mejora. Se incluye la definición de dos índices basado en riesgos, su campo de aplicación, formulación y método de cálculo para la evaluación del desempeño metrológico.

2.1. Descripción del procedimiento para la gestión de las mediciones basado en riesgos

El procedimiento propuesto por el autor de la presente investigación, se encuentra fundamentado en la filosofía Seis Sigma para el mejoramiento de procesos. Para su elaboración se utilizan criterios de diferentes metodologías, dadas por disímiles autores, tales como: (Gutiérrez y de la Vara, 2004; Guadalupe, 2008; Reyes Ponce et al., 2007; Arias, 2007; ISO 13053: 2011; Gibbons et al., 2012; NC ISO 10012: 2007, NC 918: 2012; Pacheco, 2008; NC – Guía 1066:2015, NC 994: 2015, Beltrán Sanz et al., 2014; Beltrán Sanz et al., 2010; NC ISO 10012:2007; López Moreda, 2010; Real Pérez, 2010 y UNE 66180:2008).

El procedimiento se organiza en cinco etapas básicas: Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar (ver figura 2.1), cada una de ellas con su correspondiente sistema de actividades y herramientas para su diseño y ejecución (ver tabla 2.1).

Antes de comenzar la investigación es necesario la creación o consolidación de un grupo de trabajo, el que debe estar formado por directivos, especialistas que atienden la metrología, y trabajadores de experiencia en esta área del conocimiento, deben dominar lo planteado en la legislación vigente en la materia, además de las técnicas de diagnóstico que se aplicarán para conocer el estado del sistema de gestión de las mediciones. De ser necesario se realizará una capacitación en el tema.

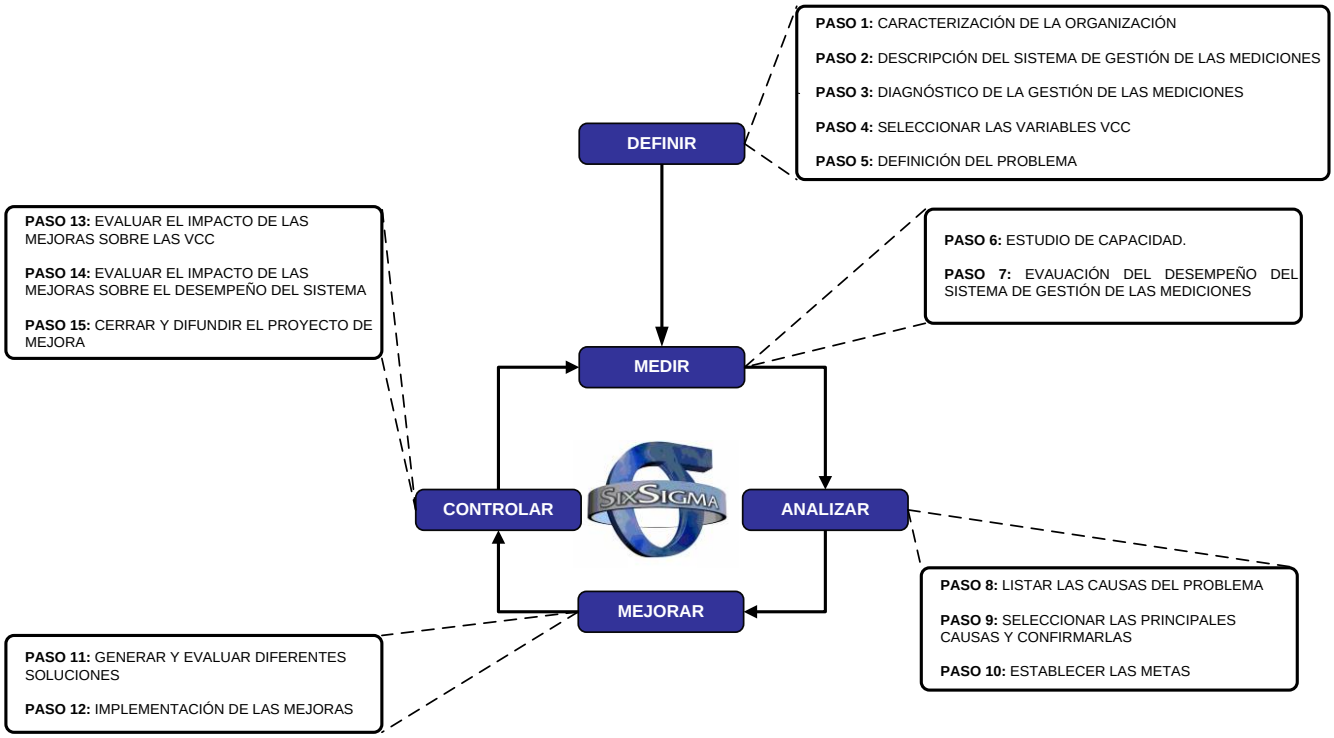


Figura 2.1. Procedimiento para la mejora de la gestión de las mediciones, a partir de la utilización de la metodología Seis Sigma. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2.1: Aspectos básicos del procedimiento. Fuente: Elaboración propia.

ETAPAS	ACTIVIDAD	HERRAMIENTAS
Definir	Caracterización de la organización	Reuniones participativas, revisión de documentos, entrevistas.
	Descripción del sistema de gestión de las mediciones	Reuniones participativas, documentación de proceso, mapeo de procesos, documentación descriptiva del sistema de gestión de las mediciones, trabajo de grupo
	Diagnóstico del sistema de gestión de las mediciones	Análisis de los requisitos legales aplicables en la materia, documentación relativa al sistema de gestión de las

		mediciones, informes de auditorías, no conformidades.
	Seleccionar las variables críticas para la calidad	Método Delphi, Técnica UTI, Selección ponderada, voz del cliente.
	Definir el problema	Trabajo en grupos
Medir	Estudio de capacidad	Trabajo en grupo, índices de capacidad, nivel de calidad en sigmas
	Evaluación del desempeño del sistema de gestión de las mediciones	Trabajo en grupos, revisión de documentos, informes de auditorías, evaluación de indicadores cualitativos y cuantitativos
Analizar	Listar las causas del problema	Diagrama causa – efecto
	Seleccionar las principales causas y confirmarlas	Trabajo en equipo Votación
	Establecer las metas para las variables críticas de calidad	Trabajo en grupo
Mejorar	Generar y evaluar diferentes soluciones para cada una de las causas raíces Implementación de la solución	Trabajo en grupos Estudios de repetibilidad y reproducibilidad Estabilidad Métodos determinísticos de estadística clásica (frecuentista) Combinación de incertidumbres con el

		método Bayesiano de soluciones analíticas (Ley de propagación de la incertidumbre) Gráficos de Control Diseño de Experimentos
Controlar	Evaluar el impacto de la mejora sobre las variables críticas de calidad	Técnicas estadísticas
	Evaluar el impacto de la mejora el desempeño del sistema	Trabajo en grupos, revisión de documentos, informes de auditorías, evaluación de indicadores cualitativos y cuantitativos
	Cerrar y difundir el proyecto de mejora	Reuniones participativas

A continuación se expone la descripción de cada una de las etapas del procedimiento propuesto para ser aplicado al proceso de gestión de las mediciones, teniendo en cuenta los criterios de los autores mencionados.

Etapa I: Definir

En esta etapa se debe tener una visión y definición del problema que se pretende resolver dentro de la gestión de las mediciones mediante un proyecto seis sigmas. Por lo que es esencial una presentación del sistema y los procesos relacionados. Permitirá detectar fortalezas y debilidades en la organización que influyen directamente en este tipo de gestión. Los siguientes pasos componen esta secuencia inicial:

Paso 1: Caracterización de la organización

Debe comprender los datos tradicionales (características generales de la organización y su capital humano, procesos, entre otros). Pueden utilizarse los datos convencionales como, composición de la plantilla por: categoría ocupacional, áreas, sexo, edades, además de analizar la posición del sistema de gestión de las mediciones dentro de la gestión empresarial.

Los procesos de medición deben considerarse como procesos específicos, cuyo objetivo es apoyar la calidad de los productos y/o servicios de la organización, así como el control de la medición fiscal y transferencia de custodia. Los responsables de estos procesos deben poseer las competencias necesarias para efectuar la actividad, debido a que la misma tiene un profundo impacto en las empresas.

Paso 2: Descripción del sistema de gestión de las mediciones

Este paso tiene por objetivo describir los elementos que conforman el sistema de gestión de las mediciones en la organización a partir de los aspectos siguientes:

- Alcance
- Política y objetivos
- Recursos
- Instrumentos de medición
- Trazabilidad
- Tecnología existente en la organización
- Procesos de medición
- Desarrollo de la confirmación metrológica
- Documentación
- Capacitación del personal
- Seguimiento

Se debe describir con claridad el proceso para tener una visión amplia sobre él. El producto final esperado de este paso es la caracterización de la gestión de las mediciones, que permita entender y visualizar de manera global en qué consiste la misma y la forma en que se desarrolla en la organización.

Paso 3: Diagnóstico de la gestión de las mediciones

En cuanto a la identificación de problemas, la pregunta a responder es; ¿Cuáles son los principales problemas que afronta la gestión de las mediciones en la organización?

Para ello se considera importante definir las fortalezas y debilidades de la actividad, especificando:

- ¿Qué está bien? (éxito)
- ¿Qué está mal? (fracaso)
- ¿Por qué de cada una de estas situaciones?

Por tanto se definen los aspectos a que irá dirigido el diagnóstico, fundamentalmente: requisitos legales aplicables, actividades de gestión, conocimiento del estado de la organización, sus procesos y actividades con respecto a la metrología, evaluación del desempeño del sistema, entre otras. A continuación se abordan criterios para realizar un diagnóstico en materia de gestión de las mediciones, dados por Reyes Ponce et al. (2007) y Arias (2007), así como el cumplimiento de los requisitos de la NC ISO 10012: 2007.

Requisitos legales aplicables en materia de gestión de las mediciones

Tomando como base los listados actualizados emitidos por la Oficina Nacional de Normalización (ONN), Servicio Nacional de Metrología (SENAMET) de Cuba, se deben identificar y ubicar los requisitos legales. Se recomienda elaborar un listado de referencia con el número y título de las regulaciones aplicables en la empresa, además verificar la existencia o no de estas.

Conocimiento del estado de la organización, sus procesos y actividades con respecto a la metrología

Se realiza teniendo en cuenta los elementos del Manual de Instrucción para la ejecución del diagnóstico metrológico, dado por Reyes Ponce et al. (2007), siendo utilizado en varias empresas del país. Este tiene como objetivo conocer el estado de la organización, sus procesos y actividades con respecto al conocimiento de la metrología y el cumplimiento de los requisitos de los documentos normativos legales, para de esta forma identificar fortalezas y debilidades.

Actividades de gestión

Para conocer en qué medida el sistema de gestión de las mediciones que posee la organización cumple con los requisitos de la NC ISO 10012: 2007 “Sistema de gestión de las mediciones. Requisitos para los procesos de medición y los equipos de medición”, y si el mismo responde a las necesidades de dicha empresa y sus clientes, es necesario identificar los elementos que conforman el sistema de la organización, sus interrelaciones y responsabilidades asignadas.

Se analizan los documentos existentes, buscando que describan el sistema, garanticen su eficacia y respondan a las necesidades tanto de la organización como de sus clientes.

En este diagnóstico se verifica el cuestionario de cumplimiento de los requisitos de la norma mencionada. Entre los requisitos fundamentales a cumplir se encuentran:

- Responsabilidades de la dirección
- Gestión de los recursos

- Confirmación metrológica y realización de los procesos de medición
- Análisis y mejora del sistema de gestión de las mediciones

La Refinería Cienfuegos realiza mediciones fiscales y trasferencia de custodia de productos derivado del petróleo, por tanto es necesario verificar el cumplimiento de los requisitos de la NC 994:2015 “Condiciones y requisitos técnicos para la medición fiscal y transferencia de custodia o propiedad de petróleo y sus derivados”.

Otro elemento a tener en cuenta en este aspecto es la revisión de las relaciones contractuales, debido a que dicha transferencia se realiza sobre la base de contratos, en los que se reflejan las obligaciones y requisitos a cumplir por ambas partes. Por este motivo se considera de vital importancia tener en cuenta este elemento en el diagnóstico a realizar dentro de la medición fiscal y transferencia de custodia.

Se recomienda la revisión de las “No conformidades” identificadas en auditorías externas e internas, supervisiones metrológicas y reclamaciones de los clientes. Las “No conformidades” deben ser corregidas con la mayor inmediatez posible o programar su solución, ser objeto de seguimiento por el comité de gestión y el análisis en las revisiones semestrales del sistema por la dirección.

Con la información recopilada, se prepara un informe para la alta dirección de la empresa sobre la situación detectada en la gestión de las mediciones.

Paso 4: Selección de las variables críticas de calidad

En este paso se deben especificar las variables críticas para la calidad mediante las que se evaluará qué tan bien se cumplen los objetivos del proyecto seis sigmas, ejemplo de esto: calidad de alguna variable de salida, quejas, entre otras. Estas variables deben estar ligadas a la satisfacción del cliente o en general al desempeño del proceso, por tanto, se debe garantizar que se escucha al cliente. La clave aquí es preguntarse qué aspectos del producto final son importantes para el cliente y por qué, además de los resultados del diagnóstico realizado en el paso anterior. Luego se debe dar un orden de prioridad a cada una de las variables identificadas, para lo que se recomienda utilizar diferentes técnicas y herramientas como la UTI, Selección ponderada, Método Delphi, Voz del Cliente – VOC, entre otras.

Paso 5: Definición del problema

Para la definición final del problema deben utilizarse los datos obtenidos durante el diagnóstico, así como los criterios utilizados por el equipo de expertos que se seleccione para el desarrollo de la investigación.

Etapa II: Medir

En esta segunda etapa se verifica que las variables críticas para la calidad puedan medirse en forma consistente, se mide su situación actual y se establecen metas para dichas variables. Esta es una etapa importante porque se da continuidad a la anterior, se precisa la magnitud del problema actual y generar bases para encontrar la solución. La etapa está compuesta por la siguiente secuencia de pasos.

Paso 6: Estudio de capacidad

Evaluar la capacidad de un proceso es analizar qué tan bien cumplen sus variables de salida con las especificaciones, sea una variable de tipo valor nominal o atributivas. Para conocer si las variables cumplen con sus especificaciones, es necesario realizar el estudio de la capacidad, teniendo en cuenta el tipo de variables, si son continuas o de atributos.

Si las variables son continuas se utilizan los Índices de Capacidad (Gutiérrez y de la Vara, 2009). Para las de atributos no es posible calcular en forma directa los índices de capacidad, sin embargo, si se quiere medir la calidad de un proceso que tiene variables de salida de atributos, en términos de los índices Cp o Cpk, entonces es necesario estimar el porcentaje promedio de defectos del proceso.

Algunas variables de atributos en lugar de medir en porcentajes de defectos, se miden en número de partes con defectos por cada millón de oportunidades (ppm) otra forma de medir las variables de atributo es por el número de defectos por millón de oportunidades (DPMO).

Mediante la métrica DPMO (Defecto Por Millón de Oportunidad) y su correspondiente nivel sigma es posible caracterizar el desempeño del proceso. La determinación del Defecto por Millón de Oportunidades (DPMO) se realiza según la fórmula referida en ISO 31053:2011 punto 5.2, la que se indica a continuación:

$$Y_{DPMO} = \frac{c}{n_{units} \times n_{CTQC}} \times 1000000 \qquad (2.1)$$

donde:

c: Número de defectos (no conformidades)

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

n_{units}: Número de unidades examinadas

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

Tabla 2.2: Puntuaciones sigma. Fuente: ISO 53013:2011.

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

Para su cálculo es necesario contabilizar los requisitos que pueden incumplirse en el contexto de la gestión de las mediciones (requisitos plasmados en la NC ISO 10012:2007), éstos requisitos se asumen como el número de características críticas para la calidad, ya que su incumplimiento puede generar una no conformidad si la misma es detectada por los auditores externo en un seguimiento semestral y las áreas que se auditan, pueden ser consideradas como el número de unidades examinadas vs requisitos.

Paso 7: Evaluación del desempeño del sistema de gestión de las mediciones

Para realizar la evaluación del desempeño del sistema de gestión de las mediciones se parte de las deficiencias existentes en la gestión metrológica de la Refinería Cienfuegos, así como del enfoque de riesgo como principio para evaluar el desempeño metrológico.

A partir de estas, el autor de la presente investigación define el índice de riesgo metrológico (IRM) y el índice de riesgo en la gestión metrológica (IRGM).

Estos se definen como:

- IRM: Índice que evalúa los riesgos metrológicos materializados por las desviaciones respecto a estándares de desempeño, que afecta los componentes dirección, recursos, operativos y de mejora; existentes dentro del sistema de gestión de las mediciones.
- 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.

Para la formulación y definición de los índices se identifican los posibles riesgos metrológicos del SGM para empresas del sector de la energía, en especial Refinería Cienfuegos, Empresa Termoeléctrica Cienfuegos y Empresa Eléctrica Cienfuegos.

Para identificar los riesgos presentes en el sistema de gestión de las mediciones en el grupo de empresas mencionadas, pertenecientes al sector energético se utiliza el método Delphi. Se

selecciona 8 expertos, entre los que se encuentran especialistas de las organizaciones mencionadas. Es significativo destacar que el promedio de años de experiencia en la actividad de dichos expertos es de 27. Para la descripción de la competencia de los mismos, se combina la autovaloración y la evaluación de la competencia (**Anexo No.2**). En el perfil de competencia, como puede observarse no hay expertos de perfil de competencia bajo, mayoritariamente se encuentran entre medio (4) y alto (4), (**Anexo No.3**).

Las primeras dos rondas de consultas a los expertos (r1-r2) se dirigen a la identificación de los posibles riesgos por aspectos metrológicos presentes en el sistema de gestión de las mediciones de las empresas mencionadas. Luego mediante dos rondas más (r3-r4) se selecciona los riesgos más significativos para el SGM.

Para verificar la concordancia de los expertos el autor de la presente investigación utiliza el coeficiente de Kendall y la prueba de hipótesis no paramétrica correspondiente (λ^2), donde se obtuvo como resultado que en el equipo de trabajo existe concordancia con respecto al listado de los riesgos metrológicos identificados. Este criterio se establece a partir de que existe una significación asintótica de 0,000, menor que 0,05 (nivel de significación estadística); y el coeficiente de Kendall, que para este caso alcanza un valor de W= 0,713, calculado con el paquete estadístico SPSS V 22.0 (ver **Anexo No. 4**).

- *Definición del Índice de Riesgo Metrológico (IRM)*

El nivel de desagregación del IRM está dado por: Sistema, Componentes Metrológicos y Riesgo, de forma ascendente, con el objetivo de construir los conceptos del índice sobre la base del riesgo; premisa clave para la formulación del Índice de Riesgo del Sistema por Aspecto Metrológico y por Riesgo (ver figura 2.2)

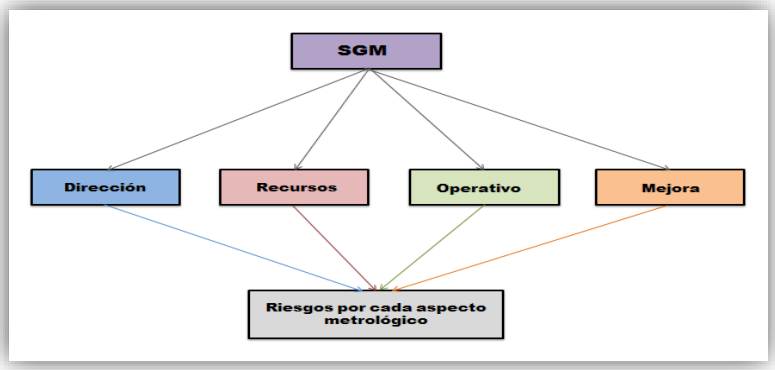


Figura 2.2. Nivel de desagregación para el análisis del sistema de gestión de las mediciones. Fuente: Elaboración Propia.

Los componentes o aspectos a evaluar son los contenidos en el sistema de gestión de las mediciones de la empresa, estos son: Dirección, Recursos, Operativos y Mejora, considerado de acuerdo a los criterios de la norma NC ISO 10012:2007 que aparecen en la tabla 2.3.

Tabla 2.3. Relación de los componentes o aspectos con los elementos metrológicos según NC ISO 10012:2007. Fuente: (Elaboración propia).

Componentes o aspectos	Dirección	Recursos	Operativo	Mejora
Elementos	• Función metrológica • Enfoque al cliente • Objetivos de la calidad • Revisión por la dirección	• Recursos humanos • Recursos de información • Recursos materiales • Proveedores externos	• Confirmación metrológica • Procesos de medición • Incertidumbre • Trazabilidad	• Auditoría y seguimiento • Control de las no conformidades • Mejora

- *Formulación del índice de riesgo metrológico (IRM).*

Para formular el IRM se parte de la definición de riesgo expuesta en la expresión (2.2).

$$R = P_o \times M_d \qquad (2.2)$$

donde:

R: Dimensión del riesgo.

Po: Probabilidad de ocurrencia del riesgo.

Md: Magnitud del daño.

Dado que la probabilidad de ocurrencia del riesgo (Po) mide la proporción de la materialización del riesgo, el autor lo define entonces como la probabilidad estadística de que el riesgo ocurra.

$$P_o = P_r \qquad (2.3)$$

donde:

Pr: Probabilidad del riesgo, dada por las desviaciones con respecto al umbral de referencia de los indicadores asociado a los riesgos evaluados.

La magnitud del daño que puede ocurrir si se materializa el riesgo evaluado depende en igual medida de la probabilidad de que ocurra daño y de la severidad de este, expresada matemáticamente en (2.4).

$$M_d = S_d \times P_d \qquad (2.4)$$

donde:

Md: Magnitud del daño.

Sd: Severidad del daño.

Pd: Probabilidad del daño.

Como el IRM no solo está enfocado al riesgo si no también al daño que puede existir si este se materializa, de las expresiones anteriores se define:

$$IRM = P_r \times S_d \times P_d \quad (2.5)$$

Mediante un análisis probabilístico realizado a la expresión anterior se determina que puede existir la posibilidad de que el riesgo ocurra y no exista daño alguno, o que el riesgo ocurra y halla daño; lo que indica que estas dos probabilidades se determinan mediante la intersección de la Pr con la Pd.

La consecuencia inmediata de la definición de probabilidad condicional según Walpole, Myers, Myers y Ye (2012) plantean:

$$P(r \cap d) = P(r) \times P(d/r) \quad (2.6)$$

donde:

Pr: Probabilidad del riesgo, dada por las desviaciones con respecto al umbral de referencia de los indicadores asociado a los riesgos evaluados.

P(d/r): Probabilidad de que ocurra el daño dado que se materialice el riesgo

Por tanto:

$$IRM = S_d \times \lfloor P(r) * P(d/r) \rfloor \quad (2.7)$$

donde:

IRM: Índice de riesgo metrológico.

Sd: Severidad del daño.

Pr: Probabilidad del riesgo, dada por las desviaciones con respecto al umbral de referencia de los indicadores asociado a los riesgos evaluados.

P(d/r): Probabilidad condicional del daño con respecto al riesgo, dada por la probabilidad de que cuando exista riesgo haya daño.

Probabilidad riesgo (Pr)

Para determinar la probabilidad estadística (Pr), se identifican a partir de referentes normativos y empíricos los indicadores de seguimiento de los riesgos, recogidos en el **Anexo No.5.**

Para determinar el valor de Pr, en caso de indicadores cualitativos el autor asigna el valor de acuerdo a una escala ordinal (ver tabla 2.4).

Tabla 2.4. Escala para asignar los valores de Pr a los riesgos asociados en caso de indicadores cualitativos. Fuente: (Elaboración Propia).

Criterio de desempeño	Pr
El SGM posee el aspecto evaluado por el indicador cualitativo	0,5
El SGM no posee el aspecto evaluado por el indicador cualitativo	1

Los valores de Pr son la compilación de las mediciones donde el indicador excede el límite de referencia, expresión (2.8) basada en la aplicación del concepto de probabilidad.

$$P_r = \frac{Nm\ (fuera\ de\ límite)}{Ntm(evaluado)} \qquad (2.8)$$

donde:

Pr: Probabilidad del riesgo, dada por las desviaciones con respecto al umbral de referencia de los indicadores asociado a los riesgos evaluados.

Nm (fuera del límite): Número de mediciones donde la magnitud del riesgo supera el criterio de referencia.

Ntm (evaluado): Número total de mediciones en el período evaluado.

La probabilidad estadística Pr se determina en una escala cuantitativa continua, con valores entre 0 y 1, según el recorrido de la variable. El valor $P_r = 1$ indica que la probabilidad es máxima, y $P_r = 0$ que no se han producido desviaciones en el indicador por el que se mide el riesgo metrológico, que puedan constituir un peligro de ocurrencia de un daño en el período evaluado según el autor de la presente investigación.

Severidad del daño (Sd)

Para la severidad del daño el grupo de expertos utiliza un nivel de medición ordinal tipo Likert normalizado (tabla 2.5), donde este valor se obtiene dividendo dicho número de la escala entre el máximo valor de evaluación, para así determinar en el riesgo metrológico, una vez materializado el daño, su severidad.

Tabla 2.5. Evaluación de la severidad del daño. Fuente: (Elaboración propia).

Valor (Sd)	Criterio de evaluación
0,2	Ligeramente dañino
0,4	Medianamente dañino
0,6	Dañino
0,8	Altamente dañino
1	Extremadamente dañino

Probabilidad condicional (Pd/r)

Para determinar la probabilidad condicional, que exista daño dado que el riesgo se materialice (Pd/r), los expertos teniendo en cuenta la descripción del daño le asocian un valor de probabilidad (tabla 2.6).

Tabla 2.6. Evaluación de la probabilidad condicional (Pd/r). Fuente: (Elaboración propia).

