



PETRÓLEOS
CUBA VENEZUELA S.A.



UNIVERSIDAD
CIENFUEGOS

***Universidad de Cienfuegos
Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales
Departamento de Ingeniería Industrial***

***Título: Evaluación de la incertidumbre de medición
en los sistemas de medición fiscal y transferencia
de custodia en la Unidad de Negocio
Refinería de Cienfuegos***

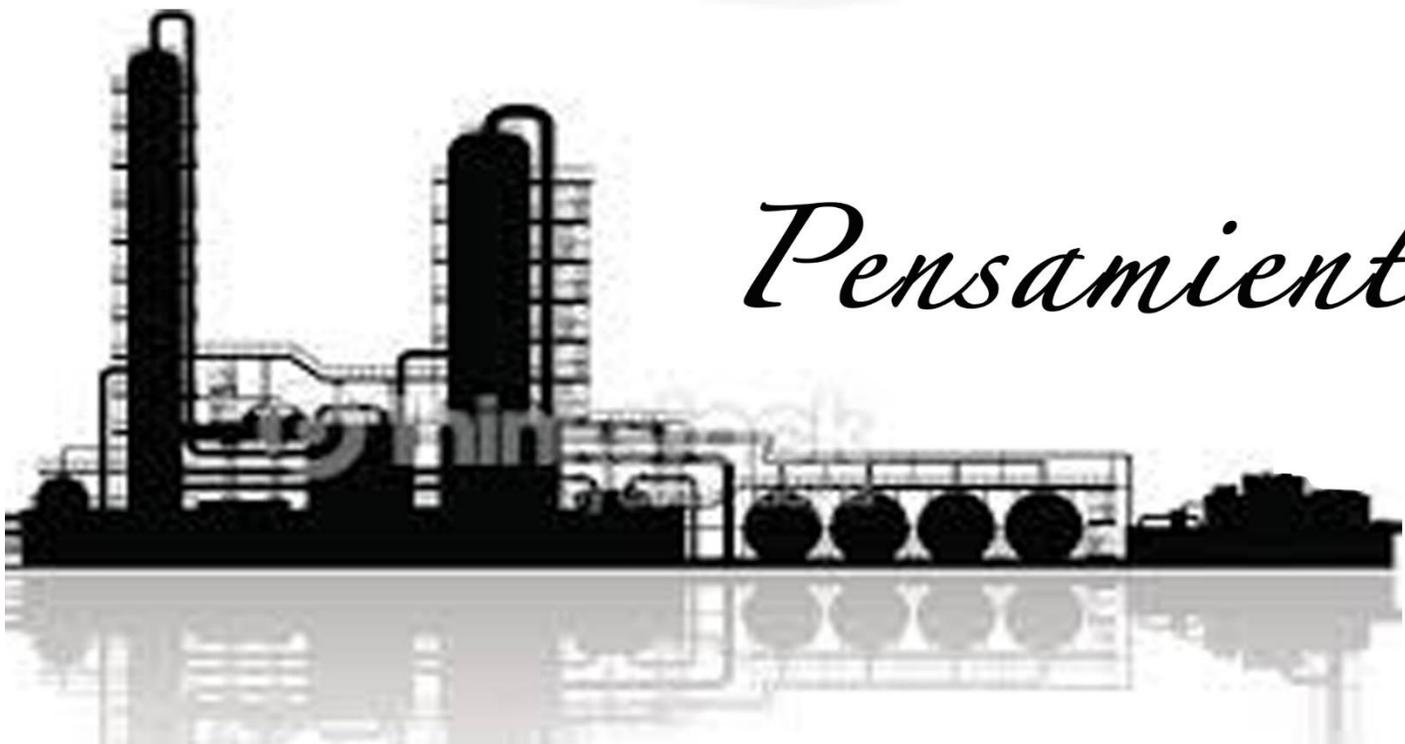
**AUTOR: Manuel Alejandro Marín Rodríguez
TUTORES: MSC. ING. Aníbal Barrera García
MSC. ING. Midiala Hernández Santana**

2015





Pensamiento



*“La vida es una obra de teatro que no permite ensayos...
Por eso canta, ríe, baila, llora y vive intensamente antes que el
telón baje y la obra termine sin aplausos.”*

Charles Chaplin



Dedicatoria



Dedico esta tesis a todo el amor que me ha dado mi familia especialmente mis padres y hermana que son los que han estado en los momentos decisivos de mi vida y sin contrariedad e inteligencia me han sabido guiar hasta llegar a este punto donde he pasado los mejores cinco años de mi vida. Con sinceridad les doy un millón de gracias.



Agradecimientos



A mis padres:

Agradezco principalmente a la vida por darme la oportunidad de haber nacido en el seno de una familia donde estaban los mejores padres que existían y a ellos por regalarme a la mejor hermanita de mundo. Ahora no me alcanzan las letras permitidas para agradecer todo lo que estas dos personas han hecho por mí pero muy brevemente digo que en cada instante sin descanso han dejado su ser por guiarme, mostrarme la mejor decisión, sacar lo mejor mí, aguantarme mis peores defectos, comprenderme cuando en realidad ni yo mismo me comprendo, darme la mano cuando no merezco la menor ayuda y sin duda darme todo el amor y cariño sin receso en los 23 años que logrado vivir. Les doy mis humilde infinitos agradecimientos y que la vida me permita disfrutarlos por millones de años más; los amo.

A mi Hermana:

Agradezco a mi hermanita porque sin ella darse cuenta me ha ayudado rectificar errores que para mí eran irremediables por ser aunque con solo 13 trece años un ejemplo de humildad, sinceridad, y cariño; también te amo pipa.

A mis amigos:

A mis amigos Ernesto, Javier Pérez, Javier M, Andry, Marlon, Osmel, Frank, Yasel y Anibal que cuando más difícil eran las circunstancias solo con una mirada salíamos del estrés en segundos por sus ocurrencia y amistad desinteresada, tenían sus manos extendidas para lo que hacía falta en mis momentos difíciles y los buenos también. Quiero resaltar que el primer día de clase existían diferencia de cultura, de carácter, de visión para la vida, por donde nacieron o por el lugar donde vivían; a veces me decía si teníamos algo en común pero digo que si el tiempo virara hacia tras y me dieran la oportunidad de escogerlos, sin pensar lo escogería a todos y exactamente como son, por la única razón de que hoy sé lo que en realidad es la amistad.

A las hembras de aula también les agradezco su colaboración en todo sin ellas la universidad no hubiera sido tan bonita. Pero dentro de este grupo existen mujeres con virtudes tan grandes que es imposible dejar de resaltar; a Claudia Martha que es toda una amiga para mí, solo yo sé el lugar que ocupa en la lista de personas

importantes en vida, te doy mil gracias flaca vieja, a Jeilin, Maria del Carmen, Mari Carmen, Lisandra, Lilian, Yipsi, Araelvis, Rachel a ustedes también les agradezco mucho.

A mi tutor:

A esta persona le debo no solo mis agradecimientos, si no mis mejores deseos de que le vaya bien en todos sus planes de prosperidad que gracias a él no solamente yo he tenido una culminación exitosa y agradable por su extremada elocuencia a la hora de hablar y aconsejar. Es ejemplo de amistad, de hermano, de profesor, de persona y humildad; sus ideas son totalmente pureza y honestidad en conclusión no hay descripción que pueda asemejar a un ser como Anibal Barrera Garcia. Mil Gracias por dejarme ser tutorado por usted, amigo

A mi familia:

A toda mi familia les agradezco por estar también a mi lado cuando lo necesité, a mi abuela que siempre de una forma u otra me ayudó en todo y que la quiero mucho, a mi abuelo que aunque no está físicamente conmigo cada rato me recuerda lo que es una persona inteligente, aunque yo que ya había superado su nivel escolar tenía que andar piano porque me asustaba cuando sacaba del baúl de los recuerdos lo que quería saber, era extraño eso de un simple soldador, pero de gran corazón, te extraño mucho mucho papo. A mi tia Yeny que es incansable y siempre está pendiente de todo y se puede contar para lo que haga falta también la quiero mucho. A mi abuela Ana que también pude contar con ella en todo momento. A mis primas Rachel que también es como una hermana más, Karla que siempre está celosa pero también la quiero cantidad, Leo, Yadian, Raulito que también me ha ayudado muchísimo, a Yaneisis que es de todos la más jodedora pero también la quiero, en fin todos los que en su momento me han ayudado.

A Midiala le agradezco su incondicionalidad y desinterés en todo momento, su dedicación no la hubiera tenido de ninguna otra persona, gracias a eso se me facilitó hasta lo más difícil, lo menos que puedo hacer es darle un millón de gracias.

A Níco que increíblemente está ahí siempre dispuesto a lo que haga falta, también mil gracias.

A Betty

A ti te debo mucho, gracias a tu entrega y todo el amor que me has dado en tantas ocasiones y la ayuda incondicional para todo, los más sinceros agradecimientos. En cada clase, trabajo, prueba y todo lo que existe en una universidad estabas pendiente de mí, sin ti mis resultados no hubieran sido tan exitosos. Te digo hoy que culmino esta etapa de mi vida, si tuviera que mencionar a la persona más importante en estos 5 años su nombre completo sería Beatriz Hernández Leal.



Resumen



RESUMEN

El presente trabajo se realizó en la Unidad de Negocio Refinería de Cienfuegos, con el objetivo fundamental de aplicar un procedimiento para la mejora de la gestión de las mediciones en los sistemas de medición fiscal y transferencia de custodia, que posibilite evaluar la incertidumbre de medición y mejorar su calidad. Para el cumplimiento del mismo se utilizan entrevistas, observaciones directas, revisión de documentos, así como técnicas estadísticas matemáticas propias de este tipo de estudio, como son los métodos determinísticos de estadística clásica (frecuentista) y la combinación de incertidumbres con el método Bayesiano de soluciones analíticas (Ley de propagación de la incertidumbre).

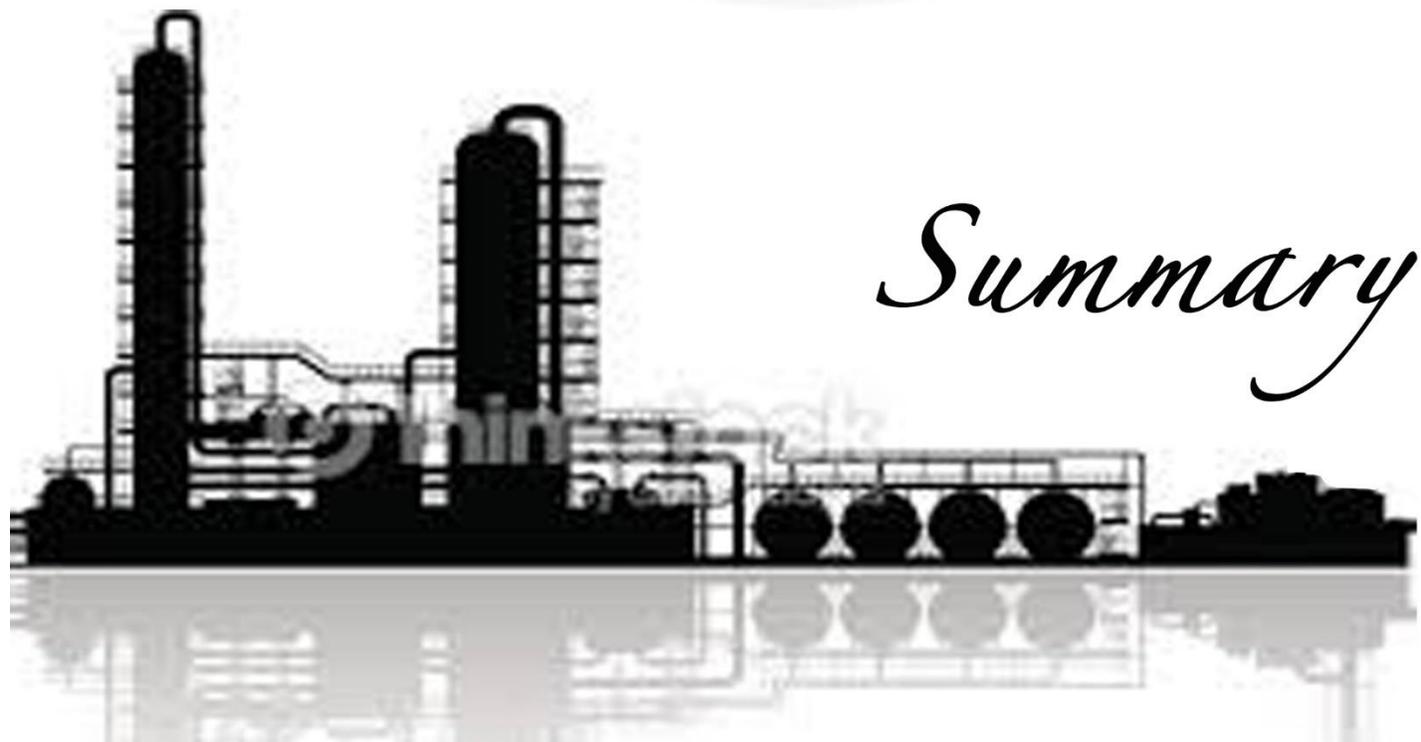
Como resultados fundamentales se evalúa la incertidumbre de medición a partir de los elementos establecidos en la Guía GUM y la NC – Guía 1066:2015 en los sistemas de medición fiscal y transferencia de custodia que no poseen elemento primario. Se comparan y analizan dichas incertidumbres en los sistemas mencionados según su situación actual y con las posibles mejoras.

Por último, se exponen las conclusiones y recomendaciones que derivan del estudio y que permiten definir una vía de seguimiento adecuada para dar continuidad a la temática desarrollada en la investigación.

Palabras claves: Incertidumbre, error, mediciones, instrumentos, Seis Sigma.



Summary



SUMMARY

This work was done in the Business Unit Cienfuegos refinery, with the ultimate goal of implementing a process for improving the measurement management systems fiscal and custody transfer measurement, which enables measurement uncertainty evaluation and improve quality. To fulfill the same interviews, direct observations, document review and own mathematical statistics for this type of study techniques are used, such as deterministic classical statistical methods (frequentist) and combination of uncertainties with the Bayesian method solutions analytical (Act propagation of uncertainty).

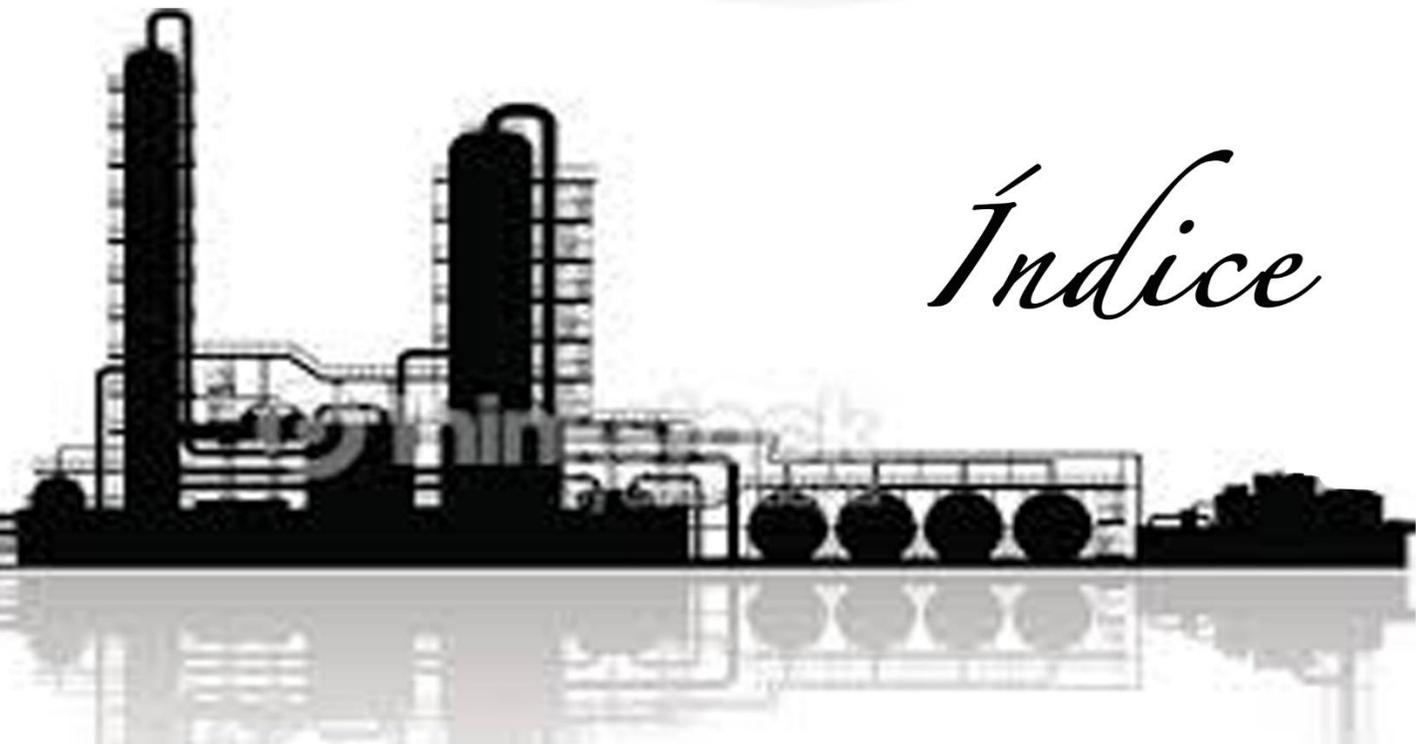
As key outcomes measurement uncertainty is evaluated from the elements set out in the GUM and NC Guide - Guide 1066: 2015 fiscal metering systems and custody transfer that have no parent. Compared and analyzed these uncertainties in the systems listed according to their current situation and possible improvements.

Finally, conclusions and recommendations from the study and for defining an appropriate route tracking to give continuity to the theme developed in the investigation are set.

Keywords: Uncertainty, Error, measurements, instruments, Six Sigma.



Índice



ÍNDICE

RESUMEN.....	11
SUMMARY	13
INTRODUCCIÓN.....	18
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....	24
1.1. La gestión de la calidad.....	24
1.2. Las normas de la familia ISO 9000 y la metrología.....	29
1.3. Generalidades sobre la metrología como ciencia de las mediciones	31
1.4. Gestión de las mediciones	34
1.4.1. Sistema de gestión de las mediciones	35
1.5. Análisis de los sistemas de medición	37
1.5.1 Evaluación de los sistemas de medición.....	38
1.6. Calidad de las mediciones.....	39
1.6.1 Incertidumbre de la medición	41
1.7. Medición fiscal y transferencia de custodia.....	43
1.7.1. Medición fiscal y transferencia de custodia en la industria petrolera	44
1.7.2. Medición fiscal y transferencia de custodia en la industria petrolera cubana.....	46
1.8. Servicio Nacional de Metrología (SENAMET).....	48
1.9. Metodologías de mejoramiento de procesos	50
1.9.1. Seis Sigma como metodología de mejora de procesos.....	50
CAPÍTULO II: PROCEDIMIENTO PARA LA MEJORA DE PROCESOS EN LA GESTIÓN DE LAS MEDICIONES.....	55
2.1. Caracterización de la entidad objeto de estudio	55
2.2. Procedimiento para la mejora de procesos en la gestión de la medición fiscal y transferencia de custodia	62
Etapa I: Definir.....	66
Etapa II: Medir	70

Etapa III: Analizar	75
Etapa IV: Mejorar	76
Etapa V: Controlar	77
CAPÍTULO III: APLICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO PARA LA MEJORA DE LA GESTIÓN DE LA MEDICIÓN FISCAL Y TRANSFERENCIA DE CUSTODIA.....	81
3.1. Aplicación del procedimiento	81
Etapa I: Definir	81
Etapa II: Medir	93
Etapa III: Analizar las causas raíz	103
Etapa IV: Mejorar	104
Etapa V: Controlar	107
3.2. Impactos de la investigación.....	108
CONCLUSIONES GENERALES	111
RECOMENDACIONES.....	113
BIBLIOGRAFÍA.....	115
ANEXOS	127



Introducción



INTRODUCCIÓN

Desde sus orígenes el ser humano ha tratado de corregir y mejorar todas las actividades que lleva a cabo, ya sean deportivas, económicas, sociales y otras. El espíritu de superación, unido a la satisfacción que reporta, conduce a comportamientos que tienden a evitar los errores y a perfeccionar lo que previamente se podía dar por bueno. Por esa razón, resulta entonces justo reconocer que la calidad ha sufrido una importante evolución en las últimas décadas, siendo un ejemplo de ello las diferentes variaciones que ha tenido en las organizaciones empresariales (García Guerra, 2014).

El nuevo 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 cual se apoya toda empresa para garantizar su futuro. Quién no esté en proceso de normalizar su empresa, implantar un sistema de calidad y obtener la certificación, no tiene futuro.

Las organizaciones que desarrollan sistemas de gestión de la calidad frecuentemente se enfrentan a la necesidad de profundizar sus conocimientos relacionados con la metrología. La investigación metrológica no es sólo un factor esencial para garantizar la calidad de la producción, además contribuye a un mayor desarrollo en áreas como la salud, la seguridad y la energía. La metrología es verdaderamente esencial para asegurar la calidad en la normalización (European Association of National Metrology Institutes, 2013).

Un buen mejoramiento de los procesos de medición, ayuda a orientar las actividades e impulsar la toma de decisiones con base a fundamentos correctos, y llevar un inventario adecuado, a la hora que se presente la fiscalización de las autoridades competentes (Chang Granados, 2007).

La transferencia de custodia se debe realizar en el marco de la metrología legal, lo que implica que sistemas de medición utilizados para este propósito sigan la normativa nacional e internacional.

Las tecnologías de medición a utilizar deben estar acorde con las características del proceso, permitiendo obtener los niveles de incertidumbre adecuados para la medición fiscal. Cada sistema de medición debe incluir la estimación correspondiente de la incertidumbre, de acuerdo

con la Guía ISO para estimación de la incertidumbre en las mediciones, siendo esta conocida como GUM.

Por la importancia de la comprensión de la metrología en todos los aspectos de la vida, se plantea como un aspecto básico la elevación de la cultura metrológica de la sociedad, así como la formación continua y elevación sistemática de los recursos humanos. Para trabajar en función de lo anterior, el gobierno cubano, mantiene funcionando el sistema de la Oficina Nacional de Normalización (ONN), con dependencias en todas las provincias del país.

De forma general durante las inspecciones y auditorías, 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.

Actualmente en Cuba está vigente la norma NC ISO 10012: 2007 “Sistemas de gestión de las mediciones. Requisitos para los procesos de medición y los equipos de medición” que constituye un excelente instrumento para ayudar a solucionar los problemas metrológicos que se presentan en las empresas. Sin embargo, a pesar de las deficiencias en las mediciones, prácticamente no se utiliza. Durante el año 2013 se puso en vigor la NC 994:2013, sustituida por la NC 994:2015 “Condiciones y requisitos técnicos para la medición fiscal y transferencia de custodia o propiedad de petróleo y sus derivados”, la cual posibilita ordenar y mejorar el control de la medición fiscal y transferencia de custodia y propiedad de los hidrocarburos líquidos. Esta norma debe ser aplicada en todos los puntos de transferencia de custodia y en la medición fiscal realizada por las entidades autorizadas dentro del territorio nacional.

Por otro lado a comienzos del año 2015 surge la NC – Guía 1066: 2015 “Guía para la expresión de incertidumbre de medición” la cual tiene como objetivo establecer un procedimiento para evaluar y expresar la incertidumbre en una medición o en sistemas de medición.

Estas dos últimas normas mencionadas se encuentran en proceso de implantación en el país, siendo pocas las empresas que han desarrollado dicha tarea, una de ellas es la Unidad de negocio Refinería de Cienfuegos perteneciente al Ministerio de Energía y Minas.

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.

Parte de la medición que se realiza en los puntos de transferencia se hace por la capacidad de las pailas y el ferro-cisterna. Ambos instrumentos de medición se verifican de acuerdo a la norma cubana NC 90-01-18 y tienen errores máximos permitidos (EMP) de 1%. La verificación se realiza a temperatura ambiente y no se realiza corrección del volumen a temperatura de referencia 15°C. Por esta y otras se está proponiendo en el país dotar los cargaderos automotores y de ferrocarril con flujómetros másicos o de Coriolis con EMP de 0,25 %, lo cual cumple con los requerimientos de la norma NC 918: “Metros contadores para líquidos diferentes del agua métodos y equipos para la verificación”, acción que se encuentra implementada en parte de los puntos de medición fiscal y transferencia de custodia de la Refinería de Petróleo de Cienfuegos.

Al analizar los puntos de transferencia fiscal se detecta que en algunos de ellos no se cuenta con un elemento primario, razón por la cual existe mayor incertidumbre en el momento de la transferencia, ya que realiza la medición de nivel de líquido en tanque mediante el método de encintado.

Esta situación denota que en los puntos que no cuentan con este tipo de instrumento (elemento primario), existan pérdidas económicas, debido a que se debe realizar la medición a partir del nivel existente en los tanques de almacenamiento, no estando estimada la incertidumbre en estos sistemas de medición como lo exige la NC 994: 2015 a partir de lo planteado en la guía (GUM, 2008) y la NC - Guía 1066: 2015, utilizando técnicas y métodos estadísticos, influyendo este elemento en la calidad de la medición.

Por tanto se hace necesario evaluar la incertidumbre de medición en los puntos de medición fiscal y transferencia de custodia que no posean elemento primario, mejorando de esta forma la calidad en la medición. Lo anterior constituye la situación problemática que identifica la presente investigación.

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

Problema de Investigación

¿Cómo evaluar la incertidumbre de medición en los sistemas de medición fiscal y transferencia de custodia en la Unidad de Negocio Refinería, que garantice calidad en la medición?

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

Aplicar un procedimiento para la mejora de la gestión de las mediciones en los sistemas de medición fiscal y transferencia de custodia en la Unidad de Negocio Refinería de Cienfuegos, que posibilite evaluar la incertidumbre de medición y mejorar su calidad.

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

1. Diagnosticar la gestión de las mediciones en la Unidad de Negocio Refinería de Cienfuegos.
2. Evaluar la incertidumbre de medición en los puntos de medición fiscal y transferencia de custodia seleccionados.
3. Proponer mejoras que facilite el perfeccionamiento de la gestión de las mediciones en los sistemas de transferencia de custodia seleccionados.

Preguntas de investigación

- ¿Cuáles son los elementos desde el punto de vista metrológico con mayores deficiencias en la organización?
- ¿Qué requisitos deben cumplir los sistemas de medición fiscal y transferencia de custodia?
- ¿Cómo saber si las mediciones en los sistemas analizados tiene o no calidad?
- ¿Cómo evaluar la incertidumbre en un sistema de medición?
- ¿Qué mejoras al sistema de gestión de las mediciones en el proceso seleccionado permitirán garantizar su calidad?

La **justificación de la investigación** está dada por los beneficios que aporta la aplicación de este procedimiento, entre los que se encuentran la descripción del sistema de gestión de las mediciones, evaluación de la incertidumbre de medición en los sistemas de medición fiscal y transferencia de custodia seleccionados, verificación de un grupo de requisitos de la legislación vigente actual (NC ISO 10012:2007; NC 994:2015), además de poner a disposición un grupo de herramientas propias en la temática.

El trabajo quedó estructurado de la siguiente forma:

En el capítulo I se desarrolla el marco teórico referencial que contiene aspectos relacionados con la gestión de las mediciones, así como las principales características de estos sistemas y su integración, teniendo como soporte la literatura científica que aborda la problemática desde

el punto de vista teórico-práctico, retomando las técnicas y herramientas que se utilizan actualmente en este campo.

En el capítulo II se realiza una caracterización de la Refinería de Petróleo de Cienfuegos, así como se expone el procedimiento de mejora de procesos aplicado a la gestión de las mediciones dado por (Hernández Santana, 2012) y (Machado García, 2013), así como las transformaciones sugeridas por (Cambra Díaz, 2014) y (Martínez Hernández, 2014) y las realizadas en la actual investigación.

En capítulo III se presentan los resultados relacionados con la aplicación del procedimiento para la mejora de la gestión de las mediciones en los sistemas de medición fiscal y transferencia de custodia, sobre la base de la evaluación de la incertidumbre de medición, así como de un conjunto de elementos propios en la temática, trayendo como resultado el conocimiento de las principales debilidades en la materia y los elementos a mejorar dentro del sistema.



Capítulo 1



CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

En el presente capítulo se desarrolla el marco teórico referencial que contiene aspectos relacionados con la gestión de las mediciones, así como las principales características de estos sistemas, teniendo como soporte la literatura científica que aborda la problemática desde el punto de vista teórico-práctico. Se retoman las técnicas y herramientas que se utilizan actualmente en este campo, siguiendo la estrategia mostrada en la figura 1.1, la cual se corresponde con el hilo conductor del marco teórico referencial de la presente investigación.

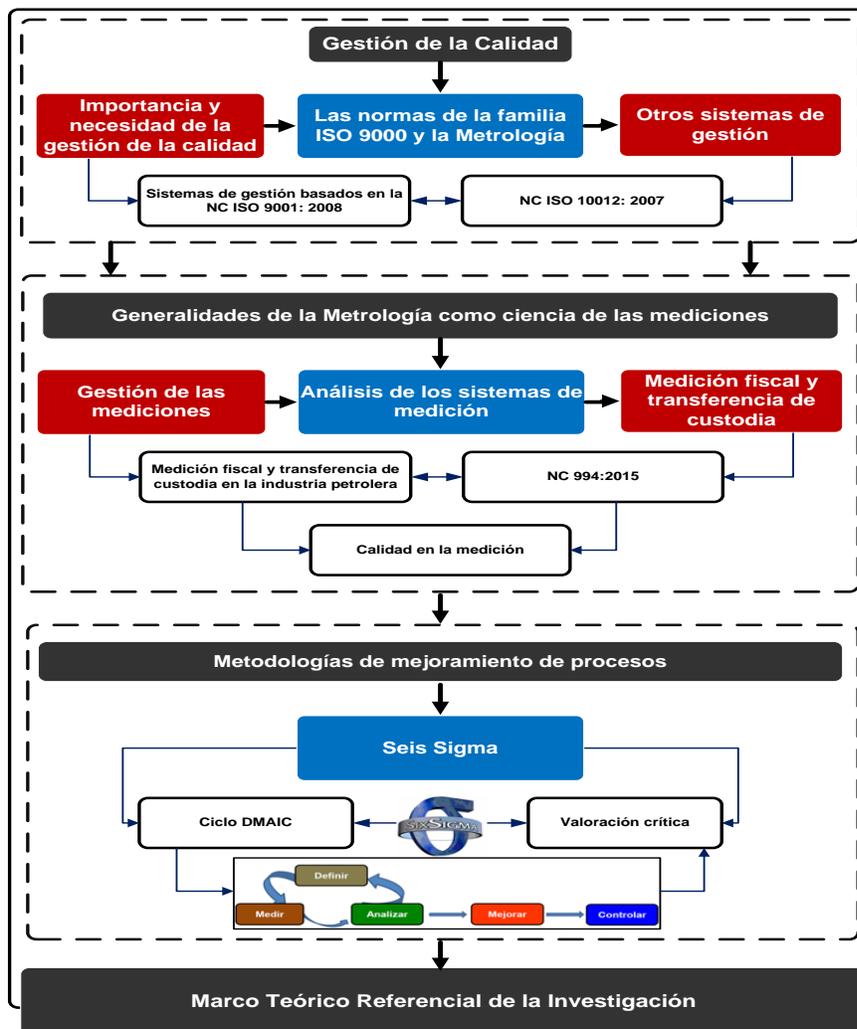


Figura 1.1. Hilo conductor. Fuente: Elaboración propia.

1.1. La gestión de la calidad

La evolución del significado dado a la palabra calidad va paralela al cambio de enfoque en la gestión empresarial (Pérez Fernández de Velasco, 2009). Los distintos enfoques de la calidad han evolucionado hacia una visión cada vez más global, de modo que se ha pasado de la

consideración de la calidad como un requisito a cumplir en el área de producción, a tratarla como un factor estratégico.

(Fernández Cao, 2004) plantea un enfoque, con el cual coincide (Cambra Rodríguez, 2014); (Martínez Hernández, 2014) y el autor de la actual investigación, que identifica el inicio de la evolución de la calidad con el surgimiento de la inspección final de la producción como una necesidad insoslayable de la Revolución Industrial, y con la aparición en las fábricas del inspector: persona encargada de vigilar la calidad del trabajo.

La calidad es una constante en el lenguaje actual. Todo el mundo acepta que si no se trabaja con calidad la organización peligra. Ahora bien, la calidad debe ser entendida no sólo como calidad técnica de los productos que se fabrican, sino también en todos sus aspectos: calidad en el servicio, en la atención al cliente, y calidad en la gestión empresarial. En mercados cada día más competitivos, la calidad se convierte en un elemento diferenciador y capaz de generar ventajas competitivas sostenibles en las empresas. Ante esta realidad, la cuestión fundamental que se plantea es analizar cómo se traduce esta importancia de la calidad en la práctica empresarial.