Descripción del daño	Probabilidad condicional (Pd/r)	Valor
El daño ocurrirá siempre	Probabilidad alta	1
El daño ocurrirá casi siempre	Probabilidad media	0,7
El daño ocurrirá en algunas ocasiones	Probabilidad baja	0,4
El daño ocurrirá raras veces	Probabilidad mínima	0,1

- *Definición del Índice de Riesgo en la Gestión Metrológica (IRGM)*

Al igual que el índice anterior el nivel de desagregación del IRGM está dado por: Sistema, Aspectos Metrológicos y Riesgo, de forma ascendente. Para su desarrollo se mantienen los componentes o aspectos a evaluar en el sistema de gestión de las mediciones (ver figura 2.2).

- *Formulación del índice de riesgo en la gestión metrológico (IRGM).*

Para formular el IRGM se parte de la definición de riesgo expuesta en la expresión (2.2). La probabilidad de ocurrencia del riesgo (Po) para este índice está dada por el coeficiente de gestión metrológica (Cm), pues la ocurrencia de riesgos depende en cierta medida del nivel de gestión metrológica de la empresa, es decir, este se pude llegar a materializar por problemas en la gestión. El autor de la presente investigación lo define entonces como el coeficiente de gestión metrológica, dando la medida de que puede ocurrir el riesgo por la incapacidad en su gestión.

$$P_o = C_m \qquad (2.9)$$

donde:

Cm: Coeficiente de gestión del riesgo, dado por el nivel de atención de este.

La magnitud del daño por la incapacidad en la gestión metrológica depende de la percepción de los expertos en la probabilidad de que ocurra daño (Pd) y de la severidad de este (Sd), expresada matemáticamente en (2.10).

El IRGM se expresa matemáticamente como:

$$IRGM = S_d \left(C_m \times {}^{P_d}/_{C_m} \right) \quad (2.10)$$

donde:

Sd: Severidad del daño.

Cm: Coeficiente de gestión del riesgo, dado por el nivel de atención de este.

${}^{P_d}/_{C_m}$: Probabilidad condicional del daño con respecto al coeficiente de gestión metrológica, dado por la ocurrencia de daños por la incapacidad en la gestión.

Coeficiente de gestión metrológico (Cm)

El coeficiente de gestión (Cm) de cada riesgo se elabora teniendo en cuenta el nivel de atención a las causas asociadas a los riesgos.

El coeficiente se formula aplicando el método multicriterio discreto, basado en un modelo aditivo-multiplicativo, de acuerdo a la expresión (2.11).

$$Cm = \sum_{i=1}^{n} V_{(c)} \times C_{(i)} \quad (2.11)$$

donde:

Cm: Coeficiente de gestión del riesgo, dado por el nivel de atención de este.

C(i): Ponderación específica de cada causa de acuerdo a su importancia con respecto al riesgo asociado.

V(c): Valoración del nivel de atención de las causas asociadas a los riesgos metrológico evaluados.

A cada causa se le asocia un nivel de medición, con el objetivo de valorar el nivel de atención en su gestión. Para esto el grupo de expertos tienen en cuenta los criterios siguientes:

- Nivel de influencia sobre el riesgo
- Impacto del riesgo sobre el SGM

El autor de la presente investigación propone utilizar un nivel de medición ordinal tipo Likert (tabla 2.7) donde el valor normalizado se obtiene dividendo cada número de la escala entre el

máximo valor de evaluación, que a partir de los criterios de evaluación asignados según su nivel de atención para su gestión, se le otorga un valor numérico.

Tabla 2.7. Escala de evaluación para el nivel de atención de las causas. **Fuente: Elaboración propia.**

Valor (Vc)	Criterio de evaluación
0.2	Atención mínima
0.4	Atención baja
0.6	Atención media
0.8	Atención alta
1	Atención muy alta

La identificación de las causas se realiza mediante diagramas de Ishikawa. Para determinar las ponderaciones C (i) o pesos es necesario jerarquizar cada una de las causas asociadas al riesgo metrológico correspondiente. Para la obtención de los pesos Saaty (2005) plantea realizar una jerarquización de primer nivel: causas por riesgo metrológico, para esto se utiliza el Proceso de Jerarquización Analítico (AHP) mediante el software SuperDecisions (**Anexo No.6**). Un ejemplo de esto se muestra en el **Anexo No.7** para uno de los riesgos metrológicos tratados en la investigación.

Como la severidad del daño (Sd) y la probabilidad condicional de $({}^{P_d}/_{C_m})$ son valores determinados por la percepción de los expertos a partir de tablas de medición normalizadas (tabla 2.6 y 2.7), estas variables se determinan de igual forma que en el índice anterior. Resaltando la importancia que tiene trabajar en la gestión metrológica para la determinación de la descripción del daño para $({}^{P_d}/_{C_m})$ y la obtención del valor de acuerdo al criterio de evaluación de la severidad.

- *Índice de riesgo por aspecto metrológico (IRAM), y del sistema (IRS)*

Dado que el índice de riesgo metrológico (IRM) y el índice de riesgo en la gestión metrológica (IRGM) presentan los mismos niveles de desagregación, para determinar el IRAM y IRS se utiliza la desagregación del sistema de la figura 2.2, compuesta por el sistema de gestión de las mediciones y los aspectos metrológicos presentes en cada uno de estos procesos, así como los riesgos asociados a estos.

Luego se realiza una jerarquización de primer nivel utilizando el Proceso de Jerarquización Analítico (AHP), con el fin de determinar los pesos o ponderaciones (w) asociada a cada uno de los aspectos metrológicos del sistema. Dichos pesos se obtienen empleando el software de apoyo SuperDecisions (ver tabla 2.8)**.**

Tabla 2.8: Pesos asociados a cada uno de los aspectos metrológicos asociados al SGM. Fuente: Elaboración propia.

Sistema	Aspectos metrológicos	Pesos (Wa)
Sistema de Gestión de las Mediciones	Dirección	0,058713
	Recursos	0,254419
	Operativo	0,553336
	Mejora	0,133533

Con estos pesos se realiza la suma ponderada para el nivel desagregado en la figura 2.2, tomando como base los IRM e IRGM determinados anteriormente para cada riesgo metrológico. Obteniéndose entonces los valores del IRAM e IRS desde dos enfoques diferentes (expresión 2.12, 2.13, 2.14, 2.15).

$$IRAM_1 = Wa\left(\frac{\sum IRM}{n}\right) \quad (2.12)$$

$$IRAM_2 = Wa\left(\frac{\sum IRGM}{n}\right) \quad (2.13)$$

donde:

$IRAM_1$: Índice de riesgo por aspecto metrológico con base en el IRM.

$IRAM_2$: Índice de riesgo por aspecto metrológico con base en el IRGM.

Wa: Peso del aspecto metrológico.

n: Cantidad de riesgos por aspecto metrológico.

$$IRS_1 = \left(\frac{\sum IRM_1}{n}\right) \quad (2.14)$$

$$IRS_2 = \left(\frac{\sum IRGM_2}{n}\right) \quad (2.15)$$

donde:

IRS_1: Índice de riesgo del sistema con base en el IRM.

IRS_2: Índice de riesgo del sistema con base en el IRGM.

n: Total de aspectos metrológicos del SGM.

Evaluación de los resultados

Para la valoración tanto cuantitativa como cualitativa de los resultados de los IRM e IRGM por cada riesgo, aspecto metrológico y sistema, se construye una escala, donde el número de

intervalos considerados se determina aplicando la ecuación propuesta por Sturges (2.16), para un número de riesgos evaluados de N=29.

$$K = 1 + 3{,}322 \times logN = 5{,}85 = 5 \quad (2.16)$$

donde:

N: Tamaño de la muestra

K: Número de intervalos

Una vez obtenido la cantidad de intervalos se determina el rango (R) según la expresión (2.17) y la amplitud (C) según (2.18)

$$R = Valor\ (máx.) - Valor\ (min) = 1 \quad (2.17)$$

donde:

R: Rango

Valor (máx.): Valor máximo del IRM, IRGM.

Valor (mín.): Valor mínimo del IRM, IRGM.

$$C = \frac{R}{K} = \frac{1}{5} = 0{,}2 \quad (2.18)$$

Según C, se establecen las escalas cuantitativas y cualitativas (tabla 2.9)**,** donde (x) representa la magnitud de IRM, IRGM.

Tabla 2.9. Escala de evaluación cualitativa para los valores evaluados IRM, IRGM. Fuente: Elaboración propia.

Intervalo	Valoración cualitativa para IRM	Valoración cualitativa para IRGM	Actitud ante la prioridad
0 < x < 0,2	Bajo	Bajo	Se recomienda solamente continuar el monitoreo del aspecto
0,2 < x < 0,4	Moderado	Moderado	Se recomienda analizar el posible incumplimiento de la legislación metrológica vigente y otros aspectos en el desempeño del SGM,

			incorporándose como prioridades para la empresa
0,4 < x < 0,6	Medio	Medio	Se recomienda adoptar medidas que permitan mitigar el riesgo a corto plazo, incorporándose como prioridades para la empresa
0,6 < x < 0,8	Alto	Alto	Se recomienda adoptar medidas inmediatas para reducir el riesgo
0,8 < x < 1	Muy Alto	Muy Alto	Se recomienda detener las operaciones y adoptar medidas inmediatas para reducir el riesgo

El resto de los índices obtenido por las expresiones 2.12, 2.13, 2.14 y 2.15 se evalúan utilizando la tabla anterior según el enfoque que presenta: IRM o IRGM, es decir, la escala permite para un mismo intervalo y valoración cualitativa obtener una evaluación para dichos índices.

Los indicadores metrológicos son la principal fuente de información para evaluar los índices de riesgos. La aplicación de este por parte de las empresas debe ser anual, acortándose o extendiéndose su frecuencia de evaluación a partir de determinados eventos o situaciones dentro del entorno empresarial. El análisis de los resultados de esta evaluación permite alcanzar información concreta y de gran utilidad, a partir de la que se pueden obtener conclusiones.

Etapa III: Analizar

La meta de esta fase es identificar la(s) causa(s) raíz del problema, entender cómo es que éstas generan el problema y confirmar las causas con datos. Por tanto en esta fase se deben desarrollar teorías que explican cómo es que las causas raíces generan el problema, confirmar estas teorías con datos, para después de ello tener las pocas causas vitales que están generando el problema. Las herramientas que son de utilidad en esta fase son muy variadas, algunas de ellas: lluvia de ideas, diagrama de Ishikawa, cartas de control, entre otras.

Paso 8: Listar las causas del problema

En la etapa anterior queda definido el estado del proceso en cuanto a la variable crítica de calidad definida, por tanto en función de estos resultados se deben generar las causas que pueden estar incidiendo en el estado del proceso mediante una lluvia de ideas, y organizarlas mediante un diagrama de Ishikawa.

Paso 9: Seleccionar las principales causas y confirmarlas

En este paso se deben seleccionar las que se crean que son las causas principales, explicar cuál es la razón y confirmar con datos la situación existente.

Paso 10: Establecer las metas

Tomando en cuenta la situación para las variables críticas de calidad, se deben establecer metas para éstas. Dichas metas deben balancear el que sean ambiciosas pero alcanzables

Etapa IV: Mejorar

En esta etapa se está listo para que se propongan, implementen y evalúen las soluciones que atiendan las causas raíces detectadas. Así, el objetivo último de esta etapa es demostrar, con datos, que las soluciones propuestas resuelvan el problema y llevan a las mejoras buscadas.

Paso 11: Generar y evaluar diferentes soluciones

Es recomendable generar diferentes alternativas de solución que atiendan las diversas causas. Luego es importante evaluarlas a partir de diferentes criterios o prioridades sobre los que se debe tomar la solución.

Se recomienda la realización de proyectos seis sigma orientados a mejorar el desempeño de SGM a partir de los resultados obtenido en el diagnóstico inicial. Los proyectos seis sigmas 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 y de la naturaleza del defecto.

Paso 12: Implementación de la solución

Para implementar la solución es importante elaborar un plan en el que se especifiquen las diferentes tareas, su descripción (en qué consiste, cómo se va a hacer, dónde se va a implementar), las fechas para cada uno de los proyectos, las personas responsables y participantes. Para este fin se recomienda utilizar la técnica de las 5W2H.

En el caso que sea conveniente, inicialmente, puede adoptarse un procedimiento de carácter experimental, que consista en:

- Realizar un proyecto piloto
- Observar, controlar y evaluar la experiencia implantada
- Realizar la implantación definitiva como consecuencia de los resultados positivos obtenidos

Etapa V: Controlar

El objetivo de esta fase es monitorear el comportamiento del sistema de gestión de las mediciones a partir del diseño y (o) perfeccionamiento de cada uno de sus elementos. En otras palabras, el equipo de trabajo debe desarrollar un conjunto de actividades con el propósito de mantener el estado y desempeño del proceso a un nivel que satisfaga las necesidades del cliente y esto sirva de base para buscar la mejora continua.

Es conveniente establecer revisiones periódicas para determinar cuáles de los factores del entorno pueden implicar posibles cambios en el transcurso del tiempo. Estos factores pueden ser tecnológicos, legislativos, financieros, los que pueden implicar transformaciones en la gestión de las mediciones de la organización.

En este sentido, es necesario establecer un sistema de control para:

- Prevenir que los problemas que tenía el proceso no se vuelvan a repetir (mantener las ganancias).
- Impedir que las mejoras y conocimientos obtenidos se olviden.
- Mantener el desempeño del proceso.
- Alentar la mejora continua.

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

Para evaluar el impacto se debe comparar el estado del proceso antes y después de las acciones tomadas. Este tipo de estudio obedece a una búsqueda permanente del mejoramiento continuo de un proceso. Por tanto, deben medirse una vez más las variables críticas de calidad, así como el nivel de sigmas del proceso, para determinar los posibles cambios luego de la implementación de los proyectos seis sigmas.

Paso 14: Evaluar el impacto de la mejora sobre el desempeño del sistema

Se propone evaluar el desempeño metrológico del proceso a partir del cálculo de los índices metrológicos propuestos en la presente investigación, luego de implantar las mejoras, midiendo así su impacto en el sistema. Si los resultados no son satisfactorios, entonces se debe revisar por qué no da resultado y con esa base revisar lo hecho nuevamente.

Paso 15: Cerrar y difundir el proyecto de mejora

El objetivo de este último paso es asegurarse que el proyecto de mejora sea fuente de evidencia de logros, de aprendizaje y que sirva como herramienta de difusión. Por ello el equipo de trabajo debe desarrollar los siguientes aspectos:

- Documentar el proyecto: Integrar todos los documentos que reflejen el trabajo realizado en las cinco etapas.
- Principales logros alcanzados: Elaborar un resumen de los cambios o soluciones dadas para el problema, el impacto de las mejoras, entre otros.
- Difundir lo hecho y logros alcanzados: Presentación ante colegas y directivos, difusión interna por los canales adecuados.

Conclusiones parciales del capítulo

1. Se elaboró un procedimiento general con cinco fases interrelacionadas entre sí, con la finalidad de contribuir a la implantación del enfoque basado en riesgos y por consecuencia a la mejora del sistema de gestión de las mediciones.
2. El procedimiento general, por las características que presenta, permite dar cumplimiento a las regulaciones, legislaciones que se emiten por los organismos correspondientes, respondiendo a las tendencias actuales en materia de gestión metrológica.
3. La utilización de un sistema de indicadores mediante la herramienta propuesta, permite la evaluación del desempeño metrológico y su monitoreo sistemático.

Capítulo III

CAPÍTULO III: APLICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO PARA LA GESTIÓN DE LAS MEDICIONES BASADO EN RIESGOS

Este capítulo tiene como objetivo la aplicación del procedimiento propuesto en el capítulo anterior. Se utiliza como caso de estudio principal la Refinería Cienfuegos S.A, pues en ella existen numerosos sistemas de medición fiscal y transferencia de custodia, además del estricto control de los productos, como es la gasolina, fuel oíl, diésel, entre otros.

3.1. Aplicación del procedimiento propuesto. Caso de estudio: Refinería Cienfuegos S.A

La Refinería Cienfuegos S.A es considerada una organización grande, con una plantilla aprobada de 1054 trabajadores. Se dedica a refinar y comercializar hidrocarburos de forma eficiente y segura. Como parte de la mejora en su sistema de gestión metrológica, se considera pertinente aplicar el procedimiento propuesto debido a:

- Sector estratégico en el país
- Procesos con alto riesgo operacional
- Existencia de un número importantes de instrumentos de medición para el control de sus procesos
- Presencia de sistemas de medición fiscal y transferencia de custodia
- Estricto control de los productos
- Inserción de nuevos instrumentos en los procesos de medición
- Uso del pensamiento basado en riesgos para alcanzar la mejora continua en los procesos.

A partir de la fundamentación anterior es necesario cumplimentar las etapas y pasos previstos que aparecen en la figura 2.1 del Capítulo II.

Etapa I: Definir

Paso 1: Caracterización de la organización

La Refinería Cienfuegos S.A se encuentra ubicada en la Finca Carolina, al norte de la bahía de Cienfuegos entre los ríos Salado y Damují, ocupando sus instalaciones 320 ha.

La refinería es una de las grandes inversiones que se inician en la década del 80. En el verano de 1990 comienzan los trabajos de ajustes y puesta en marcha del complejo mínimo de arrancada. En enero de 1991 se realizan las primeras pruebas con carga, obteniéndose las primeras producciones. La refinería es declarada por la Comisión Nacional del Sistema de

Dirección de la Economía como empresa, el 22 de mayo de 1992, mediante la Resolución 690/1992.

La empresa a partir de la paralización de las plantas para la refinación, comienza una etapa de negociaciones sucesivas con diversas firmas extranjeras para la obtención del capital y los mercados necesarios para su arrancada, pero estas no resultan. Paralelamente se comienza a aprovechar sus facilidades tecnológicas como un centro de trasbordo para la prestación de servicios. En 1995 es necesario paralizar la planta de procesos de refinación y utilizar solo la capacidad instalada para la recepción, almacenamiento y entrega de productos derivados del petróleo.

El 10 de abril del 2006 se crea la empresa mixta PDV CUPET, S.A. entre las compañías petroleras PDVSA de Venezuela y CUPET de Cuba, con el objetivo de reactivar la Refinería de Petróleo de Cienfuegos y en este sentido comercializar los productos resultantes de la refinación tanto en Cuba como en el extranjero. En diciembre del 2009 se autoriza el cambio de denominación de PDV CUPET, S.A a CUVENPETROL S.A.

En junio del 2017 se autoriza a la OSDE Unión CUPET a adquirir, mediante compraventa, las acciones de PDVSA Cuba S.A en la Empresa Mixta CUVENPETROL S.A, autorizándose el cambio de denominación social, como Sociedad Mercantil de Capital Totalmente Cubano Refinería Cienfuegos S.A, como se conoce actualmente.

La gerencia general de la empresa se encuentra compuesta por 13 gerencias. La estructura jerárquica se define en el organigrama de la empresa que se muestra en el **Anexo No.8**.

En la actualidad se cuenta con un total de 1028 trabajadores, los que se dividen en las categorías de obrero, técnico, administrativo, servicio y cuadro.

La misión y visión de la organización se define como:

Misión

Refinar y comercializar hidrocarburos de forma eficiente y segura, garantizando se satisfagan los requisitos del cliente, con un capital humano competente, motivado y comprometido; con alta responsabilidad social y ambiental e introducción de mejoras tecnológicas.

Visión

Ser una empresa reconocida nacionalmente en el campo de la refinación de hidrocarburos, con márgenes de refinación competitivos, reconocida por la elevada preparación de su capital humano, su alta responsabilidad social, ambiental y su contribución al desarrollo sostenible del país.

Existe un Sistema de Gestión de la Calidad diseñado sobre la base de la NC ISO 9001:2015 certificado por la Oficina Nacional de Normalización y la *Lloyd's Register*, que tiene identificado cinco procesos principales, de acuerdo al mapa de procesos que aparece en el **Anexo No.9**.

Los procesos M1 y M6 corresponden a actividades netamente administrativas y de oficinas, relacionadas con toda la gestión de la organización. Los procesos M2, M3, M4, M7, M8, M9, M10, M11, M12, M13, M14, M15, M16, M17 y M18 responden a los de Apoyo. El proceso M5 constituye la espina dorsal del sistema, donde se lleva a cabo la realización del producto, fundamentalmente asociado a los subprocesos M5.2, M5.3 y M5.4.

Paso 2: Descripción del sistema de gestión de las mediciones

El sistema de gestión de las mediciones de la organización se encuentra diseñado sobre la base de la NC ISO 10012:2007 e integrado al sistema de gestión de la calidad. Este incluye los procesos donde se realizan mediciones; procesos de confirmación metrológica de los instrumentos de medición y los procesos de soporte necesarios dentro de la organización, que son aquellos referentes a la asignación de responsabilidades, capacitación, competencia y formación del personal, gestión y asignación de los recursos, auditorías, control de las no conformidades y la mejora continua, entre otros.

Se cuenta con un total de 13 000 instrumentos aproximadamente, 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, reportación, entre otros. Cada área es la responsable de esta planificación.

Dentro del mapa de procesos de la organización, el proceso de Instrumentación y Metrología (M8) es que da respuesta a los requisitos metrológicos, subordinado a la Gerencia de Calidad y la Gerencia de Automática, Informática y Telecomunicaciones (AIT). En el **Anexo No.10** se muestra el diagrama de flujo, especificando cada una de las operaciones que ocurren y su secuencia, así como la ficha correspondiente.

Los procesos que tienen mayor interacción con el sistema de gestión de las mediciones y resultan vitales para el logro de la actividad principal de la refinería son:

- Recepción almacenamiento y entrega de productos combustibles

- Refinación
- Comercialización
- Evaluación del desempeño y mejora
- Instrumentación y metrología
- Gestión energética
- Ingeniería de procesos
- Seguridad salud y medio ambiente

La mayor parte de los instrumentos tienen trazabilidad en el país, a excepción de los explosímetros, y los equipos que se utilizan para el monitoreo ambiental. Para estos instrumentos es necesario demostrar mediante estudios estadísticos su repetiblidad, estabilidad y linealidad. Las esferas, conductímetros y equipos de diagnóstico de motores no tienen trazabilidad, pero se le da el servicio de verificación contratando personal especializado en el exterior.

Dentro del sistema de gestión de las mediciones se cuenta con un grupo de instrucciones y procedimientos que garantizan el funcionamiento de la actividad, siendo estas:

- RF-M8-P-50-01 “Procedimiento para el control de los dispositivos de seguimientos y medición”
- RF-M8-IT-50-01 “Instrucción para la inspección interna de la comercialización”
- RF-M8-P-23-03 “Reparación y calibración de dispositivos de seguimiento y medición”
- RF-M8-P-23-04 “Procedimiento para el cambio de ajustes o parámetros en los sistemas de control”

Se cuenta con personal 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.

Los procesos de refinación, movimiento y entrega cuentan con tecnología de punta y software tecnológicos que permiten monitorear los procesos de medición en tiempo real. Se cuenta con un sistema de entrega automática mediante cargadero y muelle, por donde se comercializan los diferentes productos. La base de almacenamiento tanto para productos como para el Gas Licuado del Petróleo (GLP) su instrumentación es automatizada, siendo la mayor base del país.

La capacitación del personal se realiza mediante cursos en el Instituto Nacional de Investigaciones en Metrología de Cuba (INIMET), simposios, eventos nacionales e internacionales, entre otros.

En el reporte técnico mensual se analiza el comportamiento de los indicadores metrológicos, específicamente el cumplimiento de los planes de verificación y/o calibración.

Paso 3: Diagnóstico de la gestión de las mediciones

Revisión y análisis de los requisitos legales en materia de gestión de las mediciones

Se realiza la actualización de la legislación, normas cubanas y otras regulaciones de la Oficina Nacional de Normalización (ONN) y el Servicio Nacional de Metrología de Cuba (SENAMET) relativas a dicha materia. Se elabora un listado de referencia de acuerdo a lo establecido por el organismo rector y el título de las normas aplicables en la empresa. Se verifica la existencia o no de dichas regulaciones, lo que aparece en el **Anexo No.11**.

De forma general la empresa dispone de la legislación emitida (resoluciones, normas, instrucciones, reglamentos, leyes, decretos y decretos leyes aplicables) en el país por organismos rectores como: Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente (CITMA), Ministerio de Energía y Minas (MINEM), Unión CUPET y otros.

Conocimiento del estado de la organización, sus procesos y actividades con respecto a la metrología

A partir de entrevistas realizadas, se comprueba que los directivos y trabajadores involucrados en las mediciones conocen sobre la metrología, sus términos y definiciones, los instrumentos de medición y su utilización, así como las principales necesidades y obligaciones metrológicas de la organización.

En todos los procesos están identificados los instrumentos de medición por un código, el que se encuentra en correspondencia con su ubicación y sus funciones. Se encuentra definido para cada uno de los instrumentos que integran el proceso de medición, período de calibración y de verificación, el que se establece por el Decreto Ley No.183 de febrero de 1998 y regulado por la Disposición General DG-01:2015 “Instrumentos de medición sujetos a la verificación obligatoria y a aprobación de modelo según los campos de aplicación donde serán utilizados”. Actualmente se trabaja por un Plan de Calibración y de Verificación con la utilización de un software (MP2), con el sistema de órdenes y permisos de trabajo para extraer del proceso los instrumentos, existe un proceder para los imprevistos de trabajo.

Diagnóstico en las actividades de gestión de las mediciones en la empresa

Consiste en aplicar técnicas y herramientas propias para realizar un diagnóstico en materia de gestión de las mediciones, en la presente investigación se utilizan fundamentalmente las siguientes:

- Cuestionario de cumplimiento de la NC ISO 10012.
- Cuestionario de cumplimiento de la NC 994.
- Registro de no conformidades.

Se realiza a partir de verificar el cumplimiento de los requisitos de la NC ISO 10012: 2007 y NC 994:2015. En la figura 3.1 se representan los resultados obtenidos.

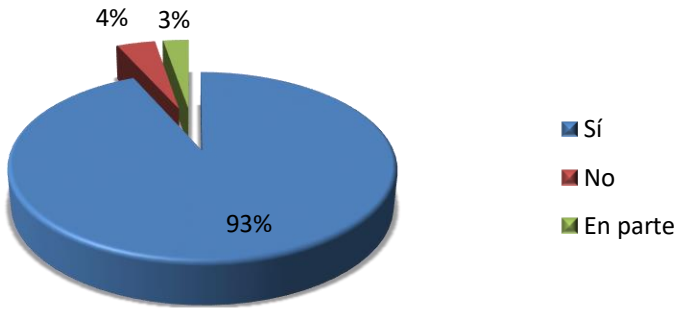


Figura 3.1. Representación del porciento de cumplimiento de los requisitos planteados en el cuestionario de la NC ISO 10012: 2007. Fuente: Elaboración propia.

Del análisis anterior se evidencia que se incumple el 4% de estos requisitos, los que están relacionados con la ausencia de la evaluación de la incertidumbre en sistemas de medición, así como su registro.

Con respecto al cumplimiento de los requisitos de la NC 994:2015 se obtiene que el 97% se cumplen en los diferentes puntos de medición fiscal y transferencia de custodia, ninguno de ellos se incumple, pero existe un 3% que solo se cumplen en parte, estos son:

- Existen aún algunos puntos de medición fiscal que no cumplen en la totalidad los requerimientos para garantizar la calidad de las mediciones.
- No siempre se estima la incertidumbre de acuerdo con la Guía ISO (GUM) para la estimación de la incertidumbre en las mediciones en algunos puntos.

Con respecto a la estimación de la incertidumbre, puntualmente para cada uno de los equipos aparece en el certificado de calibración/verificación, pero al tratarse de un sistema de medición

intervienen un conjunto de instrumentos, softwares, entre otros, estando asociada varias fuentes de incertidumbre, desconociéndose ésta en aquellos casos donde no existe un instrumento primario en la entrega.

Se realiza la revisión de las No Conformidades asociadas a la metrología, reclamaciones de los clientes, informes de auditorías internas y externas, así como supervisiones metrológicas correspondientes a los últimos cinco años.

A partir de los resultados obtenidos se procede a definir las fortalezas y debilidades del sistema de gestión de las mediciones en la Refinería Cienfuegos S.A.

Fortalezas

- Se cuenta con instrumentación de tecnología de punta en la mayoría de los procesos.
- Se posee un sistema de gestión de calidad certificado por la NC ISO 9001: 2015 y la Lloyd Register.
- Personal capacitado y apto para operar los equipos.
- El proceso se encuentra automatizado y se poseen recursos informáticos y logísticos para el aseguramiento del proceso.
- Existe un presupuesto por área de responsabilidades, tanto para garantizar la confirmación metrológica como las inversiones.
- En todos los equipos existentes la unidad de medida se encuentra en correspondencia con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Debilidades

- Existencia de equipos sin trazabilidad en el proceso.
- No se cuenta con laboratorios de calibración en la magnitud electricidad en la empresa y se presentan algunas dificultades con temperatura.
- No se realizan suficientes estudios para conocer la calidad en los resultados de los sistemas de medición.
- No se cuenta con reserva de instrumentos para reponer en el momento de la calibración.
- 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.
- Carencia de instrumentos primario en algunos puntos de transferencia fiscal.

Paso 4: Selección de las variables críticas de calidad

Para definir las variables críticas de calidad de mayor impacto a los clientes del sistema de gestión de las mediciones, se realiza en una sesión de trabajo con el equipo de expertos. Se

parte de los riesgos metrológicos identificados dentro del sistema, así como de las principales necesidades de sus clientes (la Voz del Cliente - VOC), como se puede observar en la siguiente tabla.

Tabla 3.1: Principales necesidades de los clientes del proceso de gestión de las mediciones. Fuente: Elaboración propia.

Clientes	Tipo de cliente	Variable	Peso otorgado por el cliente	Peso otorgado por los expertos	Total
Propietarios de instrumentos	Interno	Verificación	5	5	10
Propietarios de instrumentos	Interno	Calibración	5	5	10
M5.4 Almacenamiento y entrega de productos	Interno	Incertidumbre de medida en sistemas de medición fiscal y transferencia de custodia	4	5	9
Clientes externos	Externo				
M5 Realización del producto	Interno	Calidad de mediciones	4	5	9
Clientes externos	Externo				
Propietarios de instrumentos	Interno	Tiempo de ciclo de salida y reposición del instrumento al proceso	3	4	7
Propietarios de instrumentos	Interno	Trazabilidad	5	5	10
Clientes externos	Externo				

Luego de procesar los resultados obtenidos con la aplicación de la técnica mencionada, se proponen como variables críticas de calidad a estudiar:

- Evaluación de la incertidumbre en los sistemas de medición fiscal.
- Calibración y/o verificación de instrumentos
- Calidad de las mediciones
- Trazabilidad

Paso 5: 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, los que 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 Cienfuegos S.A presentan insuficiencias, 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 6: Estudio de capacidad

La evaluación general del sistema de medición se aplica a las variables seleccionadas en el paso 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%.

Luego se hace necesario elaborar un plan para el estudio de capacidad del sistema de gestión de las mediciones.

Tabla 3.2: Plan para estudio de capacidad. Fuente: Elaboración propia.

Variables	Tipo de estándar de desempeño	LIE	LSE	Forma de recolectar los datos
Incertidumbre de medida	Menor es mejor (lo ideal es que tienda a 0)	0	0,1%	Colectar los datos de los certificados de verificación y/o calibración de los instrumentos que intervienen en los sistemas, normas cubanas, ASTM-54.
Calibración	Mayor es mejor	-	100%	Colectar los datos de los planes de calibración, certificados de calibración, reporte técnico mensual.

Verificación	Mayor es mejor	-	100%	Colectar los datos de los planes de verificación, certificados de verificación, reporte técnico mensual.
Trazabilidad	Mayor es mejor	-	100 %	Colectar los datos de los certificados de verificación y/o calibración, los expediente de la Aprobación de modelo, del Plan de Inversiones, Informe de la Demanda Anual de la ONN.
Calidad de las mediciones	Menor es mejor (lo ideal es que tienda a 0)	0	30%	Colectar datos de resultados de estudios R&R a ensayos de laboratorio químico, a las calibraciones, mediciones y tendencias del proceso mediante software Exaquantum, Cota, WEBLAB y estudios estadísticos.

Nota: LIE: Límite Inferior de Especificación; LSE: Límite Superior de Especificación

A partir de las variables descritas en la tabla anterior se calcula la capacidad del sistema, se parte de las nos conformidades detectadas en auditorías internas y externas, señalamientos, deficiencias, entre otras, asociadas a las variables críticas de calidad en las 12 áreas relacionas con la actividad metrológica. Estas son variables discretas, por lo que la capacidad se calcula a partir de la determinación del Defecto por Millón de Oportunidades (DPMO), para ello se realiza el siguiente análisis:

Tabla 3.3: Información primaria para el cálculo de la capacidad 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 miembros asignados del equipo directamente de:

- 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 2.1 del capítulo II de la presente investigación, obteniendo el siguiente resultado:

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

Con este valor se busca su puntuación sigma en la tabla 2.2 del capítulo anterior, siendo de 3,4354, lo que significa que la calidad es poco satisfactorio.

Paso 7: 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 Cienfuegos S.A se analiza el sistema de gestión de las mediciones, así como los componentes metrológicos asociados a este, considerándose un total de 29 indicadores distribuidos entre los aspectos indistintamente (ver **Anexo No.12**).

Por cada indicador se determinan dos índices desde dos enfoques diferentes: Índice de riesgo metrológico (IRM) dado por la materialización de desviaciones respecto a estándares de desempeño e Índice de riesgo en la gestión metrológica (IRGM) presentes en los riesgos por la incapacidad en coordinar las actividades dentro del sistema.

Determinación de los índices de riesgo

Los índices, tanto el IRM como el IRGM se determinan para cada riesgo identificado por aspecto metrológico: Dirección, Recursos, Operativo y de Mejora y a su vez asociados al Sistema de Gestión de las Mediciones en la Refinería Cienfuegos S.A.

Cálculo del Índice de Riesgo Metrológico (IRM)

Para la determinación del Índice de Riesgo Metrológico (IRM) se parte de la expresión 2.5 propuesta en el capítulo anterior.

Para el cálculo de la probabilidad estadística (Pr) se evalúan los indicadores de seguimiento cuantitativo de cada riesgo identificado en la Refinería Cienfuegos S.A (**Anexo No.13**). Dado que existen indicadores que no pueden ser evaluados mensualmente, el autor de la presente investigación 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 (**Anexo No.14**).

A partir de estos valores se determina Pr mediante la expresión 2.8. En el **Anexo No.15** se muestran los riesgos con sus respectivos valores de probabilidad estadística, por cada aspecto metrológico del sistema de gestión de las mediciones de la organización objeto de estudio.

Se evidencia que de los indicadores cuantitativos determinados anteriormente, cuatro de estos presentan un valor de Pr por encima de cero, lo que indica que en la evaluación por su indicador de seguimiento para el período analizado, estos presentan materialización del riesgo, por existir desviación respecto al límite de referencia fijado para el sistema de gestión de las mediciones de la empresa.

En el caso de los indicadores cualitativos de los riesgos a evaluar se determina directamente su valor de probabilidad (Pr) por medio de la tabla 2.4 propuesta en el capítulo anterior. En el **Anexo No.16** se muestra un resumen de los riesgos con sus valores de probabilidad.

Las desviaciones del indicador de seguimiento en el periodo analizado puede dar medida que el riesgo se materializa, obteniéndose entonces para los riesgos estudiados y con Pr calculado con valor superior a cero, un valor de severidad y probabilidad condicional de que exista daño, dado por el grupo de expertos a partir de la tabla 2.5 y 2.6 del capítulo anterior.

A partir de esto se determina el valor de severidad del daño (Sd) y la probabilidad condicional (Pd/r) que provoca el riesgo en el sistema de gestión de las mediciones de la organización, mostrándose el resultado en la tabla 3.4.

Tabla 3.4: Severidad del daño y probabilidad condicional para cada riesgo materializado por el indicador de seguimiento en el período evaluado. Fuente: Elaboración propia.

Aspecto metrológico	Riesgo	Sd	Pd/r
Recursos	Se adquieren, instalan, sustituyen y distribuyen Instrumentos de Medición en la Empresa sin informar al Especialista en Metrología para su	0.4	0.7

	control.		
	Adquisición y distribución por parte de organismos superiores de instrumentos de medición sin trazabilidad en el país y sin el Modelo de Aprobación otorgado por la ONN.	0.8	1
	No existencia de medios de embalaje para mover los instrumentos fuera de la empresa	1	0.7
	No asignación de presupuesto para el desarrollo de la actividad metrológica	0.8	1
Operativos	Desajustes en el establecimiento de los intervalos de calibración y /o verificación.	0.2	0.7
	No planificación de la calibración y/o Verificación.	0.4	1
	Equipos de mediciones que no cumplen criterios de verificación metrológica.	0.8	1
	Inadecuada planificación de los intervalos de tiempo para la calibración y confirmación metrológica.	0.4	1
	No analizar los datos de calibraciones anteriores para poder optimizar los períodos de calibración /conformación metrológica.	0.6	0.7
	No se estima la incertidumbre de medida para cada proceso de medición.	0.6	0.7
	No existencia de trazabilidad de los resultados del proceso de medición.	1	1
	No existe Sistema de medición y análisis para evaluar el desempeño o eficacia del sistema.	0.8	0.7
Mejora	No utilizar la información de los clientes y otras partes interesadas como fuente para la mejora del Sistema de Gestión de las Mediciones.	0.6	0.7
	No se identifican los equipos no conformes.	0.8	0.7

Una vez determinada cada variable presente en la expresión 2.7 del capítulo anterior, se calcula el IRM por cada riesgo, índice que es valorado según la escala de evaluación cualitativa expuesta en la tabla 2.8. Un resumen de cada uno de estos se muestra en la tabla 3.5.

Tabla 3.5: Resumen de los valores cuantitativos y cualitativos para cada riesgo identificado por los distintos aspectos metrológicos del sistema. Fuente: Elaboración propia.

Aspecto metrológico	Riesgo	IRM	Evaluación
Recursos	Se adquieren, instalan, sustituyen y distribuyen Instrumentos de Medición en la Empresa sin informar al Especialista en Metrología para su control.	0.28	Moderado
	Adquisición y distribución por parte de organismos superiores de instrumentos de medición sin	0.8	Alto

	trazabilidad en el país y sin el Modelo de Aprobación otorgado por la ONN.		
	No existencia de medios de embalaje para mover los instrumentos fuera de la empresa	0.7	Alto
	No asignación de presupuesto para el desarrollo de la actividad metrológica	0.4	Moderado
Operativos	Desajustes en el establecimiento de los intervalos de calibración y /o verificación.	0.07	Alto
	No planificación de la calibración y/o Verificación.	0.2	Bajo
	Equipos de mediciones que no cumplen criterios de verificación metrológica.	0.8	Alto
	Inadecuada planificación de los intervalos de tiempo para la calibración y confirmación metrológica.	0.2	Bajo
	No analizar los datos de calibraciones anteriores para poder optimizar los períodos de calibración /conformación metrológica.	0.21	Moderado
	No se estima la incertidumbre de medida para cada proceso de medición.	0.42	Medio
	No existencia de trazabilidad de los resultados del proceso de medición.	1	Muy alto
	No existe Sistema de medición y análisis para evaluar el desempeño o eficacia del sistema.	0.56	Medio
Mejora Recursos Operativos	No utilizar la información de los clientes y otras partes interesadas como fuente para la mejora del Sistema de Gestión de las Mediciones.	0.21	Moderado
	No se identifican los equipos no conformes.	0.56	Medio

La tabla anterior muestra el valor cuantitativo y cualitativo del IRM de los riesgos analizados por aspecto metrológico, evidenciándose 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)

Para determinar el índice de riesgo en la gestión metrológica (IRGM) se parte de la expresión 2.10 del capítulo II de la presente investigación.

El coeficiente de gestión metrológico (Cm) de cada riesgo se determina mediante la expresión 2.11. Cada variable implícita C (i) y V (c), se obtienen a partir de ponderaciones, mientras las valoraciones del nivel de atención de las causas asociadas a cada riesgo es realizado por el grupo de expertos a través de la tabla 2.7 del capítulo anterior. Este resultado se expone en el **Anexo No.17.** Cada coeficiente se ilustra en la tabla 3.6.

Tabla 3.6. Coeficiente de gestión metrológica para cada riesgo identificado. Fuente: Elaboración propia.

Riesgo	Cm
No medición de la eficacia y eficiencia de los procesos metrológicos del SGM por medio de indicadores.	0.73
Incumplimiento de los requisitos del cliente y otras parte interesadas que precisan de la medición para evaluar su conformidad	0.88
Incapacidad metrológica real de la organización que provoca el incumplimiento de los requisitos metrológicos.	0.74
Incumplimiento con la planificación de la Confirmación Metrológica.	0.69
Incompetencia del personal en la medida en que evolucionan los puestos de trabajo debido a los cambios en los equipos de medición, etc.	0.82
No validación y aprobación del uso de software que se utiliza para los procesos de confirmación metrológica y medición.	0.95
Se adquieren, instalan, sustituyen y distribuyen Instrumentos de Medición en la Empresa sin informar al Especialista en Metrología para su control.	0.68
Adquisición y distribución por parte de organismos superiores de instrumentos de medición sin trazabilidad en el país y sin el Modelo de Aprobación otorgado por la ONN.	0.93
No existencia de medios de embalaje para mover los instrumentos fuera de la empresa	0.6
No asignación de presupuesto para el desarrollo de la actividad metrológica	0.95
No se identifica el estado de calibración y/o verificación del equipo de medición.	0.85
Equipos sin calibrar y/o verificar.	0.79
Desajustes en el establecimiento de los intervalos de calibración y /o verificación.	0.83
No planificación de la calibración y/o Verificación	0.93
Equipos de mediciones que no cumplen criterios de verificación metrológica.	0.8
Inadecuada planificación de los intervalos de tiempo para la calibración y confirmación metrológica	0.88
No analizar los datos de calibraciones anteriores para poder optimizar los períodos de calibración /conformación metrológica	0.82
No contar con los certificados de calibración/verificación.	0.86
No se estima la incertidumbre de medida para cada proceso de medición.	0.69
No existencia de trazabilidad de los resultados del proceso de medición.	0.85

No existe Sistema de medición y análisis para evaluar el desempeño o eficacia del sistema.	0.82
Insatisfacción del cliente en cuanto al cumplimiento de sus necesidades metrológicas.	1
No utilizar la información de los clientes y otras partes interesadas como fuente para la mejora del Sistema de Gestión de las Mediciones.	0.71
Las auditorías internas no evidencian las fortalezas y debilidades del Sistema	0.79
No participación de la dirección en la evaluación del SGM.	0.6
Al tratarse una no conformidad de un equipo de medición dígase reparación, etc., no se vuelva a confirmar metrológicamente	0.72
No se identifican los equipos no conformes.	1
No dar seguimiento y cierre en tiempo a las no conformidades detectadas	1
Incumplimiento en el plan de auditorías internas	1

El coeficiente de gestión metrológica (Cm) es un valor normalizado que mientras más cerca se encuentre de 1 mejor nivel de atención presenta el riesgo evaluado. El 13,79% de los riesgos obtiene el máximo valor del coeficiente de gestión (Cm), por lo que no procede tenerlos en cuenta a la hora de determinar el IRGM. El autor de la presente investigación de conjunto con el equipo de expertos analiza los restantes riesgos, es decir, cuando Cm sea menor que 1 se considera que existe incapacidad en la gestión del riesgo evaluado por parte de la empresa; y son estos a los que se le determinan Sd y Pd/Cm.

La tabla anterior muestra un resumen de los valores del coeficiente de gestión metrológica determinado para cada riesgo identificado en la Refinería Cienfuegos S.A, evidenciándose que existen 25 riesgos con un Cm por debajo de su valor máximo, representando incapacidad en su atención.

Es necesario entonces para cada uno determinar el valor de Sd y Pd/Cm de igual forma que se determina para el IRM según las tablas 2.5 y 2.6 del capítulo anterior, mostrándose el resultado alcanzado en la tabla 3.7.

Tabla 3.7.Severidad del daño y probabilidad condicional del daño con respecto al coeficiente de gestión metrológica para los nueve riesgos a analizar. Fuente: Elaboración propia.

Riesgo a analizar	Sd	Pd/Cm
No medición de la eficacia y eficiencia de los procesos metrológicos del SGM por medio de indicadores,	0.6	0.4
Incumplimiento de los requisitos del cliente y otras parte interesadas que precisan de la medición para evaluar su conformidad	0,6	0.7
Incapacidad metrológica real de la organización que provoca el incumplimiento de los requisitos metrológicos,	0,6	1
Incumplimiento con la planificación de la Confirmación	0,4	0.4

Metrológica,		
Incompetencia del personal en la medida en que evolucionan los puestos de trabajo debido a los cambios en los equipos de medición, etc,	0,6	1
No validación y aprobación del uso de software que se utiliza para los procesos de confirmación metrológica y medición,	0,8	0.1
Se adquieren, instalan, sustituyen y distribuyen Instrumentos de Medición en la Empresa sin informar al Especialista en Metrología para su control,	0,8	0.1
Adquisición y distribución por parte de organismos superiores de instrumentos de medición sin trazabilidad en el país y sin el Modelo de Aprobación otorgado por la ONN,	0,8	1
No existencia de medios de embalaje para mover los instrumentos fuera de la empresa	1	0.7
No asignación de presupuesto para el desarrollo de la actividad metrológica	0,8	1
No se identifica el estado de calibración y/o verificación del equipo de medición,	0,6	0.1
Equipos sin calibrar y/o verificar,	1	1
Desajustes en el establecimiento de los intervalos de calibración y /o verificación,	0,2	0.4
No planificación de la calibración y/o Verificación	0,4	0.4
Equipos de mediciones que no cumplen criterios de verificación metrológica,	0,8	0.8
Inadecuada planificación de los intervalos de tiempo para la calibración y confirmación metrológica	0,4	0.4
No analizar los datos de calibraciones anteriores para poder optimizar los períodos de calibración /conformación metrológica	0,6	0.4
No contar con los certificados de calibración/verificación	0,6	0.7
No se estima la incertidumbre de medida para cada proceso de medición,	0.8	0.1
No existencia de trazabilidad de los resultados del proceso de medición,	1	0.7
No existe Sistema de medición y análisis para evaluar el desempeño o eficacia del sistema	0,6	1
Insatisfacción del cliente en cuanto al cumplimiento de sus necesidades metrológicas.	0,2	1
Las auditorías internas no evidencian las fortalezas y debilidades del Sistema	1	0.1
No participación de la dirección en la evaluación del SGM,	1	0.1
Al tratarse una no conformidad de un equipo de medición dígase reparación, etc, no se vuelva a confirmar metrológicamente.	0.8	0.1
No se identifican los equipos no conformes.	0.6	0.7

Una vez determinada cada variable presente en la expresión 2.10 del capítulo anterior, se calcula el IRGM por cada riesgo presente en la tabla 3.7 (ver tabla 3.8). Este índice es valorado según la escala de evaluación cualitativa expuesta en la tabla 2.8.

Tabla 3.8. Resumen de los valores cuantitativos y cualitativos del IRGM para cada riesgo analizado por los distintos aspectos metrológicos del sistema. Fuente: Elaboración propia.

Aspecto metrológico	Riesgo	IRGM	Evaluación
Dirección	No medición de la eficacia y eficiencia de los procesos metrológicos del SGM por medio de indicadores,	0.18	Bajo
	Incumplimiento de los requisitos del cliente y otras parte interesadas que precisan de la medición para evaluar su conformidad	0.37	Moderado
	Incapacidad metrológica real de la organización que provoca el incumplimiento de los requisitos metrológicos,	0.44	Medio
	Incumplimiento con la planificación de la Confirmación Metrológica,	0.11	Bajo
Recursos	Incompetencia del personal en la medida en que evolucionan los puestos de trabajo debido a los cambios en los equipos de medición, etc,	0.49	Medio
	No validación y aprobación del uso de software que se utiliza para los procesos de confirmación metrológica y medición,	0.08	Alto
Operativos	Se adquieren, instalan, sustituyen y distribuyen Instrumentos de Medición en la Empresa sin informar al Especialista en Metrología para su control,	0.05	Bajo
	Adquisición y distribución por parte de organismos superiores de instrumentos de medición sin trazabilidad en el país y sin el Modelo de Aprobación otorgado por la ONN,	0.74	Alto
	No existencia de medios de embalaje para mover los instrumentos fuera de la empresa	0.65	Alto
	No asignación de presupuesto para el desarrollo de la actividad metrológica	0.48	Medio
	No se identifica el estado de calibración y/o verificación del equipo de medición,	0.06	Bajo
	Equipos sin calibrar y/o verificar,	0.85	Muy alto

	Desajustes en el establecimiento de los intervalos de calibración y /o verificación,	0.06	Bajo
	No planificación de la calibración y/o Verificación	0.13	Bajo
	Equipos de mediciones que no cumplen criterios de verificación metrológica,	0.6	Medio
	Inadecuada planificación de los intervalos de tiempo para la calibración y confirmación metrológica	0.13	Bajo
	No analizar los datos de calibraciones anteriores para poder optimizar los períodos de calibración /conformación metrológica	0.21	Moderado
	No contar con los certificados de calibración/verificación	0.41	Medio
	No se estima la incertidumbre de medida para cada proceso de medición,	0.67	Alto
Mejora	No existencia de trazabilidad de los resultados del proceso de medición,	0.9	Muy alto
	No existe Sistema de medición y análisis para evaluar el desempeño o eficacia del sistema	0.51	Medio
	Insatisfacción del cliente en cuanto al cumplimiento de sus necesidades metrológicas.	0.25	Moderado
	Las auditorías internas no evidencian las fortalezas y debilidades del Sistema	0.071	Bajo
	No participación de la dirección en la evaluación del SGM,	0.079	bajo
	Al tratarse una no conformidad de un equipo de medición dígase reparación, etc, no se vuelva a confirmar metrológicamente.	0.048	Bajo
	No se identifican los equipos no conformes.	0.3024	Moderado

La tabla anterior muestra el valor cuantitativo y cualitativo del IRGM de los riesgos analizados por aspecto metrológico, evidenciándose 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 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 aspecto 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, mostrándose un ejemplo de esto en el **Anexo No.18**, cuyo resultado se expone en la siguiente tabla.

Tabla 3.9. Pesos asociados a cada uno de los aspectos metrológicos asociados al SGM. Fuente: Elaboración propia.

Sistema	Componentes metrológicos	Pesos (Wa)
Sistema de Gestión de las Mediciones	Dirección	0,058713
	Recursos	0,254419
	Operativo	0,553336
	Mejora	0,133533

Luego se realiza una suma ponderada para el nivel de desagregación que se muestra en la figura 2.3 del capítulo II desde dos enfoques diferentes, desde el IRM y el IRGM. Lo anterior se determina mediante las expresiones 2.12, 2.13, 2.14 y 2.15; explicándose en el **Anexo No. 19**. El resumen de los valores cuantitativo y cualitativo de los índices se muestra en los **Anexos No. 20**.

El reporte de los resultados después de aplicar los IRM e IRGM en el SGM de la Refinería Cienfuegos S.A se muestran en el **Anexo No.21**. Estos índices evidencian que existen en el aspecto metrológico Operativo 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 8 y 9: Listar las causas del problema, seleccionar las principales y confirmarlas

Después de haber identificado los problemas existentes, 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.