La mejora de la calidad no se genera de manera espontánea; por el contrario, es preciso establecer una estructura de actividades en la organización con el propósito de conseguir este objetivo. Este conjunto de actividades es lo que se denomina Gestión de la Calidad. La manera en que se ha gestionado la calidad ha sido diferente a lo largo del tiempo. Las formas de entender este concepto han dado lugar a diferentes enfoques de gestión basados en la calidad, los cuales han ido madurando e incorporando aportaciones desde campos de estudio muy diferentes, como la estadística, la sociología, la psicología, entre otros (Romero Lau, 2011).

Importancia y necesidad de la gestión de la calidad

La globalización de los mercados y los mecanismos regionales de integración, plantean nuevos y fuertes desafíos competitivos a todas las organizaciones y están creando de forma permanente nuevas condiciones para competir. La clave para alcanzar estos nuevos niveles de competitividad radica en la modernización de la tecnología, la formación del personal y el desarrollo de nuevas formas de organización y gestión de los procesos productivos. El nuevo 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.

(Cambra Díaz, 2014) y (Martínez Hernández, 2014) citan autores como (Xiaofen, 2013); (Myszewski, 2013) y (Antony, 2013); aseguran que los métodos de calidad están siendo el pilar sobre el cual se apoya toda empresa para garantizar su futuro. Quién no esté en proceso de normalizar su empresa, implantar un sistema de calidad y obtener la certificación, no tiene futuro. Plantean además que se debe mejorar el nivel de gestión de calidad global guiada por el criterio de excelencia en el desempeño.

Según el criterio de autores consultados (Galvania & Carpinettib, 2013) y (Yvonne Coleman, 2013); con la ayuda de iniciativas como Seis Sigma, hay una mayor aceptación de la importancia de los análisis de datos. Los autores mencionados definen y justifican el pensamiento estadístico y su importancia para el movimiento de calidad. Plantean además que este se encuentra ganando importancia en todos los sectores, utilizándose dentro del movimiento de la calidad para hacer grandes avances.

Sistemas de gestión de la calidad basados en las normas ISO 9000

Desde su edición del año 2000, las normas ISO 9000 han ido más allá del aseguramiento de la calidad para adoptar el enfoque de la gestión de la calidad. Basadas en potenciar la efectividad y la eficiencia del negocio, y en conseguir el liderazgo en el mercado, esta perspectiva enfatiza en la importancia de elementos como: liderazgo, satisfacción del cliente, implicación de los empleados, mejora continua de los procesos, colaboración de los proveedores y medición del desenvolvimiento.

La gestión de la calidad involucra los conceptos de la figura 1.2, pues se logra a partir del establecimiento en la organización, de un sistema de gestión que establezca la política y los objetivos de la calidad, y que cumpla con estos (Guerra Bretaña & Meizoso Valdés, 2012).

La calidad de un producto, independientemente del sector en que este se genere, ha de ser tal que garantice la satisfacción de las expectativas del cliente o consumidor y que además le brinde protección. Está implícita en ella, como garantes, la normalización y la metrología, cada una asegurando el rol que le corresponde para materializar que el producto o servicio además de cumplir con lo antes expresado, se corresponda con lo que es concebido en su diseño (Reyes Ponce, et al., 2013).

(Guerra Bretaña & Meizoso Valdés, 2012) plantean que la adición de varios requisitos relacionados con la satisfacción del cliente y la mejora continua, coloca a la norma ISO 9001 en la arena de la gestión estratégica, ya que hace uso de la retroalimentación del cliente para el análisis y la acción por parte de la dirección. Por este motivo se comienzan a utilizar otros términos como el de Gestión Total de Calidad y Gestión Estratégica de la Calidad.

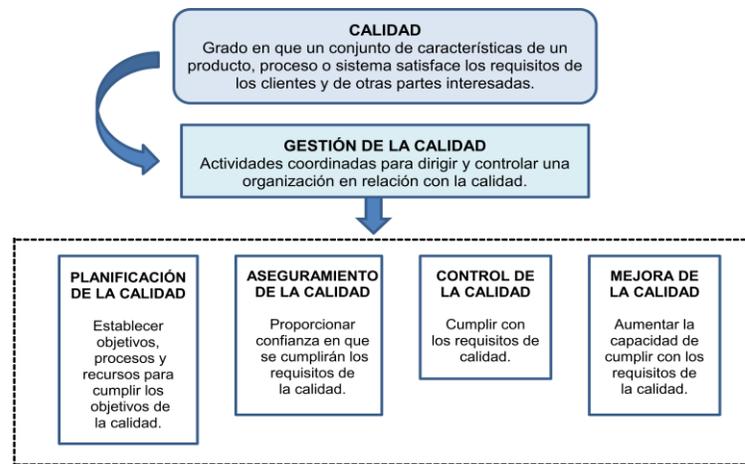


Figura 1.2. Conceptos de gestión de la calidad. Fuente: (Cátedra de Calidad, Metrología y Normalización, 2011).

La Norma ISO 9001 ofrece herramientas de gestión que permiten definir las políticas empresariales y los objetivos de calidad de las empresas, monitorear y medir el desempeño de sus procesos y características de los productos y fomentar la mejora continua dentro de la organización.

Esta se ha convertido en un modelo para el aseguramiento de la calidad en el desarrollo, el diseño, el servicio, la producción y la instalación de un producto o servicio de cualquier empresa y sector. Su última versión es del año 2008 y por el momento se encuentra en proceso de actualización. Se estima que la publicación final de la nueva revisión debe estar disponible a partir de la segunda mitad de 2015, estando entre sus propósitos continuar facilitando la aplicabilidad de la Norma a todo tipo de organizaciones, así como la inclusión del enfoque basado en el riesgo, el cual representa el carácter preventivo del sistema de gestión de la calidad (AENOR, 2014).

El **Anexo No.1** ilustra el concepto y los vínculos entre procesos presentados en la NC ISO 9001:2008. El modelo reconoce que los clientes juegan un papel significativo para definir los requisitos como entradas. El seguimiento de la satisfacción del cliente requiere la evaluación de la información relativa a la percepción del cliente del grado en que la organización ha cumplido sus requisitos.

De manera adicional la norma NC ISO 9001:2008 propone aplicar a todos los procesos la metodología conocida como "Planificar – Hacer – Verificar – Actuar". Las normas NC ISO 9001 y NC ISO 9004 forman un par coherente de normas sobre la gestión de la calidad. La norma NC ISO 9001 está orientada al aseguramiento de la calidad del producto y a aumentar la

satisfacción del cliente, mientras que la norma NC ISO 9004 tiene una perspectiva más amplia sobre la gestión de la calidad, brindando orientaciones sobre la mejora del desempeño. El estándar internacional de ISO 9001:2008 exige realizar el principio de “enfoque de procesos” que incluye el estudio de la organización como un sistema, su descripción e interacción (Romero Lau, 2011).

Se considera que, debido a la amplia gama y elevada exigencias planteadas por las normas de la familia ISO 9000 y a su obligada implementación por las empresas, motivadas por los requerimientos de los mercados en esta época y las barreras técnicas impuestas, uno de los sistemas más y mejor documentados que existen actualmente en Cuba es el sistema de gestión de la calidad, por lo cual es conveniente, tomarlo como base para insertar sobre él, otros sistemas de gestión como es el sistema de gestión de las mediciones (Cambra Díaz, 2014) y (Martínez Hernández, 2014).

Lo anterior mencionado es posible debido a la existencia de una infraestructura nacional de calidad, la cual se detalla en el siguiente esquema, basándose en la normalización, metrología y la acreditación, muchos de sus elementos son explicados en el desarrollo de los posteriores epígrafes.

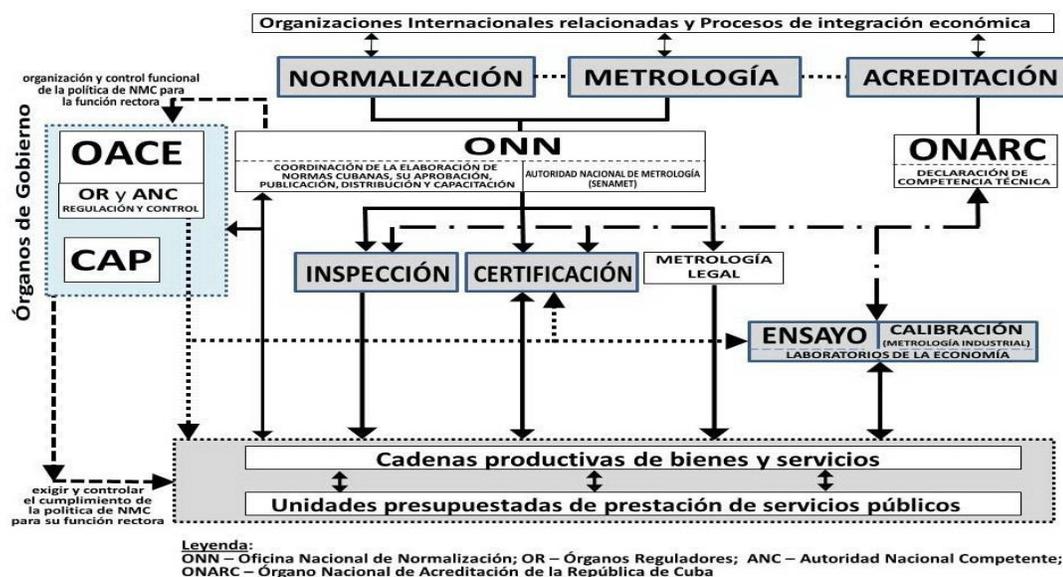


Figura 1.3. Infraestructura Nacional de Calidad de Cuba. Fuente: (Fernández Rodríguez, 2014).

Bernard Larquier, Metrólogo y Presidente del 16º Congreso Internacional de Metrología celebrado en octubre de 2013 en París, comentó: *“Las medidas tienen un papel esencial en cualquier sistema de calidad. Es importante reconocer su importancia a la hora de tomar*

decisiones, gestionar riesgos, indicar el funcionamiento, cumplir con los requisitos y mejorar el control de calidad” (European Association of National Metrology Institutes, 2013).

El autor de la investigación en curso, al igual que (Cambra Díaz, 2014) y (Martínez Hernández, 2014), coinciden con el criterio dado por la (European Association of National Metrology Institutes, 2013), la cual plantea que las organizaciones que desarrollan sistemas de gestión de la calidad frecuentemente se enfrentan a la necesidad de profundizar sus conocimientos relacionados con la metrología. La investigación metrológica no es sólo un factor esencial para garantizar la calidad de la producción, además contribuye a un mayor desarrollo en áreas como la salud, la seguridad y la energía. La metrología es verdaderamente esencial para asegurar la calidad en la normalización.

1.2. Las normas de la familia ISO 9000 y la metrología

(Castañeda Cano & González Rey, 2007) reconocen que para los países con economías avanzadas la ingeniería, la tecnología, la normalización, la metrología, la evaluación de la conformidad, la certificación de productos y de sistemas de calidad, son instrumentos de política al desarrollo de la industria y el comercio.

Se evidencian estudios donde se demuestran los beneficios de la implementación de un sistema de gestión de la calidad basado en la norma ISO 9001, ejemplo de lo expuesto es el desarrollado por (Osorio Gómez; Díaz Mosquera & Garro Astudillo, 2010) el cual consiste en la utilización de una metodología multicriterio (sustentada en el Análisis Jerárquico de Procesos) para medir realmente el logro o no de beneficios asociados al sistema de gestión de la calidad y su aplicación en un grupo de empresas manufactureras de Colombia. La metodología es replicable en cualquier tipo de organización, y busca direccionar esfuerzos y ayudar en la toma de decisiones empresariales respecto a la implementación o no de un sistema de gestión de la calidad.

En los últimos años se ha asistido a una rápida expansión en todo el mundo del conjunto de normas denominadas familia ISO 9000. Es incuestionable que los sistemas de gestión de la calidad diseñados a partir de las normas ISO 9000, se han convertido en un idioma técnico universal y en una valiosa herramienta de trabajo en los procesos de negociación y en la exportación. Estas normas exigen el desarrollo de un adecuado aseguramiento metrológico. Así, en los modelos ISO 9001; 9002 y 9003 se establecen los requisitos que deben cumplirse para los equipos de inspección, medición y ensayo.

Para (González Camps & 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.

De esta forma, las normas de la familia ISO 9000 brindan los elementos técnico-organizativos necesarios para lograr un adecuado aseguramiento metrológico en cualquier organización. En la actualidad se encuentran vigentes las normas ISO 9000:2005 y la ISO 9001:2008.

A partir de 1991 se edita la ISO 10012 parte 1, que establece los requerimientos para la elaboración de un sistema de confirmación metrológica, y en 1996 la ISO 10012 parte 2 que define los requisitos para el control de los procesos de mediciones. En su edición del año 2007 se integran ambas partes, denominándose ISO 10012.

En el control de los procesos, las mediciones deben considerarse como un proceso en sí mismas. La ISO 10012 establece un conjunto de requisitos generales para documentar el sistema de confirmación metrológica. 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.

El Sistema de Confirmación Metrológica, descrito en la ISO 10012, está destinado a asegurar que las mediciones (ejecutadas usando un equipo de medición que esté dentro de su intervalo de confirmación) son suficientemente exactas para el propósito. El control de las mediciones, como procesos, reduce las posibilidades de las fuentes que originen fallas al azar, daño o mal uso.

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.

(Cambra Díaz, 2014) y (Martínez Hernández, 2014) plantean que, al igual que ocurre con la NC ISO 9001: 2008 donde queda explícito la necesidad de implementar un sistema para el control del proceso de medición, ocurre con otras normas donde se incluye el requisito mencionado, como es el caso de la OHSAS 18001 y la ISO 14001, las cuales recogen los requisitos a cumplir por los sistemas de gestión de seguridad y salud en el trabajo y los sistemas de gestión ambiental respectivamente. En estas se establecen la necesidad de medir y evaluar para tomar

decisiones eficaces basadas en el análisis de los datos y la información, con vistas a la mejora del sistema de gestión, los procesos y sus resultados (Cuendias de Armas *et al.*, 2013).

El autor de la actual investigación cree oportuno abordar la metrología como ciencias de las mediciones, debido a que la misma está presente en todos los sistemas de gestión.

1.3. Generalidades sobre la metrología como ciencia de las mediciones

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 & Hernández Leonard, 2014).

La palabra metrología proviene del griego **μέτρον** (medida) y **λογος**, (tratado), y se define como la ciencia de las mediciones, e incluye todos 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 & Villareal, 2011) comentan además que dicha ciencia es la encargada de investigar, experimentar y establecer los patrones de referencia primarios en el ámbito internacional; de 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.

(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 & Hernández Leonard, 2011). En otra de las actividades que tiene presencia esta ciencia es en las mediciones medioambientales, (Tsai & Aggarwal,

2013), planteándose además la importancia y necesidad de contar con normas y mediciones trazables en este campo. Otras de las actividades que tiene presencia la ciencia de las mediciones es en la determinación de las dimensiones antropométricas significativas para diseños de mobiliarios (Zawiah Md Dawal *et al.*, 2015); en los sistemas de medición y análisis de topografía de la superficie (Niemczewska Wójcik *et al.*, 2014) y muchos otros. Sin embargo, la ocupación en la precisión y reproducibilidad de las mediciones es parte constitutiva del desarrollo de la ciencia (Carvajal & Kottow, 2012).

(Reyes Ponce & Hernández Leonard, 2014) comentan 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.

La metrología es una sola, pero 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; Calibración y Trazabilidad (Metrología Industrial) y Metrología Legal (ver Reyes Ponce; Hernández Leonard & Hernández Ruíz, 2013).

Por otra parte, la comunidad científica relacionada con las mediciones analíticas está promoviendo también la identificación de la Metrología Química como una rama independiente, la cual ha alcanzado un notable desarrollo en Brasil.

La metrología en el mundo globalizado de hoy, tiene la responsabilidad de identificar los elementos determinantes en la garantía del cumplimiento de requisitos, indicadores, especificaciones, necesarios para alcanzar calidad competitiva en productos y servicios, que se acepten en todo el mundo, facilitando con ello la eliminación de barreras técnicas al comercio, a partir del reconocimiento mutuo de resultados de mediciones confiables, seguras y comparables (Reyes Ponce, 2014).

(Reyes Ponce; Hernández Leonard & Hernández Ruíz, 2013) expresan que las mediciones son importantes para:

- Garantizar la optimización y calidad de los procesos tecnológicos.
- Principales fuentes de información sobre la eficiencia de los procesos tecnológicos.
- Constituyen la base sobre la cual se fundamentan todas las transacciones comerciales.
- Desempeñan un papel decisivo en la salud y protección del medio ambiente.

- Coadyuvar a la obtención de las evidencias científicas válidas para la credibilidad de los resultados de la investigación científica.

Para (Llamosa; Milton & Villareal, 2011) el papel de la metrología se hace realmente relevante cuando el proceso de medición es vital en algún tipo de transacción comercial, en aplicaciones militares, en aplicaciones en el campo de la salud, en la producción de medicinas o de alimentos, en la realización de pruebas para construcciones de ingeniería civil, en la realización de diagnósticos para descubrir la causa de algún problema eléctrico, en la realización 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.

(Reyes Ponce, 2014) comenta que para facilitar la comunicación entre los metrologos la OIML publica el VIM (Vocabulario Internacional de Metrología. Conceptos básicos y generales y términos asociados, 2010), versión adoptada por Cuba. En estos momentos ya se cuenta con la versión OIML 2012, de dicho documento.

Por otra parte, para realizar las mediciones se utilizan los métodos de medición, que se puede definir como la secuencia lógica de operaciones generalmente descritas, usada en la ejecución de las mediciones de acuerdo con un principio dado (Reyes Ponce; Hernández Leonard & Hernández Ruíz, 2013).

Para realizar la medición además se necesita contar con un instrumento de medición, que no es más que un software, patrón de medida, material de referencia o aparato auxiliar, o una combinación de estos para ser usado en hacer mediciones (NC ISO 10012: 2007). Los instrumentos de medición se fabrican de acuerdo a las características de la magnitud física que se vaya a medir, entre las cuales están: masa, tiempo, frecuencia, temperatura, longitud, resistencia eléctrica, concentración de cantidad de sustancia, entre otras.

No existe la medición perfecta, toda medición contiene errores que pueden ser motivados por diferentes causas entre las cuales se encuentran: la persona que realiza la medición, el método, instrumento, condiciones ambientales. El error de medición se define como el resultado de una medición menos el valor verdadero de la magnitud a medir (NC OIML V2:1995).

(Reyes Ponce; Hernández Leonard & Hernández Ruíz, 2013) en su libro “Metrología para la Vida” expresan que aún en las mejores condiciones, si el profesional no ha adquirido una formación integral que le permita incorporar el conocimiento metrológico en el desarrollo de su gestión, este no garantizará la calidad de su trabajo, y los procesos no van a satisfacer los requisitos de los clientes y usuarios, y trae consigo, pérdidas de recursos de todo tipo, que en determinadas situaciones puede ser irreversible.

En los últimos años ha surgido un interés sin precedentes por la metrología, la industria se ha dado cuenta que mantener sistemas de medición confiables es de gran importancia para la comercialización de productos a nivel nacional e internacional, sobre todo cuando se comercializan productos de elevado costo, como el caso de los hidrocarburos líquidos (Muñoz Caballero, 2006).

A decir de (Ospina Gutiérrez; Botero Arbeláez & Mendoza Vargas, 2008) las empresas han cambiado su percepción hacia la metrología, ya que solo la consideraban relevante para cumplir unos requisitos y así obtener una certificación. Han trascendido de cumplir con unas exigencias sobre los dispositivos de medida a la gestión de las mediciones con el fin de que equipos y procesos de medición sean adecuados para su uso previsto. Producir y medir son actividades intrínsecas que se deben planear, ejecutar, controlar y mejorar de manera simultánea.

1.4. Gestión de las mediciones

El diseño de sistemas de gestión para el campo de la Metrología ha evolucionado en la actualidad. Por una parte, se han desarrollado normas para la gestión global de los elementos que forman a una organización dedicada a la metrología, como lo es la NC ISO/IEC 17025:2006 “Requisitos Generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración”. Esta norma establece los criterios para los laboratorios que desean demostrar su competencia técnica, que poseen un sistema de calidad efectivo y que son capaces de producir resultados técnicamente válidos (González Camps & Reyes Ponce, 2014).

Las autoras citadas plantean además que por otra parte está la NC ISO 10012:2007 “Sistema de gestión de las mediciones. Requisitos para los procesos de medición y los equipos de medición”, que enfatiza en los procesos de medición y los equipos de medición. Esta norma, especifica requisitos genéricos y proporciona orientación para la gestión de los procesos de medición y para la confirmación metrológica del equipo de medición utilizado para apoyar y demostrar el cumplimiento de requisitos metrológicos.

La NC ISO 10012: 2007, también tiene en cuenta el enfoque basado en procesos, y expresa “los procesos de medición deben considerarse como procesos específicos cuyo objetivo es apoyar la calidad de los productos elaborados por la organización”. La figura 1.4 muestra un esquema de aplicación del modelo del sistema de gestión de las mediciones dado en la NC ISO 10012: 2007.

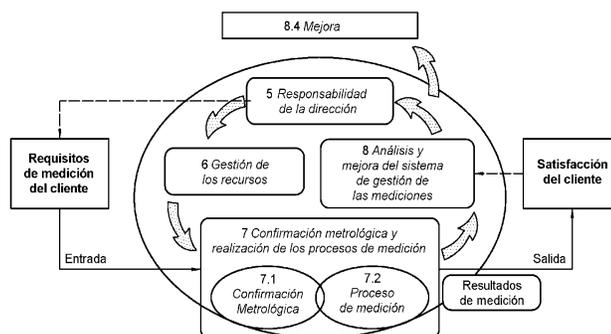


Figura 1.4. Modelo del sistema de gestión de las mediciones según NC ISO 10012: 2007.
Fuente: NC 10012: 2007.

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 autor de la investigación en curso coincide con el criterio dado por (Hernández Santana, 2012); (Machado García, 2013); (Cambra Díaz, 2014) y (Martínez Hernández, 2014) en que dentro de la gestión de las mediciones pueden existir procesos y subprocesos en dependencia de las características y complejidad de la organización que se trate. El término subproceso es utilizado en la investigación para diferenciar los procesos internos que ocurren dentro del proceso de medición.

1.4.1. Sistema de gestión de las mediciones

La norma NC ISO 10012: 2007 especifica requisitos genéricos y proporciona orientación para la gestión de los procesos de medición y para la confirmación metrológica del equipo de medición, utilizado para apoyar y demostrar el cumplimiento de los requisitos metrológicos. Especifica los requisitos de gestión de la calidad de un sistema de gestión de las mediciones que puede ser utilizado por una organización que lleva a cabo mediciones como parte de su sistema de gestión global, y para asegurar que se cumplen los requisitos metrológicos.

Un sistema de gestión de las mediciones eficaz, asegura que el equipo y los procesos de medición son adecuados para su uso previsto, y es importante para alcanzar los objetivos de la calidad del producto y gestionar el riesgo de obtener resultados de medición incorrectos. El

objetivo de un sistema de gestión de las mediciones es gestionar el riesgo de que los equipos y procesos de medición puedan producir resultados incorrectos que afecten a la calidad del producto de una entidad.

Para hacer un sistema de gestión de las mediciones es necesario elaborar procedimientos, que deben documentarse, validarse, utilizarse dentro de su período de vigencia, los cambios que sean necesario realizarles deben ser hechos por el personal autorizado, y que estén disponibles en el lugar y al alcance de la persona que debe trabajar con ellos.

La norma NC ISO 10012: 2007 es aplicable a cualquier tipo de organización, la misma establece cinco grupos de requisitos mínimos que son genéricos, y pretende que se apliquen por las organizaciones, los grupos se muestran a continuación (Cambra Díaz, 2014) y (Martínez Hernández, 2014):

- **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.

Una vez cumplimentadas estas etapas es 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.

Para (González Camps & Reyes Ponce, 2014) el desconocimiento por parte de los dirigentes en las organizaciones, de las funciones que deben realizar las personas que atienden esta actividad y la necesidad de lograr la seguridad en las mediciones que se realizan durante los procesos productivos; se considera que resultan problemas importantes a resolver en un futuro no lejano, para lograr la gestión de las mediciones en todos los pasos de los procesos de producción.

1.5. 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 (Cambra Díaz, 2014) y (Martínez Hernández, 2014). En la figura 1.5 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 la variabilidad debida a medir en momentos diferentes en el tiempo (Cortés Reyes; Rubio Romero & Gaitán Duarte, 2010) y (Ramírez Barrera, 2011).

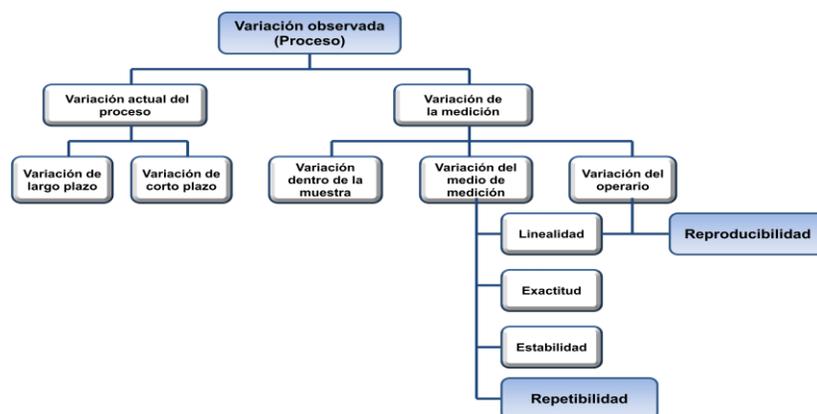


Figura 1.5. Fuentes de variación observadas en el proceso. Fuente: (Gutiérrez Pulido & de la Vara Salazar, 2004).

Con el establecimiento de la norma 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.

1.5.1 Evaluación de los sistemas de medición

Para evaluar este tipo de sistema se utilizan las “Pruebas de Reproducibilidad & Repetibilidad (R&R)” (Gutiérrez Pulido & de la Vara Salazar, 2004) y (Kwun Wanga & Wen Yang, 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 & Stefanski, 2011), coincidiendo con este criterio autores como (Pyzdek, 2003) e (ISO 13053: 2011).

(Cambra Díaz, 2014) y (Martínez Hernández, 2014) comentan que diversos autores utilizan este tipo de prueba para analizar y evaluar sistemas de medición en diversos procesos. (Carrión García & Grisales del Río, 2013) aplica este tipo de prueba en el sector automovilístico como parte de las prácticas de control de procesos estadísticos. (Singh et al., 2011) estudia la estabilidad de un banco de rodillos de presión, (Galvania & Carpinettib, 2013) comprueban y validan mediciones en diferentes procesos a través de las pruebas mencionadas. (Solminihac et al., 2012) propone una metodología general para el control de calidad en instrumentos y mediciones de resistencia al deslizamiento, aplicando conceptos estadísticos de repetibilidad y reproducibilidad.

ISO 13053: 2011 manifiesta que esta prueba compara la incertidumbre de la medición con el intervalo de tolerancia del proceso o producto característico a medir, que se expresa como un porcentaje, para determinar la aceptabilidad del instrumento de medición.

(Hernández Rivero et al., 2012) demuestra la importancia de la exactitud de las mediciones en la actividad de producción de radiofármacos y durante las prácticas de medicina nuclear. (Hajipour; Kazemi & Mousavi, 2013) realiza análisis de los sistemas de medición utilizando repetibilidad y la reproducibilidad. (Viña Rodríguez et al., 2013) exponen las principales características de la evaluación de la precisión en métodos de ensayo en el Centro de Inmunología Molecular de La Habana.

Otros estudios son los desarrollados por (Savic & Gersak, 2015), estos autores proponen un procedimiento para la evaluación de un sistema de medición de la actividad electrodérmica de

la piel, para lo cual utilizan dispositivos fiables y suficientemente preciso para mediciones de nivel de conductancia de la piel, con una trazabilidad metrológica establecido y lecturas vinculadas a las unidades básicas del Sistema Internacional de Unidades.

(Correa & Burgos, 2007) difunde los estudios R&R a partir del diseño experimental, este investigador muestra la aplicación de esta metodología en la empresa Cementos El Cairo, donde realizada el método a la prueba finura del cemento.

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), coincidiendo con este criterio (Gutiérrez Pulido & de la Vara Salazar, 2004); (Kwun Wanga & Wen Yang, 2007); (Brazzale et al., 2010); (Pryseley et al., 2010); (Santoya Achón & Coello Reina, 2011) y (Viña Rodríguez et al., 2013), así como (Cambra Díaz, 2014); (Martínez Hernández, 2014) y el autor de la actual investigación.

(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 cual ese producto proviene, es la medición. Ésa es la razón por la cual 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.

1.6. 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 calidad de una medición se encuentra estrechamente vinculada a (Cambra Díaz, 2014) y (Martínez Hernández, 2014):

- Adecuación de los equipos de medición a las necesidades reales de los procesos de la empresa.
- Funcionamiento correcto de los instrumentos de medición.

- Trazabilidad de los instrumentos de medición con los patrones nacionales.

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 Arbeláez & 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 1.6 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 & Hernández Ruíz, 2013).



Figura 1.6. Bases técnicas para garantizar la calidad de la medición. Fuente: (Reyes Ponce; Hernández Leonard & Hernández Ruíz, 2013).

Cada uno de los aspectos mencionados en la figura anterior se encuentran explicados en (Reyes Ponce; Hernández Leonard & 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 Arbeláez & Mendoza Vargas, 2008).

Uno de los elementos que influye en la calidad de las mediciones es la incertidumbre, definida por (Cruz de Oliveira, 2011) y (Carvajal & 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 de Oliveira, 2011) y (Solaguren-Beascoa Fernández; Ortega López & Serrano López, 2013). Las decisiones pueden ser correctas o incorrectas y están influenciados por la incertidumbre de la medición.

(Correa & Burgos, 2007); (Cambra Díaz, 2014); (Martínez Hernández, 2014) y el autor de la actual 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.

La obtención de resultados de mediciones confiables, es decir, calidad en las mediciones, tiene impactos concretos y directos en el orden legal, económico, en ciencia y tecnología, siendo estos (Reyes Ponce, 2014):

- En el orden legal: garantía pública, seguridad, mediciones oficiales, protección al consumidor.
- En el orden económico: calidad, capacidad competitiva y acceso al mercado internacional, eficiencia económica.
- En la ciencia y en la tecnología: desarrollo científico y en la Innovación tecnológica.

Por la importancia e impacto que tiene la incertidumbre en la calidad de los resultados de las mediciones, se cree oportuno tratar brevemente dicho aspecto.

1.6.1 Incertidumbre de la medición

Al expresar el resultado de una medición de una magnitud física, es obligatorio dar alguna indicación cuantitativa de la calidad del resultado, de forma que quienes utilizan dicho resultado puedan evaluar su idoneidad. Sin dicha indicación, las mediciones no pueden compararse entre sí, ni con otros valores de referencia dados en especificaciones o normas. Por ello es necesario establecer un procedimiento fácilmente comprensible y aceptado universalmente para caracterizar la calidad del resultado de una medición, eso es, para evaluar y expresar su incertidumbre (NC – Guía 1066: 2015).

Según (GUM, 2008) y retomado por la NC – Guía 1066:2015, el concepto de incertidumbre como atributo cuantificable es relativamente nuevo en la historia de la medición, a pesar de que conceptos como error y análisis de errores han formado parte desde hace mucho tiempo de la práctica de la ciencia de la medición o metrología, actualmente está ampliamente reconocido.

La NC – Guía 1066: 2015 expresa que la incertidumbre de medición es el parámetro asociado al resultado de una medición, que caracteriza la dispersión de los valores que podrían ser razonablemente atribuidos al mensurando.

La incertidumbre de un resultado de medición consta generalmente de varias componentes, que pueden agruparse en dos tipos, según el modo en que estime su valor numérico (NC – Guía 1066: 2015):

- A: aquellas que se evalúan por métodos estadísticos.
- B: aquellas que se evalúan por otros métodos.

La evaluación de la incertidumbre tipo A es la que se realiza mediante análisis estadísticos de series de observaciones, mientras la tipo B se realiza por medios distintos al análisis estadístico de series de observaciones.

Los dos tipos de evaluación se basan en distribuciones de probabilidad, y las componentes resultantes tanto de uno como del otro tipo de evaluación se cuantifican mediante varianzas o desviaciones típicas.

La incertidumbre de tipo A se obtiene a partir de una función de densidad de probabilidad derivada de una distribución de frecuencia observada mientras que una incertidumbre típica tipo B se obtiene a partir de una función de densidad de probabilidad supuesta o asumida, basada en el grado de confianza que se tenga en la ocurrencia del suceso.

Cuando el resultado de una medición se obtiene a partir de los valores de otras magnitudes, la incertidumbre típica de este resultado se denomina incertidumbre típica combinada. Se trata de la varianza combinada, obtenida a partir de todas las varianzas y covarianzas, como quiera que hayan sido evaluadas, utilizando la ley de propagación de la incertidumbre (NC - Guía 1066:2015).

Para satisfacer las necesidades de determinadas aplicaciones industriales y comerciales, así como las exigencias de los campos de la salud y la seguridad, la incertidumbre típica combinada se multiplica por un factor de cobertura k , obteniéndose la denominada incertidumbre expandida U . El propósito de esta es proporcionar un intervalo en torno al resultado de medición, que puede contener una gran parte de la distribución de valores que

razonablemente podrían ser atribuidos al mensurando. La elección del factor k , habitualmente comprendido entre valores 2 y 3, se fundamentan en la probabilidad o nivel de confianza requerido para el intervalo (NC - Guía 1066:2015).