Preparación del Diagrama Causa-Efecto: Se realiza el análisis de causa y efecto para determinar las causas posibles que limitan la fase de mejora del sistema de gestión de las mediciones. El diagrama de causa-efecto que se muestra en el **Anexo No.22**, es construido en una sesión de tormenta de ideas de conjunto con el equipo de mejora.

Planteamiento de las hipótesis y verificación de las causas más probables: El equipo de trabajo revisa las causas posibles y selecciona las más probables mediante una votación basada en la experiencia, estas causas se enumeran y se verifican las más probables.

Paso 10: 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 que 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 3.10: 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 11: Generar y evaluar diferentes soluciones

Los proyectos 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.

Los proyectos seis sigmas a desarrollar en la empresa son:

- **Proyecto No.1:** Proyecto Seis Sigma aplicado a los procesos M5.3.04 Tratamiento y almacenamiento del Jet A1 y M5.3.13 Hidrofinación de diésel.

- **Proyecto No.2:** Proyecto Seis Sigma aplicado al proceso de Recepción, almacenamiento, manipulación y entrega de GLP (M5.4.2; M5.4.5 y M5.4.6).
- **Proyecto No.3:** Proyecto Seis Sigma aplicado a los procesos M5.2: Recepción y almacenamiento del crudo y otros insumos; M5. 4.1: Entrega de Productos Líquidos a Buque; M5. 4.3: Entrega de productos líquidos por cargadero de pailas y M5. 4.7 Entregas por oleoductos

Estos proyectos se desarrollan en el período comprendido entre el año 2013 y 2017 siguiendo en cada uno de ellos la metodología DMAIC.

Paso 12: 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 desarrolladas y resultados alcanzados en los proyectos seis sigmas desarrollados dentro del sistema de gestión de las mediciones en la Refinería Cienfuegos S.A 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: 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 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 994:2015 en los puntos de medición fiscal y transferencia de custodia de la Refinería Cienfuegos S.A.
- 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 1066:2015.
- 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 918:2012, 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 13: Evaluar el 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 la capacidad del sistema. Los datos recopilados al término del año 2017 se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 3.11. Información primaria para el cálculo de la capacidad del proceso durante el año 2017. 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:

$$Y_{DPMO} = \frac{c}{n_{units} \times n_{CTQC}} \times 1000000 = 20588{,}23$$

Con este valor se busca su puntuación sigma en la tabla 2.2 del capítulo anterior, 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 de la capacidad. La capacidad del proceso aumenta, moviéndose en el rango cercano a las Tres Sigmas.

En la tabla 3.12 se resumen los resultados alcanzados para cada una de las variables de salida de los proyectos. En todos los casos los resultados corresponden o superan las metas del proyecto.

Tabla 3.12. Resultados tangibles 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 14: Evaluar el 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 y 2017. Los resultados obtenidos se muestran a continuación, siguiendo el mismo proceder que la etapa diagnóstico.

Cálculo del Índice de Riesgo Metrológico (IRM)

Se muestra a continuación la tabla 3.13 los resultados de la severidad del daño y probabilidad condicional para cada riesgo materializado por el indicador de seguimiento en el período evaluado.

Tabla: 3.13: Severidad del daño y probabilidad condicional para cada riesgo materializado por el indicador de seguimiento en el período evaluado. Fuente: Elaboración propia.

Aspecto metrológico	Riesgo	Sd	Pd/r
Recursos	Se adquieren, instalan, sustituyen y distribuyen Instrumentos de Medición en la Empresa sin informar al Especialista en Metrología para su control.	0.4	0.7
	Adquisición y distribución por parte de organismos superiores de instrumentos de medición sin trazabilidad en el país y sin el Modelo de Aprobación otorgado por la ONN.	0.8	1
	No existencia de medios de embalaje para mover los instrumentos fuera de la empresa	1	0.7
	No asignación de presupuesto para el desarrollo de la actividad metrológica	0.8	1
Operativos	Desajustes en el establecimiento de los intervalos de calibración y /o verificación.	0.2	0.7
	No planificación de la calibración y/o Verificación.	0.4	1
	Equipos de mediciones que no cumplen criterios de verificación metrológica.	0.8	1
	Inadecuada planificación de los intervalos de tiempo para la calibración y confirmación metrológica.	0.4	1
	No analizar los datos de calibraciones anteriores para poder optimizar los períodos de calibración /conformación metrológica.	0.6	0.7
	No se estima la incertidumbre de medida para cada proceso de medición.	0.6	0.7
	No existencia de trazabilidad de los resultados del proceso de medición.	1	1
	No existe Sistema de medición y análisis para evaluar el desempeño o eficacia del sistema.	0.8	0.7
Mejora	No utilizar la información de los clientes y otras partes interesadas como fuente para la mejora del Sistema de	0.6	0.7

	Gestión de las Mediciones.		
	No se identifican los equipos no conformes.	0.8	0.7

Con los valores obtenidos en la tabla anterior se calculan el índice IRM por cada aspecto metrológico así como la evaluación de dicho resultado en la tabla 3.14 que aparece a continuación.

Tabla 3.14: Resumen de los valores cuantitativos y cualitativos para cada riesgo identificado por los distintos aspectos metrológicos del sistema. Fuente: Elaboración propia.

Aspecto metrológico	Riesgo	IRM	Evaluación
Recursos	Se adquieren, instalan, sustituyen y distribuyen Instrumentos de Medición en la Empresa sin informar al Especialista en Metrología para su control.	0.28	Moderado
	Adquisición y distribución por parte de organismos superiores de instrumentos de medición sin trazabilidad en el país y sin el Modelo de Aprobación otorgado por la ONN.	0.8	Alto
	No existencia de medios de embalaje para mover los instrumentos fuera de la empresa	0.7	Alto
	No asignación de presupuesto para el desarrollo de la actividad metrológica	0.4	Moderado
Operativos	Desajustes en el establecimiento de los intervalos de calibración y /o verificación.	0.07	Alto
	No planificación de la calibración y/o Verificación.	0.2	Bajo
	Equipos de mediciones que no cumplen criterios de verificación metrológica.	0.8	Alto
	Inadecuada planificación de los intervalos de tiempo para la calibración y confirmación metrológica.	0.2	Bajo
	No analizar los datos de calibraciones anteriores para poder optimizar los períodos de calibración /conformación metrológica.	0.21	Moderado
	No se estima la incertidumbre de medida para cada proceso de	0.315	Medio

	medición.		
	No existencia de trazabilidad de los resultados del proceso de medición.	1	Muy alto
	No existe Sistema de medición y análisis para evaluar el desempeño o eficacia del sistema.	0.28	Medio
Mejora Recursos Operativos	No utilizar la información de los clientes y otras partes interesadas como fuente para la mejora del Sistema de Gestión de las Mediciones.	0.21	Moderado
	No se identifican los equipos no conformes.	0.56	medio

El análisis anterior muestra el valor cuantitativo y cualitativo del IRM de los riesgos analizados por aspecto metrológico, evidenciándose 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 mejoraría con respecto a la evaluación inicial.

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

Tabla 3.15. Coeficiente de gestión metrológica para cada riesgo identificado. Fuente: Elaboración propia.

Riesgo	Cm
No medición de la eficacia y eficiencia de los procesos metrológicos del SGM por medio de indicadores.	0.73
Incumplimiento de los requisitos del cliente y otras parte interesadas que precisan de la medición para evaluar su conformidad	0.88
Incapacidad metrológica real de la organización que provoca el incumplimiento de los requisitos metrológicos.	0.74
Incumplimiento con la planificación de la Confirmación Metrológica.	0.69
Incompetencia del personal en la medida en que evolucionan los puestos de trabajo debido a los cambios en los equipos de medición, etc.	0.82
No validación y aprobación del uso de software que se utiliza para los procesos de confirmación metrológica y medición.	0.95
Se adquieren, instalan, sustituyen y distribuyen Instrumentos de Medición en la Empresa sin informar al Especialista en Metrología para su control.	0.68
Adquisición y distribución por parte de organismos superiores de instrumentos de medición sin trazabilidad en el país y sin el Modelo de Aprobación otorgado por la ONN.	0.93
No existencia de medios de embalaje para mover los instrumentos fuera de la empresa	0.6
No asignación de presupuesto para el desarrollo de la actividad metrológica	0.95
No se identifica el estado de calibración y/o verificación del equipo de medición.	0.85
Equipos sin calibrar y/o verificar.	0.79
Desajustes en el establecimiento de los intervalos de calibración y /o verificación.	0.83

No planificación de la calibración y/o Verificación	0.93
Equipos de mediciones que no cumplen criterios de verificación metrológica.	0.8
Inadecuada planificación de los intervalos de tiempo para la calibración y confirmación metrológica	0.88
No analizar los datos de calibraciones anteriores para poder optimizar los períodos de calibración /conformación metrológica	0.82
No contar con los certificados de calibración/verificación.	0,34
No se estima la incertidumbre de medida para cada proceso de medición.	0,08
No existencia de trazabilidad de los resultados del proceso de medición.	0,48
No existe Sistema de medición y análisis para evaluar el desempeño o eficacia del sistema.	0,51
Insatisfacción del cliente en cuanto al cumplimiento de sus necesidades metrológicas.	0,16
No utilizar la información de los clientes y otras partes interesadas como fuente para la mejora del Sistema de Gestión de las Mediciones.	0.71
Las auditorías internas no evidencian las fortalezas y debilidades del Sistema	0.79
No participación de la dirección en la evaluación del SGM.	0.6
Al tratarse una no conformidad de un equipo de medición dígase reparación, etc., no se vuelva a confirmar metrológicamente	0.72
No se identifican los equipos no conformes.	1
No dar seguimiento y cierre en tiempo a las no conformidades detectadas	1
Incumplimiento en el plan de auditorías internas	1

El 10,34% de los riesgos obtiene el máximo valor del coeficiente de gestión (Cm), por lo que no procede tenerlos en cuenta a la hora de determinar el IRGM.

En las tablas 3.16 y 3.17 se muestran los valores y resultados del cálculo del índice IRGM.

Tabla 3.16. Severidad del daño y probabilidad condicional del daño con respecto al coeficiente de gestión metrológica para los nueve riesgos a analizar. Fuente: Elaboración propia.

Riesgo a analizar	Sd	Pd/Cm
No medición de la eficacia y eficiencia de los procesos metrológicos del SGM por medio de indicadores,	0.6	0.4
Incumplimiento de los requisitos del cliente y otras parte interesadas que precisan de la medición para evaluar su conformidad	0,6	0.7
Incapacidad metrológica real de la organización que provoca el incumplimiento de los requisitos metrológicos,	0,6	1
Incumplimiento con la planificación de la Confirmación Metrológica,	0,4	0.4
Incompetencia del personal en la medida en que evolucionan los puestos de trabajo debido a los cambios en los equipos de medición, etc,	0,6	1
No validación y aprobación del uso de software que se utiliza para los procesos de confirmación metrológica y medición,	0,8	0.1
Se adquieren, instalan, sustituyen y distribuyen Instrumentos de Medición en la Empresa sin informar al Especialista en Metrología	0,8	0.1

para su control,		
Adquisición y distribución por parte de organismos superiores de instrumentos de medición sin trazabilidad en el país y sin el Modelo de Aprobación otorgado por la ONN,	0,8	1
No existencia de medios de embalaje para mover los instrumentos fuera de la empresa	1	0.7
No asignación de presupuesto para el desarrollo de la actividad metrológica	0,8	1
No se identifica el estado de calibración y/o verificación del equipo de medición,	0,6	0.1
Equipos sin calibrar y/o verificar,	1	1
Desajustes en el establecimiento de los intervalos de calibración y /o verificación,	0,2	0.4
No planificación de la calibración y/o Verificación	0,4	0.4
Equipos de mediciones que no cumplen criterios de verificación metrológica,	0,8	0.8
Inadecuada planificación de los intervalos de tiempo para la calibración y confirmación metrológica	0,4	0.4
No analizar los datos de calibraciones anteriores para poder optimizar los períodos de calibración /conformación metrológica	0,6	0.4
No contar con los certificados de calibración/verificación	0,6	0.7
No se estima la incertidumbre de medida para cada proceso de medición,	0.8	0.1
No existencia de trazabilidad de los resultados del proceso de medición,	1	0.7
No existe Sistema de medición y análisis para evaluar el desempeño o eficacia del sistema	0,6	1
Insatisfacción del cliente en cuanto al cumplimiento de sus necesidades metrológicas.	0,2	1
Las auditorías internas no evidencian las fortalezas y debilidades del Sistema	1	0.1
No participación de la dirección en la evaluación del SGM,	1	0.1
Al tratarse una no conformidad de un equipo de medición dígase reparación, etc, no se vuelva a confirmar metrológicamente.	0.8	0.1
No se identifican los equipos no conformes.	0.6	0.7

Tabla 3.17. Resumen de los valores cuantitativos y cualitativos del IRGM para cada riesgo analizado por los distintos aspectos metrológicos del sistema. Fuente: Elaboración propia

Aspecto metrológico	Riesgo	IRGM	Evaluación
Dirección	No medición de la eficacia y eficiencia de los procesos metrológicos del SGM por medio de indicadores,	0.18	Bajo
	Incumplimiento de los requisitos del cliente y otras parte interesadas que precisan de la medición para evaluar su conformidad	0.37	Moderado

	Incapacidad metrológica real de la organización que provoca el incumplimiento de los requisitos metrológicos,	0.44	Medio
	Incumplimiento con la planificación de la Confirmación Metrológica,	0.11	Bajo
Recursos	Incompetencia del personal en la medida en que evolucionan los puestos de trabajo debido a los cambios en los equipos de medición, etc,	0.49	Medio
	No validación y aprobación del uso de software que se utiliza para los procesos de confirmación metrológica y medición,	0.08	Alto
Operativos	Se adquieren, instalan, sustituyen y distribuyen Instrumentos de Medición en la Empresa sin informar al Especialista en Metrología para su control,	0.05	Bajo
	Adquisición y distribución por parte de organismos superiores de instrumentos de medición sin trazabilidad en el país y sin el Modelo de Aprobación otorgado por la ONN,	0.74	Alto
	No existencia de medios de embalaje para mover los instrumentos fuera de la empresa	0.65	Alto
	No asignación de presupuesto para el desarrollo de la actividad metrológica	0.48	Medio
	No se identifica el estado de calibración y/o verificación del equipo de medición,	0.06	Bajo
	Equipos sin calibrar y/o verificar,	0.85	Muy alto
	Desajustes en el establecimiento de los intervalos de calibración y /o verificación,	0.06	Bajo
	No planificación de la calibración y/o Verificación	0.13	Bajo
	Equipos de mediciones que no cumplen criterios de verificación metrológica,	0.6	Medio
	Inadecuada planificación de los intervalos de tiempo para la calibración y confirmación metrológica	0.13	Bajo
	No analizar los datos de calibraciones anteriores para poder optimizar los períodos de	0.21	Moderado

	calibración /conformación metrológica		
	No contar con los certificados de calibración/verificación	0.41	Medio
	No se estima la incertidumbre de medida para cada proceso de medición,	0.67	Alto
Mejora	No existencia de trazabilidad de los resultados del proceso de medición,	0.9	Muy alto
	No existe Sistema de medición y análisis para evaluar el desempeño o eficacia del sistema	0.51	Medio
	Insatisfacción del cliente en cuanto al cumplimiento de sus necesidades metrológicas.	0.25	Moderado
	Las auditorías internas no evidencian las fortalezas y debilidades del Sistema	0.071	Bajo
	No participación de la dirección en la evaluación del SGM,	0.079	Bajo
	Al tratarse una no conformidad de un equipo de medición dígase reparación, etc, no se vuelva a confirmar metrológicamente.	0.048	Bajo
	No se identifican los equipos no conformes.	0.3024	Moderado

La tabla anterior muestra el valor cuantitativo y cualitativo del IRGM de los riesgos analizados por aspecto metrológico, evidenciándose 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)

Los valores cuantitativo y cualitativo de los índices luego de implementar las mejoras se muestran en los **Anexos No.23**.

Se evidencian que disminuye el valor en el aspecto metrológico Operativo para el enfoque de materialización de los riesgos, aunque persiste con una evaluación de Moderado.

En el **Anexo No.24** se muestra el formato de reporte de los resultados de la presente investigación en aras de poder interpretarlos para la retroalimentación del SGM de la Refinería Cienfuegos S.A.

En la siguiente tabla se realiza la comparación de los índices IRM e IRGM antes y después de la implementación de los proyectos seis sigmas.

Tabla 3.18: Comparación de los índices antes y después de implementar las mejoras. Fuente: Elaboración propia.

Riesgo	IRM (Antes)	IRGM (Antes)	IRM (después)	IRGM (después)	IRAM (1)	IRAM (1) después	IRAM (2)	IRAM (2) después
18	0.56 (Medio)	0.41 (Medio)	0,28 (Moderado)	0,34 (Moderado)	0.23 (Moderado)	0.21 (Moderado)	0.22 (Moderado)	0.16 (Bajo)
19	0.42 (Medio)	0.67 (Alto)	0,315 (Moderado)	0,08 (Bajo)				
20		0.9 (Muy Alto)		0,48 (Medio)				
22		0.25 (Moderado)		0,16 (Bajo)	0.05 (Bajo)	0.05 (Bajo)	0.03 (Bajo)	0.02 (Bajo)

De la tabla anterior se evidencia el impacto de las mejoras en los riesgos identificados, lo que se refleja en la disminución del valor obtenido.

Paso 15: Cerrar y difundir el proyecto de mejora.

El objetivo de este último paso es asegurarse de que el proyecto de mejora es fuente de evidencia de logros, de aprendizaje y que sirva como herramienta de difusión.

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 parciales del capítulo

1. La aplicación del procedimiento propuesto en la organización objeto de estudio, demostró su factibilidad permitiendo concluir que: existen insuficiencias en la etapa de mejora, no se evalúa el desempeño del proceso de forma integral, así como la no utilización del pensamiento basado en riesgos para encaminar las mejoras y por consiguiente la retroalimentación.
2. La validación de los índices de riesgo metrológicos para la evaluación del desempeño del sistema de gestión de las mediciones en la Refinería Cienfuegos S.A, demostró su utilidad para identificar las prioridades y mejorar su desempeño, retroalimentar la planificación de su gestión, y establecer los indicadores para controlarla de forma sistemática.

Conclusiones Generales

CONCLUSIONES GENERALES

1. El procedimiento utilizado permitió realizar el diagnóstico inicial y evaluar el desempeño metrológico del sistema de gestión de las mediciones, en la Refinería Cienfuegos, 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, siendo el aspecto operativo 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 aspecto metrológico Operativo 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.

Recomendaciones

RECOMENDACIONES

- Establecer un seguimiento en la organización objeto de estudio de la aplicación de los índices propuestos para evaluar el desempeño metrológico, pues contribuirá a su perfeccionamiento.
- Desarrollar un estudio de jerarquización de los índices de riesgo metrológico a nivel de proceso.

Bibliografía

BIBLIOGRAFÍA

Abbas Shirazi, S. A., & Pintelon, L. (2012). Lean Thinking and Six Sigma: proven techniques in industry. Can they help health care? *International Journal of Care Pathways*, 16 (4), 160-167.

Aguilera, J. (2009). La gestión de riesgos laborales. Recuperado el 12 de mayo de 2018, de Gestiopolis.com: http://www.gestiopolis.com/organizacion-talento/gestion-de-riesgoslaborales.htm

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

Al-Refaie, A., & Bata, N. (2010). Evaluating measurement and process capabilities by GR&R with four quality measures *Measurement,* 43(6), 842-851.

Andrietta, J. M., & Miguel, P. A. C. (2007). Aplicação do programa Seis Sigma no Brasil: resultados de um levantamento tipo survey exploratório-descritivo e perspectivas para pesquisas futuras. *Gestão & Produção,* 14(No. 2), 203-219.

Antony, J. (2006). Six sigma for service processes. *Business Process Management Journal,* 12, 234-248.

Antony, J. (2013). What does the future hold for quality professionals in organisations of the twenty-first century? *The TQM Journal, 25*(6), 677-685.

Arias Carrazana, J. L. (2007). *Manual para la elaboración de un sistema de gestión de las mediciones en una empresa.* Tesis de Maestría. Universidad Central de Las Villas, Santa Clara.

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

Aubyn Salkey, M. (2008). *Procedimiento para la mejora de procesos, haciendo uso de las técnicas Lean Six Sigma, en el proceso de préstamos hipotecarios de Jamaica National Building Society.* Tesis de Maestría, Universidad de Cienfuegos, Cienfuegos.

Ayensa, I. (2009). Calidad Total. Recuperado el 18 de Diciembre de 2009, de http://www.elprisma.com/apuntes/apuntes.asp?categoria=101

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.

Bashiri, M., & Moslemi, A. (2013). The analysis of residuals variation and outliers to obtain robust response surface. *Journal of Industrial Engineering International,* 9(2).

Beck, U. (2002). La Sociedad del Riesgo Global. Madrid: Siglo XXI.

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.;González Gaya, C y Domingo Navas, R. (2007). Results of the application of an evaluation model and audit process for measurement management systems based on ISO 10012 in the framework of the environmental management systems in accordance with ISO 14001. Proceedings of the 2nd International Congress Energy and Environmental Engineering and Management. Badajoz.

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.

Bolaño Rodríguez, Y. (2011). Modelo de Administración de Riesgos para la Integración del Sistema de Dirección de la Empresa. Aplicación parcial en la Empresa Central de Equipos Cubiza (Tesis de maestría). Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría", Facultad de Ingeniería Industrial, La Habana, Cuba.

Boos, D. D., & Stefanski, L. A. (2011). P-Value Precision and Reproducibility. *The American Statistician,* 65(4), 213-221.

Brazzale, A. R., Galloni, P., Parazzini, M., Marino, C., & Ravazzani, P. (2010). Assessing repeatability and reproducibility using hierarchical modeling: A case - study of distortion product otoacoustic emissions. *Stat Methods Appl,* (19), 567-585.

Brearley, S. A. (1991). High-level Management and Disaster. *International Journal of Quality & Reliability Management, 8*(4).

Brito Gómez, Dania (2017). El Riesgo Empresarial. *Revista Universidad y Sociedad, 10(1).*

Brown, A. (2013). Quality: where have we come from and what can we expect? *The TQM Journal, 25*(6), 585-596.

Calia, R. C., & Guerrini, F. M. (2005). Projeto Seis Sigma para a implementação de software de programação. *Revista Produção,* 15(3), 322-333.

Cambra Díaz, A. (2014). *Mejora de la gestión de las mediciones en el proceso de Hidrofinación del Diesel en la Unidad de Negocios Refinería de Cienfuegos*. Tesis de Grado, Universidad de Cienfuegos, Cienfuegos.

Cano Zamora, D., y Mesa Salazar, V., (2015). Documentación de los requisitos de la norma técnica NTC-ISO 31000:2011 actualizada a la norma ISO 9001:2015 gestión del riesgo en la facultad de Ingenieria Industrial de la Universidad Tecnológica de Pereira Ingeniería Industrial. Pereira, Universidad Tecnológica de Pereira

Carrión García, A., & Grisales del Río, Á. (2013). Number of distinct data categories and gage repeatability and reproducibility. A double (but single) requirement. *Measurement,* 46(8), 2514-2518.

Carvajal, Y., & Kottow, M. (2012). Metrología de la incertidumbre: un estudio de las estadísticas vitales en Chile y Brasil. *Cad. Saúde Pública, Rio de Janeiro, 28*(11), 2063-2075.

Catá Salgado, Y. (2006). *Metodología para la consideración de la incertidumbre en la integración de procesos en la industria azucarera y sus derivados.* Tesis de Doctorado, Universidad Central de Las Villa, Santa Clara.

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

Coronado, A. M. y Prieto, L. P. (2015). *Gestión del Riesgo Lineamiento No. 1* .Subdirección de Gestión de Calidad de los Laboratorios de Salud Pública Dirección de Redes en Salud Pública Instituto Nacional de Salud. Colombia.

Correa, A., y Burgos, C., (2007). Diseño e implementación de una metodología estadística para ensayos de producto terminado en Cementos El Cairo S.A. *Revista Dyna,* (151), 195-207.

Cortés Reyes, É., Rubio Romero, J. A., & Gaitán Duarte, H. (2010). Métodos estadísticos de evaluación de la concordancia y la reproducibilidad de pruebas diagnósticas. *Revista Colombiana de Obstetricia y Ginecología, 61*(3), 247-255.

Cruz Quesada, D. (2011). La calidad como cultura, estrategia de futuro para la empresa cubana. *Revista Cubana de Ingeniería*, 3 (II), 45-48.

Cruz Ramírez, M. (2009). El Método Delphi en las investigaciones Educacionales. La Habana. Editorial Academia.

Dağlioğlu, G., İnal, T., & Aksoy, K. (2009). Altı Sigma Nedir? *ARŞİV,* (18), 132-139.

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 no. 183. (1998). De la Metrología. 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.

Draghici, M., & Petcu, A. J. (2010). TQM and Six Sigma – the Role and Impact on Service Organization. *The Romanian Economic Journal,*(36), 123-135.

Eckes, G. (2003). *Six Sigma For Everyone.* United States of American: John Wiley & Sons, Inc.

Eicholtz, M. R., Caspall, J. J., Sprigle, S., & Ferri, A. (2012). Test method for empirically determining inertial properties of manual wheelchairs. *JRRD, 49*(1), 51-62.

European Association of National Metrology Institutes. (2013). Boletín de EURAMET. (No.8).

Fernandes, M. M., & Turrioni, J. B. (2007). Seleção de projetos Seis Sigma: aplicação em uma indústria do setor automobilístico. *Revista Produção,* 17(3), 579-591.

Fine, W. (2001). Evaluación Matemática para el Control de Riesgos. Recuperado el 26 de abril de 2018, de preventionworld: http://www.preventionworld.com

Franco Fernández, J., Hugues Muñoz, A., Estevéz Alonso, A., Mendoza Sánchez, R., Hernández Apaceiro, M., & Sánchez Martínez, H. (2014). *Proyecto de aseguramiento metrológico de las mediciones de productos claros en CUPET*. La Habana: Memorias del 9no Simposio Internacional "Metrología 2014".

Fundación MAPFRE. (2008). Gerencia de Riesgos. *MAPFRE Seguridad* (100), pp.28-51.

Galvania, L. R., & Carpinettib, L. C. (2013). Análise comparativa da aplicação do programa Seis Sigma em processos de manufatura e serviços. *Produção,* 23(4), 695-704.

García Guerra, Y. (2014). *Aplicación de la Metodología Seis Sigma para el mejoramiento de la calidad de las reparaciones, en la Agencia SASA Villa Clara.* Tesis de Maestría, Universidad de Villa Clara, Villa Clara.

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.

Gonçalves Amitrano, F., Amodio Estorilío, C. C., Franzosi Bessa, L. & Hatakeyama, K. (2015). Six Sigma application in small enterprise. *Concurrent Engineering*.

González Camps, A., & Reyes Ponce, Y. (2014). *Sistema de gestión de las mediciones para los laboratorios farmacéuticos NOVATEC*. La Habana: Memorias del 9no Simposio Internacional "Metrología 2014".

Goodman, E. (2012). Information Analysis: A Lean and Six Sigma case study. *Business Information Review*, 29 (2), 105-110.

Gremyr, I., & Fouquet, J.-B. (2012). Design for Six Sigma and lean product development. *International Journal of Lean Six Sigma, 3*(1), 45-58.

Guadalupe Echeverría, V. R. (2008). *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.* Tesis de Maestría. Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil. Ecuador.

Gutiérrez Pulido, H. (2010). *Calidad Total y Productividad.* México: McGraw-Hill.

Gutiérrez Pulido, H., & de la Vara Salazar, R. (2004). *Control Estadístico de la Calidad y Seis Sigma*. México: McGraw-Hill.

Gutiérrez Pulido, H., & de la Vara Salazar, R. (2008). *Análisis y Diseño de Experimentos*. México: McGraw-Hill.

Gygi, C., DeCarlo, N., & Williams, B. (2005). *Six Sigma for Dummies*. United States of America: Wiley Publishing. Inc.

Hajipour, V., Kazemi, A., & Mousavi, S. M. (2013). A fuzzy expert system to increase accuracy and precision in measurement system analysis. *Measurement,* 46(8), 2770-2780.

Hamada, M. S., & Borror, C. M. (2012). Analyzing unreplicated gauge R&R studies. *Quality Engineering,* 24(4), 543-551.

Hernández Rivero, A. T., Oropesa Verdecia, P., Serra Águila, R. A., & Moreno León, Y. (2012). Aseguramiento metrológico en la producción y uso de radiofármacos. *Nucleus,*(52).

Hernández Santana, M. (2012). *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 Negocios Refinería de Cienfuegos.* Tesis de Maestría, Universidad de Cienfuegos, Cienfuegos.

Hoerl, R. W. (2001). Six sigma black belts: what do they need to know? *Journal of Quality Technology,* 33(4), 391-406.

Huang, C.F., Chen, K. S., Sheu, C.H. & Hsut, T. S. (2010). Enhancement of Axle Bearing Quality in Sewing Machines Using Six Sigma. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*, 224 (10), 1581-1590.

Ingelsson. P., & Martensson, A. (2014). Measuring the importance and practices of Lean values. *The TQM Journal,* 26(5), 463-474.

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

John, A., Meran, R., Roenpage, O., & Staudter, C. (2008). *Six Sigma + Lean Toolset*. Germany: Library of Congress.

Kumar, S. & McKewan, G. W. (2011). Six Sigma DMAIC Quality Study: Expanded Nurse Practitioner's Role in Health Care During and Posthospitalization Within the United States. *Home Health Care Management & Practice*, 23 (4), 271-282.

Kwun Wanga, F., & Wen Yang, C. (2007). Applying principal component analysis to a GR&R study *Journal of the Chinese Institute of Industrial Engineers,* 24(2), 182-189.

Lertwattanapongchai, S., & Swierczek, F.W. (2014). Assessing the change process of Lean Six Sigma: a case analysis. *International Journal of Lean Six Sigma,* 5(4).

Llamosa, L. E., Milton, F. & Villareal, C. (2011). La importancia de la metrología como tema transversal en la formación en ciencias básicas. *Scientia Et Technica,* 17(47), 158-162.

López Moreda, L. (2010). Tecnología para la Evaluación del Desempeño Ambiental de empresas hoteleras basada en índices de riesgo. Caso- Varadero. Tesis doctoral, Matanzas: Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos".

Machado García, F. (2013*). Mejora de la gestión de las mediciones en el proceso de Tratamiento y Almacenamiento del Turbo combustible Jet A1, en la Unidad de Negocios Refinería de Cienfuegos*. Tesis de Grado, Universidad de Cienfuegos, Cienfuegos.

Martínez Hernández, T. (2014). *Mejora de la gestión de las mediciones en el proceso de recepción, manipulación y entrega de gas licuado del petróleo en la Unidad de Negocio Refinería.* Tesis de Grado. Universidad de Cienfuegos, Cienfuegos.

Marín Rodríguez, M. A. (2015). *Evaluación de la incertidumbre de medición en los sistemas de medición fiscal y transferencia de custodia en la Unidad de Negocio Refinería.* Tesis de Grado. Universidad de Cienfuegos, Cienfuegos.

Maxitana, J. D., y Naranjo, B. A. (2009). Administración de Riesgos de tecnología de información de una empresa del sector informático. Documento de trabajo. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Colombia. Consultado el 29-05-2016. Disponible en www.dspace.espol.edu.ec

McAdam, R., Antony, J., Kumar, M. & Hazlett, S. (2014). Absorbing new knowledge in small and medium-sized enterprises: A multiple case analysis of Six Sigma. *International Small Business*, 32 (1), 81-109.

McCarty, T., Bremer, M., Daniels, L., & Gupta, P. (2004). *The Six Sigma Black Belt Handbook*. Motorola University: McGraw-Hill.

Mejías Sánchez, Y., Morales Suarez, I. & Perera Vandrell, S. (2015). Bases legales y proyecciones de desarrollo de la metrología en el Sistema Nacional de Salud. *Revista Cubana de Salud Pública,* 41 (1), 172-177.

Melo Crespo, J. C. (2015). *Gestion del riesgo. Teoria y practica en la empresa*. La Habana: Editorial Academia.

Mergulhão R. C., & Martins A. (2008). Relação entre sistemas de medição de desempenho e projetos Seis Sigma: estudo de caso múltiplo. *Produção,* v.18, n. 2, maio/ago, p.342-358.

Montgomery, D. C. (1991). Diseño y análisis de experimentos. México: Grupo Editorial Iberoamérica.

Myszewski, J. M. (2013). On improvement story by 5 whys. *The TQM Journal,* 25(4), 371-383.

NC OIML V2: 2012 Vocabulario 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 para líquidos 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 14001: 2015 Sistemas de Gestión Ambiental. Requisitos con orientación para su uso. [ISO 14001:2015, (traducción certificada), IDT]. ONN, La Habana, Cuba. (publicada por la ISO en 2015)

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: 2015 Gestión 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: 2015 Gestión 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: 2018 Sistemas 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)

Oramas Pérez, A. (2014). Calibración y verificación: ¿Qué tan útiles y compatibles son? La Habana: Memorias del 9no Simposio Internacional “Metrología 2014”.

Osorio Gómez, J. C., Herrera Umaña,M. F.y Vinasco, M. A., (2008). "Modelo para la evaluación del desempeño de los proveedores utilizando AHP." Ingeniería & Desarrollo 23: 43-58.

Ospina Gutiérrez, L.M., Botero Arboláez, M., & Mendoza Vargas, J.A. (2008). Importancia de la metrología al interior de las empresas para el aseguramiento de la calidad. *Scientia Et Technica,* 14(38), 289-292.

Pacheco González, V. (2008). *Procedimiento de aforo y cálculo de incertidumbre en tanques horizontales de cabezas planas, inclinados y con centros de medición desplazados.* Tesis de Maestría, Universidad de Cienfuegos, Cienfuegos.

Panat, R., Dimitrova, V., Selvamuniandy, T.S., Ishiko, K., & Sun, D. (2014). The application of Lean Six Sigma to the configuration control in Intel´s manufacturing R&D environment. *International Journal of Lean Six Sigma,* 5(4).

Pérez Lorence, P. (2014) Procedimiento para mejorar la gestión de tecnologías de la información en el sector empresarial cubano. Universidad Central 'Marta Abreu de Las Villas.

Pinto, S. H. B., & Carvalho, M. M. (2006). Implementação de programas de qualidade: um survey em empresas de grande porte no Brasil. *Gestão & Produção,* 13(2), 191-203.

Pryseley, A., Mintiens, K., Knapen, K., Van der Stede, Y., & Molenberghs, G. (2010). Estimating precision, repeatability, and reproducibility from gaussian and data: a mixed models approach. *Journal of Applied Statistics,* 37(10), 1729-1747.

QUINIMET. (2006) ¿Qué es un estudio de Riesgo Ambiental? Recuperado el 19 de mayo de 2018, de e-industria: http://www.eindustria.com/ar0/ar_%25E1%2594%2560%25CENx%25FD%2527.htm

Ramírez Barrera, A., F. (2011). *Diseño de procedimiento para la calibración de electrocardiógrafos que imprimen papel de ECG*. La Habana: Memorias del VIII Simposio Internacional Metrología 2011.

Ramírez Castro, A., & Ortiz Bayona, Z. (2011). Gestión de Riesgos tecnológicos basada en ISO 31000 e ISO 27005 y su aporte a la continuidad de negocios. *Ingeniería, 16*(2), pp 56-66.

Real Pérez, G. L. (2011). Modelo y Procedimientos para la intervención ergonómica en las camareras de piso del Sector Hotelero. Caso Varadero, Cuba. Tesis doctoral, Matanzas: Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos".

Reosekar, R.S., & Pohekar, S.D. (2014). Six Sigma methodology: A structured review. *International Journal of Lean Six Sigma,* 5(4).

Reyes Aguilar, P. (2002). Manufactura delgada (Lean) y Seis Sigma en empresas mexicanas: experiencias y reflexiones. *Revista Contaduría y Administración,* (205), 51-69.

Reyes Ponce, Y. (2007). No hay control sin mediciones de calidad. *Normalización,* (1), 43-49.

Reyes Ponce, Y., & Hernández Leonard, A. R. (2014). Instituto Nacional de Investigaciones en Metrología: Cincuenta años de aseguramiento a la economía cubana. *Normalización,* (1), 6-13.

Reyes Ponce, Y., Álvarez Vasallo, L., & Hernández Leonard, A. R. (2011). Importancia de la metrología y su repercusión en el desarrollo. *Revista Anales de la Academia de Ciencias de Cuba,* Vol. 1, no.1, pp. 1 – 9. [consulta:2013-01-24]. Disponible en: <http://www.revistaccuba.cu/index.php/acc/article/viewFile/99/83>

Reyes Ponce, Y., Hernández Leonard, A. R., & Hernández Ruíz, A. D. (2013). *Metrología para la Vida*. La Habana: Editorial Científico-Técnica.

Ridder, L.V., Hakvoort, W. B, Dijk, J. V., Lotters, J.C., & Boer, A. (2014). Quantification of the influence of external vibrations on the measurement error of a Coriolis mass-flow meter. *Flow Measurement and Instrumentation,* 40, 39-49.

Román Acosta, A. A. (2014). *Evaluación de la calidad de las mediciones en el sistema de medición fiscal y transferencia de custodia por ducto en la Unidad de Negocio Refinería de Cienfuegos.* Tesis de Grado. Universidad de Cienfuegos, Cienfuegos.

Saaty, T (2005). *Decision Making for Leaders: The Analytic Hierarchy Process for Leaders.* pp. 1-10.

Sanders, D., & Hild, C. R. (2001). Common myths about Six Sigma. *Quality Engineering,* 13(2), 269-276.

Santoya Achón, R., & Coello Reina, A. (2011). *Uso de los materiales de referencia para la trazabilidad de las mediciones físico químicas en la industria farmacéutica*. La Habana. Memorias del VIII Simposio Internacional Metrología 2011.

Sarache Castro, W. A., Costa-Salas, Y. J., Martínez-Giraldo, J. P., (2015). Evaluación del desempeño ambiental bajo enfoque de cadena de abastecimiento verde. *Revista Dyna* 82(189).

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

Schroeder, R. G., Linderman, K., Liedtke, C., & Choo, A. S. (2007). Six sigma: definition and underlying theory. *Journal of Operations Management*.

Singh, J., kumar, A., Dilawar Sharma, N., & Bandyopadhyay, A. K. (2011). Reliability and long term stability of a digital pressure gauge (DPG) used as a standard. A case study. *MAPAN-Journal of Metrology Society of India,* 26(2), 115-124.

Singh, M., & Rathi, R. (2018). A structured review of Lean Six Sigma in various industrial sectors. *International Journal of Lean Six Sigma.* https://doi.org/10.1108/IJLSS-03-2018-0018

Solaguren - Beascoa Fernández, M., Ortega López, V., & Serrano López, R. (2013). On the uncertainty evaluation for repeated measurements. *MAPAN-Journal of Metrology Society of India*.

Solminihac, H., Bustos, M., Echaveguren.Tomás., Chamorro, A., & Vargas, S. (2012). Desarrollo conceptual de un sistema integrado para el control de calidad en mediciones de resistencia al deslizamiento. *Revista Ingeniería de Construcción,* 27(1), 75-92.

Toscana Aparicio, A., Hernández Canales, P. J. (2017). Gestión de riesgos y desastres socioambientales. El caso de la mina Buenavista del cobre de Cananea. *Revista Investigaciones Geográficas, 93*.

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

Upton, M. T. y Cox, C. (2002). Lean Six Sigma: A Fusion of Pan-Pacific Process Improvement. Six Sigma quality resources for achieving Six Sigma results. Unpublished document. last retrieved on march 7, 2008 from http://www.isixsigma.com/library/downloads/LeanSixSigma.pdf

Valencia Cárdenas, M., y Restrepo Morales, J. A., (2016). Evaluación de la gestión financiera usando variables latentes en modelos estocásticos de fronteras eficientes. *Revista DYNA,* 83(199).

Viña Rodríguez, L., Rodríguez Hernández, A. G., Hernández Apaulaza, R., Solozabal Armestrong, J., Martín Abreu, V., & Gómez Peña, T. (2013). *Calidad de ensayos y calidad de procesos en la biotecnología*. La Habana: Memorias del 8vo Simposio "Calidad 2013".

Warpole, R. E., Myers, R. H., Myers, S. L., y Ye, K. (2012).Probabilidad y Estadística para Ingeniería y Ciencia. México: Editorial Pearson.

Wang, T., & Baker, R. (2014). Coriolis flowmeters: a review of developments over the past 20 years, and an assessment of the state of the art and likely future directions. *Flow Measurement and Instrumentation,* 40, 99-123.

Xiaofen, T. (2013). Investigation on quality management maturity of Shanghai enterprises. *The TQM Journal,* 25(4), 417-430.

Zaror, C. (2000). Capítulo 11. Principios de análisis de riesgo para la industria de procesos. *Introducción a la ingeniería ambiental para la industria de procesos.* pp. 11-1 - 11-64. Santiago de Chile: Universidad Católica.

Zawiah Md Dawa, S., 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.

Anexos

ANEXOS

Anexo No.1

Comparación de las metodologías de mejoramiento analizadas. Fuente: (Adaptado de Upton y Cox, 2002 y Singh y Rathi, 2018)

Aspectos	BPR	Seis Sigma
Consideraciones por el factor humano	No se estima la resistencia al cambio de los empleados dentro de la organización	La activa participación del factor humano y una dirección adecuada es esencial para la mejora de los procesos en la industria
Monitorear los beneficios financieros	No presenta métodos efectivos de monitoreo de los beneficios financieros	Contiene indicadores de beneficios financieros
Alineamiento estratégico de procesos	A veces los proyectos no están aun completamente alineados con los procesos estratégicos	Alineación estratégica, está relacionada con el incremento de la calidad del producto y la satisfacción del cliente
Mejoramiento esperado	Cambio radical es prometido pero no presenta un método que indique el nivel esperado de mejoramiento del nuevo proceso	Reducción en el proceso de 3,4 defectos por millón de oportunidades
La efectividad en el desarrollo del método	No provee un camino efectivo que focalice los esfuerzos de mejoramiento sobre las restricciones de la organización	Contiene una prueba de cinco pasos del método de despliegue

Anexo No.2

Encuesta a los expertos para evaluar su coeficiente de competencia. Fuente: (Cruz Ramírez, 2009).

Estimado(a) colega:

Como usted conoce, uno de los aspectos que necesita atención dentro del sistema de gestión de las mediciones, es el pensamiento basado en riesgos. Con este fin el equipo de trabajo conformado para la investigación ha confeccionado un listado de posibles riesgos a tener en cuenta para evaluar el desempeño del sistema de gestión de las mediciones en el sector de la energía.

Para comenzar el estudio se desea obtener de los riesgos identificados los de mayor nivel de importancia. Atendiendo a su experiencia profesional, se solicita su disposición de colaborar y su valoración al respecto. Agradecemos su valiosa colaboración y nos disculpamos por ocupar su preciado tiempo.

1. Marque con una X, en una escala creciente del 1 al 10, el valor que se corresponda con el grado de conocimiento o información que tenga sobre la gestión de riesgos, en especial dentro de la gestión de las mediciones.

Escala	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Experto											

2- Realice una autovaloración, según la tabla siguiente, de sus niveles de conocimiento sobre el pensamiento basado en riesgos aplicado a los sistemas de gestión de las mediciones.

Argumentación	**A(Alto)**	**M (Medio)**	**B (Bajo)**
Análisis teóricos realizados por usted en la temática tratada			
Experiencia obtenida			
Trabajo de autores nacionales			
Trabajo de autores extranjeros			
Su propio conocimiento del estado del problema en el extranjero			
Su intuición			

Anexo No.3

Cálculo del coeficiente de competencia de los expertos. Fuente: Elaboración propia.

Expertos	Ka	Kc	K=1/2(Ka+Kc)	Clasificación
1	0,8	0,9	0,85	Alto
2	0,8	1,0	0,9	Alto
3	0,7	0,6	0,65	Medio
4	0,8	0,9	0,85	Alto
5	0,8	0,8	0,8	Medio
6	0,8	0,7	0,75	Medio
7	0,8	0,9	0,85	Alto
8	0,5	0,6	0,55	Medio

Como se observa de los 8 expertos evaluados cuatro clasifican en el nivel alto y el resto en medio. De ellos 5 son especialistas en metrología pertenecientes a empresas del sector energético y los tres restantes, profesionales con larga experiencia en el sector y vinculados directamente a la gestión de las mediciones de sus entidades.

Anexo No.4

Selección del listado final de riesgos para el sistema mediante el método Delphi. Fuente: Elaboración propia a partir de las tablas de salida del software SPSS.

Rangos

	Rango promedio
No integración de los procesos metrológicos con el resto de los procesos de la organización	6,88
No medición de la eficacia y eficiencia de los procesos metrológicos del SGM por medio de indicadores.	26,50
No relación entre los objetivos del SGM y el resto de los procesos medidos	5,75
Incumplimiento de los requisitos del cliente y otras parte interesadas que precisan de la medición para evaluar su conformidad	28,44
Incapacidad metrológica real de la organización que provoca el incumplimiento de los requisitos metrológicos.	28,38
Incumplimiento con la planificación de la Confirmación Metrológica.	26,50
Incompetencia del personal en la medida en que evolucionan los puestos de trabajo debido a los cambios en los equipos de medición, etc.	24,75
No validación y aprobación del uso de software que se utiliza para los procesos de confirmación metrológica y medición.	17,44
Se adquieren, instalan, sustituyen y distribuyen Instrumentos de Medición en la Empresa sin informar al Especialista en Metrología para su control.	25,31
Adquisición y distribución por parte de organismos superiores de instrumentos de medición sin trazabilidad en el país y sin el Modelo de Aprobación otorgado por la ONN.	19,25
No existencia de medios de embalaje para mover los instrumentos fuera de la empresa	24,75
No asignación de presupuesto para el desarrollo de la actividad metrológica	14,44
No se establece adecuadamente el rango de calibración y/o verificación.	6,31
No se determina la identificación del estado de calibración y/o verificación del equipo de medición.	23,00
Equipos sin calibrar y/o verificar.	25,25
Desajustes en el establecimiento de los intervalos de calibración y /o verificación.	28,44
No planificación de la calibración y/o Verificación.	23,75
No presencia de patrones para la calibración y/o verificación.	10,56
Equipos de mediciones que no cumplen criterios de verificación metrológica.	25,44
Inadecuada planificación de los intervalos de tiempo para la calibración y confirmación metrológica.	21,19
Fundamentación empírica de los intervalos de calibración/conformación metrológica.	7,44
No analizar los datos de calibraciones anteriores para poder optimizar los períodos de calibración /conformación metrológica.	28,44
Realizar ajustes entre dos calibraciones.	6,00
No contar con los certificados de calibración/verificación.	26,63
No se definen los controles para impedir mediciones erróneas.	3,75
No se estima la incertidumbre de medida para cada proceso de medición.	28,38
No existencia de trazabilidad de los resultados del proceso de medición.	27,06
Ocurrencia de accidentes cuando se transportan los instrumentos de medición desde los laboratorios que reparan, calibran o verifican	7,69
No existe Sistema de medición y análisis para evaluar el desempeño o eficacia del sistema.	28,31

Insatisfacción del cliente en cuanto al cumplimiento de sus necesidades metrológicas.	21,94
No utilizar la información de los clientes y otras partes interesadas como fuente para la mejora del Sistema de Gestión de las Mediciones.	30,19
Las auditorías internas no evidencian las fortalezas y debilidades del Sistema.	17,50
No participación de la dirección en la evaluación del SGM	30,19
No se cuenta con indicadores que reflejan la situación y desempeño de Sistema de Gestión de las Mediciones.	5,69
Al tratarse una no conformidad de un equipo de medición dígase reparación, etc, no se vuelva a confirmar metrológicamente.	26,50
No existe evidencia de acciones correctivas y preventivas ante el tratamiento del equipo no conforme.	5,06
No se identifican los equipos no conformes.	24,75
No dar seguimiento y cierre en tiempo a las no conformidades detectadas	15,69
Incumplimiento en el plan de auditorías internas	26,50

Estadísticos de prueba

N	8
W de Kendall[a]	,713
Chi-cuadrado	216,794
gl	38
Sig. asintótica	,000

a. Coeficiente de concordancia de Kendall

Anexo No.5

Riesgos metrológicos e indicadores de seguimiento. Fuente: Elaboración propia.

Aspecto metrológico	Riesgo	Indicador de seguimiento
	No medición de la eficacia y eficiencia de los procesos metrológicos del SGM por medio de indicadores.	Indicador de eficacia del SGM (Instrumentos, metodologías, listas de chequeos, según la entidad)
	Incumplimiento de los requisitos del cliente y otras parte interesadas que precisan de la medición para evaluar su conformidad	Grado de satisfacción de los requisitos del cliente interno y externo (Instrumentos, metodologías, escalas evaluativas)
	Incapacidad metrológica real de la organización que provoca el incumplimiento de los requisitos metrológicos.	% de cumplimiento de los requisitos metrológicos establecidos por la organización (Evaluación de la conformidad, listas de chequeos)
	Incumplimiento con la planificación de la Confirmación Metrológica.	% de cumplimiento de los planes de calibración y/o verificación
Gestión de los recursos humanos, materiales y de información del SGM	Incompetencia del personal en la medida en que evolucionan los puestos de trabajo debido a los cambios en los equipos de medición,etc.	$\frac{\text{Cantidad de trabajadores con evaluación del desempeño sin señalamiento metrológ}}{\text{Cantidad total de trabajadores}}$
	No validación y aprobación del uso de software que se utiliza para los procesos de confirmación metrológica y medición.	$\frac{\text{Cantidad de sofware validados}}{\text{total de software}} x100$
	Se adquieren, instalan, sustituyen y distribuyen Instrumentos de Medición en la Empresa sin informar al Especialista en Metrología para su control.	*Cantidad de equipos y/o instrumentos adquiridos e instalados que no se hayan inventariado por el especialista en metrología*
	Adquisición y distribución por parte de organismos superiores de instrumentos de medición sin trazabilidad en el país y sin el Modelo de Aprobación otorgado por la ONN.	*Cantidad de equipos y/o instrumentos adquiridos y distribuidos por organismos superiores sin trazabilidad en el país*
	No existencia de medios de embalaje para mover los instrumentos fuera de la empresa	$\frac{\text{Cantidad de equipos y } instrumentos\ con\ embalaje}{\text{total de equipos}} x100$
	No asignación de presupuesto para el	Aprobación del presupuesto

	desarrollo de la actividad metrológica	
Operativos	No se identifica el estado de calibración y/o verificación del equipo de medición.	$\frac{Cantidad\ de\ equipos\ de\ medición\ que\ no\ tienen\ identificado\ su\ estado\ de\ calibración\ {}^{y}/_{o}\ verificación}{Total\ de\ equipos} x100$
	Equipos sin calibrar y/o verificar.	$\frac{Cantidad\ de\ equipos\ a\ calibrar\ {}^{y}/_{o}\ verificar\ en\ el\ período}{Total\ de\ equipos} x100$
	Desajustes en el establecimiento de los intervalos de calibración y /o verificación.	*Evidencia de cumplimiento del establecimiento en los intervalos de calibración y/o verificación*
	No planificación de la calibración y/o Verificación.	*Evidencia de la elaboración de planes de calibración y/o verificación*
	Equipos de mediciones que no cumplen criterios de verificación metrológica.	*Total de equipos que no cumplen con el criterio de confirmación metrológica*
	Inadecuada planificación de los intervalos de tiempo para la calibración y confirmación metrológica.	*Evidencia de la fundamentación de lo intervalos de tiempo para la confirmación metrológica (Procedimientos, metodologías)*
	No analizar los datos de calibraciones anteriores para poder optimizar los períodos de calibración /conformación metrológica.	*Evidencia en la optimización de los período de confirmación metrológica*
	No contar con los certificados de calibración/verificación .	$\frac{cantidad\ de\ certificados\ de\ calibración\ y\ verificación\ en\ el\ período}{Total\ de\ certificados\ en\ el\ príodo\ según\ plan} x100$
	No se estima la incertidumbre de medida para cada proceso de medición.	*Cantidad de procesos que poseen estimada la incertidumbre de medición*
	No existencia de trazabilidad de los resultados del proceso de medición.	$\frac{Cantidad\ de\ equipos\ \text{sin}\ trazabilidad\ en\ los\ procesos\ de\ medición}{Total\ de\ equipos} x100$
Análisis y mejora del sistema de Gestión de las Mediciones	No existe Sistema de medición y análisis para evaluar el desempeño o eficacia del sistema.	*Evidencia de herramienta utilizada para evaluar desempeño o eficacia del sistema*
	Insatisfacción del cliente en cuanto al cumplimiento de sus necesidades metrológicas.	*Grado de satisfacción de los clientes en cuanto al cumplimiento de sus necesidades metrológicas*
	No utilizar la información de los clientes y otras partes interesadas como fuente para la mejora del Sistema de Gestión de las Mediciones.	*Evidencia de registro de criterios de los clientes insertados dentro de las mejoras del SGM*

	Las auditorías internas no evidencian las fortalezas y debilidades del Sistema.	$\frac{Cantidad\ de\ auditorías\ realizadas\ en\ el\ príodo\ dende\ se\ definen\ las\ fortalezas\ y\ debilidades\ del\ SGM}{Total\ de\ auditorías\ planificadas\ en\ el\ príodo} x100$
	No participación de la dirección en la evaluación del SGM	$Cantidad\ de\ evaluación\ al\ SGM\ donde\ participe\ la\ dirección$
	Al tratarse una no conformidad de un equipo de medición dígase reparación, etc, no se vuelva a confirmar metrológicamente.	$\frac{Cantidad\ de\ equipos\ reparados\ que\ se\ le\ ha\ vuelto\ a\ realizar\ la\ confirmación\ metrológica}{Total\ de\ equipos\ reparados} x100$
	No se identifican los equipos no conformes.	$\frac{Cantidad\ de\ equipos\ no\ conforme\ identificados}{Total\ de\ equipos}$x100
	No dar seguimiento y cierre en tiempo a las no conformidades detectadas	$\frac{Cantidad\ de\ no\ conformidades\ cerradas}{Total\ de\ no\ conformidades} x100$
	Incumplimiento en el plan de auditorías internas	$\frac{Cantidad\ auditorías\ internas\ realizadas\ en\ el\ período}{Total\ de\ auditorías\ internas\ planificadas} x100$

Anexo No.6

Causas ponderadas según el software SuperDecisions. Fuente: Elaboración propia.