En la mayor parte de los casos, un mensurando Y no se mide directamente, sino que se determina a partir de otras N magnitudes X_1, X_2, \dots, X_N , por medio de una relación funcional f (definición del modelo matemático):

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_N) \quad (1.1)$$

Una estimación del mensurando Y , representada por y , se obtiene a partir de la ecuación (1.1) utilizando las estimaciones de entrada x_1, x_2, \dots, x_N para los valores de N magnitudes X_1, X_2, \dots, X_N . Así, la estimación de salida y , que es el resultado de la medición, viene dada por:

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_N) \quad (1.2)$$

Estos tipos de evaluaciones y estimaciones de la incertidumbre, en ocasiones es complejo, si se trata de sistemas de medición, debido a las técnicas estadísticas a utilizar, así como la cantidad de fuentes de variabilidad que intervengan. Por todas las razones expuestas es imprescindible cuando se habla de calidad en la medición tratar la incertidumbre asociada a la misma.

Una de las razones por la cual es indispensable la calidad en la medición es por el derecho de recibir el peso, volumen o longitud justo de mercadería por un precio adecuado. Una forma de determinar el precio adecuado a un artículo tanto para el vendedor, como para el comprador en una transacción mercantil es el uso de mediciones de variables físicas como masa, volumen y longitud. Con motivos de un pago justo las medidas deben ser justas, de allí que a lo largo de la historia han ido apareciendo sistemas de unidades y modos de medir productos para cumplir con lo mencionado. Por tanto se cree oportuno analizar algunos elementos sobre las condiciones para la medición fiscal y transferencia de custodia, específicamente en los hidrocarburos, por ser parte del objeto de estudio de la investigación en curso.

1.7. Medición fiscal y transferencia de custodia

(Germanier & López Carrizo, 2006) manifiestan que ninguna medición es confiable si el elemento que determina el valor de la variable a medir no lo es. A razón de esto, surge la necesidad de utilizar un sistema de medición como el de transferencia de custodia. La transferencia de custodia ocurre cuando el producto es entregado a un tercero para su manejo y custodia, manteniéndose la propiedad del producto.

Las tecnologías de medición a utilizar deben estar acorde con las características del proceso y permitir los niveles de incertidumbres adecuados para la medición fiscal. Por otra parte, la

instrumentación debe ser seleccionada por su exactitud y estabilidad. No pueden utilizarse instrumentos y equipos que demanden ajustes frecuentes (Germanier & López Carrizo, 2006). La calibración de todo medidor utilizado para la transferencia de custodia debe ser realizada por un ente acreditado y congruente con los estándares nacionales e internacionales.

Para (Pedrola & Subirá, 2012) hay varios aspectos que pueden tener influencia en la selección del principio de medida más adecuado para una aplicación de transferencia de custodia. Entre los aspectos a considerar se encuentran: Aspectos metrológicos y características del producto; Requerimientos funcionales; Instalación y Costes.

Tanto la magnitud a medir como la respuesta de los instrumentos de medición, dependen en mayor o menor grado de las condiciones ambientales en que el proceso se lleva a cabo. Como variables ambientales se pueden citar: temperatura, humedad y presión. La primera es sin duda la más significativa en la mayoría de los procesos de medición, incluyendo el inventario del petróleo y sus derivados.

(Hernández Apaceiro, 2012) manifiesta que la ejecución del control metrológico en las mediciones fiscales, de los combustibles en Cuba tiene como principal propósito que la exactitud durante las transacciones se encuentre entre los límites internacionalmente establecidos, lo cual representa seguridad y confianza en los resultados del proceso de medición.

Por tanto, un buen mejoramiento de los procesos de medición, ayuda a orientar las actividades e impulsar la toma de decisiones con base a fundamentos correctos, y llevar un inventario adecuado, a la hora que se presente la fiscalización de las autoridades competentes (Chang Granados, 2007).

La transferencia de custodia se debe realizar en el marco de la metrología legal, lo que implica que los sistemas de medición utilizados para este propósito sigan la normativa nacional e internacional.

1.7.1. Medición fiscal y transferencia de custodia en la industria petrolera

Los hidrocarburos líquidos se deben fiscalizar en los sitios más cercanos a las áreas operacionales, tomando como base la normativa legal sobre la materia y una relación favorable entre la calidad mínima requerida en las mediciones y la operación de los puntos de medición. La adopción e implantación de normas internacionales constituye una línea de trabajo en el campo de la metrología legal para la medición y control de los hidrocarburos.

De acuerdo con la Disposición General 01, DG 01 “Instrumentos de medición sujetos a verificación y los campos de aplicación donde serán utilizados” la casi totalidad de los recipientes de almacenamiento y demás instrumentos destinados a la medición de combustibles, son objeto de verificación estatal obligatoria y se trabaja de forma sistemática para que la base normalizativa que la avala esté en correspondencia con los requerimientos internacionales, fundamentalmente en lo relativo a los parámetros metrológicos, métodos, medios de medición y errores máximos permitidos (Hernández Apaceiro, 2012).

En el **Anexo No.2** se muestra el nexo existente entre los documentos internacionales y la normativa cubana para las mediciones de transferencia de custodia de los combustibles en Cuba.

Según (Guano, 2008) los funcionarios responsables de la fiscalización en el campo de producción, deben tener pleno conocimiento de la tecnología y procedimientos utilizados por las empresas operadoras para determinar los volúmenes producidos de petróleo y sus cualidades, estando obligados a revisarlos y aprobarlos periódicamente. Las tecnologías de medición a utilizar deben estar acorde con las características del proceso, permitiendo obtener los niveles de incertidumbre adecuados para la medición fiscal.

Cada sistema de medición debe incluir la estimación correspondiente de la incertidumbre, de acuerdo con la Guía ISO para estimación de la incertidumbre en las mediciones (GUM).

De forma general los sistemas de medición y los equipos que lo conforman, así como los sistemas automáticos de medición fiscal deben tener características constructivas y operacionales que garanticen (Guano, 2008):

- La medición de todo el flujo o volumen sin posibilidad de desvío ni contaminación del fluido.
- Alta disponibilidad operacional del sistema.
- Fidelidad e integridad de las mediciones, la información obtenida de la base de datos y los cálculos que los equipos y sistemas procesan.

Los sistemas de medición fiscal y de transferencia de custodia deben ser periódicamente auditados a fin de verificar el cumplimiento de las condiciones de operación establecidas en las regulaciones vigentes. Por ejemplo (Muñoz Caballero, 2006) manifiesta que en su parte técnica, las Normas de Fiscalización de Hidrocarburos de Venezuela han acogido algunos procedimientos acreditados internacionalmente provenientes de organismos oficiales y de instituciones especializadas en la materia, así como la incorporación y uso de patrones

adecuados que garanticen la exactitud de la medición fiscal y transferencia de custodia en la industria petrolera venezolana, con la utilización de equipos confiables debidamente calibrados por empresas independientes acreditadas.

En este tipo de industria son empleados los medidores de flujo Coriolis, los cuales son altamente usados en transacciones comerciales, donde la medición del producto vendido puede ser dispensada en unidades de masa, debido a que la masa de un fluido no se ve influenciada por variables físicas como presión, temperatura o densidad. (Germanier & López Carrizo, 2006); (Wang & Baker, 2014) y (Franco Fernández *et al.*, 2014) definen las ventajas de los medidores de flujo Coriolis en las transferencias de custodia:

- Menor mantenimiento y costo de inventario.
- Mayor producción y caudal a medir.
- Mayor mantenimiento de la exactitud.
- Reducción de costos de instalación.
- Bidireccionalidad.
- Información en tiempo real del medidor para el sistema supervisor o de adquisición de datos.
- Amplia experiencia y utilización en aplicaciones de la industria del petróleo.
- Alta exactitud EMP (0,1-0,3 %) en correspondencia con las R OIML 117.
- Cuentan con computadoras de flujo que corrigen a temperatura de referencia.
- Medición de temperatura y densidad en tiempo real.

Investigadores como (Ridder *et al.*, 2014) trabajan en la cuantificación de la influencia de vibraciones externas sobre el valor de la medición de este tipo de medidores.

Ejemplo de mediciones fiscales son las lecturas de volúmenes y masas de los medidores de tanques, que según (Chang Granados, 2007) constituyen la base para el cálculo y la facturación, estas deben ser muy exactas para que la desviación no provoque consecuencias negativas relevantes. Esto tiene especial aplicación a efectos contables, como en el control/verificación de transferencia, la gestión de inventarios y el control de pérdidas.

1.7.2. Medición fiscal y transferencia de custodia en la industria petrolera cubana

Durante el año 2015 se puso en vigor por parte de la Oficina Nacional de Normalización la norma cubana NC 994:2015 “Condiciones y requisitos técnicos para la medición fiscal y transferencia de custodia o propiedad de petróleo y sus derivados”, la cual es elaborada por el Comité Técnico de Normalización NC/CTN 2 de Metrología.

Esta norma no tiene antecedentes en el país y posibilita ordenar y mejorar el control de la medición fiscal y transferencia de custodia y propiedad de los hidrocarburos líquidos. Utiliza como referencia la Recomendación Internacional OIML R 80 – 1:2009 *Road and rail tankers with level gauging. Part 1: Metrological and technical requirements*, la NC 918:2012 “Metros contadores para líquidos diferentes del agua. Métodos y equipos para la verificación”, las Normas Técnicas para la Fiscalización de Hidrocarburos Líquidos del Ministerio de Energía y Minas de la República Bolivariana de Venezuela: 2001 y el Reglamento Técnico de Mediciones de Petróleo y Gas de la Agencia Nacional del Petróleo e Instituto Nacional de Metrología, Calidad y Tecnología, República Federativa de Brasil: 2000, para:

- La implementación de los errores máximos permitidos y la clasificación de los sistemas de medición por clases de exactitud.
- Los términos y definiciones.
- Los requisitos técnicos de los puntos de transferencia y los Sistemas de Medición Fiscal.

Esta Norma Cubana establece las condiciones y los requisitos técnicos para la medición fiscal y transferencia de custodia o propiedad del petróleo y sus derivados, que se aplican en todos los puntos de transferencia de custodia identificados como tales y en la medición fiscal realizada por las entidades autorizadas dentro del territorio nacional, así como establece los elementos siguientes:

- Puntos y sistemas de transferencias de custodia o propiedad y errores máximos permitidos.
- Fuentes de incertidumbre en la medición de volumen de petróleo y sus derivados.

Los Sistemas de Medición Fiscal y de Transferencia de Custodia o Propiedad deben cumplir los requisitos establecidos en la norma mencionada, de forma que se asegure la veracidad de los resultados de las mediciones y la calidad del producto transferido, así como las condiciones bases, ejecución de las mediciones tanto manuales como de forma automatizada, características y ubicación de los puntos de transferencia y los requerimientos funcionales de los sistemas de medición.

De forma general el sistema de medición debe permitir la fiscalización de la transferencia de custodia o propiedad de hidrocarburos líquidos, mediante el registro histórico de las mediciones, balances y demás operaciones que efectúe el sistema con el volumen, tipo de producto, temperatura del producto, número del tanque de operación, la identificación de los medios de transporte, fecha, hora de transferencia, nombre y apellidos del operador que participa en la transferencia. Es válido señalar que esta norma se encuentra en proceso de implantación en el país.

(Franco Fernández *et al.*, 2014) opinan que la medición de volumen y flujo para Cuba Petróleo (CUPET) constituyen la base del control de las operaciones de transferencia de custodia y de mediciones fiscales de la entidad. En las condiciones actuales se acometen 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 la misma para la obtención de los niveles de prestaciones referidos.

Los autores citados con anterioridad comentan además que la medición en cargaderos automotores y de ferrocarril se realiza mayormente por la capacidad de las pailas y las ferrocisternas. Ambos instrumentos de medición se verifican de acuerdo a la norma cubana NC 90-01-18 y tienen errores máximos permitidos (EMP) de 1%. La verificación se efectúa a temperatura ambiente y no se realiza corrección del volumen a temperatura de referencia 15 °C. Por estas razones, se está proponiendo en el país dotar los cargaderos automotores y de ferrocarril con flujómetros másicos o de Coriolis con EMP de 0,25 %, lo cual cumple con los requerimientos de la norma NC 918: “Metros contadores para líquidos diferentes del agua métodos y equipos para la verificación”, acción que se encuentra implementada en la Unidad de Negocio Refinería de Cienfuegos (Martínez Hernández, 2014).

La autora mencionada en su investigación expresa que actualmente la industria petrolera emplea innumerables equipos de medición, pero no todos cuentan con el aseguramiento metrológico necesario para la transferencia de custodia, conllevando a pérdidas económicas, situación que denota la necesidad de evaluar la calidad de las mediciones.

En Cuba quien rige la actividad de metrología es el SENAMET (Servicio Nacional de Metrología), por la importancia que representa este para la actividad se abordan algunos aspectos de esta temática en el siguiente apartado.

1.8. Servicio Nacional de Metrología (SENAMET)

El SENAMET es la red de Órganos de Servicios Metrológicos pertenecientes a la Oficina Nacional de Normalización (ONN), y agrupa, además, a otras empresas o entidades autorizadas a realizar tareas de Metrología Legal, como son la verificación y aforo de instrumentos de medición, así como la ejecución de mediciones legales y la supervisión metrológica (inspección estatal) (www.nc.cubaindustria.cu). Dentro de este se incluye el Instituto Nacional de Investigación en Metrología (INIMET), los centros territoriales y laboratorios provinciales de metrología, pertenecientes a la ONN, así como los laboratorios acreditados de

ensayos y de calibración de instrumentos de medición, pertenecientes a organismos y empresas de la economía nacional.

En los últimos años el INIMET ha estado enfrascado en su inserción en los más importantes planes de desarrollo del país, y en el acompañamiento a los esfuerzos fiscalizadores del país y la lucha contra las ilegalidades y delitos económicos. Su trabajo fundamental se centra en el perfeccionamiento de la base legal y el fortalecimiento de la infraestructura técnica de la Metrología (Reyes Ponce & Hernández Leonard, 2014).

Las autoras mencionadas comentan además que en su diseño actual, el INIMET, cumple funciones y tareas en tres direcciones: es un instituto de investigaciones que funge como entidad auspiciadora de la Academia de Ciencias de Cuba, es el mayor de los tres institutos nacionales de metrología cubanos, depositario y custodio de los patrones de medición de mayor exactitud en el país, y además, es el centro territorial de metrología de la región occidental, proveedor de servicios de calibración y verificación de instrumentos de medición de las mayores empresas de producción y servicios en todo el territorio nacional.

Entre los retos fundamentales de este instituto se encuentran (Reyes Ponce & Hernández Leonard, 2014):

- Consolidación de su papel rector en la Metrología Científica.
- Prestación de servicios científico técnicos eficientes.
- Desarrollo del capital humano necesario y de una cultura metrológica adecuada en el país.
- Apoyo a la definitiva implantación del Sistema Internacional de Unidades en Cuba.
- Contribución a la elevación de la protección del consumidor.
- Respaldo a los esfuerzos nacionales por elevar la calidad de las producciones y servicios.

Para garantizar el aseguramiento metrológico se debe partir de que la persona que realiza las mediciones tiene que estar consciente de la necesidad de su trabajo, estar motivado por su realización, y, sobre todo, es imprescindible que esté capacitado y que se le hagan los controles necesarios. Además es importante tener implantado un sistema de gestión, que sea entendido por el personal y que sea supervisado periódicamente, evidenciándose la relación entre la calidad y la metrología.

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 cuales son transformados para obtener salidas. A este proceso se le pueden aplicar diferentes metodologías de mejoramiento a partir de los nuevos enfoques existentes.

1.9. Metodologías de mejoramiento de procesos

A partir de consultas realizadas por (Cambra Díaz, 2014) y (Martínez Hernández, 2014), así como los criterios expuestos por (Brown, 2013) quien explica la dirección futura de la calidad y explora mediante la identificación de una serie de cuestiones que afectan a la misma en las organizaciones, se destacan un grupo de metodologías de mejoramiento de procesos y de la calidad, realizando una valoración de cada una de ellas a partir de fortalezas y debilidades.

Dentro de estas metodologías sobresalen las siguientes (McCarty *et al.*, 2004) y (Brown, 2013):

- Gestión de la Calidad Total
- Reingeniería de Procesos de Negocio
- Seis Sigma

(Cambra Díaz, 2014) y (Martínez Hernández, 2014) en sus investigaciones abordan las metodologías mencionadas, además explican los elementos de la selección de la filosofía Seis Sigma para ser aplicada a la gestión de las mediciones, coincidiendo con sus criterios el autor de la actual investigación. Por estas razones se decide solo tratar algunos elementos de la metodología mencionada.

1.9.1. Seis Sigma como metodología de mejora de procesos

Seis Sigma es un programa mejora de la calidad que tiene como objetivo reducir la variabilidad del proceso a través de la aplicación de los métodos estadísticos y herramientas de gestión de la calidad. El programa Seis Sigma está atrayendo la atención de ganancias financieras obtenidas por algunas empresas con el desarrollo de proyectos de Seis Sigma (Sanders & Hild, 2000); (Hoerl, 2001); (Schroeder *et al.*, 2007) y (Mergulhao & Martins, 2008); (Arthur, 2014) y (Duarte & Cruz Machado, 2013), coincidiendo con estos criterios autores tales como (Reyes Aguilar, 2002); (McCarty, 2004); (John *et al.*, 2008); (Daglioglu; Inal & Aksoy, 2009); (Gutiérrez Pulido, 2010); (Gremyr & Fouquet, 2012) y (Galvania & Carpinettib, 2013). Es una filosofía en la cual las variables pueden ser controladas y se utilizan como un medio de gestión de la calidad destinada al cero error (Pyzdek, 2003); (Gygi; Williams & Gustafson, 2006); (Daglioglu; Inal & Aksoy, 2009); (ISO 13053: 2011) y (Ingelsson & Martensson, 2014). Esta metodología obliga a las personas a medir los procesos (Eckes, 2003); (Gygi; DeCarlo & Williams, 2005); (ISO 13053: 2011); (Galvania & 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 & 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 de 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 realizado en las empresas manufactureras instaladas en Brasil, Tailandia y los Estados Unidos demuestran lo planteado anteriormente (Reyes Aguilar, 2002); (Calia & Guerrini, 2005); (Pinto & Carvalho, 2006); (Fernández & Turrioni, 2007); (Andrietta & Miguel, 2007) y (Lertwattanapongchai & Swierczek, 2014).

Esta filosofía se basa en el ciclo iterativo definir, medir, analizar, mejorar, controlar (DMAIC) (ver figura 1.7) empleada para optimizar los procesos existentes (Gutiérrez Pulido, 2010) e (ISO 13053: 2011). El objetivo de DMAIC es elevar la calidad (John *et al.*, 2008). En el **Anexo No.3** se indican las principales actividades y se alinean las herramientas empleadas para las respectivas fases del ciclo mencionado.

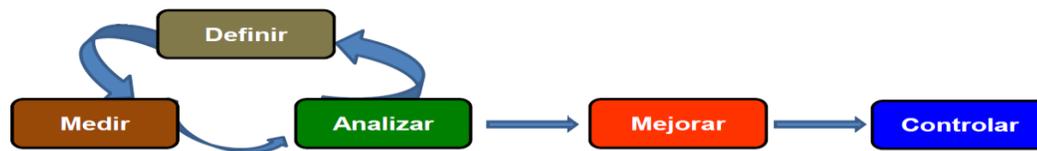


Figura 1.7. Secuencia Seis Sigma DMAIC. Fuente: ISO 13053: 2011.

Mientras que (Galvania & Carpinettib, 2013) definen once factores críticos para la implementación efectiva de un programa Seis Sigma, estando entre ellos: el cambio cultural; capacitación; capacidad para la gestión de proyectos, entre otros, coincidiendo con estos (Cambra Díaz, 2014); (Martínez Hernández, 2014) y el autor que desarrolla la actual 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.

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 absoluto, pero esto no siempre es una meta apropiada y no necesita ser cumplido 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 & Pohekar, 2014) 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.

El autor de la actual investigación coincide con los criterios de (Hernández Santana, 2012); (Machado García, 2013); (Cambra Díaz, 2014) y (Martínez Hernández, 2014), los cuales seleccionan Seis Sigma como la metodología a utilizar en sus trabajos de campo, debido a que es una metodología más comprensiva y fácil de aplicar, una vez que se tienen claras las herramientas requeridas, también porque contiene un acercamiento sistemático para encontrar soluciones a los problemas ocultos y controlar el desempeño de los resultados.

Es válido resaltar que en la búsqueda bibliográfica realiza en la investigación, no se evidencian trabajos donde se utilice dicha metodología para la mejora de la gestión de las mediciones, solo los trabajos desarrollados por (Hernández Santana, 2012); (Machado García, 2013); (Cambra Díaz, 2014) y (Martínez Hernández, 2014) integran dicha filosofía a la gestión de las

mediciones, siendo estas experiencias la base que sustenta el desarrollo de la presente investigación.

Conclusiones parciales del capítulo

1. Uno de los sistemas mejor documentados que existen actualmente en Cuba es el sistema de gestión de la calidad, por lo cual es conveniente, tomarlo como base para insertar sobre él, otros sistemas de gestión incluyendo el de gestión de las mediciones.
2. El requisito concerniente a la confirmación metrológica y la realización de los procesos de medición resulta clave y decisivo para elaborar un buen sistema de gestión, porque es en este aspecto que existe menos experiencia en el país, ya que sólo lo contempla la norma NC ISO 10012: 2007, que ha sido poco utilizada en Cuba.
3. Los mayores errores que ocurren actualmente en las mediciones son causados por la propia persona que ejecuta la medición, y en ello incide notablemente la falta de capacitación para el trabajo, deficiencias en el control que sobre ellos se debe realizar, así como la no aplicación de un sistema de gestión de las mediciones.
4. Se selecciona la metodología Seis Sigma, debido a que es más comprensiva 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. Se basa en técnicas estadísticas obligando a la medición de los procesos, evidenciándose la necesidad de integrarla a la mejora de la gestión de las mediciones, además ha sido integrada a la gestión de las mediciones en diversas investigaciones, como las desarrolladas por (Hernández Santana, 2012); (Machado García, 2013); (Cambra Díaz, 2014) y (Martínez Hernández, 2014).



Capítulo 11



CAPÍTULO II: PROCEDIMIENTO PARA LA MEJORA DE PROCESOS EN LA GESTIÓN DE LAS MEDICIONES

En el presente capítulo se realiza la caracterización de la Refinería de Petróleo “Camilo Cienfuegos”, así como se expone un procedimiento de mejora de procesos aplicado a la gestión de las mediciones, diseñado por (Hernández Santana, 2012) y (Machado García, 2013), utilizando la metodología Seis Sigma, siendo aplicado por (Cambra Díaz, 2014) y (Martínez Hernández, 2014) en la organización objeto de estudio. En este se utilizan criterios de diferentes autores, tales como: (Gutiérrez Pulido & de la Vara Salazar, 2004); (Reyes Ponce *et al.*, 2013); (Correa & Burgos, 2007); NC ISO 10012: 2007; (Guadalupe Echeverría, 2008); (Pacheco González, 2008); ISO 13053: 2011; (Gibbons *et al.*, 2012). Se exponen además las transformaciones propuestas por el autor del actual trabajo, como es la integración de los requisitos propuestos por la NC 994:2015 para la medición fiscal y transferencia de custodia, haciendo énfasis en la evaluación de la incertidumbre de la medición a partir de lo planteado en la Guía (GUM, 2008) y la NC – Guía 1066:2015.

2.1. Caracterización de la entidad objeto de estudio

La Refinería de Petróleo de Cienfuegos 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, comenzando su etapa de proyección y movimiento de tierra en el período comprendido entre 1977 y 1983, su construcción y montaje se enmarca entre 1983 y 1990.

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 puesta en marcha de estas plantas es realizada por personal de la refinería, sin la necesidad de asesoramiento extranjero.

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 transbordo para la prestación de los siguientes servicios:

- Consignación de combustibles.

- Almacenamiento de productos.
- Operaciones de manipulación a entidades de la Unión del Combustible.

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, que eran necesario almacenar y distribuir en toda la región central de Cuba.

No es hasta el 10 de abril del 2006 que 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. Actualmente la Refinería de Cienfuegos pertenece a la corporación CUVENPETROL, dentro de la cual es una Unidad de Negocio.

La dirección general de la Unidad de Negocio perteneciente a CUVENPETROL se encuentra compuesta por nueve direcciones y dos grupos, uno de estos grupos realiza todo lo relacionado con la asesoría legal y el otro tiene a cargo la seguridad y protección física de la misma. Las direcciones con que cuenta la empresa son:

- **Dirección de Seguridad, Higiene y Medio Ambiente (SHA):** Dirige, asesora y fiscaliza el cumplimiento de lo establecido en la legislación vigente; en los documentos rectores; las disposiciones de los organismos superiores en materia de medio ambiente, seguridad del trabajo y ocupacional, prevención y extinción de incendios, asesoría y auditoría técnica y el uso racional de los recursos.
- **Dirección de Contabilidad y Finanzas (DCF):** Organiza, procesa y contabiliza todas las operaciones contables y financieras de la empresa; y asesora a la alta dirección, así como a los máximos órganos de dirección de la empresa en materia económica-financiera, manteniéndolos informados de la situación de la empresa y del comportamiento de los principales indicadores técnico-económicos, alertando y recomendando la adopción de medidas que contribuyan al alcance de los objetivos propuestos en los planes y en la estrategia trazada.
- **Dirección de Recursos Humanos (DRRHH):** Garantiza la aplicación, asesora y supervisa la política de cuadros y capacitación, organización del trabajo y los salarios, inducción del personal y atención al hombre, previstos en la legislación vigente, de conjunto con la empresa empleadora, y de conformidad con lo establecido por los organismos rectores, la estrategia del Ministerio de Energía y Minas, el sistema CUPET y la empresa Mixta; observando y fiscalizando las relaciones existentes entre la empresa mixta y la empresa empleadora, a través del contrato de suministro de la fuerza de

trabajo y planificar, mantener y desarrollar los recursos del personal en la consecución de los objetivos estratégicos planteados en cada lugar.

- **Dirección Técnica (DT):** Dirige, asesora y fiscaliza el cumplimiento de lo establecido en la legislación vigente; en los documentos rectores; las disposiciones de los organismos superiores en materia de tecnología; asesoría y auditoría técnica; uso racional de los recursos; proyectos y control técnico; información científico técnica y bibliotecología. Participa en la determinación de la estrategia de la empresa y en la definición de sus objetivos y tareas principales. Garantiza la realización de los ensayos para la refinación, manteniendo la continuidad de la recepción, almacenamiento y entrega de los productos, cumpliendo con la seguridad, higiene y cuidado ambiental.
- **Dirección de Compra de Bienes y Servicios (DCBS):** Realiza las compras que se requieren; el almacenamiento y conservación de los recursos adquiridos; y el proceso de entrega a las áreas de la empresa de acuerdo a la estrategia de compras, garantizando la calidad requerida y un trato adecuado a sus clientes. Esta dirección es la encargada del aseguramiento técnico y material a todos los procesos, para ello cuenta con varios especialistas en gestión comercial y almacenes.
- **Dirección de Automática, Informática y Telecomunicaciones (AIT):** Garantiza el funcionamiento de la instrumentación, a través del sistema de control distribuido, logrando la continuidad del proceso productivo, así como mantener un adecuado desarrollo de la actividad de informática y las telecomunicaciones en la empresa, asegurando la ejecución de las funciones de sus clientes. Se divide en dos grupos: Informática Telecomunicaciones (operan toda la red informática y las señales de los equipos de comunicación) e Instrumentación (monitorea, controla y sustituye todos los sistemas de control automático de la refinería).
- **Dirección de Operaciones (DO):** Organiza y dirige la ejecución y control de las operaciones relacionadas con la refinación de petróleo, las facilidades auxiliares al proceso y el tratamiento de los residuales que se obtienen como resultado del mismo; con la máxima seguridad, eficiencia, calidad y mínimo costo; respondiendo al cumplimiento de la disciplina tecnológica y laboral, así como garantizar la calidad en correspondencia con la estrategia y la política de calidad establecida por la empresa.
- **Dirección de Movimiento de Crudo y Productos (MCP):** Organiza y dirige la planeación, ejecución y control de las operaciones de recepción, almacenaje y entrega

de los combustibles en las plantas e instalaciones de la refinería con máxima seguridad, eficiencia, calidad y mínimo costo.

- **Dirección de Mantenimiento (MTTO):** Provee un servicio de mantenimiento de alta calidad, con efectividad y eficiencia para maximizar la confiabilidad operacional, la seguridad y la rentabilidad del negocio de refinación, alineados y articulados con los planes sociales para beneficio de la comunidad, a través del uso y aplicación de procesos, mejores prácticas, equipos, sistemas y tecnologías que agregan valor a la gestión, con recursos humanos comprometidos con los intereses de la empresa y la nación.

La estructura jerárquica de estas direcciones se define en el organigrama de la empresa que se muestra en el **Anexo No.4**.

En la actualidad la Unidad de Negocio cuenta con total de 1061 trabajadores, los cuales se dividen en las categorías de obrero, técnico, administrativo, servicio y cuadro, cuyos porcentajes se muestran en la figura 2.1.

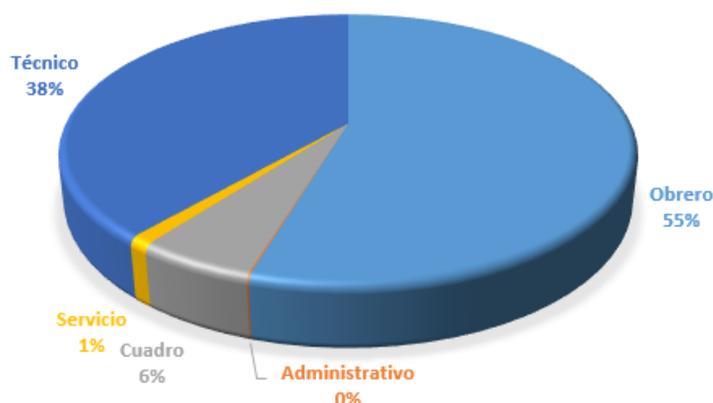


Figura 2.1. Representación de las categorías ocupacionales en la Unidad de Negocio Refinería de Petróleo “Camilo Cienfuegos”. Fuente: Elaboración propia.

En el contexto de la empresa mixta existen siete empresas de la Unión Cuba Petróleo, que prestan diferentes servicios de apoyo. Entre ellas se pueden mencionar:

- Empresa Empleadora del Petróleo (PETROEMPLEO)
- Empresa de Transporte (TRANSCUPET)
- Empresa de Servicios de Petróleo (EMSERPET)
- Empresa Comercializadora de Combustible (ECC)

- Empresa de Mantenimiento al Petróleo (EMPET)
- Unidad de Negocio Refinería de Petróleo “Camilo Cienfuegos”
- Unidad de Negocio: Proyectos (expansión)

La misión, visión, así como sus valores se exponen a continuación:

Misión

Garantizar la refinación de hidrocarburos manteniendo la continuidad de la recepción, almacenamiento y comercialización de los productos con calidad, alta seguridad y responsabilidad ambiental, con PDVSA.

Visión

Consolidar a CUVENPETROL S.A. como Unidad de Negocio refinadora de petróleo, de reconocido prestigio nacional y en el área del Caribe, con excelencia en sus productos y servicios, de eficiente gestión, competitiva, en alianza estratégica con PDVSA, comprometida con el servicio al cliente, la formación integral de sus recursos humanos, la protección del medio ambiente y el desarrollo energético del país.

Valores

DISCIPLINA: Actuación con honor y respeto ante dirigentes, funcionarios, proveedores y clientes, con una adecuada y mantenida conducta en cualquier actividad del quehacer cotidiano, cumpliendo a cabalidad con la legislación vigente.

COLABORACIÓN: Cooperación, ayuda y contribución del colectivo de trabajadores en todas las tareas que se precisen dentro del marco legal, estrechando las relaciones interpersonales y entre áreas, así como con los proveedores, clientes y la comunidad.

AUSTERIDAD: Rigurosos, severos y exigentes con nosotros mismos y los demás en el uso racional y sostenible de los recursos humanos y materiales, combatiendo el derroche, el desvío de recursos y el delito, considerando éstos, actos de indisciplina social.

FIDELIDAD: Actuación con constancia, devoción y lealtad ante nuestro trabajo cotidiano, ante nuestros clientes y proveedores, nuestros dirigentes, nuestra organización y de manera general ante la sociedad que construimos, manteniendo la unidad y la colaboración en torno a la Revolución y a los principios integracionistas de la Alternativa Bolivariana para las Américas.

RESPECTO AL CLIENTE Y PROVEEDORES: Hacer de la confianza recíproca y la buena fe principios que inspiren nuestras actuaciones en la ejecución e interpretación de nuestras relaciones interempresariales.

HONESTIDAD: Ejecutar nuestras acciones y palabras con decoro, transparencia y correspondencia entre la forma de pensar y actuar, manteniendo una posición de honor y vergüenza en defensa de la verdad bajo cualquier circunstancia, cumpliendo con las normas legales.