Riesgo	Causa	Ponderaciones según SuperDesicions C (i)
No medición de la eficacia y eficiencia de los procesos metrológicos del SGM por medio de indicadores.	No tener definidos los indicadores de eficacia	0,055307
	Negligencia del personal.	0,109138
	Falta de capacitación del personal.	0,552411
	No tener implantado el SGM.	0,283144
Incumplimiento de los requisitos del cliente y otras parte interesadas que precisan de la medición para evaluar su conformidad	El prestador no tiene en cuenta los requisitos del cliente ni de otras partes interesadas	0,213099
	El cliente no preestableció los requisitos metrológicos al solicitar el servicio.	0,137895
	No existe relación contractual con los clientes. Utilización de instrumentos no adecuados	0,502216
	Equipos no calibrados y/o verificados o fuera de fecha	0,044723
	Roturas, fallas, no mantenimientos de los equipos.	0,069104
Incapacidad metrológica real de la organización que provoca el incumplimiento de los requisitos metrológicos.	Selección incorrecta de instrumentos de medida.	0,032963
	No se identifican los procesos de medición.	0,032963
	Que no se gestiones la trazabilidad de las mediciones	0,630093
Incumplimiento con la planificación de la Confirmación Metrológica.	El cliente no entrega los instrumentos de medida para su calibración/verificación	0,108472
	No trazabilidad de los patrones nacionales.	0,261434
	Mala coordinación de los planes de mantenimientos	0,133625
	No estar disponible personal, laboratorios, patrones, etc.	0,57808
Incompetencia del personal en la medida en que evolucionan los puestos de trabajo debido a los cambios en los equipos de medición, etc.	No capacitar al personal.	0,060047
	La alta dirección no cumple con su compromiso.	0,065515
	Adiestramiento en las nuevas tecnologías.	0,141356
	Cambios brusco en la tecnología	0,263531
No validación y aprobación del uso de software que se utiliza para los procesos de confirmación metrológica y medición.	El software no se ha propuesto para su aprobación.	0,529598
	Falta de capacitación del personal.	0,258273
	Utilización de software propiedad de firmas no reconocidas o acreditadas	0,104728
Se adquieren, instalan, sustituyen y distribuyen Instrumentos de Medición en la Empresa sin informar al Especialista en Metrología para su	Negligencia del personal.	0,636999
	No están se han establecido en los procedimientos.	0,464819
	No se cumplen los procedimientos.	0,269873

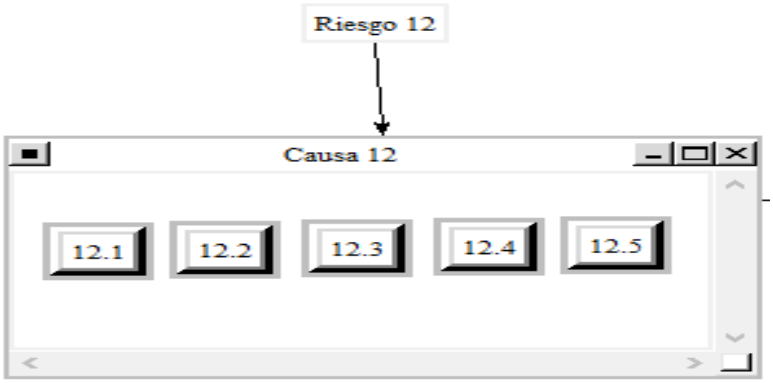
control.	No dictaminar por metrología como área técnica los instrumentos de medición	0,143936
	Instrumentos que no poseen registro en bases de datos	0,075792
Adquisición y distribución por parte de organismos superiores de instrumentos de medición sin trazabilidad en el país y sin el Modelo de Aprobación otorgado por la ONN.	No tener en cuenta las Disposiciones de la ONN.	0,045579
	Instrumentos sin respaldo metrológico en el país	0,666667
No existencia de medios de embalaje para mover los instrumentos fuera de la empresa.	Falta de capacitación del personal	0,333333
	Falta de financiamiento para la compra de los medios de embalaje	0,75
	Rotura de los medios de embalaje con que cuenta la empresa.	0,25
No asignación de presupuesto para el desarrollo de la actividad metrológica	No planificar los gastos.	0,593634
	No contar con financiamiento.	0,157056
	Mala distribución del presupuesto cdo se realiza la demanda anual.	0,24931
No se identifica el estado de calibración y/o verificación del equipo de medición.	No se ha calibrado/verificado el instrumento de medida.	0,648329
	Pérdida o deterioro de las marcas de control.	0,229651
	Falta de cultura metrológica	0,12202
Equipos sin calibrar y/o verificar.	El propietario del instrumento no lo envía a calibrar/verificar	0,253492
	No existe presupuesto para la calibración/verificación	0,094561
	No existe trazabilidad.	0,147414
	No contar con laboratorios acreditados	0,057543
	Incumplimiento de los planes de calibración y/o verificación	0,44699
Desajustes en el establecimiento de los intervalos de calibración y /o verificación.	Falta de capacitación del personal.	0,27635
	No se cumplen con los períodos de calibración.	0,128271
	No existencia de estadísticas y registros de los instrumentos con necesidades de confirmación metrológica.	0,595379
No planificación de la calibración y/o Verificación.	Falta de capacitación del personal	0,086322
	Negligencia de la función metrológica	0,142792
	Falta de exigencia de la alta dirección	0,506768
	No realización de auditorías internas	0,264118
Equipos de mediciones que no cumplen criterios de verificación metrológica.	Pérdida de las características metrológicas del instrumento de medida.	0,8
Inadecuada planificación de los intervalos de tiempo para la calibración y confirmación metrológica.	Falta de capacitación del personal	0,142857
	Negligencia de la función metrológica	0,285714
	Falta de exigencia de la alta dirección	0,571429
No analizar los datos de calibraciones anteriores para poder optimizar los períodos de calibración /conformación	Falta de capacitación del personal.	0,258285
	Negligencia del personal	0,104729

metrológica.	Falta de experiencia	0,636986
No contar con los certificados de calibración/verificación	No calibrar/verificar los instrumentos de medida	0,292801
	No conservar los certificados de calibración después de calibrados/verificados.	0,113737
	No exigir los certificados de calibración/verificación a los prestadores de servicio.	0,071547
	Falta de responsabilidad del propietario del equipo	0,521915
No se estima la incertidumbre de medida para cada proceso de medición.	Falta de capacitación del personal que realiza las mediciones.	0,648329
	Falta de conocimiento del personal a cargo	0,229651
	Complejidad en los sistemas para estimar la incertidumbre	0,12202
No existencia de trazabilidad de los resultados del proceso de medición.	No trazabilidad de patrones nacionales e internacionales	0,75
	No poseer financiamiento para la calibración de patrones en el exterior.	0,25
No existe Sistema de medición y análisis para evaluar el desempeño o eficacia del sistema.	No se planifica.	0,12202
	La Alta Dirección no cumple con su compromiso de darle seguimiento al Sistema.	0,229651
	No existe identificados los indicadores de eficacia	0,648329
Insatisfacción del cliente en cuanto al cumplimiento de sus necesidades metrológicas	El prestador no tiene en cuenta los requisitos del cliente	1
No utilizar la información de los clientes y otras partes interesadas como fuente para la mejora del Sistema de Gestión de las Mediciones.	Falta de capacitación del personal.	0,142857
	Negligencia del personal.	0,285714
	No existe retroalimentación con el cliente.	0,571429
Las auditorías internas no evidencian las fortalezas y debilidades del Sistema	No se documentan las auditorías internas	0,333333
	No se realizan las auditorías internas	0,666666
No participación de la dirección en la evaluación del SGM.	La alta dirección no se siente comprometida con el Sistema	1
Al tratarse una no conformidad de un equipo de medición dígase reparación, etc., no se vuelva a confirmar metrológicamente	Las características metrológicas del instrumento no cumplen con los requisitos del proceso de medida.	0,258273
	Negligencia del personal	0,636999
	Falta de capacitación del personal	0,104728
No se identifican los equipos no conformes.	No se controlan los instrumentos de medida.	0,333333
	No se controla el estado de los instrumentos de medida.	0,666667
No dar seguimiento y cierre en tiempo a las no conformidades detectadas	No se realizan las auditorías de seguimiento	1
Incumplimiento en el plan de auditorías internas	Negligencia de la función metrológica	1

Anexo No.7

Ponderación según SuperDecision para el riesgo: Equipos sin calibrar y/o verificar.

Fuente: Elaboración propia.



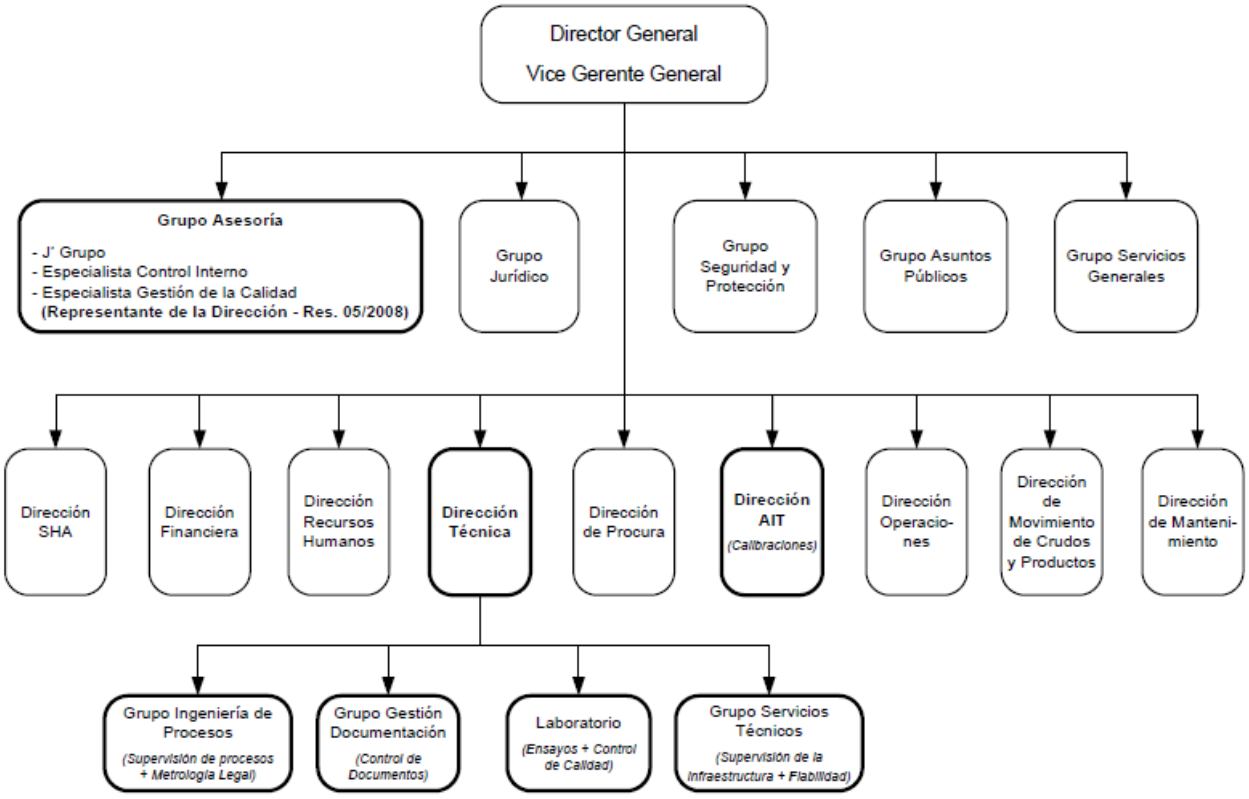
1.	12.1	>=9.5	9	8	7	6	5	4	**3**	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	12.2
2.	12.1	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	**2**	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	12.3
3.	12.1	>=9.5	9	8	7	6	5	**4**	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	12.4
4.	12.1	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	**2**	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	12.5
5.	12.2	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	**2**	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	12.3
6.	12.2	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	**2**	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	12.4
7.	12.2	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	**4**	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	12.5
8.	12.3	>=9.5	9	8	7	6	5	4	**3**	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	12.4
9.	12.3	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	**4**	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	12.5
10.	12.4	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	**6**	7	8	9	>=9.5	No comp.	12.5

The inconsistency index is 0.0160. It is desirable to have a value of less than 0.1

12.1	0.253492
12.2	0.094561
12.3	0.147414
12.4	0.057543
12.5	0.446990

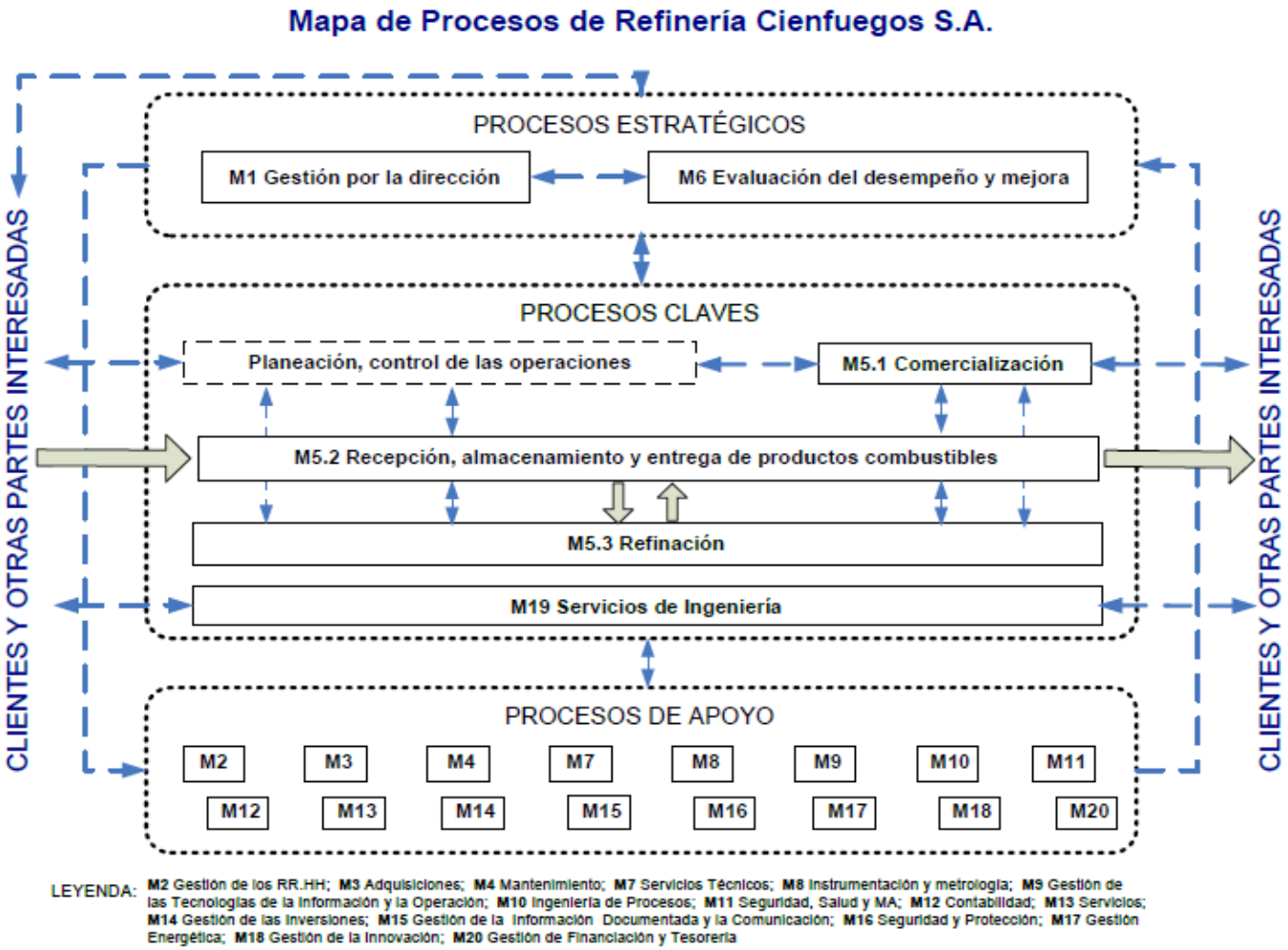
Anexo No.8

Estructura organizativa Refinería Cienfuegos S.A. Fuente: Refinería Cienfuegos S.A.



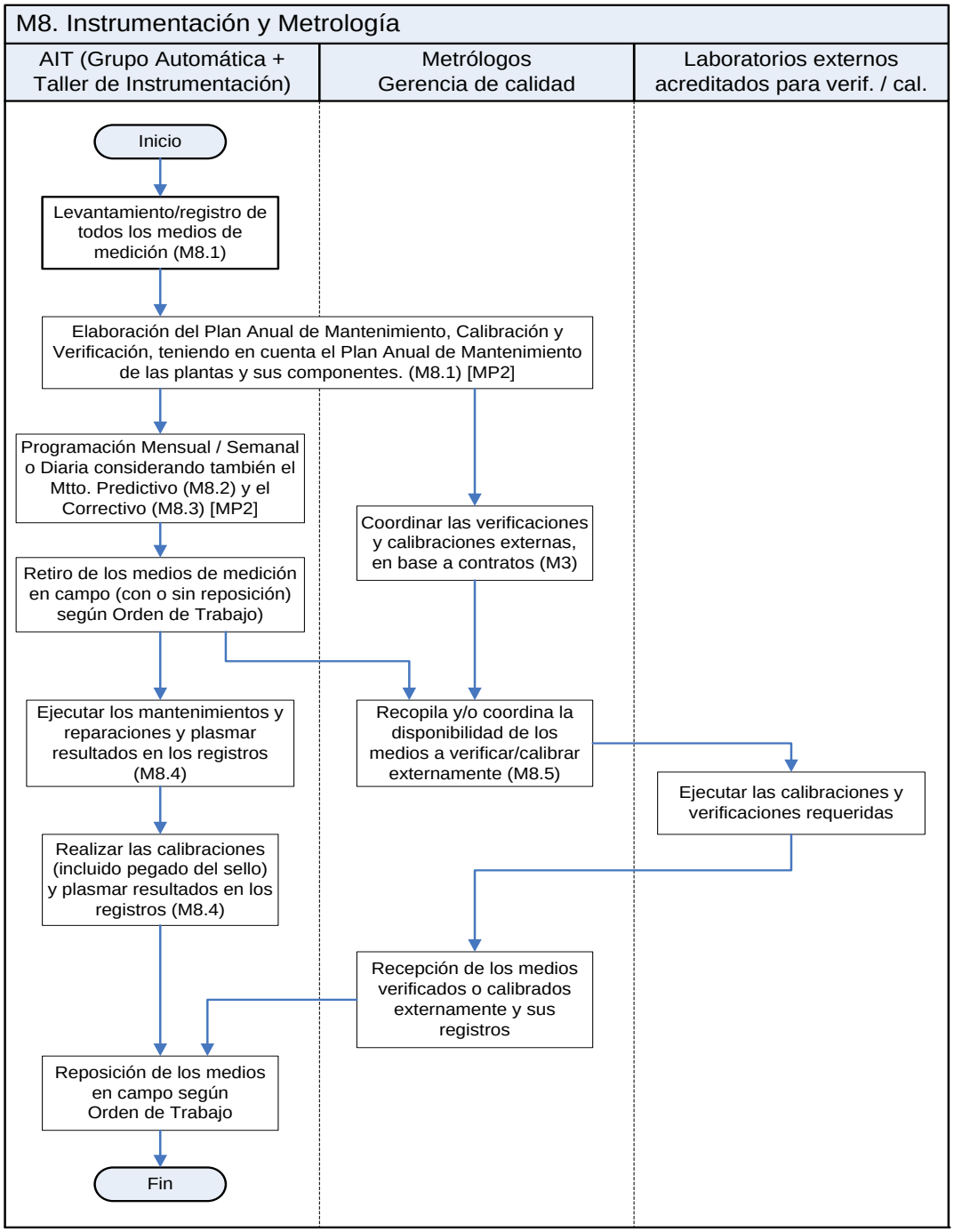
Anexo No.9

Mapa de los procesos de la Refinería Cienfuegos S.A. Fuente: Refinería Cienfuegos S.A.



Anexo No.10

Diagrama de flujo del proceso de Instrumentación y Metrología. Fuente: Refinería Cienfuegos S.A.



Ficha del proceso Instrumentación y Metrología. Fuente: Elaboración propia.

PROCESO: Instrumentación y Metrología.	**Propietario:** Gerente de Calidad y Gerente de AIT.
Misión: Garantizar el mantenimiento, verificación y calibración de los medios de medición.	
Documentación: • Decreto Ley 183 • Disposición General DG:01 • RF-DT-P-13-05 "Proceso de control de los dispositivos de seguimiento y medición" • RF-DAIT-IT-11-08 " Instrucción para la calibración de manómetros y manovacuómetros, de deformación elástica, indicadores de trabajo.	
Alcance: • **Empieza:** Con el levantamiento de todos los instrumentos y equipos de toda la empresa. • **Incluye:** Valoración, estudios, elaboración de planes de mejora, mantenimiento, calibración y gestión de la verificación e inspecciones a diferentes niveles. • **Termina:** Con el equipo disponible.	
Entradas: • Instrumentos • Documentación y accesorios • Contratos • Plan de calibración • Plan de verificación • Plan de mantenimiento **Proveedores:** • M3 • M4 • M5.2 • M5.3 • M5.4 • M6 • M7 • M10	

- M11
- Jurídico

Salidas:

- Instrumentos calibrados
- Órdenes de trabajo
- Certificados de calibración
- Servicio de verificación
- Instrumento verificado
- Certificado de verificación
- Servicio de mantenimiento
- Instrumento reparado

Clientes:

- M3
- M4
- M5.2
- M5.3
- M5.4
- M6
- M7
- M10
- M11
- Instrumentistas
- Calibrador
- Especialista en metrología
- Departamento de Economía

Inspecciones:

- Técnicas

Registros:

- Recepción y entrega.
- Registro de calibración.
- Registro de reparación.
- Registro de verificación.
- RRF- DT-P-13-05-02 “Control de Equipos de Inspección, Medición y Ensayo”.
- RRF- DT-P-13-05-01 “Plan de Verificación/ Calibración”.
- RRF-DAIT-IT-11-08-01 “Registro de Calibración del instrumento”

Variables de Control:	**Indicadores:**
• Cantidad de equipos calibrados, verificados y reparados.	• Cumplimiento del plan de calibración • Cumplimiento del plan de verificación • Cumplimiento del plan de mantenimiento

Anexo No.11
Relación de documentos legales. Fuente: Elaboración propia.