Sus principales proveedores y clientes son:

- **Proveedores internos:** Dirección General, Dirección de Tecnología, Servicios Técnicos, Mantenimiento, Sector Energético (Calderas y la Subestación eléctrica).
- **Proveedores externos:** Petróleos de Venezuela S.A. (PDVSA), Empresa de Preparación y Suministro de Fuerza de Trabajo (PETROEMPLO), Empresa de Servicios al Petróleo (EMSERPET), ENERGOCONTROL, Refinería de Petróleo “Nico López”, Empresa de productos químicos “Sagua la Grande”, Comercializadora de Sal/División Matanzas, Refinería de Petróleo “Puerto La Cruz”, Empresa de Mantenimiento del Petróleo (EMPET).
- **Clientes Internos:** Planta de Tratamiento y Residual (PTR), Laboratorio, Producción de Diésel.
- **Clientes externos:** Petróleos de Venezuela (PDVSA).

Sistemas de gestión

Existe un Sistema de Gestión de la Calidad diseñado sobre la base de la NC ISO 9001:2008 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.5**.

Los procesos M1 y M2 corresponden a actividades netamente administrativas y de oficinas, relacionadas con toda la gestión de la Unidad de Negocio. El proceso M3, básicamente responde también a actividades administrativas y de oficinas, salvo la actividad de almacenamiento. El proceso M4 concentra los procesos de apoyos fundamentales tales como: M4.1 Gestión de la infraestructura; M4.2 Gestión de la documentación; M4.3 Gestión del ambiente de trabajo y protección de los trabajadores y la comunidad y M4.4 Gestión de los recursos financieros y de ahorro. Este proceso también corresponde a actividades administrativas y de oficinas, a excepción del subproceso M4.1 y específicamente el M4.1.1, que asume las actividades de programación y ejecución del mantenimiento de la infraestructura, lo cual constituye un elemento de fuerte incidencia ambiental, ya que al mismo se subordinan todos los talleres. 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.

Como se ha mencionado anteriormente, la Unidad de Negocio Refinería “Camilo Cienfuegos”, cuenta con un Sistema de Gestión para la Calidad basado en la NC ISO 9001:2008. Además posee certificación *Lloyd's Register*, la cual se encuentra interrelacionada con la norma NC ISO 10012: 2007 “Sistema de gestión de las mediciones. Requisitos para los procesos de medición y los equipos de medición”, específicamente en su apartado 7.6, donde se exponen los requisitos relacionados con el análisis y mejora del sistema de gestión de las mediciones, lo cual es aplicado a cualquier sistema de gestión. Por tanto, los procesos de medición deben considerarse como procesos específicos, cuyo objetivo es apoyar la calidad de los productos elaborados por la organización, aspecto que no se evalúa en su totalidad en la organización objeto de estudio. Los elementos mencionados constituyen la principal razón por la cual surge la necesidad de evaluar la calidad de las mediciones en los diferentes procesos.

Para dar respuesta a lo tratado, (Hernández Santana, 2012) y (Machado García, 2013) diseñan y aplican un procedimiento para la mejora de la gestión de las mediciones en la Unidad de Negocio Refinería, específicamente en el Proceso de Tratamiento y Almacenamiento del Turbo combustible Jet A1, en los ensayos de acidez, color y JFTOT. Dentro de los principales resultados obtenidos en las investigaciones mencionadas se encuentran:

- Determinación de las deficiencias en la gestión de las mediciones, las cuales recaen fundamentalmente en la ausencia de estudios para conocer la calidad en los resultados de los sistemas de medición, demora en el tiempo de ciclo de salida y reposición de los instrumentos, así como el incumplimiento, en ocasiones, del período de verificación y calibración.
- Realización de estudios de repetibilidad y reproducibilidad al ensayo acidez, en el cual se observó la existencia de variabilidad en las mediciones.
- Se proponen e implementan un grupo de mejoras donde se evidencia que el sistema de medición es aceptable en el ensayo acidez, lo que implica que el sistema es capaz de detectar variaciones.
- Utilización de la carta \bar{X} -R para el monitoreo del sistema de medición, resultando que el proceso de medición está haciendo un mejor trabajo y es capaz de discriminar entre una muestra y otra.

Estos estudios son un punto de partida para aumentar la confiabilidad en los resultados de las mediciones de los ensayos analizados.

(Martínez Hernández, 2014) y (Cambra Díaz, 2014), aplican de igual forma el procedimiento mencionado en la organización objeto de análisis, específicamente en los procesos de Recepción, almacenamiento, manipulación y entrega de Gas Licuado del Petróleo e

Hidrofinación del Diésel. Dentro de los principales resultados obtenidos en las investigaciones mencionadas se encuentran:

- Estudio de repetibilidad y estabilidad del flujómetro Coriolis en la entrega de GLP por camiones cisternas con la utilización de un Máster Meter conectado, demostrando que el mismo es estable en el tiempo y capaz de mantener sus características metrológicas.
- 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, proponiendo prefijar un valor promedio para cada carro, ya sea en volumen o en masa.
- Estudio de repetibilidad y reproducibilidad basado en el diseño experimental del ensayo % de azufre y densidad del diésel.
- Evaluación de las especificaciones técnicas del diésel, según el Reglamento Técnico de CUPET durante el proceso, mediante las muestras analizadas.

A partir de los resultados obtenidos se evidencia la necesidad de continuar con la implementación de este tipo de estudios en otros procesos. El autor de la actual investigación coincide con este criterio, pero teniendo en cuenta el análisis de la evaluación de la incertidumbre de medición, la cual incide directamente en la calidad de la misma. Por esta razón se decide introducir modificaciones al procedimiento diseñado por (Hernández Santana, 2012) y (Machado García, 2013) teniendo en cuenta lo dicho anteriormente, a partir de los criterios expuestos en la guía (GUM, 2008) y la NC – Guía 1066:2015 para ser aplicado en los procesos de medición fiscal y transferencia de custodia, siendo tratado dicho procedimiento en el siguiente apartado.

2.2. Procedimiento para la mejora de procesos en la gestión de la medición fiscal y transferencia de custodia

El procedimiento para la mejora de procesos propuesto en la presente investigación, se encuentra fundamentado en la filosofía Seis Sigma para el mejoramiento continuo de procesos, la cual se basa en el ciclo gerencial básico de Deming. Dicho procedimiento es seleccionado por el autor de la actual investigación para ser aplicado al proceso de gestión de las mediciones, específicamente en la medición fiscal y transferencia de custodia, debido a que es una estrategia de mejora continua que busca encontrar y eliminar causas de errores o defectos en los procesos, enfocada a las variables de importancia crítica para los clientes, además este

ha sido aplicado en tres de los procesos de la organización mencionada. Para su elaboración se utilizan criterios de diferentes metodologías, dadas por disímiles autores, tales como: (Gutiérrez Pulido & de la Vara Salazar, 2004); (Reyes Ponce *et al.*, 2007); (Guadalupe Echeverría, 2008); (Arias Carrazana, 2007); ISO 13053: 2011; (Gibbons *et al.*, 2012); NC ISO 10012: 2007, (Pacheco González, 2008); (GUM, 2008), NC – Guía 1066:2015 y la NC 994: 2015.

El procedimiento se organiza en cinco etapas básicas: Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar (ver figura 2.2), 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 cual debe estar formado por un Black Belt, un directivo, el especialista que atiende la metrología, un especialista conocedor de los procesos y un trabajador de experiencia de cada una de las áreas que formen parte de la empresa, estos deben dominar lo planteado en la NC ISO 10012: 2007, NC – Guía 1066:2015 y la NC 994: 2015, así como parte de los requisitos planteados en la NC ISO 9001: 2008 e ISO 13053:2011, además de las técnicas de diagnóstico que se aplicarán para conocer el estado del sistema de gestión de las mediciones, específicamente en la medición fiscal y transferencia de custodia en la organización. De ser necesario se realizará una capacitación en el tema.

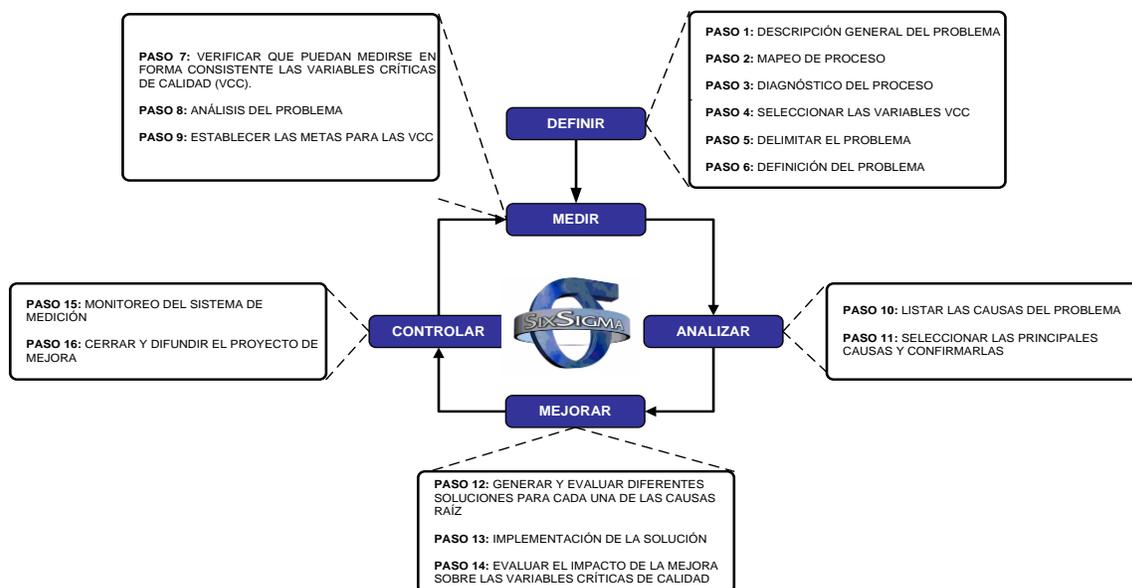


Figura 2.2. Procedimiento para la mejora de la gestión de las mediciones, a partir de la utilización de la metodología Seis Sigma. Fuente: (Hernández Santana, 2012) y (Machado García, 2013).

Tabla 2.1: Aspectos básicos del procedimiento para la mejora de procesos en la gestión de las mediciones. Fuente: (Hernández Santana, 2012) y (Machado García, 2013).

ETAPAS	ACTIVIDAD	HERRAMIENTAS
Definir	Descripción general del problema	Documentación descriptiva del sistema de gestión de las mediciones, reuniones participativas, trabajo de grupo
	Mapeo de proceso	Reuniones participativas, documentación de proceso, Mapeo de procesos (SIPOC)
	Diagnóstico del proceso	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 pondera
	Delimitar y definir el problema	Trabajo en grupos
Medir	Verificar que puedan medirse en forma consistente las variables críticas de calidad	Trabajo en grupo
	Análisis del problema	Trabajo en grupos Métodos determinísticos de estadística clásica (frecuentista) Combinación de incertidumbres con el método Bayesiano de soluciones analíticas (Ley de propagación de la incertidumbre)

	Establecer las metas para las variables críticas de calidad	Trabajo en grupo
Analizar	Listar las causas del problema	Diagrama causa – efecto
	Seleccionar las principales causas y confirmarlas	Trabajo en equipo Votación
Mejorar	Generar y evaluar diferentes soluciones para cada una de las causas raíces	Trabajo en grupos, Tormenta de ideas Técnica UTI
	Implementación de la solución	5W y 2H
	Evaluar el impacto de la mejora sobre las variables críticas de calidad	Técnicas estadísticas Análisis costo - beneficios
Controlar	Monitoreo del sistema de medición	Documentación del proceso, Cartas de Control
	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, específicamente en la medición fiscal y transferencia de custodia, teniendo en cuenta los criterios de los autores mencionados.

Etapa I: Definir

En esta etapa se debe tener una visión y definición clara del problema que se pretende resolver mediante un proyecto Seis Sigma. Por lo cual es esencial una presentación del proceso, detallando el mismo en término de su contexto, alcance y requisitos.

Luego es fundamental identificar las variables críticas para la calidad en el sistema de medición mencionado, establecer metas, definir el alcance del proyecto, precisar el impacto que sobre el cliente tiene el problema y los beneficios potenciales que se esperan del proyecto. Todo lo anterior se debe hacer con base en el conocimiento que el equipo tiene sobre las prioridades del negocio, de las necesidades del cliente y del proceso que necesita ser mejorado.

Los siguientes pasos componen esta secuencia inicial:

Paso 1: Descripción general del problema

Se hace necesario responder la pregunta, ¿Cómo está funcionando actualmente la actividad?

Para realizar un examen profundo del trabajo es necesario:

- Conversar con los clientes (fundamentalmente los trabajadores).
- Recopilar datos y obtener información relevante sobre el comportamiento del proceso.
- Obtener una visión global de la actividad.

De forma general se debe explicar en qué consiste el problema y por qué es importante resolverlo.

El mapeo del proceso permite visualizar cada una de las operaciones (subprocesos) involucradas, de manera aislada o interrelacionadas, debido a que este flujo detallado deja clara la trayectoria de la actividad desde su inicio hasta su conclusión.

Paso 2: Mapeo de proceso

Este paso tiene por objetivo mostrar los subprocesos u operaciones principales del proceso completo donde se presenta el problema, para lo cual es necesario:

Descripción del contexto

Este aspecto pretende dar respuesta a la pregunta, ¿Cuál es la naturaleza del proceso?

Para llegar a conocer el proceso en su totalidad es preciso especificar:

- La esencia de la actividad
- El resultado esperado del proceso

- Los límites del proceso: ¿Dónde comienza? (entradas) y ¿Dónde termina? (salidas)
- Las interfaces con otras actividades (¿Cómo el proceso interactúa con otros procesos?)
- Los actores involucrados en la actividad (ejecutores, clientes, proveedores)

Determinación de los requisitos y narración del proceso

En cuanto a la determinación de requisitos es necesario analizar cuáles son:

- Los requisitos del cliente (exigencias de salida). Las demandas de los clientes de la actividad esclareciendo adecuadamente el producto final que estos esperan.
- Los requisitos para los proveedores (exigencias de entrada). Las demandas del proceso, siendo estas indispensables para obtener un producto o servicio que satisfaga al cliente.

Sin duda alguna, es fundamental que se establezca una comunicación directa, positiva y efectiva entre los responsables de la actividad, los clientes y los proveedores.

Se debe describir con claridad el proceso para tener una visión amplia sobre él. El producto final esperado de esta etapa de caracterización del proceso, es un documento que permita entender y visualizar de manera global en qué consiste el mismo, además de elaborar la ficha del proceso objeto de estudio.

Paso 3: Diagnóstico del proceso

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:

- ¿El qué está bien? (éxito)
- ¿El qué está mal? (fracaso)
- ¿El 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, 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 Carrazana, 2007), así como los requisitos a cumplir en la medición fiscal y transferencia de custodia expuestos en la NC 994: 2015.

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), se deben identificar y ubicar los requisitos legales aplicables. 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), el cual se encuentra en vigor en múltiples 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 determina si se trabaja con enfoque a los clientes, tanto internos como externos, si cada uno de los elementos de los procesos tiene identificado a quién le entrega sus resultados y si están definidos los requisitos de dichos resultados.

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 utiliza el cuestionario de cumplimiento de la norma mencionada, el cual se muestra en el **Anexo No.6**.

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

Condiciones y requisitos técnicos para la medición fiscal y transferencia de custodia

Se recomienda utilizar la lista de chequeo para realizar el diagnóstico sobre el cumplimiento de la norma NC 994: 2015 “Condiciones y requisitos técnicos para la medición fiscal y transferencia de custodia o propiedad de petróleo y sus derivados”, la cual incluyen los requisitos propuestos por la norma mencionado, (ver **Anexo No.7**), siendo estos requisitos fundamentales a cumplir por cualquier sistema de medición donde se realice transferencia fiscal.

Como resultado de la aplicación de la lista mencionada, se recomienda elaborar un informe donde se exponga la situación actual en cuanto al cumplimiento de los requisitos de la NC 994:2015. Dando un adecuado uso a las informaciones obtenidas es posible detectar y caracterizar las causas responsables de posibles fallas y de los resultados indeseados en el proceso de implantación de la norma citada.

Con la información recopilada, se prepara un informe para la alta dirección de la empresa sobre la situación encontrada en el desempeño del sistema de gestión de las mediciones, en especial en la medición fiscal y transferencia de custodia.

Se recomienda la revisión de las “No conformidades” identificadas en auditorias, 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.

Para el tratamiento a las No Conformidades se siguen los pasos expuestos en el procedimiento RF-GG-P-02-09 “Gestión de no conformidades, acciones correctivas y preventivas”, el cual se encuentra integrado al sistema de gestión de la calidad.

Una vez conocida las No Conformidades (NCF), el representante del área autorizada emite al área responsable un Reporte de NCF, formalizando para ello el formato RRF-GG-P-02-09-01. Luego se determinan las medidas que correspondan a partir de la propia naturaleza de las NCF. El cierre de la NCF ocurre cuando el área autorizada comprueba la aplicación real por el área responsable de las medidas y acciones correctivas o preventivas planificadas.

Dando un adecuado uso a los datos e informaciones obtenidas es posible detectar y caracterizar las causas responsables de las fallas y de los resultados indeseados en la gestión de las mediciones.

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

En este paso se deben especificar las variables críticas para la calidad mediante las cuales se evaluará qué tan bien se cumplen los objetivos del proyecto, ejemplo de esto: tiempo de ciclo, costos, calidad de alguna variable de salida, quejas, productividad, 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 cual se recomienda utilizar diferentes técnicas y herramientas como la UTI, Selección ponderada o el Método Delphi.

Paso 5: Delimitar el problema

En este paso se hace necesario delimitar el problema, para decidir qué parte del proceso será abordado en la investigación en función de su magnitud.

Paso 6: Definición del problema

Para la definición final del problema deben utilizarse los datos de las variables críticas para la calidad (ya sea que se refieren al cliente o al desempeño del proceso), es decir, expresar el problema en términos cuantitativos, ligarlo a los resultados del proceso.

Etapas 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. Esta segunda etapa está compuesta por la siguiente secuencia de pasos.

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

Lo primero que debe hacerse es verificar que las variables críticas de calidad que se han elegido en la etapa anterior pueden medirse en forma consistente.

Paso 8: Análisis del problema

En función del problema definido en la etapa anterior se recomienda utilizar técnicas y herramientas propias en función de las deficiencias detectadas. En este paso se debe tener en cuenta cómo influyen las variables críticas de calidad en:

- El aseguramiento de la veracidad de los resultados de las mediciones.
- La calidad del producto transferido.

- En el establecimiento de las condiciones bases.
- En la ejecución de las mediciones tanto manualmente como de forma automatizada.
- En las características y ubicación de los puntos de transferencia y los requerimientos funcionales de los sistemas de medición.

Una de las variables críticas para la calidad en una medición es la evaluación de la incertidumbre, elemento y requisitos indispensable según la NC 994:2015 en los puntos de medición fiscal y transferencia de custodia. Las etapas a seguir para evaluar y expresar la incertidumbre del resultado de una medición, tal como se presenta en la guía (GUM, 2008) y la NC – Guía 1066:2015, puede resumirse como sigue:

- Expresar matemáticamente la relación existente entre el mensurando Y y las magnitudes de entrada X_i de las que depende Y según $Y = f(X_1, X_2, \dots, X_n)$. La función f debe contener todas las magnitudes, incluyendo las correcciones y factores de corrección que pueden contribuir significativamente a la incertidumbre del resultado de medición.
- Determinar x_i , el valor estimado de la magnitud de entrada X_i , bien a partir del análisis estadístico de una serie de observaciones, o bien por otros métodos.
- Evaluar la incertidumbre típica $u(x_i)$ de cada estimación de entrada x_i . Para una estimación de entrada obtenida por análisis estadístico de series de observaciones, la incertidumbre típica se evalúa a partir de métodos determinísticos de estadística clásica (frecuentista) para la evaluación de la incertidumbre tipo A, y la evaluación de incertidumbres tipo B con el método Bayesiano de soluciones analíticas (Ley de propagación de la incertidumbre).
- Evaluar las covarianzas asociadas a todas las estimaciones de entrada que estén correlacionadas.
- Calcular el resultado de medición, esto es, la estimación y del mensurando Y , a partir de la relación funcional f utilizado para las magnitudes de entrada X_i las estimaciones x_i obtenidas.
- Determinar la incertidumbre típica combinada $u_c(y)$ del resultado de medición y , a partir de las incertidumbres típicas y covarianzas asociadas a las estimaciones de entrada. Esta combinación de incertidumbres se puede realizar también con el método Bayesiano de soluciones analíticas (Ley de propagación de la incertidumbre). Si la medición determina simultáneamente más de una magnitud de salida, calcular sus covarianzas.
- Si es necesario dar una incertidumbre expandida U , cuyo fin es proporcionar un intervalo $[y-U, y+U]$ en el que pueda esperarse encontrar la mayor parte de la distribución de

valores que podrían, razonablemente, ser atribuidos al mensurando Y , multiplicar la incertidumbre típica combinada $u_c(y)$ por un factor de cobertura k , normalmente comprendido en un margen de valores entre 2 y 3, para obtener $U = ku_c(y)$.

Seleccionar k considerando el nivel de confianza requerido para el intervalo.

En la tabla 2.2 se resumen las fórmulas para estimar el valor de la incertidumbre que aportan a la medición del valor final, dadas por (Pacheco González, 2008). La utilización o no de los elementos de la tabla mencionada, depende de su aplicabilidad o no en el caso del proceso de medición en cuestión. Esto quiere decir que dichos elementos solo pueden ser omitidos cuando definitivamente no procedan para la actividad que se regula (Pacheco González, 2008).

Tabla 2.2: Evaluación de la incertidumbre estándar. Fórmulas. Fuente: (Pacheco González, 2008).

Posibles fuentes de incertidumbre	Evaluación de la incertidumbre estándar	Observaciones
Incertidumbre determinada a partir de los resultados establecidos en el certificado de calibración, para los instrumentos patrones y auxiliares. Nota: Estos casos se utilizan cuando se emplean los valores verdaderos de los patrones empleados.	$u = \frac{U}{k}$	U: Incertidumbre expandida reportada en el certificado de calibración. k: Factor de cobertura.
	$u = \frac{U}{t_{p(v)}}$	Se emplea cuando la incertidumbre ha sido reportada para una probabilidad “p” y “v” grados de libertad. t- Coeficiente de Student para probabilidad “p” y “v” grados de libertad. (Ver tabla G.2 Guía (GUM, 2008)).
	$u = S(\bar{X})$	Se emplea cuando la incertidumbre que aparece en el certificado de calibración del patrón se establece como un múltiplo de la desviación estándar. En este caso la

	$u = \frac{U}{p}$	<p>incertidumbre estándar coincide con la desviación estándar.</p> <p>Se emplea cuando la incertidumbre que aparece en el certificado de calibración está expresada como un intervalo definido con un nivel de confianza de 90, 95 o 99%.</p> <p>p= 1,64 para un nivel de confianza de 90 %.</p> <p>p= 1,96 para un nivel de confianza de 95 %.</p> <p>p= 2,58 para un nivel de confianza de 99 % (ver tabla G.1 de la guía (GUM, 2008)).</p>
<p>Por el error máximo permisible (e.m.p) del instrumento patrón empleado</p>	$u = \frac{emp}{\sqrt{P}}$	<p>Se utiliza cuando se emplean los valores nominales de los patrones empleados.</p> <p>P= 3 si se asume una distribución simétrica y rectangular.</p> <p>P= 6 si se asume una distribución triangular.</p> <p>P= (2,58)² si se asume una distribución normal para una “p” del 99%.</p>
<p>Por errores no controlados (efectos aleatorios)</p>	<p>Si $n \geq 10$</p> $u = S(\bar{X}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n(n-1)}}$	<p>$S(\bar{X})$: Desviación estándar experimental de la media.</p> $(\bar{X}) = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$ <p>donde: n es la cantidad de</p>

		mediciones.
	<p>Si $n < 10$</p> $u = t_k \times S(\bar{X})$	Los valores del factor t_k se dan en la tabla 2.3 para $p= 95 \%$.
	<p>Si $n \leq 3$</p> $u = \frac{X_{m\acute{a}x} - X_{m\acute{i}n}}{\sqrt{12}}$	<p>Si se asume una distribución uniforme en los límites del recorrido máximo.</p> <p>Esto debe aplicarse en los niveles inferiores de la cadena de calibración donde es común que $n \leq 3$.</p>
Resolución del instrumento de medición que se calibra (r)	$u = \frac{r}{\sqrt{12}}$	r : Resolución de una indicación digital (menor dígito significativo).
Apreciación en el instrumento de medición que se calibra (a)	$u = \frac{\eta V_d}{\sqrt{12}}$	<p>η: Fracción apreciable del valor de división (1/1;1/3;1/4;1/10 etc.) del instrumento que se calibra</p> <p>V_d: Valor de división del instrumento que se calibra.</p>
Magnitudes influyentes y otros efectos que pueden ser causa de incertidumbre	$u = \frac{H}{\sqrt{P}}$ <p style="text-align: center;">o</p> $u = \frac{H_{m\acute{a}x} - H_{m\acute{i}n}}{\sqrt{12}}$	<p>H: Magnitud influyente.</p> <p>Se utiliza cuando se emplean los valores nominales de los patrones empleados.</p> <p>$P= 3$ si se asume una distribución simétrica y rectangular.</p> <p>$P= 6$ si se asume una distribución</p>

		<p>triangular.</p> <p>$P = (2.58)^2$ si se asume una distribución normal para una “p” del 99%.</p> <p>Magnitudes influyentes:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Temperatura. • Presión atmosférica • Aceleración de la gravedad, etc. <p>Otros efectos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Histéresis, linealidad, derivas. • Correcciones, redondeos, valores de constantes físicas y matemáticas.
--	--	--

Tabla 2.3: Valor del factor t_k en función del número de mediciones n. Fuente: (Pacheco González, 2008).

n	2	3	4	5	6	7	8	9
t_k	7,0	2,3	1,7	1,4	1,3	1,3	1,2	1,2

El análisis de los resultados de esta evaluación permite alcanzar información concreta y de gran utilidad, a partir de la cual se pueden obtener conclusiones.

Paso 9: Establecer las metas para las variables críticas de calidad

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.

Etapas 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 10: 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 11: 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.

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. Con este propósito se propone completar los siguientes pasos.

Paso 12: Generar y evaluar diferentes soluciones para cada una de las causas raíz

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.

Paso 13: Implementación de la solución

Para implementar la solución es importante elaborar un plan en el cual se especifiquen las diferentes tareas, su descripción (en qué consiste, cómo se va a hacer, dónde se va a implementar), las fechas para cada una, los recursos monetarios que se requieren, 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

Paso 14: Evaluar el impacto de la mejora sobre las variables críticas de calidad

Para la evaluación de la solución 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. Si los resultados no son satisfactorios, entonces se debe revisar por qué no da resultado y con esa base revisar lo hecho nuevamente.

Etapa V: Controlar

Una vez que las mejoras deseadas han sido alcanzadas, en esta etapa se diseña un sistema que mantenga las mejoras logradas. En otras palabras, el objetivo de esta etapa es que el equipo de trabajo desarrolle 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. 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 15: Monitoreo del sistema de medición

Para el monitoreo de los resultados, se dirige a responder la pregunta; ¿Funciona el proceso de acuerdo con los patrones?, lo que consiste en verificar si el proceso está funcionando de acuerdo con los patrones establecidos así como la ejecución de las acciones correctivas.

Este monitoreo del proceso es permanente y forma parte de la rutina diaria de trabajo de todas las personas que participan en el proceso, siempre sobre la base del ciclo gerencial básico de Deming (PHVA).

Este tipo de estudio donde el objetivo es monitorear permanentemente el desempeño de un equipo de medición, se mide cada cierto intervalo de tiempo una o varias magnitudes. Estos tienen la ventaja de que en cualquier momento provee información sobre el estado del proceso de medición, lo que puede servir para decidir los intervalos de calibración.

Las herramientas por excelencia para analizar y monitorear un sistema de medición son las cartas de control, las cuales permiten visualizar el comportamiento de las mediciones a través del tiempo, conociendo de esta forma la estabilidad del proceso de medición.

Paso 16: 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.
- La correcta aplicación de este procedimiento a la gestión de las mediciones exige la observancia de tres condiciones básicas: Utilización de herramientas de la calidad; Registro documental del proceso y Ejecución del trabajo en equipo.

Conclusiones parciales del capítulo

1. Para la mejora de un sistema de gestión de las mediciones es necesario considerar las responsabilidades de la dirección, la gestión de los recursos, la confirmación metrológica y realización de los procesos de medición, además de asegurar que todos en la organización estén sensibilizados con la importancia de este tipo de sistema, así como su interrelación con la calidad del producto final.
2. El procedimiento general propuesto por (Hernández Santana, 2012) y (Machado García, 2013) para la mejora de la gestión de las mediciones y modificado por (Martínez Hernández, 2014) y (Cambra Díaz, 2014) está fundamentado en la filosofía Seis Sigma para el mejoramiento continuo de procesos, la cual se basa en el ciclo gerencial básico de Deming. En este se incluye el diagnóstico inicial, así como un grupo de criterios planteados por diferentes autores, tales como: (Gutiérrez Pulido & de la Vara Salazar, 2004); (Reyes Ponce *et al.*, 2007); (Arias Carrazana, 2007); (Correa & Burgos, 2007); NC ISO 10012: 2007; (Guadalupe Echeverría, 2008); (Pacheco González, 2008); ISO 13053: 2011; (Gibbons *et al.*, 2012), pero el mismo carece de la integración de los aspectos relativos a la evaluación de la incertidumbre de medición y los requisitos a cumplir en los puntos de medición fiscal y transferencia de custodia, esta inclusión constituye un aporte de la presente investigación.

3. El procedimiento general propuesto por (Hernández Santana, 2012) y (Machado García, 2013) y modificado por (Martínez Hernández, 2014) y (Cambra Díaz, 2014) para la mejora de la gestión de las mediciones, es flexible a toda organización durante el proceso de integración y mejoramiento continuo de su gestión. El mismo facilita el proceso de ajuste de las acciones planificadas (correctivas y preventivas) a través del análisis de los resultados del funcionamiento del sistema de medición.



Capítulo 111



CAPÍTULO III: APLICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO PARA LA MEJORA DE LA GESTIÓN DE LA MEDICIÓN FISCAL Y TRANSFERENCIA DE CUSTODIA

En este capítulo se presentan los resultados relacionados con la aplicación del procedimiento para la mejora de la gestión de las mediciones en los sistemas de transferencia de custodia, sobre la base de la evaluación de la incertidumbre de medición, así como de un conjunto de elementos propios en la temática, trayendo como resultado el conocimiento de las principales debilidades en la materia y los aspectos a mejorar dentro del sistema.

3.1. Aplicación del procedimiento

La aplicación del procedimiento se realiza siguiendo en orden los pasos propuestos en el capítulo anterior dados por (Hernández Santana, 2012); (Machado García, 2013); (Cambra Díaz, 2014) y (Martínez Hernández, 2014), así como las transformaciones formuladas en la actual investigación, a partir de los requisitos plasmados en la NC 994:2015 “Condiciones y requisitos técnicos para la medición fiscal y transferencia de custodia o propiedad de petróleo y sus derivados”, tomando como objeto de estudio la Unidad de Negocio Refinería de Cienfuegos.

Para comenzar la investigación se crea el grupo de trabajo compuesto por especialistas, tecnólogos, directores, entre otros, los integrantes del mismo se listan en el **Anexo No.8**.

A medida que transcurre la investigación se hace necesario la incorporación de otros miembros, ejemplo: especialistas y técnicos en la actividad industrial, trabajadores de experiencia, entre otros.

Etapas I: Definir

Conocer los resultados de la evaluación de la eficacia de un sistema de gestión de las mediciones permite mejorar la gestión de las distintas actividades relacionadas con la metrología, minimizar los riesgos de mediciones incorrectas, reducir las incertidumbres, garantizar la trazabilidad, patrones y materiales de referencia, tener certeza y credibilidad en los resultados de las mediciones tecnológicas y económicas.

Paso 1: Descripción general del problema

La Unidad de Negocio Refinería “Camilo Cienfuegos”, cuenta con un Sistema de Gestión de Calidad basado en la NC ISO 9001:2008. Posee certificación *Lloyd Register*, la cual se encuentra interrelacionada con la norma NC ISO 10012: 2007 “Sistema de gestión de las mediciones. Requisitos para los procesos de medición y los equipos de medición”, específicamente en su apartado 7.6, donde se exponen los requisitos relacionados con el análisis y mejora del sistema de gestión de las mediciones, lo cual es aplicado a cualquier

sistema de gestión. Según plantea (Hernández Santana, 2012) y (Machado García, 2013), citados por (Cambra Díaz, 2014) y (Martínez Hernández, 2014) los procesos de medición deben considerarse como procesos específicos, cuyo objetivo es apoyar la calidad de los productos elaborados por la organización y mejorar el control de la medición fiscal y transferencia de custodia, aspecto que no se evalúa en su totalidad en la organización objeto de estudio. Los elementos mencionados, constituyen la principal razón por la cual surge la necesidad de evaluar la calidad de las mediciones en sus procesos y las condiciones para la medición fiscal y transferencia de custodia, además de los resultados obtenidos en investigaciones anteriores (ver Hernández Santana, 2012; Machado García, 2013; Cambra Díaz, 2014 y (Martínez Hernández, 2014).

Paso 2: Mapeo del proceso

Descripción del contexto

Dada la dinámica actual, la metrología como ciencia de las mediciones, adquiere hoy una importancia relevante dentro de las relaciones comerciales a nivel global. La gestión de la calidad, el control de los procesos, la calibración y verificación de los instrumentos de medición, la trazabilidad de las mediciones, la acreditación de laboratorios y las actividades de certificación, demandan cada día, mayor calidad en los servicios metrológicos (Hernández Santana, 2012); (Machado García, 2013); (Cambra Díaz, 2014) y (Martínez Hernández, 2014).

El sistema de gestión de las mediciones incluye todos los procesos donde se realizan mediciones; procesos de confirmación metrológica de los instrumentos de medición y los procesos de soporte necesarios, que son aquellos referentes a la asignación de responsabilidades, capacitación, competencia y formación del personal, la gestión y asignación de los recursos, auditorías, control de las no conformidades y la mejora continua, entre otros (Hernández Santana, 2012); (Machado García, 2013); (Cambra Díaz, 2014) y (Martínez Hernández, 2014).

Hoy la Unidad de Negocio Refinería de Cienfuegos cuenta con un total de 13 000 instrumentos aproximadamente, los cuales 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 (Hernández Santana, 2012); (Machado García, 2013); (Cambra Díaz, 2014) y (Martínez Hernández, 2014).

El proceso de Mantenimiento, calibración y verificación de los instrumentos de medición, se encuentra subordinado a la Dirección Técnica (DT) y la Dirección de Automática, Informática y Telecomunicaciones (AIT).

La Unidad de Negocio Refinería, dentro del sistema de gestión de las mediciones cuenta con un grupo de instrucciones y procedimientos que garantizan el funcionamiento de la actividad.

Determinación de los requisitos

Entre los requisitos a cumplir para realizar el trabajo dentro del proceso se encuentran (Hernández Santana, 2012); (Machado García, 2013); (Cambra Díaz, 2014) y (Martínez Hernández, 2014):

- Disponer de la Orden de Trabajo.
- Solicitar el Permiso de Trabajo.
- Determinar el periodo de verificación según Disposición General DG-01: 2015.
- Observar el RF-DT-P-13-05 “Procedimiento de control de los dispositivos de seguimiento y medición”.
- Utilizar para accionar la RF-DAIT-IT-11-08 “Instrucción para la calibración de manómetros y manovacuómetros, de deformación elástica, indicadores de trabajo”.
- Revisión del cumplimiento del Decreto Ley 183.
- Realizar el control de calidad a las mediciones en el proceso de medición.

Narración del proceso

(Hernández Santana, 2012); (Machado García, 2013); (Cambra Díaz, 2014) y (Martínez Hernández, 2014) en sus investigaciones describen el proceso de Mantenimiento, Calibración y Verificación de los instrumentos de medición, el cual se encuentra compuesto por 14 actividades, estas son descritas en el **Anexo No.9**. Para un mejor análisis del proceso en estudio se muestra en el **Anexo No.10** el diagrama de flujo, especificando cada una de las operaciones que ocurren y su secuencia.

En el **Anexo No.11** se encuentra el mapa SIPOC del proceso de Mantenimiento, calibración y verificación de los instrumentos de medición en la Unidad de Negocio Refinería de Petróleo, así como el diagrama de tortuga, mientras en el **Anexo No.12** se expone la ficha correspondiente al proceso analizado.

Paso 3: Diagnóstico del proceso

El objetivo general del diagnóstico es establecer el estado actual de la gestión de las mediciones por medio de una revisión inicial, así como de los requisitos legales aplicables en la misma. A partir de lo expuesto anteriormente (Hernández Santana, 2012); (Machado García, 2013); (Cambra Díaz, 2014) y (Martínez Hernández, 2014) realizan un diagnóstico inicial en la actividad de metrología, estructurado en:

- Requisitos legales aplicables en materia de gestión de las mediciones.
- Actividades de gestión.

Los dos últimos autores mencionados incorporan nuevos elementos según el Manual de Instrucción para la ejecución del diagnóstico metrológico, dado por (Reyes Ponce *et al.*, 2007), el cual se encuentra en vigor en múltiples empresas del país.

En la presente investigación se realiza la actualización de dicho diagnóstico, incorporándole la verificación de los requisitos planteados en la NC 994:2015 “Condiciones y requisitos técnicos para la medición fiscal y transferencia de custodia o propiedad de petróleo y sus derivados”. Esta Norma Cubana establece las condiciones y los requisitos técnicos para la medición fiscal y transferencia de custodia o propiedad de petróleo y sus derivados, que se aplican en todos los puntos de transferencia de custodia o propiedad identificados como tales y en la medición fiscal realizada.

De forma general el objetivo de este paso es 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, así como en la medición fiscal y transferencia de custodia, para de esta forma identificar fortalezas y debilidades. A continuación se muestra el resultado obtenido para cada uno de los aspectos mencionados.

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 (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.13**.

De forma general la empresa dispone de la legislación emitida (resoluciones, normas, instrucciones, reglamentos, normas extranjeras aplicables, leyes, decretos y decretos leyes) en

el país por organismos rectores como: Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente (CITMA), Ministerio de Energía y Minas (MINEM), la Unión CUPET, CUVENPETROL y otros.

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: 2007.
- Cuestionario de cumplimiento de la NC 994:2015.
- Registro de no conformidades.

Cuestionario de cumplimiento de la NC ISO 10012: 2007

Se aplica nuevamente la guía de cumplimiento de la NC ISO 10012: 2007, la cual recoge los requisitos a cumplir por un sistema de gestión de mediciones y los documentos que dan respuesta a dichos requisitos. Esta es llenada de conjunto con el especialista en metrología y el equipo de trabajo, donde evalúan el cumplimiento de cada requisito. En la figura 3.1 se representan los resultados obtenidos.

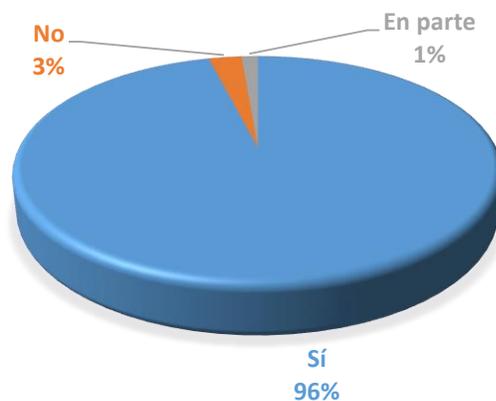


Figura 3.1. Representación del porcentaje de cumplimiento de los requisitos planteados en el cuestionario de la NC ISO 10012: 2007. Fuente: Elaboración propia.

Del análisis de la figura anterior se evidencia que se incumple el 3% de estos requisitos, los cuales están relacionados con la ausencia de la evaluación de la incertidumbre en sistemas de medición, así como su registro.

Se realiza una revisión del registro RRF-GG-P-02-09-01 “Registro de No Conformidades”, reclamaciones de los clientes, así como informes de auditorías y supervisiones metrológicas correspondientes a los últimos cinco años. A partir de este análisis se evidencian un grupo de

deficiencias relacionadas con el tema tratado en la investigación, las cuales han sido solucionadas en diferentes períodos, pero en todo momento se evidencia la necesidad de realizar estudios que permitan conocer y mejorar la calidad de las mediciones.

Cuestionario de cumplimiento de la NC 994: 2015

Los hidrocarburos líquidos se fiscalizan en los sitios más cercanos a las áreas operacionales donde tiene lugar la entrega, con el objetivo de lograr una relación favorable entre la calidad mínima requerida en las mediciones y la operación de los sistemas de medición fiscal. Para garantizar la integridad de los valores de las mediciones, es necesario mantener los ajustes de calibración y configuración en los elementos de medición, así como el uso de los valores adecuados de los factores, constantes y ecuaciones de cálculos.

Los puntos de fiscalización del petróleo crudo son las terminales marítimas, los centros colectores y oleoductos, de forma tal que la densidad del petróleo esté en correspondencia con el combustible almacenado en estos lugares.

En estos puntos se aplica la guía elaborada a partir de los requisitos planteados en la NC 994: 2015 para la actividad de medición fiscal y transferencia de custodia. Al igual que la lista anterior, es llenada de conjunto con el especialista en metrología y el equipo de trabajo, donde se evalúa el cumplimiento de cada requisito. En la figura 3.2 se representan los resultados obtenidos.



Figura 3.2. Representación del porcentaje de cumplimiento de los requisitos planteados en el cuestionario de la NC 994: 2015. Fuente: Elaboración propia.

Del análisis de la figura anterior se evidencia que el 96% de los requisitos que plantea la norma se cumplen en los diferentes puntos de medición fiscal y transferencia de custodia, ninguno de ellos se incumple, pero existe un 4% que solo se cumplen en parte, estos son:

- Existen 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 de los puntos existentes a pesar de cumplir la mayor parte de las exigencias de la NC 994:2015 y contar con tecnología de punta, se corre el riesgo que al intervenir diferentes instrumentos, procedimientos de trabajo y el factor humano, pueda existir imprecisiones durante el inventario y transferencia de custodia. 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, software, entre otros, estando asociada varias fuentes de incertidumbre, desconociéndose ésta en aquellos casos donde no existe un instrumento primario en la entrega.

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 cual 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 cual 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". 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. Parte de las dificultades identificadas en la investigación coinciden con las planteadas por (Hernández Santana, 2012); (Machado García, 2013); (Cambra Díaz, 2014) y (Martínez Hernández, 2014), a estas se le adicionan otras, como son las identificadas mediante la verificación de los requisitos de la NC 994:2015, estas se muestran en el **Anexo No.14**.

A partir de los resultados obtenidos se procede a la actualización de las fortalezas y debilidades del proceso de gestión de las mediciones en la Unidad de Negocio Refinería, para lo cual se realiza una Lluvia de Ideas (Brainstorming) con el equipo de trabajo. Los resultados que se obtienen se observan en el **Anexo No.15**.

Luego de haber identificado las debilidades que afectan la gestión de las mediciones, en especial las relacionadas con el inventario y la transferencia fiscal para la implementación de la

NC 994:2015, se elabora un plan de acción para darle tratamiento y seguimiento a las mismas, priorizando las de mayor incidencia. Este plan se muestra en el **Anexo No.16**.

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

Para definir las variables críticas de calidad de mayor impacto a los clientes del proceso objeto de estudio, se realiza una sesión de trabajo con el equipo de expertos, el cual coincide con algunas de las definidas en investigaciones anteriores (Hernández Santana, 2012); (Machado García, 2013); (Martínez Hernández, 2014) y (Cambra Díaz, 2014), así como otras que han sido incluidas durante el desarrollo de la presente investigación, estas variables son las siguientes:

- Período de verificación y calibración.
- Calidad en la medición en puntos de transferencia de custodia.
- Evaluación de la incertidumbre en los sistemas de medición fiscal.

Para lograr la prioridad de estas variables se reúne el equipo de trabajo que realiza una valoración de cada una de ellas, utilizando la selección ponderada. En el **Anexo No.17** se ilustra la situación actual de dichas variables.

Luego de procesar los resultados obtenidos con la aplicación de la técnica mencionada (ver **Anexo No.18**), se propone como variable crítica de calidad a estudiar:

- Evaluación de la incertidumbre en los sistemas de medición fiscal.

Paso 5: Delimitar el problema

En la organización objeto de estudio existe diversos productos que son comercializados por diferentes puntos de medición y transferencia de custodia. El autor de la actual investigación identifica cada uno de los puntos por donde se realiza la transferencia, producto transferido, así como denominación, modelo y posición de los instrumentos de medición utilizados, mostrándose la información mencionada en el **Anexo No.19**, mientras que en el **Anexo No.20** se señala la zona de ubicación de los diferentes puntos identificados en las áreas de la Refinería de Petróleo de Cienfuegos.

Analizando los puntos de transferencia fiscal identificados y las debilidades existentes, como es la no existencia de un elemento primario, razón por la cual existe mayor incertidumbre en el momento de la transferencia, ya que realiza la medición de nivel de líquido en tanque mediante el método de encintado. Por estas razones se determina que el estudio se debe dirigir hacia los siguientes puntos:

- **Punto de transferencia por vía Marítima (gasolina):** En este intervienen tanques en tierra del vendedor, cintas de sondeo y tablas de cubicación y corrección; Tanque del buque origen, cinta de sondeo y tablas de cubicación y corrección.
- **Punto de transferencia por Ferro cisterna:** En este intervienen contadores y aforo de ferro cisterna.
- **Punto de transferencia por Camión cisterna (para la transferencia de fuel oíl):** En este intervienen tanques, cintas de sondeo y tablas de cubicación y corrección.

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.

Por tanto se hace necesario evaluar la incertidumbre en los puntos de medición fiscal por vía marítima y terrestre para la entrega y comercialización de fuel oíl, gasolina y crudo. A continuación se muestra el análisis de los proceso de Recepción, almacenamiento y entrega de productos, donde se encuentran las actividades objeto de análisis.

Análisis del proceso Recepción, almacenamiento y entrega de productos

El proceso de Recepción, almacenamiento y entrega de productos se realiza según las actividades definidas en el Mapa del Procesos de la organización, las principales operaciones que se desarrollan son:

- **Recepción y almacenamiento**

Según el Programa diario de Operaciones se recibe el crudo por vía marítima, con el certificado de calidad de la totalidad de los ensayos, según los métodos establecidos en la hoja de especificaciones, incluido la información sobre la naturaleza del producto y concentración de los aditivos. Todas las operaciones, incluido muestreo, ensayos de laboratorio y reclamaciones, se realizan en presencia del representante de CUBACONTROL, quien acredita los documentos emitidos y las muestras testigos tomadas en el puerto de descarga.

- **Entrega del producto**

La Refinería se encuentra diseñada para realizar la entrega por diferentes vías de los productos derivados del petróleo, como son: Petróleo combustible, Diésel, Turbo combustible Jet A1, Gasolina Regular y Especial, Gas Licuado del Petróleo, Bunker (IFO -180, IFO-380), Nafta y Crudo. Existen tres vías de entrega, que son:

- Vía terrestre (Ferrocarril y Camiones cisternas)
- Vía marítima.
- Oleoducto a la Central Termoeléctrica “Carlos Manuel Céspedes”.

Los productos a entregar a mercado están respaldados por una declaración de conformidad.

A continuación se describen los subprocesos de almacenamiento y entrega de productos por las diferentes vías de comercialización, en las cuales no se cuenta con un elemento primario en el punto de medición fiscal, estando entre ellos:

- **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.
- **M5. 4.4:** Entregas de productos líquidos por cargadero de ferrocarriles.

Estos procesos se encuentran compuesto por un grupo de operaciones, las cuales son representadas mediante diagramas de flujo en el **Anexo No.21**, especificando cada una de las operaciones que ocurren y su secuencia. En el **Anexo No.22** se hallan las fichas correspondientes a los procesos analizados.

M5.2 Recepción y almacenamiento del crudo y otros insumos

Según el Programa diario de Operaciones se recepciona el crudo por vía marítima, con el certificado de calidad de la totalidad de los ensayos, según los métodos establecidos en la hoja de especificaciones, incluido la información sobre la naturaleza del producto y concentración de los aditivos. Todas las operaciones, incluido muestreo, ensayos de laboratorio y reclamaciones, se realizan en presencia del representante de CUBACONTROL, quien acredita los documentos emitidos y las muestras testigos tomadas en el puerto. Durante la descarga son sometidos a comprobaciones, al igual que al finalizar la misma. Recibido en los tanques se le da el asentamiento requerido y se procede a medir la cantidad de producto, agua y temperatura, reportando las medidas finales en la libreta GPGE-1601(Medida de los tanques).

El producto almacenado en tanque se muestrea según RF-DMCP-IT-21-07 “Instrucción técnica para el muestreo de tanques de almacenamiento de productos derivados del petróleo” y se emite una declaración de conformidad del tanque terminado después de cada recepción u otra operación de trasiego, así como mensualmente para actualizar el inventario.

Al producto almacenado se realizan operaciones de mediciones como se plantea la RF-DMCP-IT-21-02 “Instrucción técnica de operación para la medición de tanques de almacenamiento de

productos derivados del petróleo” y de drenaje como se indica en la RF-DMCP-IT-21-04 “Instrucción técnica para la operación de drenaje de los tanques de almacenamiento de productos derivados del petróleo”.

M5. 4.1 Entrega de Productos Líquidos a Buque

La Entrega de Productos Líquidos a Buque se realiza según lo establecido en la RF-DMCP-IT-24-01 “Instrucción técnica para las operaciones de recepción y entrega de productos por el muelle” y en RF-DMCP-IT-21-08 “Instrucción técnica para la recepción, manipulación, almacenamiento y entrega de productos derivados del petróleo”. Al 80% de la carga de un buque, con cualquier tipo de producto, se le realiza un muestreo para garantizar que el producto salga con la calidad requerida. En caso de la exportación, el muestreo se hace al 100% de la carga. Se entrega una copia de la declaración de conformidad de tanque terminado y del final de carga, por cada destino del buque. Los resultados pendientes en el momento de la partida, se envía por fax a todos los destinos antes del arribo de este.

Todas las entregas del producto se realizan según el programa y son procesadas por el grupo marítimo de planeación, control y económico de la Dirección de MCP.

M5.4.3: Entregas de productos líquidos por cargadero de pailas.

La entrega de productos líquidos se realiza por el cargadero de productos Título 96, según el “Manual de Operaciones Carga automática”. Este punto está destinado a la carga de productos claros derivados del petróleo en camiones cisternas. El cargadero está ubicado bajo techo y las islas de carga son de tipo SKID. La carga se realiza a nivel de piso por la senda oeste de cada isla a través de brazos con mangueras que tienen acoplamientos rápidos y herméticos para su conexión a los camiones. Mediante cinco islas se efectúa la transferencia fiscal de gasolina regular B-83, gasolina especial B-90, Queroseno (Jet A1 como queroseno), Jet A1, diésel y Fuel Oil. Estos productos se entregan por medio de los brazos de carga con acoplamientos herméticos conectados a las diferentes líneas. Estos están instalados en sistemas compactos llamados MOTOBOT, cuya numeración se corresponde con la numeración de las islas a través de flujómetros Coriolis. La isla cinco de entrega de fuel oil, es la única que no se encuentra automatizada la carga, por lo tanto no existe un elemento primario para la transferencia fiscal, la misma se realiza por el certificado de verificación del carro cisterna (aforo). Todas las cargas se efectúan con sistemas de bombeo automatizados y Sistema Control (Sistema COTAS).

M5. 4.4: Entregas de productos líquidos por cargadero de ferrocarriles.

La entrega de producto por cargadero de ferrocarril Título 62 se realiza con sistema de bombeo, tanque y brazo, los mismos no cuenta con elemento primario en la transferencia custodia, por lo

que se realiza por el certificado de verificación del ferro cisterna (aforo). Presenta un total de 24 brazos, donde todos pueden operar simultáneamente. Los vagones cisterna se cargan totalmente hasta el nivel de llenado, para evitar bamboleos y otros movimientos bruscos de la carga que puedan producir durante la transportación. El brazo de carga se introduce en el vagón cisterna tan profundamente cómo es posible y haciendo contacto con el domo. Cuando el nivel del producto en el vagón cisterna alcance aproximadamente 250 mm de altura, se cierra la válvula interior y se drena la copa de descarga, comprobando visualmente que el producto está limpio y que la válvula interior no presenta fuga, posteriormente se cierra la conexión de descarga. Después de completada la carga de productos claros se comprueba visualmente la ausencia de agua con una varilla con pasta detectora de agua, que cambia la coloración a roja en presencia de esta. Se confecciona el Acta de Certificación de cargas en presencia de CUBACONTROL. Cuando se trata de productos oscuros (fuel oíl), se comprueba la ausencia de agua efectuando una medición en la cisterna empleando pasta detectora de agua. Las tapas de los domos de los vagones cisterna solo se abren para realizar las operaciones de carga, cerrándose cuando finalicen, estas deben abrirse con precaución hasta liberar la presión. Antes de tapar los domos, se verifica la temperatura del combustible para la corrección del mismo. Al finalizar la carga se le entrega junto con la factura procesada mediante el software COTA, una copia del certificado de calidad del producto.

Según los elementos tratados en el diagnóstico y en la delimitación del problema, se demuestra que se debe evaluar la incertidumbre de la medición en los sistemas donde se realice transferencia de custodia y no se cuente con un elemento primario para la misma. En este caso es la entrega de fuel oíl por cargadero de camiones, todas las transferencias del cargadero de ferro cisterna, mientras por buque la gasolina.

Paso 6: Definición del problema

La gasolina, fuel oíl y crudo, son productos que se transfieren por diferentes puntos de medición fiscal, realizándose por vía marítima y terrestre mediante mediciones indirectas, por lo que existen quejas, reclamaciones y no conformidades, las cuales están dadas por las incongruencias entre la cantidad entregada y recibida. Por otro lado, se corre el riesgo que al intervenir diferentes instrumentos, procedimientos de trabajo y el factor humano, existan imprecisiones durante el inventario y transferencia de custodia, conllevando a pérdidas económicas.

Finalmente se selecciona para el estudio la medición fiscal y transferencia de custodia en los puntos por vía marítima (crudo y gasolina), ferro cisterna y camión cisterna para el fuel oíl, mediante los cuales se validará la calidad de las mediciones en dichas operaciones a partir del

cumplimiento de las exigencias de la NC 994:2015, específicamente la evaluación de la incertidumbre en los sistemas de medición en los puntos mencionados.

Etapa II: Medir

En esta etapa se realiza la medición de la variable crítica de calidad definida en la etapa anterior, con el objetivo de evaluar la incertidumbre de la medición en los puntos de medición fiscal y transferencia de custodia seleccionados.

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

En el proceso objeto de estudio intervienen una gama de instrumentos, los cuales responden a diferentes magnitudes tanto físicas como químicas. Es válido destacar que todos estos instrumentos tienen aseguramiento metrológico en Cuba.

Paso 8: Análisis del problema

Al ser la variable seleccionada la evaluación de la incertidumbre en los sistemas de medición en los puntos de medición fiscal por vía marítima, ferro cisternas y cargadero de pailas, es necesario definir los elementos que intervienen en la evaluación de la misma.

A continuación se expone el resultado de dicha evaluación para los diferentes productos objeto de medición fiscal en los puntos de transferencia de custodia seleccionados en la investigación, teniendo en cuenta lo planteado en la “Guía para la Expresión de la Incertidumbre de Medida” (GUM) y la NC – Guía 1066: 2015 “Guía para la expresión de incertidumbre de medición”.

A continuación se muestra el cálculo de la evaluación de la incertidumbre para la medición de nivel por tanque para el producto Gasolina, específicamente en el Tk-1009, utilizado para la transferencia de custodia, tanto por vía marítima como por ferro cisternas. Para el resto de los tanques que contienen este producto la incertidumbre evaluada no varía, ya que se emplean los mismos instrumentos, observadores, y la incertidumbre de calibración de los tanques es la misma para todos según sus certificados. La evaluación de la incertidumbre para el resto de los productos se muestra en el **Anexo No.23**.

- *Medición de nivel por tanque para el producto gasolina*

La medición de nivel por tanque constituye un método indirecto de cálculo del volumen contenido en el mismo, basado en la geometría del tanque y de las variables claves de medición. Seguidamente se muestra la forma en que se desarrolla el cálculo de la incertidumbre mediante este sistema de medición.

Definición de las fuentes de incertidumbre

En el caso específico del inventario en tanques, se realiza la medición de nivel con cinta y plomada, teniendo como objetivo obtener tanto el volumen contenido como el trasegado. Para esta actividad se deben tener en cuenta los siguientes errores para calcular la incertidumbre estándar combinada:

- Medición del nivel con la cinta.
- Resultados de la calibración de los instrumentos.
- Resolución de los instrumentos.
- Incertidumbre del coeficiente de dilatación lineal térmica de la cinta.
- Incertidumbre en la expansión térmica del fluido.
- Incertidumbre de las tablas de corrección de volumen.

Existiendo en cada uno de ellos fuentes de incertidumbre.

Definición del modelo matemático

En la mayor parte de los casos, un mensurando Y no se mide directamente, sino que se determina a partir de otras N magnitudes X_1, X_2, \dots, X_N , por medio de una relación funcional f :

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_N) \quad (3.1)$$

Una estimación del mensurando Y , representada por y , se obtiene a partir de la ecuación (3.1) utilizando las estimaciones de entrada x_1, x_2, \dots, x_N para los valores de N magnitudes X_1, X_2, \dots, X_N . Así, la estimación de salida y , que es el resultado de la medición, viene dada por:

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_N) \quad (3.2)$$

En el caso de la actual investigación, el modelo de la medición del nivel con cinta queda de la siguiente forma:

$$L_T = L_0 + L_0 \times \alpha \times \Delta t \quad (3.3)$$

$$L_T = 7,755367m$$

donde:

L_T : Longitud total al medir con la cinta, o sea, es la altura real obtenida por el operario (m) teniendo en cuenta la dilatación lineal de la cinta por efecto de la temperatura.

L_0 : Longitud observada por el operario (m).

α : Coeficiente de dilatación térmica lineal de la cinta (por lo general de $(11 \pm 1) \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$).

Δt : Diferencia entre la temperatura de la cinta (que es la misma del combustible en el interior del tanque) y la temperatura a la cual se calibra la misma (siempre a $20 \text{ }^\circ\text{C}$).

Estas incertidumbres se evalúan a partir de métodos determinísticos de estadística clásica (frecuentista) para la evaluación de la incertidumbre tipo A, y la evaluación de incertidumbres tipo B con el método Bayesiano de soluciones analíticas (Ley de propagación de la incertidumbre), como se detalla a continuación.

Cálculo de la incertidumbre combinada del resultado de la medición

La incertidumbre combinada del resultado de la medición (Y) es:

$$\mu_{c(Y)} = \sqrt{\sum \left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 \times \mu_{(x)}^2} \quad (3.4)$$

donde:

$\mu_{c(Y)}$: Incertidumbre estándar combinada del resultado de la medición (Y).

$\frac{\partial f}{\partial x}$: Derivada parcial de “Y” con respecto a cada argumento X y se le denomina también coeficiente de sensibilidad.

$\mu_{(x)}$: Incertidumbre que aporta cada argumento (incertidumbre estándar)

Lo anterior aplicándolo a la medición objeto de análisis queda de la forma siguiente:

$$\mu_{c(L_T)} = \sqrt{\left(\frac{\partial L_T}{\partial L_0}\right)^2 \times \mu_{(L_0)}^2 + \left(\frac{\partial L_T}{\partial \alpha}\right)^2 \times \mu_{(\alpha)}^2 + \left(\frac{\partial L_T}{\partial \Delta t}\right)^2 \times \mu_{(\Delta t)}^2} \quad (3.5)$$

Calculando las derivas parciales se tiene:

$$\frac{\partial L_T}{\partial L_0} = 1 + \alpha \times \Delta t \quad (3.6)$$

$$\frac{\partial L_T}{\partial \alpha} = L_0 \times \Delta t \quad (3.7)$$

$$\frac{\partial L_T}{\partial \Delta t} = L_0 \times \alpha \quad (3.8)$$

Por tanto:

$$\mu_{c(L_T)} = \sqrt{(1 + \alpha \times \Delta t)^2 \times \mu_{(L_0)}^2 + (L_0 \times \Delta t)^2 \times \mu_{(\alpha)}^2 + (L_0 \times \alpha)^2 \times \mu_{(\Delta t)}^2} \quad (3.9)$$

Luego se procede al cálculo de las incertidumbres de L_0 , α y Δt .

Incertidumbre de L_o .

Es la incertidumbre al realizar la lectura en la cinta. Aquí están presentes varias fuentes: Error máximo permisible, apreciación del observador, incertidumbre de calibración y resolución de la cinta.

Por error de la cinta

Según (Hernández Leonard, 2010) el cálculo del error máximo permisible para una cinta, se calcula según lo expuesto en la norma NC 593:2009 “Medidas materializadas de longitud para uso general” de la forma siguiente:

$$e.m.p = (a + b \times L_o) \quad (3.10)$$

donde:

L_o : Es el valor de la longitud en cuestión, expresada en metros y redondeado a un número entero de metros por exceso.

a y b: Coeficientes, sus valores son tomados, para cada clase de exactitud, según lo expresado en el Capítulo II “Requisitos Metrológicos” de la NC 593: 2009.

En el sistema de medición objeto de análisis los coeficientes “a” y “b” son 0,3 y 0,2 respectivamente, debida a que la clase de exactitud de las cintas utilizadas es II. En este caso son cintas de uso, por tanto el e.m.p es el doble del calculado por la expresión anterior (NC 593: 2009), determinándose de la siguiente forma:

$$e.m.p = 2(a + b \times L_o) = 2(0,3 + 0,2 \times 7,755 \text{ m}) = 3,702 \text{ mm} = 0,003702 \text{ m} \quad (3.11)$$

(Pacheco González, 2008) recomienda estimar la incertidumbre del error máximo permisible a partir de una distribución rectangular, calculándose como:

$$\mu_{(e.m.p)} = \frac{e.m.p}{\sqrt{3}} = \frac{0,003702}{\sqrt{3}} = 0,002137 \text{ m} \quad (3.12)$$

Por calibración de la cinta

Para el cálculo de la incertidumbre de calibración de la cinta, se utiliza la siguiente fórmula:

$$\mu_{(calibración \text{ cinta})} = \frac{\text{Incertidumbre expandida de calibración}}{\text{Factor de cobertura}} = \frac{0,00007}{2} = 0,000035 \text{ m} \quad (3.13)$$

Por apreciación del observador

El autor mencionado propone asumir una distribución uniforme, estimándose de la siguiente forma (Pacheco González, 2008):

$$\mu_{(obs)} = \frac{L_{m\acute{a}x} - L_{m\acute{i}n}}{\sqrt{12}} \quad (3.14)$$

donde:

$\mu_{(obs)}$: Incertidumbre del observador (m).

$L_{m\acute{a}x}$: Valor máximo medido por el operador.

$L_{m\acute{i}n}$: Valor mínimo medido por el operador.

De las mediciones realizadas, la variación de la longitud es de 0,003 m, resultando la incertidumbre de:

$$\mu_{(obs)} = \frac{0,003 \text{ m}}{\sqrt{12}} = 0,000866 \text{ m} \quad (3.15)$$

Por resolución de la cinta

La Resolución de la cinta utilizada, según el certificado de verificación 06-556-01 es de 0,001 m, calculándose la incertidumbre de la forma siguiente:

$$\mu_{(resolución)} = \frac{resolución}{\sqrt{12}} = \frac{0,001}{\sqrt{12}} = 0,000288 \text{ m} \quad (3.16)$$

Sumando cuadráticamente las incertidumbres queda:

$$\mu_{(L_o)} = \sqrt{\mu_{(e.m.p)}^2 + \mu_{(obs)}^2 + \mu_{(resolución)}^2 + \mu_{(calibración \text{ cinta})}^2} \quad (3.17)$$

$$\mu_{(L_o)} = \sqrt{(0,002137)^2 + (0,000866)^2 + (0,000288)^2 + (0,000035)^2}$$

$$\mu_{(L_o)} = 0,002324 \text{ m}$$

Incertidumbre del coeficiente α

Como el coeficiente se expresa con un error de $\pm 1 \cdot 10^{-6}$ (Hernández Leonard, 2010), tratando esto como una distribución uniforme:

$$\mu_{\alpha} = \frac{1 \times 10^{-6}}{\sqrt{3}} = 5,8 \times 10^{-7} \text{ } ^{\circ}\text{C}^{-1} \quad (3.18)$$

Incertidumbre de la medición de temperatura

Es la incertidumbre al realizar la lectura en el termómetro. Aquí están presentes varias fuentes: Error máximo permisible, incertidumbre de calibración y resolución del termómetro.

Por error máximo permisible

Considerando el error máximo permisible del termómetro como una distribución rectangular queda:

$$\mu_{(e.m.p)} = \frac{e.m.p}{\sqrt{3}} = \frac{1,5^{\circ}\text{C}}{\sqrt{3}} = 0,866^{\circ}\text{C} \quad (3.19)$$

Por resolución del termómetro

La Resolución del termómetro utilizado, según el certificado de calibración 670/12-2 es de 2°C, calculándose la incertidumbre como:

$$\mu_{(resolución)} = \frac{resolución}{\sqrt{12}} = \frac{2^{\circ}\text{C}}{\sqrt{12}} = 0,57735^{\circ}\text{C} \quad (3.20)$$

Por calibración del termómetro

Para el cálculo de la incertidumbre por calibración del termómetro, se utiliza la siguiente fórmula:

$$\mu_{(calibración)} = \frac{Incertidumbre\ expandida\ de\ calibración}{Factor\ de\ cobertura} = \frac{0,29^{\circ}\text{C}}{2} = 0,145^{\circ}\text{C} \quad (3.21)$$

Sumando cuadráticamente ambas incertidumbre queda:

$$\mu_{(\Delta t)} = \sqrt{\mu_{(e.m.p)}^2 + \mu_{(resolución)}^2 + \mu_{(calibración)}^2} \quad (3.22)$$

$$\mu_{(\Delta t)} = \sqrt{(0,866)^2 + (0,577)^2 + (0,145)^2}$$

$$\mu_{(\Delta t)} = 1,0507^{\circ}\text{C}$$

Sustituyendo cada término en la ecuación (3.9) la incertidumbre combinada de la medición de L_T es:

$$\mu_{c(L_T)} = \sqrt{(1 + \alpha \times \Delta t)^2 \times \mu_{(L_0)}^2 + (L_0 \times \Delta t)^2 \times \mu_{(\alpha)}^2 + (L_0 \times \alpha)^2 \times \mu_{(\Delta t)}^2}$$

$$\mu_c(L_T) = \sqrt{(1 + 11 \times 10^{-6} \times 4,3)^2 \times 0,002324^2 + (7,755 \times 4,3)^2 \times (5,8 \times 10^{-7})^2 + (7,755 \times 11 \times 10^{-6})^2 \times (1,0507)^2}$$

$$\mu_c(L_T) = 0,002326 \text{ m}$$

$$\mu_c(L_T) = 2125,4646 \text{ L}$$

Los líquidos se dilatan al someterse a calentamiento (la mayoría), por tanto, esto es otro elemento a tener en cuenta en la evaluación de la incertidumbre al realizar la medición de nivel en tanque para su comercialización, la expansión volumétrica del fluido. En el caso de la actual investigación, el modelo para el cálculo de la expansión térmica del volumen queda de la siguiente forma:

$$\Delta V = \beta V_0 \Delta t \quad (3.23)$$

donde:

ΔV : Incremento de volumen por efecto de la temperatura (L).