Código	Título
Decreto Ley No. 182:1998	De Normalización y Calidad
Decreto Ley No. 183: 1998	De la Metrología
Decreto No. 270 :2001	Reglamento del Decreto Ley de Metrología
Decreto No. 271 :2001	Contravenciones en Metrología
Decreto Ley No. 62:1982	Sobre la implantación del Sistema Internacional de Unidades
NC ISO/IEC 17025:2017	Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración.
NC ISO/IEC Guía 2: 2005	Normalización y Actividades relacionadas. Vocabulario General
NC ISO 9001:2015	Sistemas de gestión de la calidad -Requisitos
NC OIML D-19: 1994	Evaluación de modelo y aprobación de modelo
NC OIML D-9: 1995	Principios de supervisión metrológica
NC OIML D-12: 1995	Campos de aplicación de los instrumentos de medición sujetos a verificación.
DG- 01: 2015	Instrumentos de medición sujetos a verificación obligatoria y a aprobación de modelo según los campos de aplicación donde serán utilizados.
DG-03:2000	Documentación para los patrones de referencias
NC OIML D-16: 1998	Principios del aseguramiento del control metrológico.
NC OIML D-20: 1995	Verificación inicial y posterior de los procesos e instrumentos de medición
OIML R -79 : 1997	Requisitos para el etiquetado de los productos preenvasados.
DG-05:2000	Disposición para la supervisión metrológica
DG -06:2011	Uso de sellos y certificados de verificación, calibración y reporte de mediciones.
OIML D-15 : 1994	Principios de selección de las características para el examen de instrumentos de medición comunes.
OIML D-8: 1996	Principios concernientes a la selección, reconocimiento oficial, uso y conservación de los patrones de medición.
NC ISO 10012: 2007	Sistemas de gestión de las mediciones
ISO 7507 -1,2,3	Calibración de tanques verticales
OIML D-3: 1995	Calibración legal de los instrumentos de medición
OIML D-5: 1996	Principios para el establecimiento de los esquemas de jerarquía para los instrumentos de medición
OIML D-10: 1996	Guía para la calibración de los intervalos de recalibración de los equipos de medición utilizados en laboratorios de ensayo
OIML D-18 :1996	Principios generales para el uso de los materiales de referencias en las mediciones.

NC ISO 45001: 2018	Seguridad y salud en el trabajo. Sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo. Requisitos.
NC-ISO 19011:2002	Directrices para la auditoría de los sistemas de gestión de la calidad y/o ambiental
NC ISO 14001:2015	Sistemas de gestión ambiental. Requisitos con orientación para su uso.
NC-ISO/IEC 17020:1999	Criterios generales para la operación de los diferentes tipos de órganos que realizan inspecciones.
NC ISO 14031/2005	Evaluación de Desempeño Ambiental.
NC 857-2: 2013	Organización y ejecución de programas de aseguramiento metrológico-Parte 2.
NC OIML-117:2009	Sistema dinámico de medición de líquidos diferentes de agua.
NC 994:2015	Condiciones y requisitos técnicos para la medición fiscal y transferencia de custodia.
DIM 01:2013	Disposición interna de ferrocisternas.
DIM 05:2014	Disposición interna sobre termómetros digitales.
NC 918:2012	Metros contadores para líquidos diferentes de agua.
NC 919:2012	Recipientes para transacciones comerciales.
DIM 04:2012	Disposición interna sobre camiones cisternas.
NC – Guía 1066:2015	Guía para la expresión de incertidumbre de medición.
DG-10: 2014	Política de Trazabilidad Metrológica
NC 1065:2015	Sistemas automáticos de medición de nivel en tanques estacionarios de almacenamiento – Métodos y equipos de verificación
NC 1066:2015	Guía para la expresión de incertidumbre de medición
Guía 857-1: 2011	Organización y ejecución de programas de aseguramiento metrológico. Parte 1: Diagnóstico metrológico a la documentación de proyectos de inversiones
NC-OLML-V2:2012	Vocabulario internacional de metrología. Conceptos fundamentales y generales, y términos asociados (VIM)
NC-OIML-R71:2002	Tanques fijos de almacenamiento. Requisitos generales
Disposición Interna DIM-14/2015	Errores máximos permitidos en la verificación de tanques aéreos o soterrados.
NC 1171:2017	Aforo de tanques móviles. Métodos y equipos de verificación.

Anexo No.12

Riesgos identificados por aspecto metrológico dentro del SGM de la Refinería Cienfuegos S.A.

Fuente: Elaboración propia.

Aspecto metrológico	Riesgo
Responsabilidad de la dirección ante el SGM	No medición de la eficacia y eficiencia de los procesos metrológicos del SGM por medio de indicadores.
	Incumplimiento de los requisitos del cliente y otras parte interesadas que precisan de la medición para evaluar su conformidad
	Incapacidad metrológica real de la organización que provoca el incumplimiento de los requisitos metrológicos.
	Incumplimiento con la planificación de la Confirmación Metrológica.
Gestión de los recursos humanos, materiales y de información del SGM	Incompetencia del personal en la medida en que evolucionan los puestos de trabajo debido a los cambios en los equipos de medición,etc.
	No validación y aprobación del uso de software que se utiliza para los procesos de confirmación metrológica y medición.
	Se adquieren, instalan, sustituyen y distribuyen Instrumentos de Medición en la Empresa sin informar al Especialista en Metrología para su control.
	Adquisición y distribución por parte de organismos superiores de instrumentos de medición sin trazabilidad en el país y sin el Modelo de Aprobación otorgado por la ONN.
	No existencia de medios de embalaje para mover los instrumentos fuera de la empresa
	No asignación de presupuesto para el desarrollo de la actividad metrológica
Operativos	
	No se identifica el estado de calibración y/o verificación del equipo de medición.
	Equipos sin calibrar y/o verificar.
	Desajustes en el establecimiento de los intervalos de calibración y /o verificación.
	No planificación de la calibración y/o Verificación.
	Equipos de mediciones que no cumplen criterios de verificación metrológica.
	Inadecuada planificación de los intervalos de tiempo para la calibración y confirmación metrológica.
	No analizar los datos de calibraciones anteriores para poder optimizar los períodos de calibración /conformación metrológica.
	No contar con los certificados de calibración/verificación.
	No se estima la incertidumbre de medida para cada proceso de medición.
	No existencia de trazabilidad de los resultados del proceso de medición.
Análisis y mejora del sistema de Gestión de las Mediciones	No existe Sistema de medición y análisis para evaluar el desempeño o eficacia del sistema.
	Insatisfacción del cliente en cuanto al cumplimiento de sus

	necesidades metrológicas.
	No utilizar la información de los clientes y otras partes interesadas como fuente para la mejora del Sistema de Gestión de las Mediciones.
	Las auditorías internas no evidencian las fortalezas y debilidades del Sistema.
	No participación de la dirección en la evaluación del SGM
	Al tratarse una no conformidad de un equipo de medición dígase reparación, etc, no se vuelva a confirmar metrológicamente.
	No se identifican los equipos no conformes.
	No dar seguimiento y cierre en tiempo a las no conformidades detectadas
	Incumplimiento en el plan de auditorías internas

Anexo No. 13

Calculo de los indicadores de seguimiento cuantitativos anuales para el período 2014-2017. Fuente: Elaboración propia.

Indicador	2014	2015	2016	2017
4	100 %	100 %	100 %	100 %
5	100 %	100 %	100 %	100 %
6	100 %	100 %	100 %	100 %
7	58	42	27	13
8	414	412	412	410
9	0 %	0 %	0 %	0 %
11	0 %	0 %	0 %	0 %
15	412	412	412	412
19	0 %	0 %	0 %	0 %
20	3.15 %	3.15 %	3.15 %	3.15 %
24	100 %	100 %	100 %	100 %
25	2	2	2	3
26	100 %	100 %	100 %	100 %
27	2.88 %	2.30 %	1.92 %	1.38 %
28	100 %	100 %	100 %	100 %
29	100 %	100 %	100 %	100 %

Cálculo de los indicadores de seguimiento cuantitativos por trimestre del año 2017. Fuente: Elaboración propia.

Indicador	Primer trimestre	Segundo trimestre	Tercer Trimestre	Cuarto Trimestre
1	100 %	100 %	100 %	100 %
2	100 %	100 %	100 %	100 %
3	100 %	100 %	100 %	100 %
12	100 %	100 %	100 %	100 %
18	100 %	100 %	100 %	100 %
22	100 %	100 %	100 %	100 %

Anexo No.14

Límites de referencia para cada indicador de seguimiento de los riesgos identificados. Fuente: Elaboración propia.

Aspecto metrológico	Riesgo	Indicador de seguimiento	Límite de referencia
	No medición de la eficacia y eficiencia de los procesos metrológicos del SGM por medio de indicadores.	Indicador de eficacia del SGM (Instrumentos, metodologías, listas de chequeos, según la entidad)	N/P
	Incumplimiento de los requisitos del cliente y otras parte interesadas que precisan de la medición para evaluar su conformidad	Grado de satisfacción de los requisitos del cliente interno y externo (Instrumentos, metodologías, escalas evaluativas)	N/P
	Incapacidad metrológica real de la organización que provoca el incumplimiento de los requisitos metrológicos.	% de cumplimiento de los requisitos metrológicos establecidos por la organización (Evaluación de la conformidad, listas de chequeos)	N/P
	Incumplimiento con la planificación de la Confirmación Metrológica.	% de cumplimiento de los planes de calibración y/o verificación	100 %
Gestión de los recursos humanos, materiales y de información del SGM	Incompetencia del personal en la medida en que evolucionan los puestos de trabajo debido a los cambios en los equipos de medición, etc.	$\frac{\text{Cantidad de trabajadores con evaluación del desempeño sin señalamiento metrológico}}{\text{Cantidad total de trabajadores}} x100$	100 %
	No validación y aprobación del uso de software que se utiliza para los procesos de confirmación metrológica y medición.	$\frac{\text{Cantidad de sofware validados}}{\text{total de software}} x100$	100%
	Se adquieren, instalan, sustituyen y distribuyen Instrumentos de Medición en la Empresa sin informar al Especialista en Metrología para su control.	*Cantidad de equipos y/o instrumentos adquiridos e instalados que no se hayan inventariado por el especialista en metrología*	0 %
	Adquisición y distribución por parte de organismos superiores de instrumentos de medición sin trazabilidad en el país y sin el Modelo de Aprobación otorgado por la ONN.	*Cantidad de equipos y/o instrumentos adquiridos y distribuidos por organismos superiores sin trazabilidad en el país*	0 %
	No existencia de medios de embalaje para mover los instrumentos fuera de la empresa	$\frac{\text{Cantidad de equipos y } instrumentos\ con\ embalaje}{\text{total de equipos}} x100$	100%
	No asignación de presupuesto para el desarrollo de la actividad metrológica	Aprobación del presupuesto	N/P

Operativos	No se identifica el estado de calibración y/o verificación del equipo de medición.	$\frac{Cantidad\ de\ equipos\ de\ medición\ que\ no\ tienen\ identificado\ su\ estado\ de\ calibración\ {}^{y}/_{o}\ verificación}{Total\ de\ equipos} x100$	
	Equipos sin calibrar y/o verificar.	$\frac{Cantidad\ de\ equipos\ a\ calibrar\ {}^{y}/_{o}\ verificar\ en\ el\ período}{Total\ de\ equipos} x100$	0%
	Desajustes en el establecimiento de los intervalos de calibración y /o verificación.	*Evidencia de cumplimiento del establecimiento en los intervalos de calibración y/o verificación*	100%
	No planificación de la calibración y/o Verificación.	*Evidencia de la elaboración de planes de calibración y/o verificación*	N/P
	Equipos de mediciones que no cumplen criterios de verificación metrológica.	*Total de equipos que no cumplen con el criterio de confirmación metrológica*	N/P
	Inadecuada planificación de los intervalos de tiempo para la calibración y confirmación metrológica.	*Evidencia de la fundamentación de lo intervalos de tiempo para la confirmación metrológica (Procedimientos, metodologías)*	0
	No analizar los datos de calibraciones anteriores para poder optimizar los períodos de calibración /conformación metrológica.	*Evidencia en la optimización de los período de confirmación metrológica*	N/P
	No contar con los certificados de calibración/verificación	$\frac{Cantidad\ de\ certificados\ de\ calibración\ y\ verificación\ en\ el\ período}{Total\ de\ certificados\ en\ el\ período\ según\ plan} x100$	N/P
	No se estima la incertidumbre de medida para cada proceso de medición.	*Cantidad de procesos que poseen estimada la incertidumbre de medición*	100%
	No existencia de trazabilidad de los resultados del proceso de medición.	$\frac{Cantidad\ de\ equipos\ \mathrm{sin}\ trazabilidad\ en\ los\ procesos\ de\ medición}{Total\ de\ equipos}$	100%
Análisis y mejora del sistema de Gestión de las Mediciones	No existe Sistema de medición y análisis para evaluar el desempeño o eficacia del sistema.	*Evidencia de herramienta utilizada para evaluar desempeño o eficacia del sistema*	0%
	Insatisfacción del cliente en cuanto al cumplimiento de sus necesidades metrológicas.	*Grado de satisfacción de los clientes en cuanto al cumplimiento de sus necesidades metrológicas*	N/P
	No utilizar la información de los clientes y otras partes interesadas como fuente para la mejora del Sistema de Gestión de las Mediciones.	*Evidencia de registro de criterios de los clientes insertados dentro de las mejoras del SGM*	100%
	Las auditorías internas no evidencian las fortalezas y debilidades del Sistema.	$\frac{Cantidad\ de\ \ auditorias\ realizadas\ en\ el\ período\ dende\ se\ definen\ las\ fortalezas\ y\ debilidades\ del\ SGM}{Total\ de\ auditorías\ planificadas\ en\ el\ período} x100$	N/P
	No participación de la dirección en la evaluación del SGM	$Cantidad\ de\ \ evaluación\ al\ \ SGM\ donde\ participe\ la\ dirección$	100%

	Al tratarse una no conformidad de un equipo de medición dígase reparación, etc, no se vuelva a confirmar metrológicamente.	$\frac{Cantidad\ de\ \ equipos\ reparados\ que\ se\ le\ ha\ vuelto\ a\ realizar\ la\ confirmación\ metrológica}{Total\ de\ equipos\ reparados} x100$	Anual
	No se identifican los equipos no conformes.	$\frac{Cantidad\ de\ equipos\ no\ conforme\ identificados}{Total\ de\ equipos}$x100	100%
	No dar seguimiento y cierre en tiempo a las no conformidades detectadas	$\frac{Cantidad\ de\ no\ conformidades\ cerradas}{Total\ de\ no\ conformidades} x100$	0%
	Incumplimiento en el plan de auditorías internas	$\frac{Cantidad\ auditorías\ internas\ realizadas\ en\ el\ período}{Total\ de\ auditorías\ internas\ planificadas} x100$	100%

Anexo No.15

Valores de probabilidad (Pr) para cada riesgo evaluado por indicadores cuantitativos.

Fuente: Elaboración propia.

Aspecto metrológico	Riesgo	Pr
Dirección	No medición de la eficacia y eficiencia de los procesos metrológicos del SGM por medio de indicadores.	0
	Incumplimiento de los requisitos del cliente y otras parte interesadas que precisan de la medición para evaluar su conformidad	0
	Incapacidad metrológica real de la organización que provoca el incumplimiento de los requisitos metrológicos.	0
	Incumplimiento con la planificación de la Confirmación Metrológica.	0
Gestión de los recursos humanos, materiales y de información del SGM	Incompetencia del personal en la medida en que evolucionan los puestos de trabajo debido a los cambios en los equipos de medición,etc.	0
	No validación y aprobación del uso de software que se utiliza para los procesos de confirmación metrológica y medición.	0
	Se adquieren, instalan, sustituyen y distribuyen Instrumentos de Medición en la Empresa sin informar al Especialista en Metrología para su control.	1
	Adquisición y distribución por parte de organismos superiores de instrumentos de medición sin trazabilidad en el país y sin la Aprobación del Modelo otorgado por la ONN.	1
	No existencia de medios de embalaje para mover los instrumentos fuera de la empresa	1
Operativos	No se identifica el estado de calibración y/o verificación del equipo de medición.	0
	Equipos sin calibrar y/o verificar.	0
	Equipos de mediciones que no cumplen criterios de confirmación metrológica	1
	No contar con los certificados de calibración/verificación.	0
	No se estima la incertidumbre de medida para cada proceso de medición.	0
	No existencia de trazabilidad de los resultados del proceso de medición.	0
Análisis y mejora del sistema de Gestión de las Mediciones	Insatisfacción del cliente en cuanto al cumplimiento de sus necesidades metrológicas.	0
	Las auditorías internas no evidencian las fortalezas y debilidades del Sistema.	0
	No participación de la dirección en la evaluación del SGM	0
	Al tratarse una no conformidad de un equipo de medición dígase reparación, etc, no se vuelva a confirmar metrológicamente.	0
	No se identifican los equipos no conformes.	0
	No dar seguimiento y cierre en tiempo a las no conformidades detectadas	0
	Incumplimiento en el plan de auditorías internas	0

Anexo No.16

Valores de probabilidad (Pr) para cada riesgo evaluado por indicadores cualitativos.

Fuente: Elaboración propia.

Aspecto metrológico	Riesgo	Pr
Gestión de los recursos humanos, materiales y de información del SGM os	No asignación de presupuesto para el desarrollo de la actividad metrológica	0,5
Operativos	Desajustes en el establecimiento de los intervalos de calibración y /o verificación.	0.5
	No planificación de la calibración y/o Verificación.	0,5
	Inadecuada planificación de los intervalos de tiempo para la calibración y confirmación metrológica.	0.5
	No analizar los datos de calibraciones anteriores para poder optimizar los períodos de calibración /conformación metrológica.	0.5
Análisis y mejora del sistema de Gestión de las Mediciones	No existe Sistema de medición y análisis para evaluar el desempeño o eficacia del sistema.	1
	No utilizar la información de los clientes y otras partes interesadas como fuente para la mejora del Sistema de Gestión de las Mediciones.	0,5

Anexo No. 17

Cálculo del coeficiente de gestión metrológica de cada riesgo identificado en la Refinería Cienfuegos SA. Fuente: Elaboración propia.

Riesgo	Causa	V (c)	C (i)	V (c)* C (i)	Cm
No medición de la eficacia y eficiencia de los procesos metrológicos del SGM por medio de indicadores,	No tener definidos los indicadores de eficacia	1	0,055307	0,055307	0,7353804
	Negligencia del personal,	0,6	0,109138	0,0654828	
	Falta de capacitación del personal,	0,6	0,552411	0,3314466	
	No tener implantado el SGM,	1	0,283144	0,283144	
Incumplimiento de los requisitos del cliente y otras parte interesadas que precisan de la medición para evaluar su conformidad	El prestador no tiene en cuenta los requisitos del cliente ni de otras partes interesadas	0,8	0,213099	0,1704792	0,884906
	El cliente no preestableció los requisitos metrológicos al solicitar el servicio,	0,8	0,137895	0,110316	
	No existe relación contractual con los clientes,	1	0,502216	0,502216	
	Utilización de instrumentos no adecuados	0,6	0,044723	0,0268338	
	Equipos no calibrados y/o verificados o fuera de fecha	0,8	0,069104	0,0552832	
	Roturas, fallas, no mantenimientos de los equipos,	0,6	0,032963	0,0197778	
Incapacidad metrológica real de la organización que provoca el incumplimiento de los requisitos metrológicos,	Selección incorrecta de instrumentos de medida,	1	0,032963	0,032963	0,7498336
	No se identifican los procesos de medición,	1	0,630093	0,630093	
	Que no se gestiones la trazabilidad de las mediciones	0,8	0,108472	0,0867776	
Incumplimiento con la planificación de la Confirmación Metrológica,	El cliente no entrega los instrumentos de medida para su calibración/verificación	0,6	0,261434	0,1568604	0,6973804
	No trazabilidad de los patrones nacionales,	1	0,133625	0,133625	
	Mala coordinación de los planes de mantenimientos	0,6	0,57808	0,346848	
	No estar disponible personal, laboratorios, patrones, etc,	1	0,060047	0,060047	
Incompetencia del personal en la medida en que evolucionan los puestos de trabajo debido a los cambios en los equipos de medición, etc,	No capacitar al personal,	1	0,065515	0,065515	1
	La alta dirección no cumple con su compromiso,	1	0,141356	0,141356	
	Adiestramiento en las nuevas tecnologías,	1	0,263531	0,263531	
	Cambios brusco en la tecnología	1	0,529598	0,529598	
No validación y aprobación del uso de	El software no se ha propuesto para su aprobación,	1	0,258273	0,258273	0,9581088

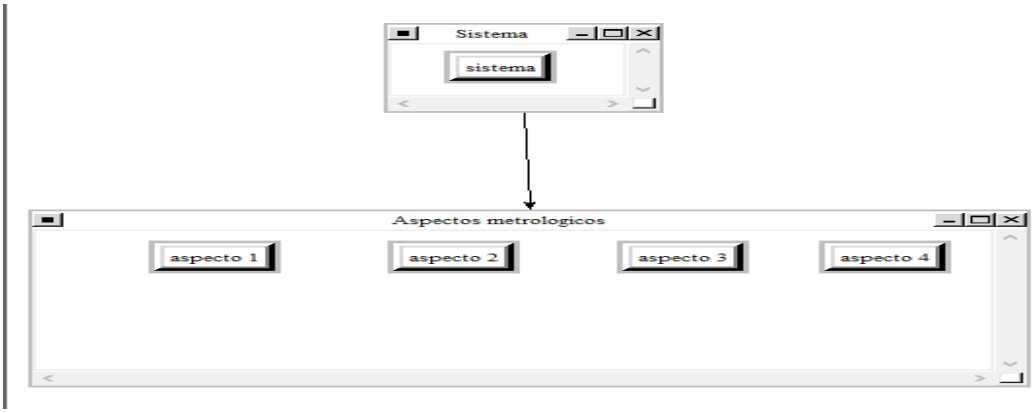
software que se utiliza para los procesos de confirmación metrológica y medición,	Falta de capacitación del personal,	0,6	0,104728	0,0628368	
	Utilización de software propiedad de firmas no reconocidas o acreditadas	1	0,636999	0,636999	
Se adquieren, instalan, sustituyen y distribuyen Instrumentos de Medición en la Empresa sin informar al Especialista en Metrología para su control,	Negligencia del personal,	0,6	0,464819	0,2788914	0,687364
	No están se han establecido en los procedimientos,	0,8	0,269873	0,2158984	
	No se cumplen los procedimientos,	0,6	0,143936	0,0863616	
	No dictaminar por metrología como área técnica los instrumentos de medición	0,8	0,075792	0,0606336	
	Instrumentos que no poseen registro en bases de datos	1	0,045579	0,045579	
Adquisición y distribución por parte de organismos superiores de instrumentos de medición sin trazabilidad en el país y sin el Modelo de Aprobación otorgado por la ONN,	No tener en cuenta las Disposiciones de la ONN,	1	0,666667	0,666667	0,9333334
	Instrumentos sin respaldo metrológico en el país	0,8	0,333333	0,2666664	
No existencia de medios de embalaje para mover los instrumentos fuera de la empresa,	Falta de capacitación del personal	0,6	0,75	0,45	0,6
	Falta de financiamiento para la compra de los medios de embalaje	0,6	0,25	0,15	
No asignación de presupuesto para el desarrollo de la actividad metrológica	No planificar los gastos,	1	0,593634	0,593634	0,950138
	No contar con financiamiento,	1	0,157056	0,157056	
	Mala distribución del presupuesto cdo se realiza la demanda anual,	0,8	0,24931	0,199448	
No se identifica el estado de calibración y/o verificación del equipo de medición,	No se ha calibrado/verificado el instrumento de medida,	1	0,648329	0,648329	0,8593316
	Pérdida o deterioro de las marcas de control,	0,6	0,229651	0,1377906	
	Falta de cultura metrológica	0,6	0,12202	0,073212	
Equipos sin calibrar y/o verificar,	El propietario del instrumento no lo envía a calibrar/verificar	1	0,253492	0,253492	0,7981868
	No existe presupuesto para la calibración/verificación	1	0,094561	0,094561	
	No existe trazabilidad,	1	0,147414	0,147414	
	No contar con laboratorios acreditados	0,6	0,057543	0,0345258	
	Incumplimiento de los planes de calibración y/o verificación	0,6	0,44699	0,268194	
Desajustes en el	Falta de capacitación del personal,	0,6	0,27635	0,16581	0,8381516