V_o : Volumen inicial, obtenido a partir de la longitud observada por el operario mediante la medición con cinta (m), buscando su equivalencia en unidades de volumen (L) mediante la tabla de aforo del tanque objeto de análisis.

β : Coeficiente de expansión de volumen.

Δt : Diferencia entre la temperatura en que existe en el interior del tanque y la temperatura de corrección que se utiliza para la transferencia (siempre a 15°C).

Según (Sears et al., 2009), existe una relación entre el coeficiente de expansión de volumen β y el coeficiente de expansión lineal α , siendo esta:

$$\beta = 3\alpha \quad (3.24)$$

Por tanto la ecuación 3.23, queda de la siguiente forma:

$$\Delta V = 3\alpha V_o \Delta t \quad (3.25)$$

Cálculo de la incertidumbre combinada del resultado de la medición

$$\mu_{c(\Delta V)} = \sqrt{\left(\frac{\partial \Delta V}{\partial V_o}\right)^2 \times \mu_{(V_o)}^2 + \left(\frac{\partial \Delta V}{\partial \alpha}\right)^2 \times \mu_{(\alpha)}^2 + \left(\frac{\partial \Delta V}{\partial \Delta t}\right)^2 \times \mu_{(\Delta t)}^2} \quad (3.26)$$

Calculando las derivas parciales se tiene:

$$\frac{\partial \Delta V}{\partial V_o} = 3\alpha \times \Delta t \quad (3.27)$$

$$\frac{\partial \Delta V}{\partial \alpha} = 3V_o \times \Delta t \quad (3.28)$$

$$\frac{\partial \Delta V}{\partial \Delta t} = V_o \times 3\alpha \quad (3.29)$$

Por tanto:

$$\mu_{c(\Delta V)} = \sqrt{(3\alpha \times \Delta t)^2 \times \mu_{(V_o)}^2 + (3V_o \times \Delta t)^2 \times \mu_{(\alpha)}^2 + (V_o \times 3\alpha)^2 \times \mu_{(\Delta t)}^2} \quad (3.30)$$

Luego se procede al cálculo de las incertidumbres de V_o , α y Δt .

Incertidumbre de V_o .

Es la incertidumbre al realizar la lectura en la cinta, luego mediante la tabla de aforo del tanque determinar el volumen existente, siendo esta evaluada en el análisis anterior.

$$\mu_{(L_o)} = 0,002324 \text{ m}$$

$$\mu_{(V_0)} = 2123,6370 L$$

Incertidumbre del coeficiente α

Como el coeficiente de dilatación lineal de la gasolina se expresa con un error de $\pm 1.10^{-5}$, tratando esto como una distribución uniforme:

$$\mu_{\alpha} = \frac{1 \times 10^{-5}}{\sqrt{3}} = 5,8 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} \quad (3.31)$$

Incertidumbre de la medición de temperatura

Es la incertidumbre al realizar la lectura en el termómetro, la cual es evaluada anteriormente, siendo de:

$$\mu_{(\Delta t)} = 1,0507^\circ\text{C}$$

Sustituyendo cada término en la ecuación (3.29) la incertidumbre combinada de la medición de ΔV es:

$$\mu_c(\Delta V) = \sqrt{(3 \times 3,2 \times 10^{-4} \times 9,3)^2 \times 2123,6370^2 + (3 \times 7009163,1855 \times 9,3)^2 \times (5,8 \times 10^{-6})^2 + (7009163,1855 \times 3 \times 3,2 \times 10^{-4})^2 \times (1,0507)^2}$$

$$\mu_c(\Delta V) = 7160,3747 L$$

Por calibración del tanque

Para el cálculo de la incertidumbre por calibración del tanque objeto de análisis (incertidumbre del tanque = 0,2 %), se realiza de la siguiente forma:

$$\mu_{(\text{calibración tanque})} = \text{Incertidumbre de calibración} = 14172,81 L \quad (3.32)$$

Incertidumbre en la obtención del volumen estándar mediante la corrección por la tabla ASTM - 54

Este volumen se determina por la tabla ASTM-54 con el valor de temperatura ($^\circ\text{C}$) medida por el operario al medir la altura y la densidad de referencia (kg/m^3) determinada en el laboratorio sobre una muestra extraída del tanque.

La tabla permite obtener el factor de conversión (f) con una precisión de 0,04% para el rango de temperatura hasta 40°C . Las normas ASTM aseguran esta precisión siempre que se empleen los instrumentos y métodos que ellos recomiendan. La precisión de 0,04% para una probabilidad del 95% ya incluye los errores que se cometen en la medición de la temperatura y la densidad para entrar a esta, por tanto, no es necesario calcular estas incertidumbres.

De acuerdo al dato disponible es posible calcular la incertidumbre estándar.

$$\mu_{(f)} = \frac{0,04}{\sqrt{3}} = 0,023\% \quad (3.33)$$

Al realizar la corrección por temperatura, el 0,023% del volumen obtenido es 1612,1075 L, siendo esta la incertidumbre por corrección mediante la tabla ASTM-54.

$$\mu_{(f)} = 1612,1075 L$$

Incertidumbre del volumen estándar (VE)

La incertidumbre del volumen estándar queda de la siguiente forma:

$$\mu_{c(VE)} = \sqrt{\mu_{(LT)}^2 + \mu_{(\Delta V)}^2 + \mu_f^2 + \mu_{(calibración\ tanque)}^2} \quad (3.34)$$

$$\mu_{c(VE)} = \sqrt{(2125,4646)^2 + (7160,3747)^2 + (1612,1075)^2 + (14172,81)^2}$$

$$\mu_{c(VE)} = 16101,4285 L$$

La incertidumbre $\mu_{c(VE)}$ debe expresarse en forma relativa:

$$\frac{\mu_{c(VE)}}{VE} \times 100 = \mu_{c(VE)}\% \quad (3.35)$$

$$\mu_{c(VE)}\% = \frac{16101,4285}{7086405} \times 100 = 0,23\%$$

Representando este valor para el producto gasolina un 0,23%. El cálculo de la incertidumbre expandida queda como:

$$\mu = \text{Factor de cobertura} \times \mu_{c(VE)} \quad (3.36)$$

$$\mu = 2 \times 16101,4285 L$$

$$\mu = 32202,857 L$$

En la siguiente tabla se muestra el resumen de los resultados obtenidos en el análisis anterior.

Tabla 3.1: Evaluación de la incertidumbre en el sistema de medición de volumen en tanque (Tk-1009) utilizando cinta de plomada para el producto gasolina. Fuente: Elaboración propia.

Mensurando: Volumen		Valor	
Unidad de medida: L			
Fuentes de incertidumbre			
Lectura de la cinta	Error máximo permisible de la cinta	0,002137 m	0,002324 m 2123,6370 L
	Calibración de la cinta	0,000035 m	
	Apreciación del observador	0,000866 m	
	Resolución de la cinta	0,000288 m	
Coefficiente de dilatación térmica lineal de la cinta		$5,8 \times 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$	
Medición de	Error máximo permisible del termómetro	0,866 °C	1,0507 °C

la temperatura	Resolución del termómetro	0,57735 °C	
	Calibración del termómetro	0,145 °C	
Coeficiente de dilatación térmica lineal de la gasolina		$5,8 \times 10^{-6} \text{°C}^{-1}$	
Expansión volumétrica		7160,3747 L	
Calibración del tanque		14172,81 L	
Factor de corrección		0,023 %	
Incertidumbre combinada			16101,4285 L
Factor de cobertura (k)		2	
Incertidumbre expandida			32202,857 L

Al calcular la incertidumbre $\mu_{c(VE)}$ en forma relativa para el producto analizado es 0,23%, lo cual representa el % de incertidumbre dentro del volumen medido en un momento dado en el tanque Tk-1009. Al buscar el nivel medido en la tabla de aforo del tanque, este representa 7086405 L, significando dicha incertidumbre un volumen de 16101,4285 L. Este valor constituye el volumen que se puede perder en la medición fiscal y transferencia de custodia para el producto gasolina, representando un total de \$ 7245.109.

En el Anexo No.23, mencionado con anterioridad, se muestra el análisis realizado para la estimación de la incertidumbre para el sistema de medición de nivel por tanque para el fuel oíl y el crudo. Un resumen de los resultados obtenidos se muestra en las tablas 3.2 y 3.3.

Tabla 3.2: Evaluación de la incertidumbre en el sistema de medición de nivel por tanque (Tk-1150) para el fuel oíl. Fuente: Elaboración propia.

Mensurando: Volumen		Valor	
Unidad de medida: L			
Fuentes de incertidumbre			
Lectura de la cinta	Error máximo permisible de la cinta	0,000657 m	0,001505 m
	Calibración de la cinta	0,000035 m	
	Apreciación del observador	0,000866 m	
	Resolución de la cinta	0,000288 m	269,5752 L
Coeficiente de dilatación térmica lineal de la cinta		$5,8 \times 10^{-7} \text{°C}^{-1}$	
Medición de la temperatura	Error máximo permisible del termómetro	0,866 °C	1,0507 °C
	Resolución del termómetro	0,57735 °C	
	Calibración del termómetro	0,145 °C	
Coeficiente de dilatación térmica lineal del fuel oíl		$5,8 \times 10^{-6} \text{°C}^{-1}$	
Expansión volumétrica		278,2926 L	
Calibración del tanque		481,832 L	
Factor de corrección		0,023 %	
Incertidumbre combinada			620,6016 L
Factor de cobertura (k)		2	
Incertidumbre expandida			1241,2032 L

Al calcular la incertidumbre $\mu_{c(VE)}$ en forma relativa para el producto analizado (fuel oíl) es 0,26%, lo cual representa el % de incertidumbre dentro del volumen medido en un momento dado en el tanque Tk-1150.

Al buscar el nivel medido en la tabla de aforo del tanque, este representa 240916 L, significando dicha incertidumbre un volumen de 620,6016 L. Este valor constituye el volumen que se puede perder en la medición fiscal y transferencia de custodia para el producto fuel oil, representando un total de \$ 182.357.

Tabla 3.3: Evaluación de la incertidumbre en el sistema de medición de nivel por tanque (Tk-1242) para el crudo. Fuente: Elaboración propia.

Mensurando: Volumen		Valor	
Unidad de medida: L			
Fuentes de incertidumbre			
Lectura de la cinta	Error máximo permisible de la cinta	0,00201 m	0,00254 m
	Calibración de la cinta	0,000035 m	
	Apreciación del observador	0,001154 m	7313,798 L
	Resolución de la cinta	0,000288 m	
Coefficiente de dilatación térmica lineal de la cinta		$5,8 \times 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$	
Medición de la temperatura	Error máximo permisible del termómetro	0,866 °C	1,0507 °C
	Resolución del termómetro	0,57735 °C	
	Calibración del termómetro	0,145 °C	
Coefficiente de dilatación térmica lineal del crudo		$5,8 \times 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$	
Expansión volumétrica		58036,4862 L	
Calibración del tanque		91393,68 L	
Factor de corrección		0,023 %	
Incertidumbre combinada			109008,7921 L
Factor de cobertura (k)		2	
Incertidumbre expandida		218017,5842 L	

Al calcular la incertidumbre $\mu_{c(VE)}$ en forma relativa para el producto analizado (crudo) es 0,24%, lo cual representa el % de incertidumbre dentro del volumen medido en un momento dado en el tanque Tk-1242.

Al buscar el nivel medido en la tabla de aforo del tanque, este representa 45696840 L, significando dicha incertidumbre un volumen de 109008,7921 L. Este valor constituye el volumen que se puede perder en la medición fiscal y transferencia de custodia para el producto crudo, representando un total de \$ 31012.8685.

Paso 9: Establecer las metas para las variables críticas de calidad

Tomando en cuenta la situación para la variable crítica de calidad (Evaluación de la Incertidumbre de medición en los sistemas de transferencia de custodia), se plantea la disminución de dicha incertidumbre, para reducir el porcentaje de pérdidas en la organización.

Etapas III: Analizar las causas raíz

Paso 10 y 11: Listar las causas del problema, seleccionar las principales y confirmarlas

Después de haber identificado los problemas existentes, se hace un análisis de las causas. 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 influyen en la incertidumbre de las mediciones en los puntos de medición fiscal y transferencia de custodia analizados, lo cual incide en el inventario de productos en la Refinería de Petróleo. El diagrama de causa-efecto que se muestra en el **Anexo No.24**, 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 mejora revisa las causas posibles y selecciona las más probables mediante una votación basada en la experiencia. Estas causas se enumeran en el **Anexo No.25**, basándose en esta lista, se verifican las más probables.

Etapa IV: Mejorar

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

Paso 12: Generar y evaluar diferentes soluciones para cada una de las causas raíces

Con el fin de priorizar las oportunidades de mejora definidas en el paso anterior, se emplea el método Delphi (ver **Anexo No.26**), donde se ordenen descendientemente, es decir, valor 10 máxima prioridad. Este resultado se muestra en el siguiente gráfico de barras, señalando en color rojo las de mayor rango promedio.

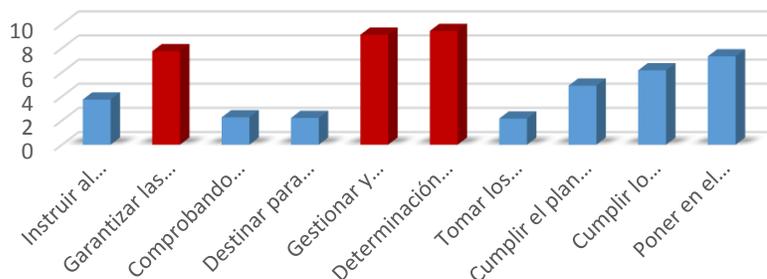


Figura 3.3: Rangos promedios para las oportunidades de mejora. Fuente: Elaboración propia.

Por consenso del equipo de trabajo se arriba a la conclusión de priorizar las tres primeras oportunidades de mejora, las cuales son:

- Determinación de los requisitos tecnológicos en la transferencia.
- Gestionar la capacitación adecuada al personal involucrado en la transferencia.
- Garantizar las condiciones y requisitos para la calidad de la medición en la transferencia y los inventarios.

Paso 13: Implementación de la solución

Para realizar la implementación de las soluciones se diseñan los planes de acción correspondientes, haciendo uso de la técnica de las 5W2H (qué, quién, cómo, por qué, dónde, cuándo y cuánto). Dicho plan se encuentra en el **Anexo No.27**, donde 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.

Paso 14: Evaluar el impacto de la mejora sobre las variables críticas de calidad

Para la evaluación de la solución se debe comparar el estado del proceso antes y después de las acciones tomadas.

Dentro de las medidas fundamentales para la implementación se encuentra la compra del instrumento primario en los puntos de transferencia objeto de análisis, que en este caso se proponen flujómetros Coriolis.

Para conocer si esta medida es efectiva, se calcula nuevamente la incertidumbre del sistema de medición en la transferencia custodia para el producto gasolina en el TK-1009, utilizando el instrumento mencionado. Este estudio se realiza también para el resto de los productos (crudo y fuel oil), desarrollándose en el **Anexo No.28**.

Para este análisis se definen las fuentes de incertidumbre que intervienen al utilizar en la transferencia de custodia los flujómetros, siendo estas:

- Incertidumbre de los instrumentos.
- Incertidumbre de las tablas de corrección de volumen.

A continuación se muestran los cálculos realizados.

$$\mu_{c(VE)} = \sqrt{\mu_{(coriolis)}^2 + \mu_f^2} \quad (3.37)$$

Para el caso de los flujómetros Coriolis instalados en la Refinería de Petróleo de Cienfuegos, tienen una incertidumbre expandida de 0,15 % con k=2, según lo expuesto sus certificados de verificación.

$$\mu_{(coriolis)} = \frac{\text{Incertidumbre expandida}}{\text{Factor de cobertura}} = \frac{0,15}{2} = 0,075 \% \quad (3.38)$$

$$\mu_{(coriolis)} = 0.075\%$$

El volumen objeto de análisis en el Tk-1009 es 7086405 L, representando la incertidumbre del flujómetro con respecto a este volumen 5314,8038 L.

$$\mu_{c(VE)} = \sqrt{(5314,8038)^2 + (1629,8732)^2} = 5559,1030 \text{ L}$$

La incertidumbre $\mu_{c(VE)}$ debe expresarse en forma relativa:

$$\frac{\mu_{c(VE)}}{VE} \times 100 = \mu_{c(VE)}\% \quad (3.39)$$

$$\mu_{c(VE)}\% = \frac{5559,1030}{7086405} \times 100 = 0,078\%$$

En la siguiente tabla se muestra un resumen para los productos analizados, así como su comparación.

Tabla 3.5: Comparación de la incertidumbre de medida en la transferencia de custodia para un volumen y tanque dado. Fuente: Elaboración propia.

Productos	Tanque	Volumen físico	Incertidumbre desde tanque		Incertidumbre por flujómetro		Diferencia	Valor (\$)
			%	L	%	L		
Gasolina	1009	7086405 L	0,23	16101,4285	0,078	5559,1030	10542,3255	754224.322
Fuel Oil	1150	200916 L	0,26	522,3816	0.078	188.3921	333.9895	15828.1297
Crudo	1242	45696840 L	0,24	109672,416	0.078	35814.2727	73858.1433	3340751.54
Total								4110803.99

Al comparar estos resultados con la situación actual, se evidencia disminución en la incertidumbre, siendo por ejemplo de 10542,3255 litros para el producto gasolina, representando un ahorro para la organización de \$ 754224,322. Realizando igual análisis para

el resto de los productos el ahorro total es de \$ 4110803,99. Con este análisis se comprueba la necesidad y justificación de las medidas propuestas.

En los comprobatorios y capacitaciones a los operarios y técnicos se evaluaron si realmente poseen los conocimientos necesarios para la explotación adecuada de los instrumentos y así como de las operaciones a realizar en la transferencia de custodia.

Como resultado del estudio anterior se demuestra que la venta a partir de verificar los niveles en tanque con cinta y plomada, presenta mayor incertidumbre de medición, siendo conveniente realizar dicha venta utilizando flujómetros Coriolis, disminuyendo dicha incertidumbre en un 0,152%, contribuyendo a la mejora en la calidad de la medición y en la transferencia, así como garantía en el inventario. Esta medida no ha sido implementada, debido a que se deben realizar determinados trámites para la compra de estos instrumentos en el extranjero, así como su instalación en los puntos de medición fiscal y transferencia de custodia analizados.

Etapa V: Controlar

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

Paso 15: Monitoreo del sistema de medición

Para realizar el monitoreo en los sistemas de mediciones, se utilizan los estudios de estabilidad, en los cuales se mide cada cierto intervalo de tiempo una variable, que en este caso es el volumen de producto transferido o vendido. Estos proveen información clave sobre el estado del proceso de medición, en especial sobre el instrumento. Esta información puede ser utilizada para definir intervalos de calibración o el momento de realizar estudios R&R.

Se recomienda utilizar para llevar a cabo dicho monitoreo una carta de control, la cual permite obtener una visualización del comportamiento de las mediciones realizadas a las variables seleccionadas a través del tiempo. Para ejecutar dicho monitoreo se necesitan tomar mediciones del comportamiento de las variables por un período de al menos cinco meses.

Al concluir la presente investigación no se ha logrado adquirir aun los instrumentos para situarlos en los puntos analizados, motivo por el cual no se tienen las observaciones de la variable para el estudio de estabilidad, lo cual queda pendiente a realizar por parte del equipo de trabajo luego que se tenga instalado los instrumentos y lleven determinado período en funcionamiento.

Paso 16: Cerrar y difundir el proyecto de mejora.

El objetivo de este último paso es asegurarse 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 cual 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, entre los que sobresalen:

- Verificación de los requisitos establecidos en la NC 994:2015 en los puntos de medición fiscal y transferencia de custodia en la Unidad de Negocio Refinería de Cienfuegos.
- Evaluación de la incertidumbre de medición en los puntos de medición fiscal y transferencia de custodia seleccionados, a partir de lo establecido en el (GUM, 2008) y la NC - Guía 1066:2015.
- Seguridad en la transferencia al evaluar la incertidumbre, teniendo instalado el elemento primario en los puntos de medición fiscal.

La presente investigación es presentada ante la Dirección Técnica, Dirección de Operaciones, Dirección de Movimiento de Crudo y Producto, Dirección de Automática, Informática y Telecomunicaciones, contando con total apoyo, la cual debe ser extendida a otros sistemas dentro de la Unidad de Negocio Refinería de Cienfuegos.

3.2. Impactos de la investigación

En la presente investigación se aplica un procedimiento para la mejora de la gestión de las mediciones mediante el uso de las técnicas relacionadas con la metodología Seis Sigma en la Unidad de Negocio Refinería de Cienfuegos, así como la propuesta de instalar flujómetros como elemento primario en los puntos de medición fiscal y transferencia custodia que no posean, conllevando a la disminución de la incertidumbre de medición, por tanto mayor calidad y precisión en las mediciones realizadas.

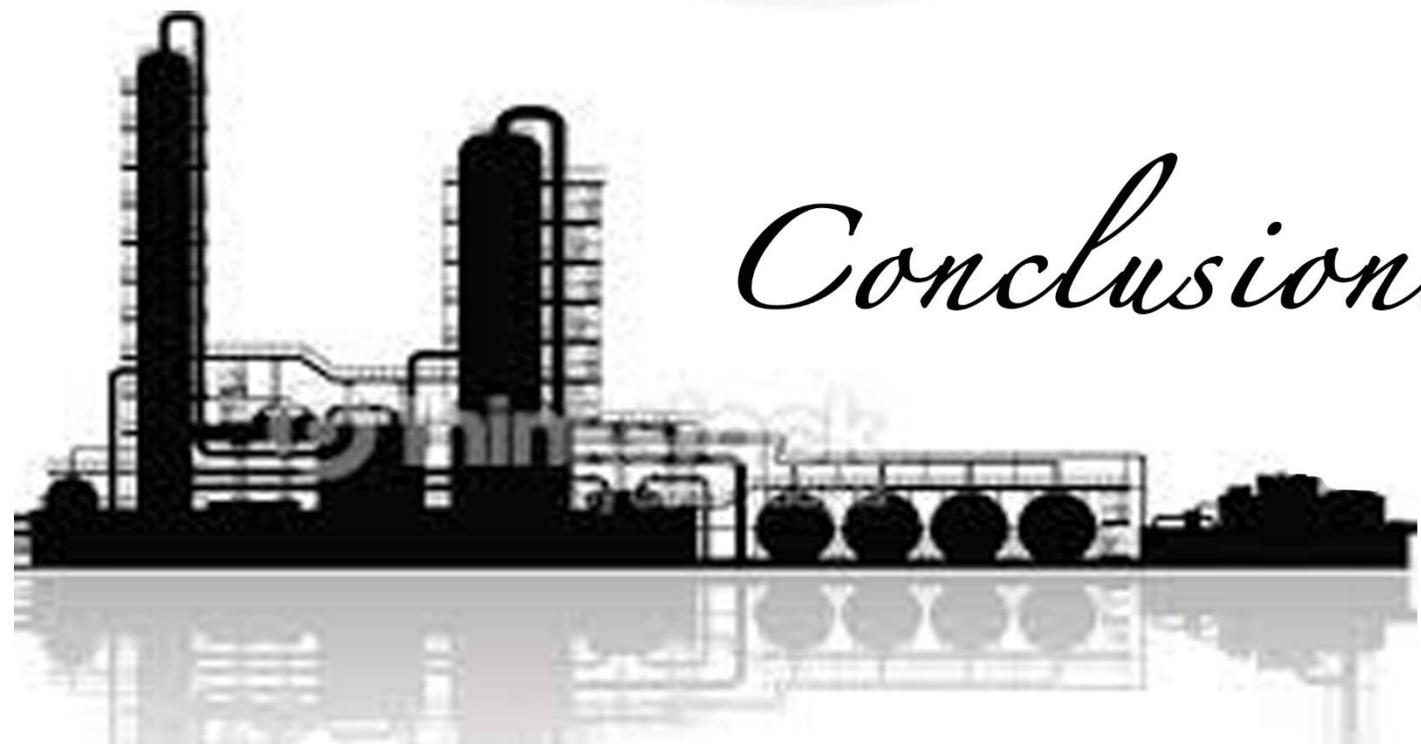
Un importante análisis se enmarca en el ámbito económico, de manera que la concepción de la investigación, como un servicio contratado, asciende a la cifra de 5000.00 CUC. La cifra anterior sin dudas representa un ahorro de recursos monetarios considerable, que reafirma la importancia de la investigación para la empresa objeto de estudio.

Conclusiones parciales del capítulo

1. Las principales deficiencias en la gestión de las mediciones recae en la ausencia de estudios para evaluar la incertidumbre en los sistemas de medición fiscal, conocer la calidad en las mediciones realizadas en dichos sistemas, así como el incumplimiento, en ocasiones, del período de verificación y calibración de los instrumentos que intervienen en el proceso.
2. Se seleccionó para la evaluación de la incertidumbre los puntos de transferencia que no cuentan con un elemento primario en la entrega, realizándose la medición de nivel en tanque mediante cintas con plomada y tablas de verificación.
3. Se realizó un estudio donde se evaluó la incertidumbre de medición en la entrega desde tanque para los productos gasolina y fuel oíl, mediante lo establecido en la guía GUM y la NC – Guía 1066:2015.
4. Se realizó la comparación de la incertidumbre de medición en la entrega de los productos analizados, tanto desde tanques como con el elemento primario (flujómetro Coriolis), evidenciándose una disminución en la incertidumbre, traduciéndose en mejor calidad, menos pérdida y ahorros desde el punto de vista económico.



Conclusiones



CONCLUSIONES GENERALES

1. Se aplicó el procedimiento propuesto por (Hernández Santana, 2012) y (Machado García, 2013) con las modificaciones realizadas por (Martínez Hernández, 2014) y (Cambra Díaz, 2014), el cual permitió la mejora del proceso de gestión de las mediciones y la evaluación de la incertidumbre, tomando como base la integración de requisitos establecidos en la NC ISO 10012: 2007, NC 994:2015, NC – Guía 1066:2015, Metodología Seis Sigma, así como criterios de un grupo de autores que trabajan la temática y resoluciones vigentes relativas a la metrología.
2. Se ejecutó la actualización del diagnóstico en materia de gestión de las mediciones, determinándose las principales deficiencias, sobresaliendo las relacionadas con la evaluación de la incertidumbre en los sistemas de medición fiscal, conocer la calidad en las mediciones realizadas en dichos sistemas, así como el incumplimiento, en ocasiones, del período de verificación y calibración de los instrumentos que intervienen en el proceso.
3. Se realizó un estudio donde se evaluó la incertidumbre de medición en la entrega desde tanque para los productos gasolina y fuel oil, mediante lo establecido en la guía GUM y la NC – Guía 1066:2015, utilizándose métodos determinísticos de estadística clásica (frecuentista) y la combinación de incertidumbres con el método Bayesiano de soluciones analíticas (Ley de propagación de la incertidumbre).
4. Se realizó la comparación de la incertidumbre de medición en la entrega de los productos analizados, tanto desde tanques, como con el elemento primario (flujómetro Coriolis), evidenciándose una disminución, traducéndose en mejor calidad, menos pérdida, así como ahorros desde el punto de vista económico para la organización.
5. Se propusieron un grupo de acciones encaminadas al tratamiento de las deficiencias detectadas durante el estudio, evaluándose parte de ellas, evidenciándose la necesidad de realizar la entrega mediante elemento primario.



Recomendaciones

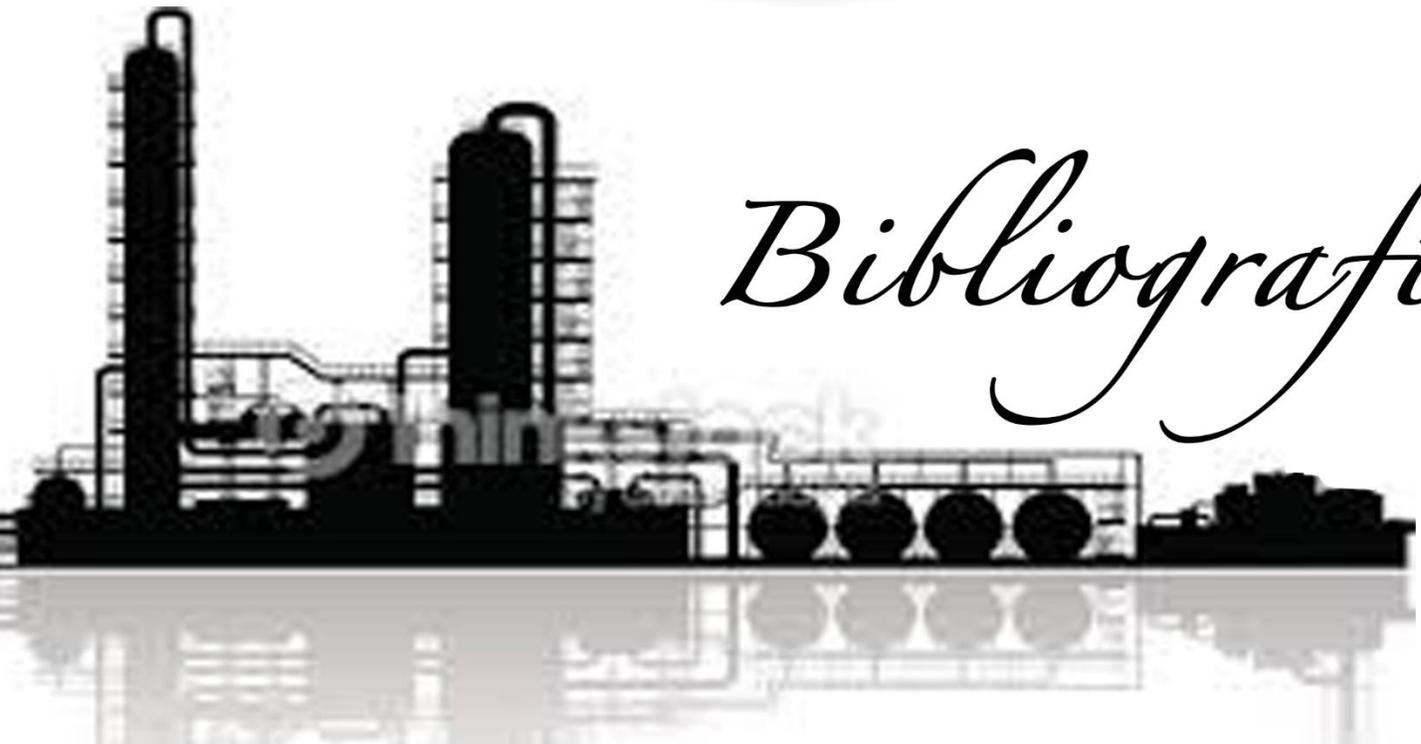


RECOMENDACIONES

- Realizar un estudio de factibilidad para demostrar con mayor énfasis la necesidad de comprar los nuevos flujómetros.
- Adquirir el elemento primario para aquellos sistemas de medición que no cuenten con este tipo de instrumento.
- Utilizar la incertidumbre evaluada en aquellos sistemas que no cuenten con elemento primario para cuantificar las pérdidas, comparándolas con el error permisible que establece la NC 994:2015.
- No realizar transferencias de custodia sin que medie un instrumento de medición verificado, con su incertidumbre evaluada y que su error se encuentre dentro del permisible estipulado por la NC 994:2015.



Bibliografía



BIBLIOGRAFÍA

- AENOR. (2014). Proceso de revisión de ISO 9001. [consulta: 2014-11-24]. Disponible en: <
<http://www.aenor.es/aenor/actualidad/actualidad/noticias.asp?campo=1&codigo=32938>>
- 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.
- Bashiri, M., & Moslemi, A. (2013). The analysis of residuals variation and outliers to obtain robust response surface. *Journal of Industrial Engineering International*, 9(2).
- 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.
- Brown, A. (2013). Quality: where have we come from and what can we expect? *The TQM Journal*, 25(6), 585-596.
- Caal Galicia, L. A. (2005). *Mejora continua mediante la utilización de seis sigma para la selección y asignación de recursos de sistemas en una empresa dedicada a la producción de lámina galvanizada*. Tesis de Grado, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.

- Cabrera Delgado, E. (2010). *Influencia de la incertidumbre de las mediciones en la intercambiabilidad para procesos de manufactura*. Tesis de Doctorado. Universidad Central de Las Villas, Santa Clara.
- 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 Diésel en la Unidad de Negocios Refinería de Cienfuegos*. Tesis de Grado, Universidad de Cienfuegos, Cienfuegos.
- 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.
- Castañeda Cano, I., & González Rey, G. (2007). La normalización técnica global como instrumentación principal para asegurar la aplicación de la ciencia y tecnología al progreso de la industria y el comercio. *Ingeniería Mecánica*, (2), 7-14.
- Cátedra de Calidad Metrología y Normalización. (2011). *Materiales del Programa de Maestría en Gestión de la Calidad y Ambiental*. La Habana: Universidad de La Habana.
- Chang Granados, R. (2007). *Estudio de mediciones en tanques de almacenamiento de hidrocarburos*. Tesis de Maestría, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
- Correa, A., & Burgos (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 de Oliveira, E. (2011). Critica metrological evaluation of fuel analyses by measurement uncertainty. *Metrology and Measurement Systems*, 18(2), 235-248.
- Cuendias de Armas, J. M., Suárez Palou, H. M., Pérez Acosta, M., Brito Álvarez, Z., Pérez Méndez, L., Pevida Fernández, T., et al. (2013). *Manejo Integrado de Sistemas de Gestión*. La Habana: Cubaenergía.

- Dağlıoğlu, G., İnal, T., & Aksoy, K. (2009). Altı Sigma Nedir? *ARŞİV*, (18), 132-139.
- Draghici, M., & Petcu, A. J. (2010). TQM and Six Sigma – the Role and Impact on Service Organization. *The Romanian Economic Journal*,(36), 123-135.
- Duarte, S., & Cruz Machado, V. (2013). Modelling lean and green: a review from business models. *International Journal of Lean Six Sigma*, 4(3), 228-250.
- 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.
- Fernández Cao, E. (2004). La calidad y la cultura de la calidad. Desarrollo y evolución histórica. *Normalización*,(1), 3-6.
- Fernández Rodríguez, H. N. (2014). La normalización, metrología y calidad. Conferencia de actualización. Escuela Superior de Cuadros del Estado y el Gobierno. La Habana, Cuba.
- 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".
- Galvani, L. R., & Carpinetti, 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.
- Germanier, M.L., & López Carrizo, M. (2006). *Tecnologías para la medición en la transferencia de custodia*. Caracas: Memorias de la XVII Convención de Gas.
- 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.

- 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".
- 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.
- Guano, O. M. (2008). *Normas técnicas para la fiscalización de hidrocarburos líquidos en la DNH. Estación Lumbaqui*. Tesis de Grado, Universidad Tecnológica Equinoccial, Guayaquil, Ecuador.
- Guerra Bretaña, R. M., & Meizoso Valdés, M. C. (2012). *Gestión de la Calidad. Conceptos, modelos y herramientas*. La Habana: Editorial UH.
- Guía para la expresión de incertidumbre de medición (GUM). (2008). Traducción en español. Primera edición.
- 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.
- Gygi, C., Williams, B., & Gustafson, T. (2006). *Six Sigma Workbook 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., & Borrór, C. M. (2012). Analyzing unreplicated gauge R&R studies. *Quality Engineering*, 24(4), 543-551.

- Hernández Apaceiro, M. (2012). Aplicación de normas internacionales en la metrología legal para la medición de los combustibles en Cuba. *Boletín Científico Técnico INIMET*, (1), 1-7.
- Hernández Leonard, A. R. (2010). Ejecución de mediciones dimensionales durante las mediciones de volumen. *Boletín Científico Técnico INIMET*, (1), 11-23. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223017807003>
- 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.
- Ingelsson. P., & Martensson, A. (2014). Measuring the importance and practices of Lean values. *The TQM Journal*, 26(5), 463-474.
- ISO 9000: 2005. Sistemas de gestión de la calidad - Fundamentos y vocabulario.
- ISO 13053: 2011. Quantitative methods in process improvement. Six Sigma.
- ISO 14001: 2004 Sistemas de Gestión Ambiental—Requisitos con orientación para su uso.
- ISO. (1993). International Vocabulary of Basic and General Terms in Metrology.
- ISO. (2002). ISO/TS 16949:2002 Quality management systems - Particular requirements for the application of ISO 9001:2000 for automotive production and relevant service part organizations.
- John, A., Meran, R., Roenpage, O., & Staudter, C. (2008). *Six Sigma + Lean Toolset*. Germany: Library of Congress.
- Johnston, E. A. (2008). *International Symposium Metrology*.
- Kwun Wang, 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.
- 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.
- Martín Herrera, C. M. (2010). *Diseño e implementación del sistema de gestión de las mediciones en la empresa de conservas de frutas y vegetales*. Tesis de Maestría. Universidad de Sancti Spíritus, Santi Spíritus.
- 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.
- McCarty, T., Bremer, M., Daniels, L., & Gupta, P. (2004). *The Six Sigma Black Belt Handbook*. Motorola University: McGraw-Hill.
- 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.
- Mosquera Saravia, C. R. (2007). *Comparación entre los métodos de evaluación de incertidumbre y estudios de repetibilidad y reproducibilidad para la evaluación de las mediciones*. Tesis de Maestría. Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
- Muñoz Caballero, U.J. (2006). *Aseguramiento metrológico y trazabilidad en la industria en la industria del gas licuado del petróleo*. Tesis de Grado. Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.
- Myszewski, J. M. (2013). On improvement story by 5 whys. *The TQM Journal*, 25(4), 371-383.
- NC OIML V2: 1995. Vocabulario Internacional de Metrología. Conceptos fundamentales y generales y términos asociados., NC OIML V2: 1995.
- NC 18001: 2005. Seguridad y Salud en el Trabajo - Sistemas de Gestión de la Seguridad y la Salud Ocupacional — Requisitos.
- NC 18002: 2005. Seguridad y Salud en el Trabajo - Sistemas de Gestión de la Seguridad y la Salud Ocupacional — Directrices para la Implantación de la Norma NC 18001.

- NC ISO/IEC 17025:2006 Requisitos generales relativos a la competencia de los laboratorios de ensayo/prueba y calibración.
- NC-ISO 10012: 2007. Sistemas de gestión de las mediciones. Requisitos para los procesos de medición y los equipos de medición.
- NC-ISO 9001: 2008. Sistemas de gestión de la calidad. Requisitos.
- NC 593:2009. Medidas materializadas de longitud para uso general.
- NC 918: 2012. Metros contadores para líquidos diferentes del agua. Métodos y equipos para la verificación.
- NC 994: 2015. Condiciones y requisitos técnicos para la medición fiscal y transferencia de custodia o propiedad de petróleo y sus derivados.
- NC Guía 1066: 2015. Guía para la expresión de incertidumbre de medición.
- Niemczewska Wójcik, M., Sladek, J., Tabaka, M., & Wójcik, A. (2014). Product quality assessment-Measurement and analysis of surface topography. *Metrology and Measurement Systems*. 21(2), 271-280.
- Oficina Nacional de Normalización. (2005). *Estrategia de Desarrollo de la Metrología a Mediano Plazo (2006-2010)*. La Habana. Cuba.
- OHSAS 18001: 2007: Sistemas de gestión de la seguridad y salud en el trabajo. Requisitos.
- OHSAS 18002: 2008. Sistemas de Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo-Directrices para la implementación de la OHSAS 18001: 2007.
- 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., Díaz Mosquera, E., & Garro Astudillo, K. (2010). Modelo multicriterio para determinar el beneficio derivado de la implementación de un sistema de gestión de calidad según la norma ISO 9001:2000. *Revista Facultad de Ingeniería. Universidad de Antioquia*, (53), 119-127.
- Ospina Gutiérrez, L.M., Botero Arbeláez, 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).
- Pedrola, J., & Subirá, F. (2012). Selección del principio de medición de nivel en tanques de transferencia de custodia. *Revista Ingeniería Química*, (498), 166-172.
- Peña-Baena Niebles, R. P., & Sanjuán Mejía, M. E. (2004). Diseño de un experimento para evaluar el uso de la carta EWMA con predicción en el monitoreo de procesos correlacionados. *Revista Ingeniería & Desarrollo. Universidad del Norte*, 15, 67-83.
- Pérez Fernández de Velasco, J. A. (2009). *Gestión por Procesos* (3ra ed.). España: Editorial ESIC.
- 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.
- Portuondo Paisan, Y. (2010). *Metodología para la consideración de la incertidumbre de la medición en la valoración y control de la calidad de los procesos de manufactura*. Tesis de Doctorado. Universidad de Oriente, Santiago de Cuba.
- Prieto Matzuki, P. R. (2008). *Uso de la metodología six sigma como referencia para la optimización de un área de mantenimiento de planta*. Trabajo de Diploma. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.
- 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.
- Pyzdek, T. (2003). *The six sigma handbook*. United States of America: McGraw-Hill.
- 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.
- 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.

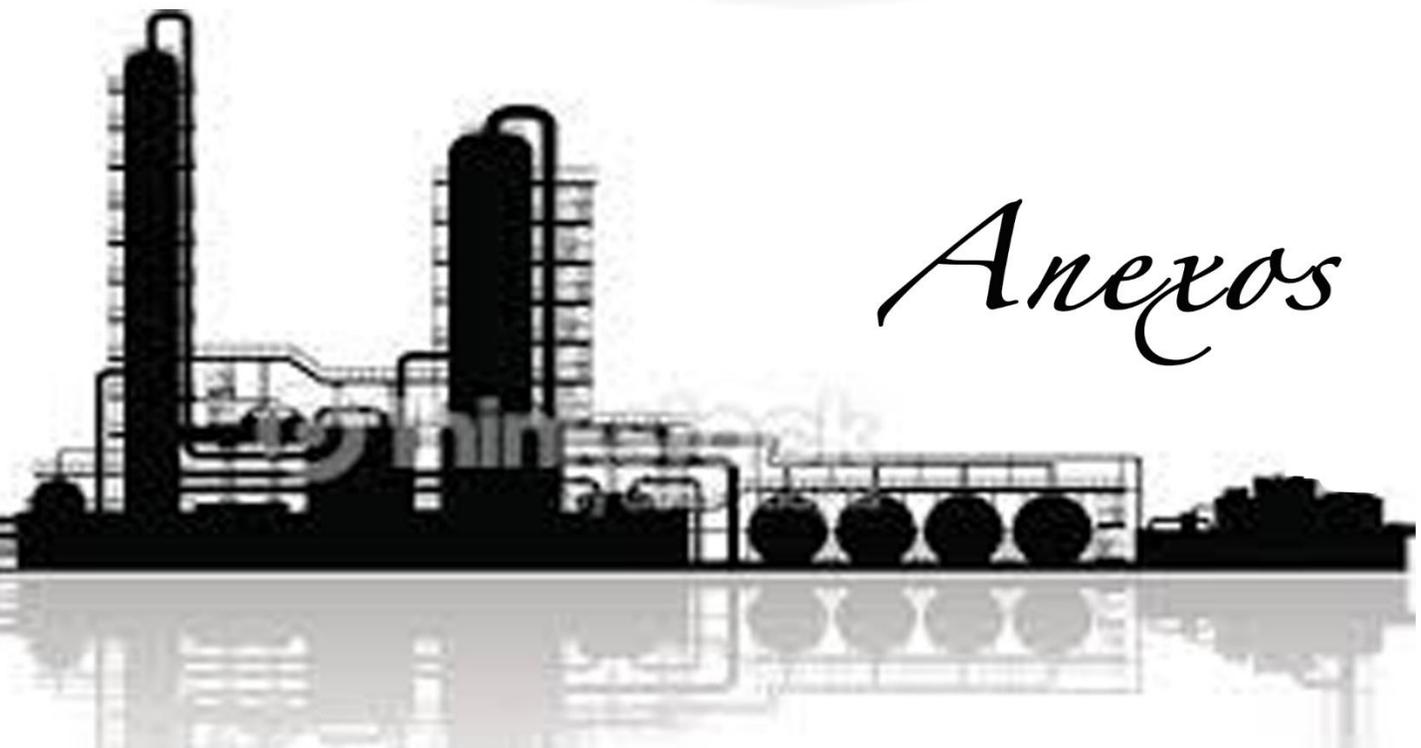
- Reyes Ponce, Y. (2013). *Metrología y las formas de empleo no estatal*. La Habana: Memorias del 8vo Simposio Internacional "Calidad 2013".
- Reyes Ponce, Y. (2014). *Metrología y Globalización*. La Habana: Memorias del 9no Simposio Internacional "Metrología 2014".
- Reyes Ponce, Y., Hernández Leonard, A. R., & González Labrada, E. (2007). Implantación del SI en la República de Cuba. Presente, pasado y futuro. *Normalización*, 2(3), 79-89.
- Reyes Ponce, Y., Hernández Leonard, A. R., & Hernández Ruíz, A. D. (2009). *Metrología para la Vida*. La Habana: Editorial Científico-Técnica.
- 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>>
- 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.
- Romero Lau, I. (2011). *Implantación de un procedimiento para el mejoramiento de la calidad de los componentes que conforman el racor en la UEB de Mangueras Hidráulicas de la Empresa Oleohidráulica Cienfuegos*. Tesis de Maestría. Universidad de Cienfuegos, Cienfuegos.
- 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.
- 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*.

- Sears, F. W., Zemansky, M. W., Young, H. D., & Freedman, R. A. (2009). *Física universitaria con física moderna*. Volumen 2. Decimosegunda edición. México: Pearson Educación.
- 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.
- 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.
- Tomati, F. J., & Serio Gabriele, A. (2010). Aplicaciones de Six Sigma en la industria química. *Revista Ingeniería Química*, 37.
- Tsai, C. J., & Aggarwal, S. G. (2013). Overview of the Gas and Aerosol Metrology. *MAPAN-Journal of Metrology Society of India*.
- VIM: 2012. Vocabulario Internacional de Metrología. Conceptos fundamentales y generales, y términos asociados.
- Viña Rodríguez, L., Rodríguez Hernández, A. G., Hernández Apaulaza, R., Solozabal Armstrong, 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".
- 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.
- Wirandi, J., Kulesza, W., & Lauber, A. (2008). Human factor validation in an industrial measurement system. *Measurement*, 41(7), 705-718.
- Xiaofen, T. (2013). Investigation on quality management maturity of Shanghai enterprises. *The TQM Journal*, 25(4), 417-430.
- Yvonne Coleman, S. (2013). Statistical thinking in the quality movement ± 25 years. *The TQM Journal*, 25(6), 597-605.

- Zapata Gómez, A. (2013). Efecto de las técnicas de ingeniería de la calidad en el diseño de productos. *Ingeniería. Univ. Bogotá*, 17(2), 417-430.
- 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.



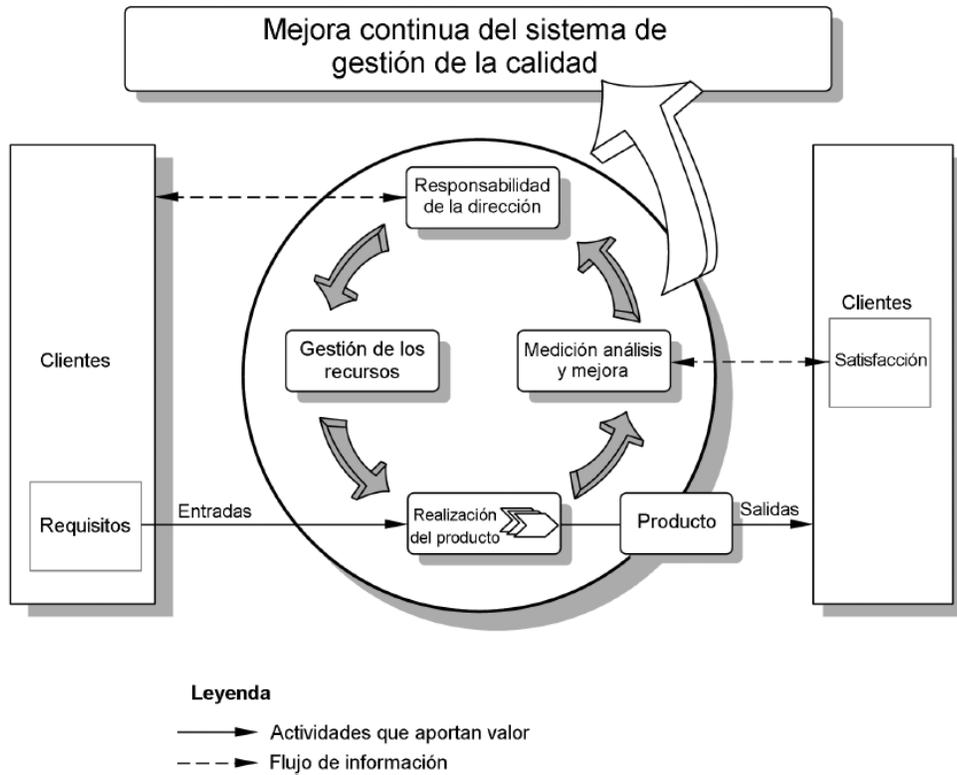
Anexos



ANEXOS

Anexo No.1

Modelo de un sistema de gestión de la calidad basado en procesos. Fuente: (ISO 9001: 2008).



Anexo No.2

Normas internacionales adoptadas como normas cubanas. Fuente: (Hernández Apaceiro, 2012).

Documento internacional	Resultado
ISO 5167-1: 2003 "Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices inserted in circular cross-section conduits running full -Part 1: General principles and requirements".	NC ISO 5167-1 2009 "Medición del caudal de fluidos mediante dispositivos de presión diferencial intercalados en conductos en carga de sección transversal circular. Parte 1: Principios y requisitos generales" (ISO 5167-1:2003, IDT).
ISO 5167-2:2003 "Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices inserted in circular cross-section conduits running full -- Part 2: Orifice plates"	NC ISO 5167-2 2009 "Medición del caudal de fluidos mediante dispositivos de presión diferencial intercalados en conductos en carga de sección transversal circular - Parte 2: placas de orificio" (ISO 5167-2: 2003, IDT).
ISO 7507-1: 2003 "Petroleum and liquid petroleum products - Calibration of vertical cylindrical tanks - Part 1: Strapping method".	NC ISO 7507-1: 2010 "Petróleo y derivados líquidos - Aforo de tanques cilíndricos verticales - Parte 1: método de encintado" (ISO 7507-1:2003, IDT).
ISO 8222: 2003 "Petroleum measurement systems - Calibration - Temperature corrections for use with volumetric reference. Measuring systems"	NC ISO 8222: 2009 "Sistemas de medición del petróleo - Calibración - Correcciones por temperatura para calibración volumétrica con recipientes patrones". (ISO 8222: 2002, IDT).
OIML R 85-1 y 2: 2008 "Automatic level gauges for measuring the level of liquid in stationary storage tanks. Part 1: Metrological and technical requirements". "Part 2: Metrological control and tests. ISO 4266-1:2002 Petroleum and liquid petroleum products -- Measurement of level and temperature in storage tanks by automatic methods -- Part 1: Measurement of level in atmospheric Tanks".	Documentos de referencia para NC "Verificación de sistemas automáticos de medición de nivel en recipientes de almacenamiento estacionarios".
ISO 12917-1:2002 "Petroleum and liquid petroleum products -- Calibration of horizontal cylindrical tanks -- Part 1: Manual methods".	Documento de referencia para NC 846: 2011 "Petróleo y derivados líquidos – Aforo de tanques cilíndricos horizontales".
OIML R 137-1 y 2: 2012 "Gas meters. Part 1 Metrological and technical requirements and Part 2 Metrological controls and performance tests".	Documento de referencia para la NC "Metros contadores de gas domésticos. Métodos y equipos para la verificación".
OIML R 117-1:2007 "Dynamic measuring systems for liquids other than water. Part 1: Metrological and technical requirements".	NC 799: 2010 "Aparatos distribuidores de carburantes. Métodos y medios de verificación". NC 918: 2012 "Metro contadores para líquidos diferentes del agua. Métodos y equipos para la verificación".
OIML R 138-1:2007 "Recipientes para transacciones comerciales".	NC 919: 2012 "Recipientes para transacciones comerciales".
OIML R 80 – 1:2009 "Road and rail tankers with level gauging. Part 1: Metrological and technical requirements".	NC 994: 2013 "Condiciones y requisitos técnicos para la medición fiscal y transferencia de custodia o propiedad de petróleo y sus derivados".

Anexo No.3

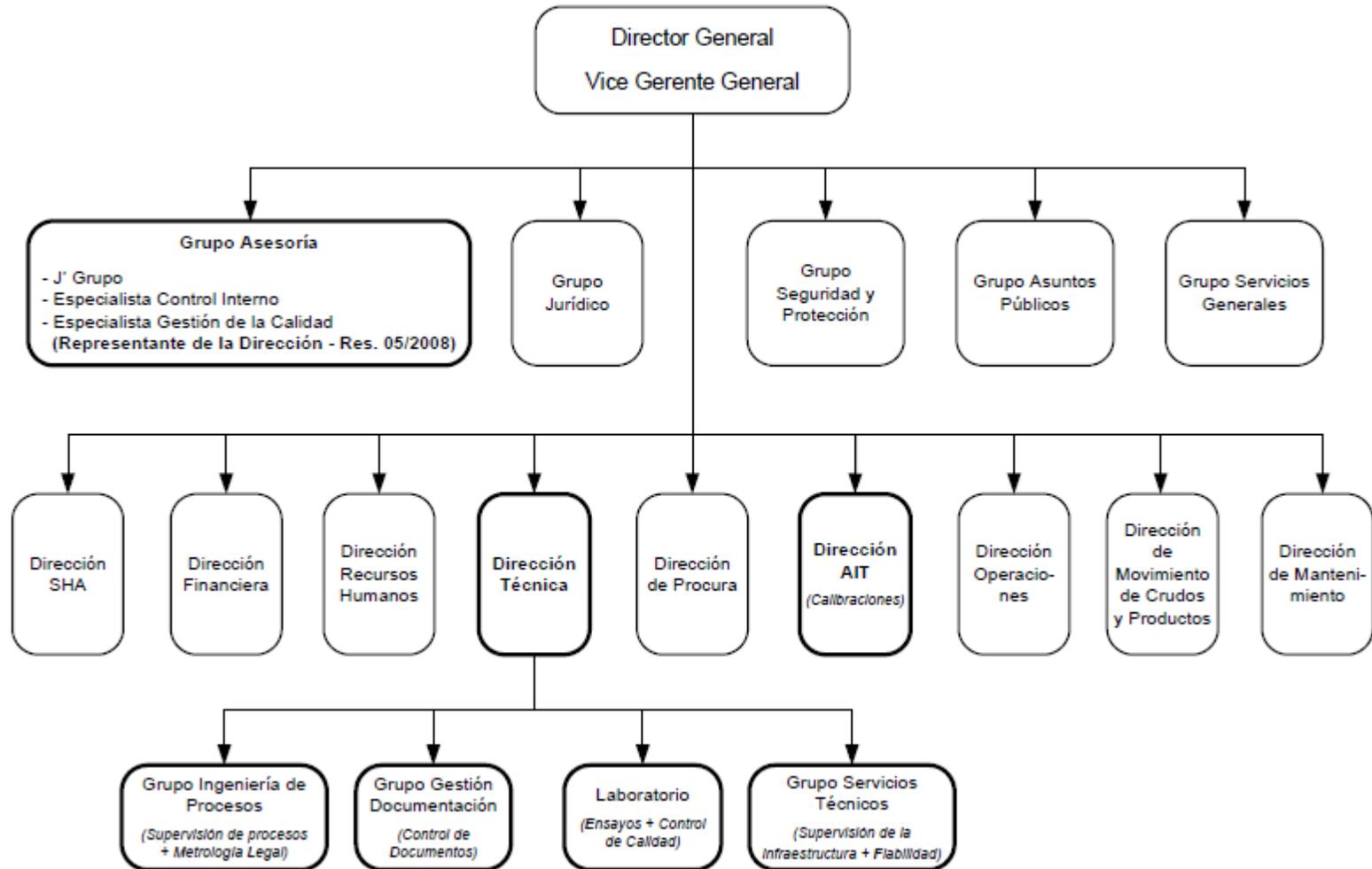
Principales actividades y herramientas del ciclo (DMAIC). Fuente: ISO 13053: 2011.

Actividades y Herramientas	Definir	Medir	Analizar	Mejorar	Controlar
Capacidad / desempeño	R	R	R	R	R
CTQC	M	M		M	M
Grupo de enfoque al Cliente	S				
Estadística descriptiva	S	S	S	S	S
Justificación financiera	M				R
Diagrama de Gantt	R				
Modelo Kano	S				
Identificación de oportunidades por las no conformidades	R				
Diagrama de Pareto	S	S	S	S	
Matriz de Prioridad	R			R	
Diagrama de flujo del proceso	R		S	R	
Acta Constitutiva del Proyecto	M				
Revisión del proyecto	M	M	M	M	M
Análisis de los riesgos del proyecto	M				
QFD	R		R	R	
Matriz RACI	R			R	
Modelación de servicios de entrega	S	S		S	S
SIPOC	R			S	
Indicadores seis Sigma	M			M	
Análisis del flujo de valor	R				
Análisis de Pérdidas	R	R	R		
Benchmarking		R		R	
Plan de recolección de datos		M			
Análisis del Sistema de Medición (MSA)		M	M		M
Distribución de probabilidad (o sea prueba de normalidad)	M (para datos continuos) R (para otros)				
Determinación del tamaño de la muestra		M	M	M	
Control Estadístico del proceso (SPC)		R	R		R
Gráficos de tendencias		S			S
Diagrama de Afinidad			S		
ANOVA			R	R	
Diagrama de causa y efecto			R		
Diseño de experimentos (DOE)			R	R	
Pruebas de Hipótesis			R	R	
FMEA de proceso			R	M	
Regresión and correlación			R	R	
Confiabilidad			R	R	
Análisis de los 5-Por qué			S		
Tormenta de ideas				S	
MCA - Multiple correspondence analysis				S	
A prueba de errores (poka yoke)				R	R
Selección de soluciones				R	
Mantenimiento Preventivo Total m(TPM)				S	S
5S				S	S
Plan de Control					M

M- Mandatoria; R- Recomendado; S- Sugerencia

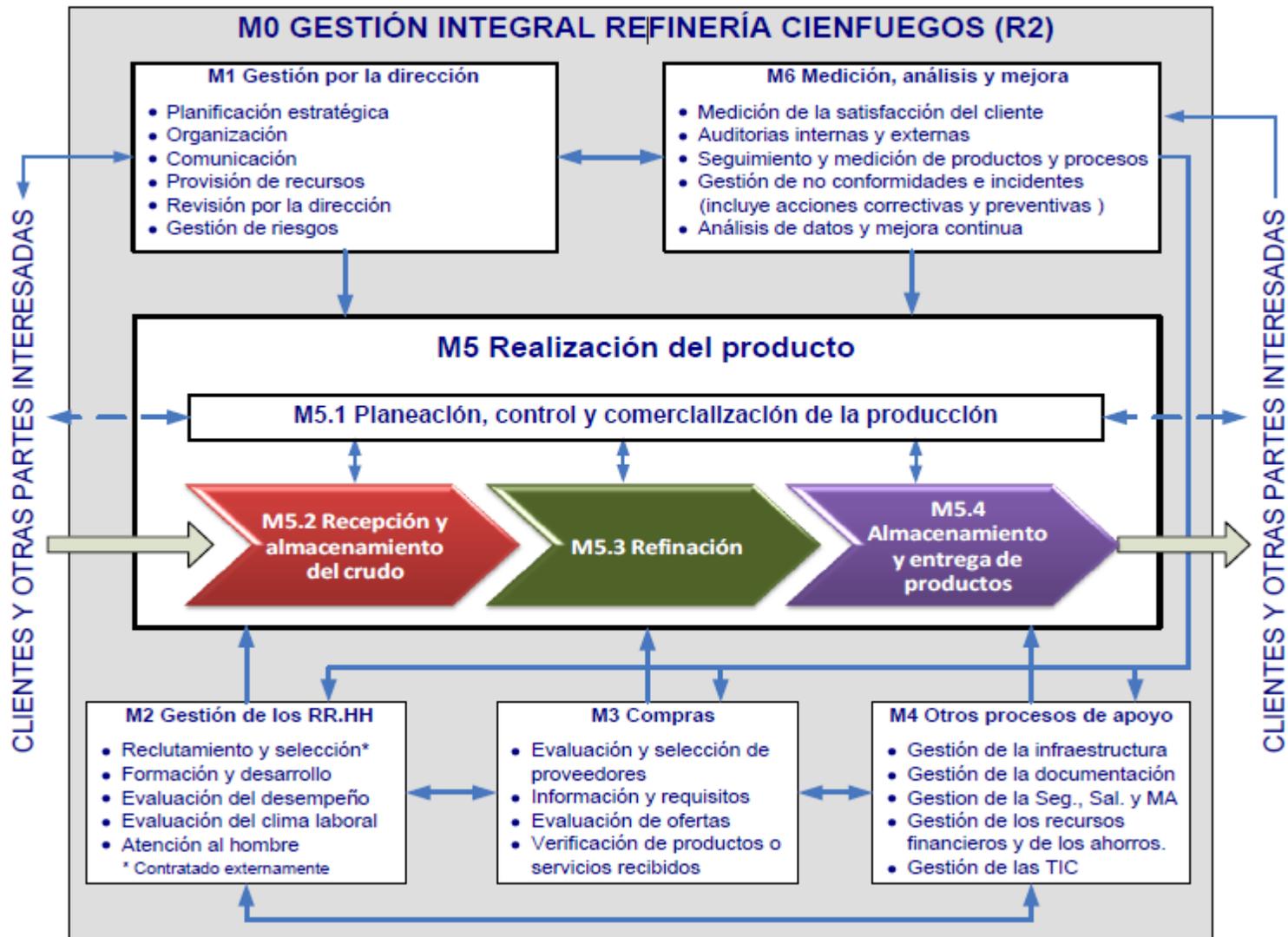
Anexo No.4

Estructura organizativa CUVENPETROL S.A – Refinería Cienfuegos. Fuente: Unidad de Negocio Refinería “Camilo Cienfuegos”.



Anexo No.5

Mapa de los procesos de CUVENPETROL S.A - Refinería Cienfuegos. Fuente: Unidad de Negocio Refinería “Camilo Cienfuegos”.