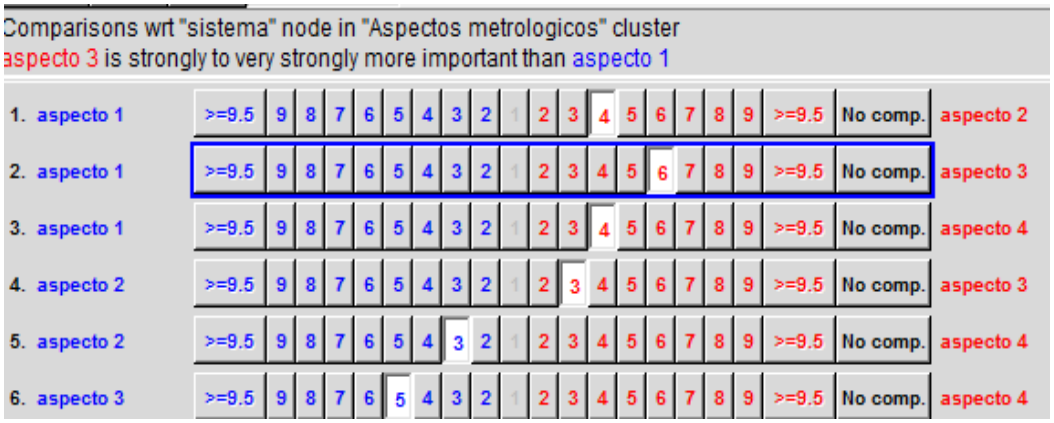
establecimiento de los intervalos de calibración y /o verificación,	No se cumplen con los períodos de calibración,	0,6	0,128271	0,0769626	
	No existencia de estadísticas y registros de los instrumentos con necesidades de confirmación metrológica,	1	0,595379	0,595379	
No planificación de la calibración y/o Verificación,	Falta de capacitación del personal	0,6	0,086322	0,0517932	0,9369128
	Negligencia de la función metrológica	0,8	0,142792	0,1142336	
	Falta de exigencia de la alta dirección	1	0,506768	0,506768	
	No realización de auditorías internas	1	0,264118	0,264118	
Equipos de mediciones que no cumplen criterios de verificación metrológica,	Pérdida de las características metrológicas del instrumento de medida,	1	0,8	0,8	0,8
Inadecuada planificación de los intervalos de tiempo para la calibración y confirmación metrológica,	Falta de capacitación del personal	0,6	0,142857	0,0857142	0,8857144
	Negligencia de la función metrológica	0,8	0,285714	0,2285712	
	Falta de exigencia de la alta dirección	1	0,571429	0,571429	
No analizar los datos de calibraciones anteriores para poder optimizar los períodos de calibración /conformación metrológica,	Falta de capacitación del personal,	0,8	0,258285	0,206628	0,8209458
	Negligencia del personal	1	0,104729	0,104729	
	Falta de experiencia	0,8	0,636986	0,5095888	
No contar con los certificados de calibración/verificación	No calibrar/verificar los instrumentos de medida	0,8	0,292801	0,2342408	0,8673262
	No conservar los certificados de calibración después de calibrados/verificados,	0,6	0,113737	0,0682422	
	No exigir los certificados de calibración/verificación a los prestadores de servicio,	0,6	0,071547	0,0429282	
	Falta de responsabilidad del propietario del equipo	1	0,521915	0,521915	
No se estima la incertidumbre de medida para cada proceso de medición,	Falta de capacitación del personal que realiza las mediciones,	1	0,648329	0,648329	1
	Falta de conocimiento del personal a cargo	1	0,229651	0,229651	
	Complejidad en los sistemas para estimar la incertidumbre	1	0,12202	0,12202	
No existencia de trazabilidad de los resultados del proceso de medición,	No trazabilidad de patrones nacionales e internacionales	0,8	0,75	0,6	0,85
	No poseer financiamiento para la calibración de patrones en el exterior,	1	0,25	0,25	
No existe Sistema de medición y análisis	No se planifica,	0,6	0,12202	0,073212	0,8215262

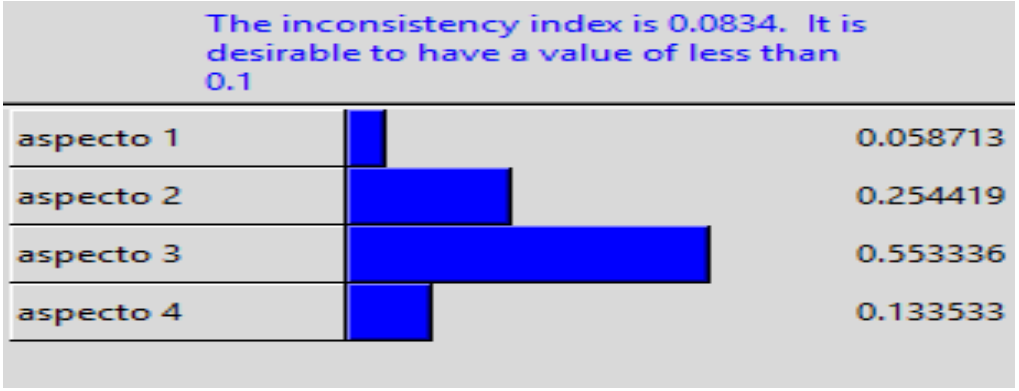
para evaluar el desempeño o eficacia del sistema,	La Alta Dirección no cumple con su compromiso de darle seguimiento al Sistema,	1	0,229651	0,229651	
	No existe identificados los indicadores de eficacia	0,8	0,648329	0,5186632	
Insatisfacción del cliente en cuanto al cumplimiento de sus necesidades metrológicas	El prestador no tiene en cuenta los requisitos del cliente	1	1	1	1
No utilizar la información de los clientes y otras partes interesadas como fuente para la mejora del Sistema de Gestión de las Mediciones,	Falta de capacitación del personal,	0,6	0,142857	0,0857142	0,7142858
	Negligencia del personal,	0,6	0,285714	0,1714284	
	No existe retroalimentación con el cliente,	0,8	0,571429	0,4571432	
Las auditorías internas no evidencian las fortalezas y debilidades del Sistema	No se documentan las auditorías internas	0,8	0,333333	0,2666664	0,7999992
	No se realizan las auditorías internas	0,8	0,666666	0,5333328	
No participación de la dirección en la evaluación del SGM,	La alta dirección no se siente comprometida con el Sistema	1	1	1	0,6
Al tratarse una no conformidad de un equipo de medición dígase reparación, etc,, no se vuelva a confirmar metrológicamente	Las características metrológicas del instrumento no cumplen con los requisitos del proceso de medida,	0,6	0,258273	0,1549638	0,7273998
	Negligencia del personal	0,8	0,636999	0,5095992	
	Falta de capacitación del personal	0,6	0,104728	0,0628368	
No se identifican los equipos no conformes,	No se controlan los instrumentos de medida,	1	0,333333	0,333333	1
	No se controla el estado de los instrumentos de medida,	1	0,666667	0,666667	
No dar seguimiento y cierre en tiempo a las no conformidades detectadas	No se realizan las auditorías de seguimiento	1	1	1	1
Incumplimiento en el plan de auditorías internas	Negligencia de la función metrológica	1	1	1	1

Anexo No.18

Pesos o ponderaciones (Wa) asociados a cada uno de los aspectos metrológicos presentes en el SGM. Fuente: Elaboración propia.







Anexo No. 19

Cálculo del Índice de Riesgo por aspecto metrológico (IRAM) y del sistema (IRS). Fuente: Elaboración propia.

Wa	Riesgos	IRM	Suma	IRGM	suma	IRAM (2)	IRAM (1)	IRS (1)	IRS (2)
0,058713	1			0,18					
	2			0,37					
	3			0,44		0,016146075		0,14312879	0,09305547
	4			0,11	1,1				
0,254419	5			0,49					
	6			0,08					
	7	0,28		0,05					
	8	0,8		0,74		0,105583885	0,13865836		
	9	0,7		0,65					
	10	0,4	2,18	0,48	2,49				
0,553336	11			0,06					
	12			0,85					
	13	0,07		0,06					
	14	0,2		0,13		0,222441072	0,23931782		
	15	0,8		0,6					
	16	0,2		0,13					
	17	0,21		0,21					
	18	0,56		0,41					
	19	0,42		0,67					
	20	1	3,46	0,9	4,02				
0,133533	21			0,51					
	22			0,25					
	23	0,21							
	24			0,071		0,028050832	0,05141021		
	25			0,079					
	26			0,048					
	27	0,56		0,3024					
	28								
	29		0,77		1,2604				

Anexo No.20

Resumen de los índices por riesgo, aspecto metrológico y sistema de gestión de las mediciones en la Refinería Cienfuegos S.A. Fuente: Elaboración propia.

Aspecto	Riesgo	IRM	IRGM	IRAM (1)	IRAM (2)	IRS (1)	IRS (2)
Dirección	No medición de la eficacia y eficiencia de los procesos metrológicos del SGM por medio de indicadores.		0,18	No existen riesgos materializados en este aspecto	0,016146075	0,13425236	0,07761465
	Incumplimiento de los requisitos del cliente y otras parte interesadas que precisan de la medición para evaluar su conformidad		0,37				
	Incapacidad metrológica real de la organización que provoca el incumplimiento de los requisitos metrológicos.		0,44				
	Incumplimiento con la planificación de la Confirmación Metrológica.		0,11				
Recursos	Incompetencia del personal en la medida en que evolucionan los puestos de trabajo debido a los cambios en los equipos de medición, etc.		0,49	0,13865836	0,105583885		
	No validación y aprobación del uso de software que se utiliza para los procesos de confirmación metrológica y medición.		0,08				
	Se adquieren, instalan, sustituyen y distribuyen Instrumentos de Medición en la Empresa sin informar al Especialista en Metrología para su control.	0,28	0,05				
	Adquisición y distribución por parte de organismos superiores de instrumentos de medición sin trazabilidad en el país y sin el Modelo de Aprobación otorgado por la ONN.	0,8	0,74				
	No existencia de medios de embalaje para mover los instrumentos fuera de la empresa	0,7	0,65				
	No asignación de presupuesto para el desarrollo de la actividad metrológica	0,4	0,48				
Operativo	No se identifica el estado de calibración y/o verificación del equipo de medición.		0,06	0,21268853	0,162680784		

	Equipos sin calibrar y/o verificar.		0,85				
	Desajustes en el establecimiento de los intervalos de calibración y /o verificación.	0,07	0,06				
	No planificación de la calibración y/o Verificación	0,2	0,13				
	Equipos de mediciones que no cumplen criterios de verificación metrológica.	0,8	0,6				
	Inadecuada planificación de los intervalos de tiempo para la calibración y confirmación metrológica	0,2	0,13				
	No analizar los datos de calibraciones anteriores para poder optimizar los períodos de calibración /conformación metrológica	0,21	0,21				
	No contar con los certificados de calibración/verificación.	0,28	0,34				
	No se estima la incertidumbre de medida para cada proceso de medición.	0,315	0,08				
	No existencia de trazabilidad de los resultados del proceso de medición.	1	0,48				
Mejora	No existe Sistema de medición y análisis para evaluar el desempeño o eficacia del sistema.		0,51	0,05141021	0,026047837		
	Insatisfacción del cliente en cuanto al cumplimiento de sus necesidades metrológicas.		0,16				
	No utilizar la información de los clientes y otras partes interesadas como fuente para la mejora del Sistema de Gestión de las Mediciones.	0,21					
	Las auditorías internas no evidencian las fortalezas y debilidades del Sistema		0,071				
	No participación de la dirección en la evaluación del SGM.		0,079				
	Al tratarse una no conformidad de un equipo de medición dígase reparación, etc., no se vuelva a confirmar metrológicamente		0,048				
	No se identifican los equipos no conformes.	0,56	0,3024				
	No dar seguimiento y cierre en tiempo a las no conformidades detectadas						
	Incumplimiento en el plan de auditorías internas						

Evaluación de los Índice de Riesgo por aspecto metrológico (IRAM) y del sistema (IRS). Fuente: Elaboración propia.

Aspecto	Riesgo	IRAM (1)	IRAM (2)	IRS (1)	IRS (2)
Dirección	No medición de la eficacia y eficiencia de los procesos metrológicos del SGM por medio de indicadores.	_	Bajo	Bajo	Bajo
	Incumplimiento de los requisitos del cliente y otras parte interesadas que precisan de la medición para evaluar su conformidad				
	Incapacidad metrológica real de la organización que provoca el incumplimiento de los requisitos metrológicos.				
	Incumplimiento con la planificación de la Confirmación Metrológica.				
Recursos	Incompetencia del personal en la medida en que evolucionan los puestos de trabajo debido a los cambios en los equipos de medición, etc.	Bajo	Bajo		
	No validación y aprobación del uso de software que se utiliza para los procesos de confirmación metrológica y medición.				
	Se adquieren, instalan, sustituyen y distribuyen Instrumentos de Medición en la Empresa sin informar al Especialista en Metrología para su control.				
	Adquisición y distribución por parte de organismos superiores de instrumentos de medición sin trazabilidad en el país y sin el Modelo de Aprobación otorgado por la ONN.				
	No existencia de medios de embalaje para mover los instrumentos fuera de la empresa				
	No asignación de presupuesto para el desarrollo de la actividad metrológica				
Operativo	No se identifica el estado de calibración y/o verificación del equipo de medición.	Moderado	Moderado		
	Equipos sin calibrar y/o verificar.				
	Desajustes en el establecimiento de los intervalos de calibración y /o verificación.				
	No planificación de la calibración y/o Verificación				
	Equipos de mediciones que no cumplen criterios de verificación metrológica.				
	Inadecuada planificación de los intervalos de tiempo para la calibración y confirmación metrológica				
	No analizar los datos de calibraciones anteriores para poder				

	optimizar los períodos de calibración /conformación metrológica				
	No contar con los certificados de calibración/verificación.				
	No se estima la incertidumbre de medida para cada proceso de medición.				
	No existencia de trazabilidad de los resultados del proceso de medición.				
Mejora	No existe Sistema de medición y análisis para evaluar el desempeño o eficacia del sistema.	Bajo	Bajo		
	Insatisfacción del cliente en cuanto al cumplimiento de sus necesidades metrológicas.				
	No utilizar la información de los clientes y otras partes interesadas como fuente para la mejora del Sistema de Gestión de las Mediciones.				
	Las auditorías internas no evidencian las fortalezas y debilidades del Sistema				
	No participación de la dirección en la evaluación del SGM.				
	Al tratarse una no conformidad de un equipo de medición dígase reparación, etc., no se vuelva a confirmar metrológicamente				
	No se identifican los equipos no conformes.				
	No dar seguimiento y cierre en tiempo a las no conformidades detectadas				
	Incumplimiento en el plan de auditorías internas				

Anexo No. 21

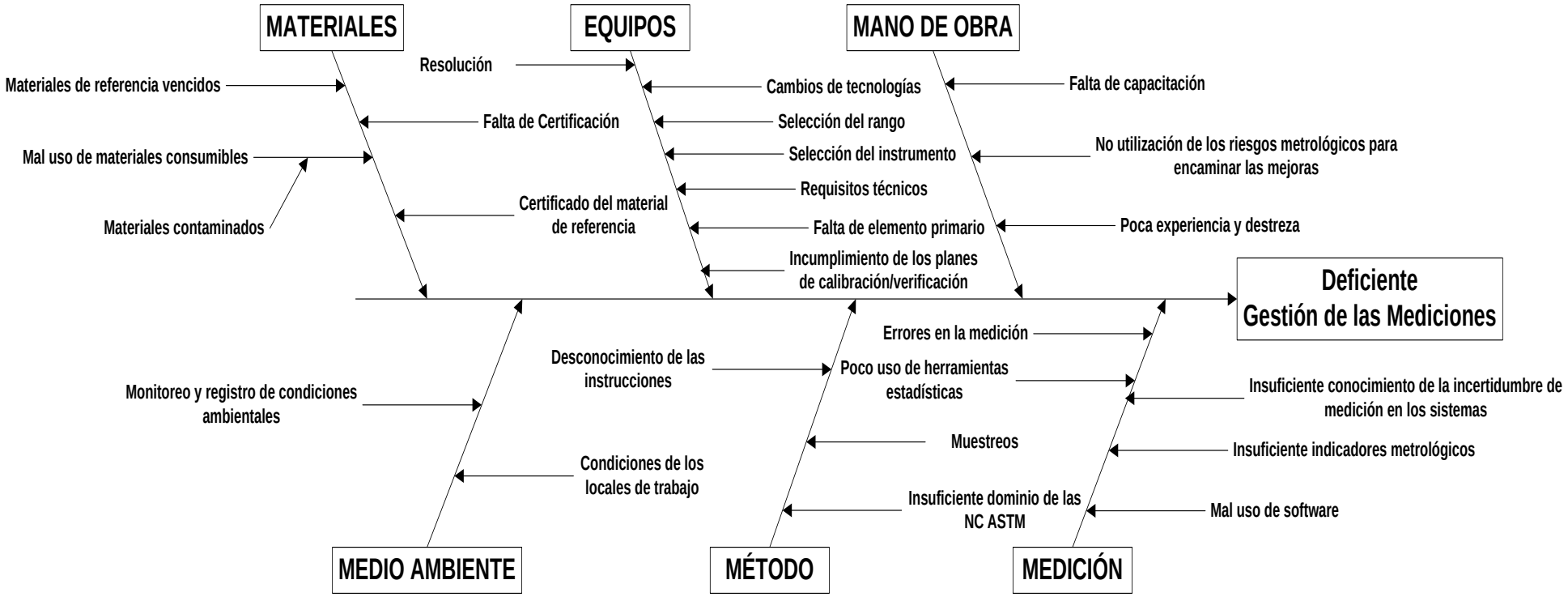
Reporte de los resultados después de aplicar los IRM e IRGM en el SGM de la Refinería Cienfuegos S.A.

Fuente: Elaboración propia.

Reporte de los resultados de la Evaluación del Desempeño Metrológico (EDM)					
Entidad:	Empresa Refinería Cienfuegos SA.			**Período de la evaluación**	
Proceso:	Controlar Equipos de Medición			**Desde:**	**Hasta:**
Indice de riesgo metrológico (IRM)			**Prioridad:** Alta		
		Dirección	**Recursos**	**Operativo**	**Mejora**
Valor del índice (promedio por riesgos del aspecto):		-	0,54	0,43	0.38
Valoracion del índice:		-	Medio	Medio	Moderado
Observaciones:					
Indice de riesgo en la gestión metrológica (IRGM)			**Prioridad:** Media		
		Dirección	**Recursos**	**Operativo**	**Mejora**
Valor del índice (promedio por riesgos del aspecto):		0,31	0,34	O,29	0,44
Valoración del índice:		Moderado	Moderado	Moderado	medio
Observaciones:					
Indice de riesgo metrológico por aspecto metrológico (IRAM)			**Prioridad:** Baja		
		Dirección	**Recursos**	**Operativo**	**Mejora**
Enfoque(IRM):	**Valor del índice:**	-	0,13	0,23	0,05
	Valoración del índice:	-	Bajo	Moderado	Bajo
Enfoque(IRGM):	**Valor del índice:**	0,01	0,1	0,22	0,02
	Valoración del índice:	Bajo	Bajo	Moderado	Bajo
Causas:					
Indice de riesgo metrológico del sistema (IRS)			**Prioridad:** Baja		
Enfoque(IRM):	**Valor del índice:**	0,14			
	Valoracion del índice:	Bajo			
Enfoque(IRGM):	**Valor del índice:**	0,09			
	Valoracion del índice:	Bajo			
Causas:					
Elaborado por:		Aprobado por:			

Anexo No.22

Diagrama Causa – Efecto. Fuente: Elaboración propia.



Anexo No.23

Resumen de los índices por riesgo, aspecto metrológico y sistema de gestión de las mediciones en la Refinería Cienfuegos S.A. Fuente: Elaboración propia.

Aspecto	Riesgo	IRM	IRGM	IRAM (1)	IRAM (2)	IRS (1)	IRS (2)
Dirección	No medición de la eficacia y eficiencia de los procesos metrológicos del SGM por medio de indicadores.		0,18	No existen riesgos materializados en este aspecto	0,016146075	0,13425236	0,07761465
	Incumplimiento de los requisitos del cliente y otras parte interesadas que precisan de la medición para evaluar su conformidad		0,37				
	Incapacidad metrológica real de la organización que provoca el incumplimiento de los requisitos metrológicos.		0,44				
	Incumplimiento con la planificación de la Confirmación Metrológica.		0,11				
Recursos	Incompetencia del personal en la medida en que evolucionan los puestos de trabajo debido a los cambios en los equipos de medición, etc.		0,49	0,13865836	0,105583885		
	No validación y aprobación del uso de software que se utiliza para los procesos de confirmación metrológica y medición.		0,08				
	Se adquieren, instalan, sustituyen y distribuyen Instrumentos de Medición en la Empresa sin informar al Especialista en Metrología para su control.	0,28	0,05				
	Adquisición y distribución por parte de organismos superiores de instrumentos de medición sin trazabilidad en el país y sin el Modelo de Aprobación otorgado por la ONN.	0,8	0,74				
	No existencia de medios de embalaje para mover los instrumentos fuera de la empresa	0,7	0,65				
	No asignación de presupuesto para el desarrollo de la actividad metrológica	0,4	0,48				
Operativo	No se identifica el estado de calibración y/o verificación del equipo de medición.		0,06	0,21268853	0,162680784		
	Equipos sin calibrar y/o verificar.		0,85				
	Desajustes en el establecimiento de los intervalos de calibración y /o	0,07	0,06				

	verificación.						
	No planificación de la calibración y/o Verificación	0,2	0,13				
	Equipos de mediciones que no cumplen criterios de verificación metrológica.	0,8	0,6				
	Inadecuada planificación de los intervalos de tiempo para la calibración y confirmación metrológica	0,2	0,13				
	No analizar los datos de calibraciones anteriores para poder optimizar los períodos de calibración /conformación metrológica	0,21	0,21				
	No contar con los certificados de calibración/verificación.	0,28	0,34				
	No se estima la incertidumbre de medida para cada proceso de medición.	0,315	0,08				
	No existencia de trazabilidad de los resultados del proceso de medición.	1	0,48				
Mejora	No existe Sistema de medición y análisis para evaluar el desempeño o eficacia del sistema.		0,51	0,05141021	0,026047837		
	Insatisfacción del cliente en cuanto al cumplimiento de sus necesidades metrológicas.		0,16				
	No utilizar la información de los clientes y otras partes interesadas como fuente para la mejora del Sistema de Gestión de las Mediciones.	0,21					
	Las auditorías internas no evidencian las fortalezas y debilidades del Sistema		0,071				
	No participación de la dirección en la evaluación del SGM.		0,079				
	Al tratarse una no conformidad de un equipo de medición dígase reparación, etc., no se vuelva a confirmar metrológicamente		0,048				
	No se identifican los equipos no conformes.	0.56	0,3024				
	No dar seguimiento y cierre en tiempo a las no conformidades detectadas						
	Incumplimiento en el plan de auditorías internas						

Evaluación de los Índice de Riesgo por aspecto metrológico (IRAM) y del sistema (IRS). Fuente: Elaboración propia.

Aspecto	Riesgo	IRAM (1)	IRAM (2)	IRS (1)	IRS (2)
Dirección	No medición de la eficacia y eficiencia de los procesos metrológicos del SGM por medio de indicadores.	_	Bajo	Bajo	Bajo
	Incumplimiento de los requisitos del cliente y otras parte interesadas que precisan de la medición para evaluar su conformidad				
	Incapacidad metrológica real de la organización que provoca el incumplimiento de los requisitos metrológicos.				
	Incumplimiento con la planificación de la Confirmación Metrológica.				
Recursos	Incompetencia del personal en la medida en que evolucionan los puestos de trabajo debido a los cambios en los equipos de medición, etc.	Bajo	Bajo		
	No validación y aprobación del uso de software que se utiliza para los procesos de confirmación metrológica y medición.				
	Se adquieren, instalan, sustituyen y distribuyen Instrumentos de Medición en la Empresa sin informar al Especialista en Metrología para su control.				
	Adquisición y distribución por parte de organismos superiores de instrumentos de medición sin trazabilidad en el país y sin el Modelo de Aprobación otorgado por la ONN.				
	No existencia de medios de embalaje para mover los instrumentos fuera de la empresa				
	No asignación de presupuesto para el desarrollo de la actividad metrológica				
Operativo	No se identifica el estado de calibración y/o verificación del equipo de medición.	Moderado	Bajo		
	Equipos sin calibrar y/o verificar.				
	Desajustes en el establecimiento de los intervalos de calibración y /o verificación.				
	No planificación de la calibración y/o Verificación				
	Equipos de mediciones que no cumplen criterios de verificación metrológica.				
	Inadecuada planificación de los intervalos de tiempo para la calibración y confirmación metrológica				
	No analizar los datos de calibraciones anteriores para poder optimizar los períodos de calibración /conformación metrológica				
	No contar con los certificados de calibración/verificación.				
	No se estima la incertidumbre de medida para cada proceso de medición.				
	No existencia de trazabilidad de los resultados del proceso de medición.				
Mejora	No existe Sistema de medición y análisis para evaluar el desempeño o eficacia del sistema.	Bajo	Bajo		
	Insatisfacción del cliente en cuanto al cumplimiento de sus necesidades metrológicas.				
	No utilizar la información de los clientes y otras partes interesadas como fuente para la mejora del Sistema de Gestión de las Mediciones.				
	Las auditorías internas no evidencian las fortalezas y debilidades del Sistema				
	No participación de la dirección en la evaluación del SGM.				

	Al tratarse una no conformidad de un equipo de medición dígase reparación, etc., no se vuelva a confirmar metrológicamente				
	No se identifican los equipos no conformes.				
	No dar seguimiento y cierre en tiempo a las no conformidades detectadas				
	Incumplimiento en el plan de auditorías internas				

Anexo No. 24

Reporte de los resultados después de aplicar los IRM e IRGM en el SGM de la empresa Refinería Cienfuegos S.A. Fuente: Elaboración propia.

Reporte de los resultados de la Evaluación del Desempeño Metrológico (EDM)					
Entidad:	Empresa Refinería Cienfuegos SA.			**Período de la evaluación**	
Proceso:	Controlar Equipos de Medición			**Desde:**	**Hasta:**
Indice de riesgo metrológico (IRM)			**Prioridad:** Alta		
		Dirección	**Recursos**	**Operativo**	**Mejora**
Valor del índice (promedio por riesgos del aspecto):		-	0,54	0,38	0,38
Valoracion del índice:		-	Medio	moderado	moderado
Observaciones:					
Indice de riesgo en la gestión metrológica (IRGM)			**Prioridad:** Media		
		Dirección	**Recursos**	**Operativo**	**Mejora**
Valor del índice (promedio por riesgos del aspecto):		0,31	0,34	O,33	0,13
Valoración del índice:		Moderado	Moderado	Moderado	Bajo
Observaciones:					
Indice de riesgo metrológico por aspecto metrológico (IRAM)			Prioridad: **Baja**		
		Dirección	**Recursos**	**Operativo**	**Mejora**
Enfoque(IRM):	**Valor del índice:**	-	0,13	0,21	0,05
	Valoración del índice:	-	Bajo	Moderado	Bajo
Enfoque(IRGM):	**Valor del índice:**	0,01	0,1	0,16	0,02
	Valoración del índice:	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
Causas:					
Indice de riesgo metrológico del sistema (IRS)			**Prioridad:** Baja		
Enfoque(IRM):	**Valor del índice:**	0,13			
	Valoracion del índice:	Bajo			
Enfoque(IRGM):	**Valor del índice:**	0,07			
	Valoracion del índice:	Bajo			
Causas:					
Elaborado por:		Aprobado por:			