LISTA DE PROCESOS DEL SISTEMA INTEGRADO DE GESTIÓN REFINERÍA CIENFUEGOS

N0	N1	N2	N3	N4	N5	← Niveles en cascada de los procesos / subprocesos
M0	GESTIÓN INTEGRAL REFINERÍA CIENFUEGOS					
M1	GESTIÓN POR LA DIRECCIÓN					
	M1.1	Gestión del riesgo				
M2	GESTIÓN DE LOS RR.HH					
	M2.1	Planificación de los Recursos Humanos				
	M2.2	Organización y Normación del Trabajo				
	M2.3	Reclutamiento, Selección y Gestión del Personal				
	M2.4	Evaluación del Personal				
	M2.5	Formación y Desarrollo				
M3	COMPRAS					
M4	OTROS PROCESOS DE APOYO					
	M4.1	Gestión de la Infraestructura				
	M4.1.1	Mantenimiento de la infraestructura existente				
	M4.1.1.1	Planificación del Mantenimiento				
	M4.1.1.2	Realización de inspecciones técnicas				
	M4.1.1.3	Gestión de las roturas y fallas de operación				
	M4.1.1.4	Programación del Mantenimiento				
	M4.1.1.5	Ejecución del Mantenimiento				
	M4.1.1.6	Inspección técnica del mantenimiento realizado				
	M4.1.1.7	Gestión de Confiabilidad				
	M4.1.1.7.1	Análisis de criticidad				
	M4.1.1.7.2	Jerarquización de problemas y oportunidades Mejora				
	M4.1.1.7.3	SILCO				
	M4.1.1.7.4	Análisis de Causa Raíz (ACR)				
	M4.1.2	Mantenimiento, calibración y verificación de los medios de medición				
	M4.1.2.1	Mantenimiento Planificado				
	M4.1.2.2	Mantenimiento Predictivo				
	M4.1.2.3	Mantenimiento Correctivo				
	M4.1.2.4	Mantenimiento y calibración interna en el Taller				
	M4.1.2.5	Verificaciones y calibraciones externas				
	M4.1.3	Acometer Proyecto de Inversión (Cambios)				
	M4.2	Gestión de la documentación				
	M4.2.1	Control de los documentos				
	M4.2.2	Control de los registros				
	M4.3	Gestión del ambiente de trabajo, de los trabajadores y la comunidad				
	M4.4	Gestión de los recursos financieros y de ahorros				
	M4.5	Gestión de las Tecnologías de Información				
	M4.5.1	Gestión de la Estrategia de Servicios TI				
	M4.5.1.1	Generación y actualización de la Estrategia TI				
	M4.5.1.2	Gestión financiera de TI				
	M4.5.2	Gestión del Diseño de los Servicios TI				
	M4.5.2.1	Gestión del nivel de servicios				
	M4.5.2.2	Gestión de la disponibilidad				
	M4.5.2.3	Gestión de la continuidad de los servicios				
	M4.5.2.4	Gestión de la seguridad de la información				
	M4.5.3	Gestión de la Transición de los Servicios TI				
	M4.5.3.1	Gestión y control de los cambios en los servicios TI				
	M4.5.3.2	Gestión de la configuración y de activos				
	M4.5.3.3	Validación y pruebas del servicio				
	M4.5.4	Gestión de la Operación de los Servicios TI				

N0	N1	N2	N3	N4	N5	← Niveles en cascada de los procesos / subprocesos
						M4.5.4.1 Gestión de peticiones
						M4.5.4.2 Gestión de problemas
						M4.5.4.3 Gestión de accesos
						M4.5.5 Gestión de la Mejora Continua de los Servicios TI
						M4.5.5.1 Informes del servicio
						M5 REALIZACION DEL PRODUCTO
						M5.1 Planeación y control de las operaciones
						M5.1.1 Planeación y Control de la Producción
						M5.1.2 Planeación y Control de Seguridad
						M5.2 Recepción y almacenamiento del crudo y otros insumos
						M5.2.1 Detalles de la recepción y el almacenamiento del crudo y otros prod
						M5.3 Refinación
						M5.3.01 Destilación Atmosférica
						M5.3.02 Hidrofinación y Reformación Catalítica
						M5.3.03 Fraccionamiento de Gases, Preparación y suministro de reactivos
						M5.3.04 Tratamiento del JET (Mercox)
						M5.3.05 Servicios auxiliares - Generación y suministro de vapor
						M5.3.06 Servicios auxiliares - Suministro de Energía Eléctrica
						M5.3.07 Servicios auxiliares - Caldera Recuperadora, Hornos y Flare
						M5.3.08 Servicios auxiliares - Abasto de agua de enfriamiento
						M5.3.09 Servicios auxiliares - Abasto de agua contra incendios
						M5.3.10 Servicios auxiliares - Preparación y suministros de reactivos
						M5.3.11 Servicios auxiliares - Suministro de aire
						M5.3.12 Servicios auxiliares - Abasto de agua Técnica
						M5.3.13 Hidrofinación del Diesel
						M5.4 Almacenamiento y entrega de productos
						M5.4.1 Entrega de Productos Líquidos a Buque
						M5.4.2 Entrega de GLP a Buque
						M5.4.3 Entregas de productos líquidos por cargadero de pailas
						M5.4.4 Entregas de productos líquidos por cargadero de ferrocarriles
						M5.4.5 Entregas de GLP por Cargadero de Pailas.
						M5.4.6 Llenado y entregas de cilindros de GLP
						M5.4.7 Entregas por Oleoducto
						M6 MEDICIÓN, ANALISIS Y MEJORA
						M6.1 Retroalimentación del cliente y de otras partes interesadas
						M6.2 Seguimiento y medición del producto
						M6.3 Auditorías (internas y externas)
						M6.4 Seguimiento y medición de los procesos
						M6.5 Corrección/Mitigación NCF/Incidente y aplicar acciones corr. y/o prev.
						M6.6 Análisis de datos (internos y externos)
						M6.7 Proyectos y acciones de mejora

Anexo No.6

Lista de chequeo para realizar el diagnóstico sobre el cumplimiento de la norma NC-ISO 10012: 2007. Fuente: (Martínez Hernández, 2014).

Punto	Requisitos	Si	No	En parte
4.	REQUISITOS GENERALES			
	¿Tiene la organización definidos el alcance y extensión del sistema de gestión de las mediciones teniendo en cuenta los riesgos y las consecuencias de incumplir con los requisitos Metrológicos?			
	¿Tiene la organización definidos los procesos y los equipos de medición sujetos a confirmación metrológica?			
5.	RESPONSABILIDADES DE LA DIRECCIÓN			
	¿Está definida la función metrológica?			
	¿La alta dirección dispone de los recursos (humanos, financieros, etc.) necesarios para establecer y mantener la función metrológica?			
5.2	ENFOQUE AL CLIENTE			
	¿Asegura la dirección de la función metrológica que los requisitos de medición del cliente están determinados y convertidos en requisitos metrológicos?			
	¿Asegura la dirección de la función metrológica que el sistema de gestión cumple con los requisitos metrológicos de los clientes?			
	¿Puede la dirección de la función metrológica demostrar el cumplimiento de los requisitos especificados por el cliente? (5.2)			
5.3	OBJETIVOS DE LA CALIDAD			
	¿La dirección de la función metrológica tiene definidos y establecidos objetivos de la calidad referidos al SGM			
5.4	REVISIÓN POR LA DIRECCIÓN			
	¿La alta dirección de la organización revisa sistemáticamente el SGM a intervalos planificados?			
	¿Se dispone de los recursos necesarios para estas revisiones? ¿Se utilizan los resultados de las revisiones por la dirección para modificar y/o mejorar el SGM?			
6.	GESTIÓN DE LOS RECURSOS			
6.1	RECURSOS HUMANOS			
	¿Están definidas y documentadas las responsabilidades de todo el personal involucrado en el SGM?			
	¿Existen las evidencias documentad de que el personal es apto para las tareas que desempeña en el SGM?			
	¿Están identificadas y registradas necesidades de formación del personal?			
	¿Existen registros que evidencien las actividades de formación del personal?			
	¿El personal en formación es supervisado?			

	¿Hay evidencias de ello?			
6.2	RECURSOS DE INFORMACIÓN			
	¿Existen los procedimientos para el SGM, incluyendo los procedimientos técnicos?			
	¿Está definida la autorización para aprobar los procedimientos nuevos o los cambios en los procedimientos? ¿Están controlados?			
	¿Están vigentes y disponibles los procedimientos?			
	¿El software utilizado en los procesos de medición está documentado, validado y controlado?			
	¿Están asegurados la identificación, el almacenamiento la protección, recuperación, tiempo de retención y disposición de los registros del SGM?			
	¿Existe una identificación del estado de confirmación del instrumento de medición?			
	¿Están identificados para su distinción los instrumentos de medición?			
6.3	RECURSOS MATERIALES			
	¿Están todos los instrumentos de medición calibrados antes de la confirmación?			
	¿Se utilizan los instrumentos de medición en un ambiente controlado que aseguren resultados válidos?			
	¿Están incluidos los equipos de seguimiento de las magnitudes de influencia en el SGM?			
	¿Están incluidos los equipos de seguimiento de las magnitudes de influencia en el SGM?			
	¿Existe un procedimiento documentado para recibir, manipular, transportar, almacenar y distribuir los instrumentos de medición?			
	¿Existe un procedimiento para incorporar y/o retirar un equipo del SGM?			
	¿Están documentadas las condiciones ambientales requeridas para el funcionamiento eficiente de los procesos cubiertos por el SGM?			
	¿Se da seguimiento y se registran las condiciones ambientales que afectan las mediciones?			
	¿Se aplican las correcciones a los resultados de las mediciones debido a las magnitudes de influencia?			
6.4	PROVEEDORES EXTERNOS			
	¿Están definidos y documentados los requisitos para los productos y servicios externos?			
	¿Se seleccionan y evalúan los proveedores externos en base a los requisitos anteriores?			
	¿Existen registros del seguimiento y la evaluación de los proveedores externos?			
7.1	CONFIRMACIÓN METROLÓGICA			
	¿Son apropiadas las características metrológicas del instrumento de medición para el uso previsto?			
	¿Está documentado el método para determinar o modificar los intervalos de confirmación metrológica?			

	¿Se revisan y ajustan los intervalos cuando se necesita?			
	¿Se revisa el intervalo del instrumento de medición reparado, ajustado o modificado?			
	¿Se sellan los medios y dispositivos de ajuste del equipo confirmado para prevenir y detectar violaciones?			
	¿Están documentadas las acciones a tomar ante daños, rotura o pérdidas de los sellos contra ajustes?			
	¿Están disponibles los registros del proceso de confirmación, fechados y aprobados por la persona autorizada?			
	¿Se informa en los registros del proceso de confirmación si el instrumento cumple con los requisitos metrológicos especificados?			
	<p>¿Incluyen los registros la siguiente información?:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Identificación única del instrumento (Nº serie, tipo, marca, etc.) • Fecha de la confirmación • Resultado de la confirmación • Intervalo asignado • El error máximo permitido designado • Las condiciones ambientales y las correcciones • Las incertidumbres aplicadas en la calibración • Mantenimientos, ajustes, reparaciones o modificaciones • Limitaciones de uso • Identificación de la(s) que confirmó o confirmaron • Identificación de las personas responsables • Identificación de los certificados de calibración • Evidencias de la trazabilidad de los resultados • Requisitos metrológicos para el uso previsto • Los resultados de calibración obtenidos antes y después de ajuste, reparación o modificación 			
7.2	PROCESO DE MEDICIÓN			
	<p>¿Están los requisitos metrológicos determinados en base a:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Los requisitos de los clientes • Los requisitos de la organización • Requisitos legales y reglamentarios 			
	¿Están los procesos de medición diseñados debidamente documentados, validados si es apropiado y de ser necesario acordado con el cliente?			
	<p>¿Para cada proceso de medición están identificados los elementos que pueden poner en riesgo el cumplimiento de los requisitos y los límites de control tales como:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Los efectos de los operadores • Los equipos • Las condiciones ambientales • Las magnitudes de influencia • Los métodos 			
	¿Están identificadas y cuantificadas las características de			

	<p>desempeño requeridas para el uso previsto del proceso de medición?</p> <ul style="list-style-type: none"> • Incertidumbre de la medición • Estabilidad • Error máximo permitido • Repetibilidad • Reproducibilidad • Otras 			
	<p>¿Para cada proceso de medición se controla:</p> <ul style="list-style-type: none"> • El uso de equipo confirmado • La aplicación de procedimientos validados • La disponibilidad de los recursos de información • El mantenimiento de las condiciones ambientales • El uso de personal competente • La transmisión correcta de los resultados 			
	<p>¿Existen los registros para:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Los datos obtenidos de los controles de los procesos de medición, incluyendo la incertidumbre de la medición • Las acciones tomadas a partir de los datos del control • Las fechas en las que se llevaron a cabo los controles • La identificación de los documentos de verificación • La identificación de la persona responsable de brindar la información para los registros • Las aptitudes requeridas y logradas del personal 			
7.3	INCERTIDUMBRE DE LA MEDICIÓN			
	¿Ha sido estimada la incertidumbre en cada proceso de medición antes de la confirmación y de la validación del proceso?			
	¿Existen los registros de estas estimaciones?			
	¿Están documentadas todas las fuentes conocidas de variabilidad de la medición?			
	¿Son trazables al SI todos los resultados de las mediciones?			
	¿Se utilizan patrones de consenso?			
	¿Se utilizan patrones de consenso solamente en situaciones contractuales y así está acordado?			
	¿Están definidos los plazos de vencimiento de los registros que evidencian la trazabilidad?			
8.	ANÁLISIS Y MEJORA DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE LAS MEDICIONES			
	¿Están Planificadas las auditorías al SGM?			
	¿Están especificados los métodos para obtener y utilizar la información relacionada con la satisfacción del cliente?			
	¿Se comunican los resultados de las auditorías a las partes interesadas?			
	¿Se registran los resultados de las auditorías y los cambios en el SGM?			
	¿Existe un procedimiento para la realización del			

	seguimiento al SGM? ¿Incluye dicho procedimiento los métodos, técnicas estadísticas y la extensión de su uso?			
	¿Están documentados los resultados de los seguimientos?			
	¿Se identifican adecuadamente los procesos de medición que se conoce o sospecha que aportan resultados de medición incorrectos?			
	¿Está documentado el proceso a seguir por el usuario de un proceso identificado como no conforme?			
	¿Son de nuevo validados los procesos de medición modificados debido a una no conformidad?			
	¿Se identifica el equipo de medición que se sepa o se sospeche que esté dañado, ha sido sobrecargado, funciona incorrectamente, produce resultados incorrectos, está fuera del intervalo de confirmación, ha sido manipulado incorrectamente, tiene el sello roto o dañado, o se ha expuesto a magnitudes de influencia que pueden afectar su uso?			
	¿En los casos anteriores se verifica la no conformidad y se emite el informe?			
	¿Se toman las medidas para evitar la reintegración del equipo no conforme?			
	¿Se identifica el equipo no conforme que una vez reparado y/o ajustado no recupera sus características Metrológicas y se destina a otro uso?			
	¿Está documentado el proceso a seguir por el usuario de un equipo que como resultado de la verificación antes del ajuste o reparación no cumple con los requisitos metrológicos?			
	¿Existe una planificación para la mejora continua?			
	¿Se revisan e identifican las oportunidades de mejora?			
	¿Están documentadas las acciones para identificar las causas y eliminar las discrepancias cuando un elemento del SGM no cumple los requisitos especificados (acciones preventivas)?			
	¿Son verificadas las correcciones y los resultados de las acciones correctivas antes de utilizar de nuevo el proceso de medición?			
	¿Están documentados los criterios para tomar las acciones correctivas?			
	¿Están documentadas las acciones preventivas?			

Anexo No.7

Lista de chequeo para realizar el diagnóstico sobre el cumplimiento de la norma NC 994: 2015. Fuente: Elaboración propia.

Punto	Requisitos	Si	No	En parte	No aplica
5	REQUISITOS				
	El sistema de medición permite la fiscalización de la transferencia de custodia o propiedad de hidrocarburos líquidos, mediante el registro histórico de las mediciones, balances y demás operaciones que efectúe el sistema con: <ul style="list-style-type: none"> • el volumen, • tipo de producto, • temperatura del producto, • número del tanque de operación, • identificación de los medios de transporte, • fecha, • hora de transferencia, • nombre y apellidos del operador que participa en la transferencia. 				
	¿Cómo condición base se considera solamente la temperatura a 15 °C y presión 101,325 kPa?				
	¿Los hidrocarburos líquidos se fiscalizan en los sitios más cercanos a las áreas operacionales donde tiene lugar la entrega?				
	¿En los puntos de transferencia de custodia y de medición fiscal de la cadena de producción y distribución de combustible se mide la cantidad (volumen o masa)?				
	Se determina la calidad de: <ul style="list-style-type: none"> • Petróleos producidos. • Importaciones y exportaciones de petróleo y productos derivados. • Comercialización en el territorio nacional de productos derivados del petróleo. • Consumo propio de petróleo y productos derivados. 				
	¿Los puntos donde se fiscaliza el petróleo crudo son las terminales marítimas, los centros colectores y oleoductos?				
	¿Las importaciones y exportaciones de petróleo y productos derivados son fiscalizadas en las Terminales de Embarque, Refinerías y en los Centros de Distribución y/o venta de Productos?				
	¿En los puntos y sistemas de transferencias de custodia o propiedad se conocen los errores máximos permitidos establecidos?				
	¿En la comercialización por Ferro cisterna y camión cisterna no propiedad de CUPET, así como por camiones cisternas propiedad de CUPET, siempre que exista el contador es utilizado en la medición fiscal de transferencia de propiedad y custodia?				
	¿Cuándo no exista el contador se utiliza el volumen del aforo de los carros cisterna y ferro cisternas?				
	¿Están definidos los responsables de las correcciones,				

	modificaciones, reparaciones y sustituciones necesarias en los sistemas de medición fiscal existentes para garantizar su adecuado funcionamiento?				
	¿Los puntos de medición fiscal cumplen con los requerimientos indispensables para garantizar la calidad de las mediciones?				
	¿Los sistemas de medición que se utilizan para la medición fiscal y transferencia de custodia se seleccionan por su exactitud, repetibilidad y estabilidad y tienen sus modelos aprobados por la ONN? (excepto los tanques de almacenamiento).				
	¿Los sistemas de medición existentes cumplen con la condición nominal de funcionamiento acorde con las características del proceso?				
	¿Estos sistemas permiten obtener los niveles de errores máximos permitidos establecidos en la NC 994: 2013?				
	Los sistemas de medición fiscal cuentan con al menos los siguientes elementos: <ul style="list-style-type: none"> • Un elemento primario. • Una parte instrumental. • Un sistema de cálculo confiable y con facilidades de generar informes que puedan ser auditados y definido como historial del equipo. 				
	¿Los puntos de transferencia de custodia o propiedad se definen de forma que cumplan con el error máximo permitido de las mediciones fiscales?				
	¿Los equipos de medición que forman parte de los sistemas de medición para la transferencia de custodia son objeto del Control Metrológico Estatal por las autoridades del SENAMET?				
	¿Se encuentra prohibido el uso de los sistemas de medición mencionados que se encuentran fuera de los plazos de verificación establecidos o declarados no aptos para el uso?				
	¿La verificación del sistema de medición se realiza por la ONN según los métodos y plazos establecidos?				
	En caso de no existir capacidades en el país para ejecutar dichas verificaciones, ¿la trazabilidad de estos sistemas se obtiene a través laboratorios de calibración reconocidos por el SENAMET?				
	¿Los sistemas de medición comprueban el funcionamiento de estos mediante controles sistemáticos y calibraciones periódicas mediante los procedimientos internos establecidos?				
	La verificación a los sistemas de medición se realiza: <ul style="list-style-type: none"> • Antes de su puesta en servicio. • En forma periódica de acuerdo a lo establecido de acuerdo al DG-01. • Después de un mantenimiento mayor o modificación en los componentes del sistema. • Después de un ajuste de calibración en los 				

	<p>medidores o sensores.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cuando exista sospecha o evidencia de una medición o cálculo no apropiados. 				
	¿Los patrones e instalaciones de medición utilizados en la calibración y en las comprobaciones intermedias de instrumentos del sistema de medición fiscal y/o transferencia de custodia, son calibrados, como mínimo, anualmente por laboratorios competentes y proveedores de trazabilidad metrológica reconocidos por el SENAMET?				
	¿Los equipos de medición utilizados en la calibración y en las comprobaciones intermedias son utilizados dentro de los doce (12) meses comprendidos a partir de la fecha de su calibración?				
	¿Después de dicha fecha los equipos se consideran fuera de calibración y se declaran fuera de servicio?				
	Cuando sea requerido evaluar las incertidumbres de las mediciones, ¿las mismas se estiman de acuerdo con la Guía ISO para la Estimación de la Incertidumbre en las Mediciones?				
	¿Para el control de inventarios a los efectos del balance energético nacional diario, los cierres de movimientos e inventarios de derivados del petróleo se realizan entre las 22:00 h y las 00:00 h?				
	¿En su control interno se realizan mediciones para el control de inventarios en otros horarios?				
	En el caso de petróleo crudo, ¿el horario de cierre diario es a las 00:00 h?				
6	INTEGRIDAD DE LOS SISTEMAS Y EQUIPOS DE MEDICIÓN Y PROCESAMIENTO				
	<p>Los sistemas de medición y los equipos que conforman los sistemas de medición fiscal, así como la automática asociada a los mismos tienen las características constructivas y operacionales que garanticen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • La medición de todo el volumen o masa sin posibilidad de desvío ni contaminación del fluido. • Alta disponibilidad operacional del sistema. • Fidelidad e integridad de las mediciones, la información obtenida de la base de datos y los cálculos que los equipos y sistemas realizan. 				
	¿Las conexiones de los metros contadores o tanques en un sistema de medición son realizadas de forma tal que no es posible el desvío de flujo por una ruta que no pase a través de los Sistemas de Medición?				
	¿En el caso de medición en línea, no se encuentra instalado desvío a los Sistemas de Medición?				
	¿El dimensionamiento del sistema de medición es realizado de tal manera que permite sacar fuera de servicio y/o realizar mantenimiento a un metro contador o a un tanque, manteniendo en servicio el resto de los metros contadores o tanques, sin necesidad de desviar ninguna cantidad de fluido?				
	¿En el caso de medición de volumen en tanque no se				

	permite operaciones de llenado y vaciado del tanque simultáneamente?				
	¿Se mantiene la continuidad operacional del sistema de medición, aun en situaciones de mantenimiento de un medidor o tanque de medición?				
	¿Los medidores o tanques están dimensionados de forma que el sistema pueda manejar la totalidad del flujo o volumen aun con un medidor o tanque fuera de servicio?				
	¿El sistema de medición cuenta con el respaldo de energía eléctrica para mantener los equipos de procesamiento y cálculo funcionando, aun cuando se interrumpa el bombeo de fluido a través del sistema por el paro de las bombas?				
	En el caso de medición en línea, ¿el respaldo de energía eléctrica garantiza poder medir el flujo que aún continúa pasando debido a la inercia mecánica?				
	¿El respaldo de energía también garantiza la preservación de la información del total acumulado y otras variables?				
	¿Como medida de prevención se establecen los procedimientos de contingencia, en caso de fallas en algún equipo o del sistema completo de medición?				
	¿La disponibilidad del sistema se puede incrementar con el uso de equipos con capacidad de auto diagnóstico, tanto en el arranque como durante la operación normal de los equipos?				
	¿Todos los equipos del sistema poseen protección contra alta tensión eléctrica y descarga atmosférica?				
	En caso de fallas de alimentación eléctrica, ¿el sistema es capaz de efectuar un paro ordenado y reiniciar automáticamente al restablecerse la energía eléctrica?				
	¿El sistema tiene un medio confiable para el manejo de la fecha y la hora del funcionamiento?				
	¿El sistema cuenta con un medio para almacenar el total acumulado en cada metro contador o tanque, así como el total del sistema?				
	Los valores acumulados no pueden reposicionarse a valor cero. En caso necesario se emplea un procedimiento de seguridad diseñado para tal propósito.				
	Los programas y aplicaciones deben tener rutinas de manejo de error para evitar la paralización de las tareas y cálculos debido al procesamiento de datos inválidos o fuera de límite.				
	¿El volumen se obtiene como resultado de una serie de cálculos con datos obtenidos de los sensores, medidores, factores y constantes de cálculos?				
	Para garantizar la integridad de los valores de las mediciones, se mantienen los ajustes de calibración y configuración en los elementos de medición, así como el uso de los valores adecuados de los factores, constantes y ecuaciones de cálculos.				
	Para evitar cambios no autorizados de dichos valores, ¿se restringe el acceso de personal para la realización de ajustes y modificaciones en los equipos del sistema?				

	Si el sistema de medición se conecta a una red, ¿se garantiza el acceso al sistema de medición?				
	¿La red de comunicación anterior usa protocolo donde la protección y la seguridad sean parte del mismo?				
	Cualquier modificación o alteración de la base de datos, algoritmos de cálculos, ajuste de factores de cálculos, entre otros, ¿se realiza siguiendo el procedimiento previamente establecido?				
	El acceso a los algoritmos y parámetros de cálculos deben estar restringido y protegido mediante códigos de acceso, al igual que el modo de selección de operación automático/manual del sistema.				
	La carga de constantes y rangos a la computadora de flujo se debe realizar en la inicialización de ésta o el reinicio, bajo el comando del personal autorizado, previa introducción de un código de acceso.				
	Cualquier acción de cambio de parámetro en el sistema ¿es reseñado en el registro correspondiente?				
	Este registro contiene como información mínima: <ul style="list-style-type: none"> • el valor anterior, • el valor nuevo, • la fecha, • hora, • nombre y apellido del operador que realiza el cambio. 				

Anexo No.8

Composición del equipo de trabajo. Fuente: Elaboración propia.

- Director Técnico de la Refinería de Cienfuegos: Luis García López, 32 años de experiencia.
- Jefe de Grupo de Ingeniería de Procesos: Ramiro Rodríguez Tabares, 32 años de experiencia.
- Especialista de Metrología: Midiala Hernández Santana, 29 años de experiencia.
- Técnico de Metrología: Antonio Cárdenas Miranda, 36 años de experiencia.
- Jefe del Sector de GLP: Carlos Hidalgo Meizoso; 9 años de experiencia.
- Director Técnico de AIT: Mario Moreira, 12 años de experiencia.
- Especialista de AIT: Heinz García Suárez, 8 años de experiencia.
- Jefe del Laboratorio Químico Central: Rubén Pérez Ayo, 32 años de experiencia.
- Director de MCP: Haydee Rodríguez Roque, 28 años de experiencias, Black Belt Seis Sigma: 2010.
- Jefe del Sector de Crudo y Producto: Eriel Fragoso Bordón, 8 años de experiencia.
- Jefe de Cargadero: José Pablo García Pozo, 9 años de experiencia.
- Especialista del grupo de planeación y control: Yoandra Gravié, 10 años de experiencia.
- Jefe de grupo de planeación y control: Jorge Gerardo González Álvarez, 7 años de experiencia.
- Tecnólogo MCP: Alexis González Martínez, 7 años de experiencia.
- Tecnólogo de GLP: Orlando Ferrer Lamotte, 33 años de experiencia.
- Tecnólogos de procesos:
 - ✓ Yosvany González Mazorra, 5 años de experiencia, atiende la sección 400.
 - ✓ Lidisbet Gutiérrez González, 6 años de experiencia, atiende la sección 400.
 - ✓ Rosaura Usagaua Ramos, 21 años de experiencia, atiende la sección 200.
 - ✓ Osvaldo Díaz de Villega Gómez, 33 años de experiencia, atiende GLP, muelle y cargadero.

Anexo No.9

Narración del proceso Mantenimiento, Calibración y Verificación. Fuente: (Hernández Santana, 2012).

Proceso de Mantenimiento y calibración:

- 1) Levantamiento/registro de todos los instrumentos de medición (M4.1.2.1): Se realiza un registro RRF- DT-P-13-05-02 “Control de Equipos de Inspección, Medición y Ensayo” con todos los instrumentos de medición por magnitud, donde se reflejan las características y ubicación de los mismos. Se identifican mediante un estudio multidisciplinario aquellos instrumentos que por su campo de utilización pertenecen a metrología legal.
- 2) Elaboración del plan anual de mantenimiento, calibración y verificación; RRF- DT-P-13-05-01 “Plan de Verificación/ Calibración” (M4.1.2.1): Partiendo del registro RRF- DT-P-13-05-02, se ordena por magnitudes y teniendo en cuenta las regulaciones y disposiciones siguientes:
 - Decreto Ley 183/1998 de la Metrología
 - Decreto Ley 62/1982 de la Implantación del Sistema Internacional de Unidades
 - DG-01:2015 Disposición general acerca de los instrumentos de medición sujetos a la verificación y los campos de aplicación donde serán utilizados.

Se realiza el Plan de Mantenimiento y el Plan de Calibración, después de realizados los convenios con los subcontratistas se aprueba el Plan de Verificaciones.
- 3) Programación Mensual / Semanal o Diaria considerando el Mantenimiento Predictivo (M4.1.2.2) y el Correctivo (M4.1.2.3): Se lleva de forma mensual o diaria por un software, en este caso el MP2.
- 4) Retiro de los medios de medición del campo (con o sin reposición según orden de Trabajo): En la orden de trabajo queda descrito la posición del instrumento, se solicita el permiso y se desmonta el instrumento siguiendo las regulaciones del proceso y se traslada al taller de mantenimiento.
- 5) Ejecutar los mantenimientos y reparaciones. Así como plasmar los resultados en el registro (M4.1.2.4): Se reciben los instrumentos con sus características, su posición y la Orden de Trabajo y se ejecuta su mantenimiento.
- 6) Realizar calibraciones (incluido pegado de sello) y plasmar resultado en el registro RRF-DAIT-IT-11-08-01 “Registro de Calibración del instrumento” (M4.1.2.4): Se calibra el

instrumento según la instrucción de calibración RF-DAIT-IT-11-08 “Instrucción para la calibración de manómetros y manovacúómetros, de deformación elástica, indicadores de trabajo”, se emite un certificado de calibración, se plasma en el registro de calibración RRF-DAIT-IT-11-08-01 y se sella el instrumento.

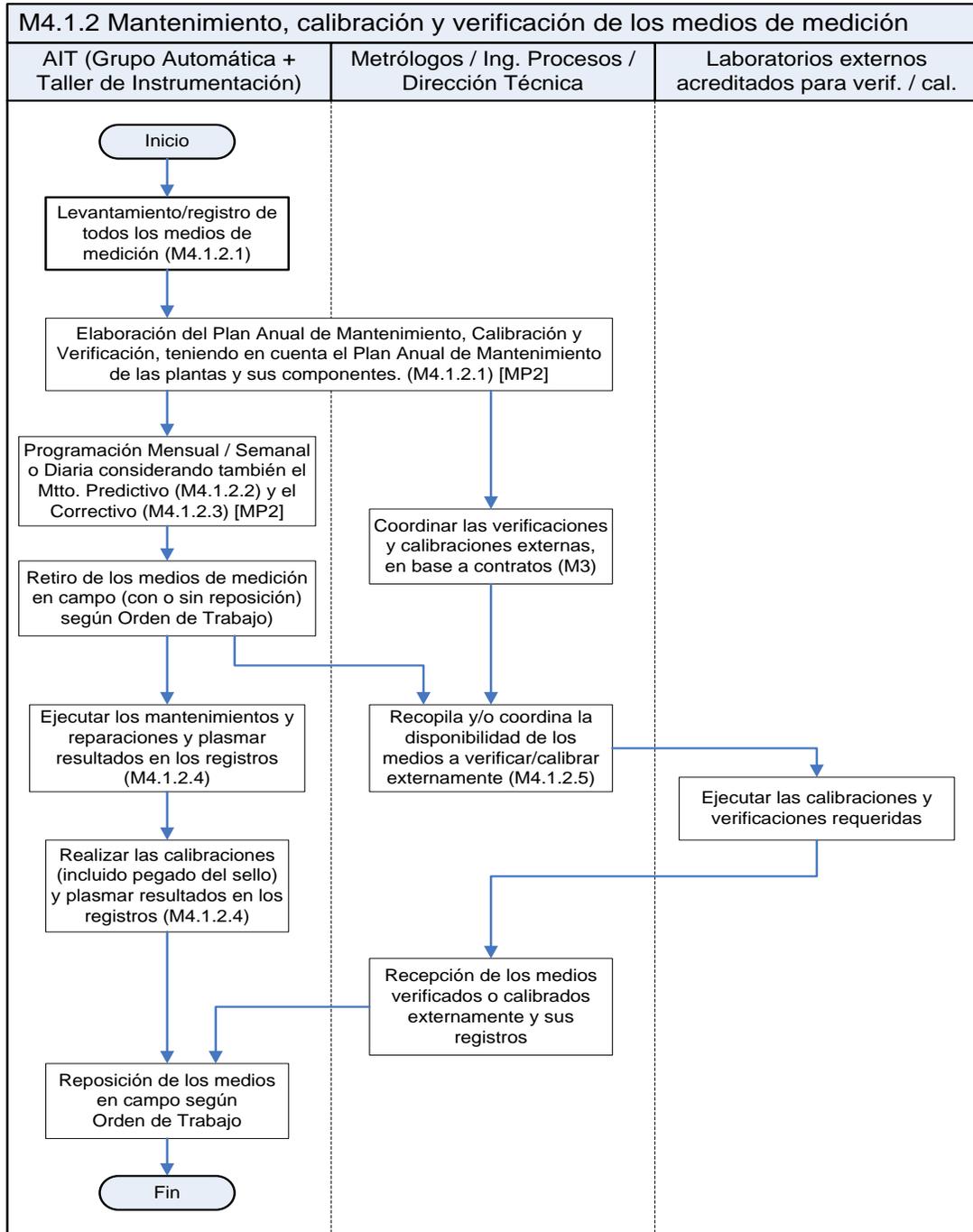
- 7) Reposición de los medios en campo según orden de trabajo: Se montan los instrumentos calibrados de acuerdo a su posición, se entrega el certificado de calibración al personal responsable y se cierra la orden de trabajo.

Proceso de Verificación:

- 1) Levantamiento/registro de todos los instrumentos de medición (M4.1.2.1): Se realiza un registro con todos los instrumentos de medición por magnitud, donde se reflejan todas las características y ubicación de los mismos. Mediante un estudio multidisciplinario se identifican aquellos instrumentos que por su campo de utilización pertenecen a Metrología Legal.
- 2) Elaboración del plan anual de mantenimiento, calibración y verificación (M4.1.2.1): Partiendo del registro por magnitudes, en correspondencia con las regulaciones y disposiciones vigentes. Este es firmado con los laboratorios contratados y distribuido por direcciones.
- 3) Coordinar las verificaciones y calibraciones externas, en base de contratos (M3): Según las características de los instrumentos a verificar y calibrar, en relación con el alcance de la trazabilidad de los laboratorios primarios y con la disponibilidad del presupuesto, se firma contrato con las distintas entidades y laboratorios.
- 4) Recopilación y/o coordinación de la disponibilidad de los medios a verificar/calibrar externamente (M4.1.2.5.): Se reciben los medios que son desmontados según el plan, se registran, se embalan y trasladan a los destinos convenidos para recibir el servicio.
- 5) Ejecutar las calibraciones y las verificaciones requeridas: Las entidades contratadas ejecutan el servicio convenido, entregando certificado y sellando el instrumento.
- 6) Recepción de los medios verificados o calibrados externamente y sus registros: Se reciben los instrumentos de medición y los certificados, actualizándose la base de datos.
- 7) Reposición o entrega de los instrumentos de medición: Se reponen los instrumentos según su posición y orden de trabajo, con su respectivo certificado.

Anexo No.10

Diagrama de flujo del proceso de mantenimiento, reparación, calibración de instrumentos. Fuente: Unidad de Negocio Refinería "Camilo Cienfuegos".



Anexo No.11

Mapa del proceso de Mantenimiento, reparación, calibración de instrumentos. Fuente: (Hernández Santana, 2012).

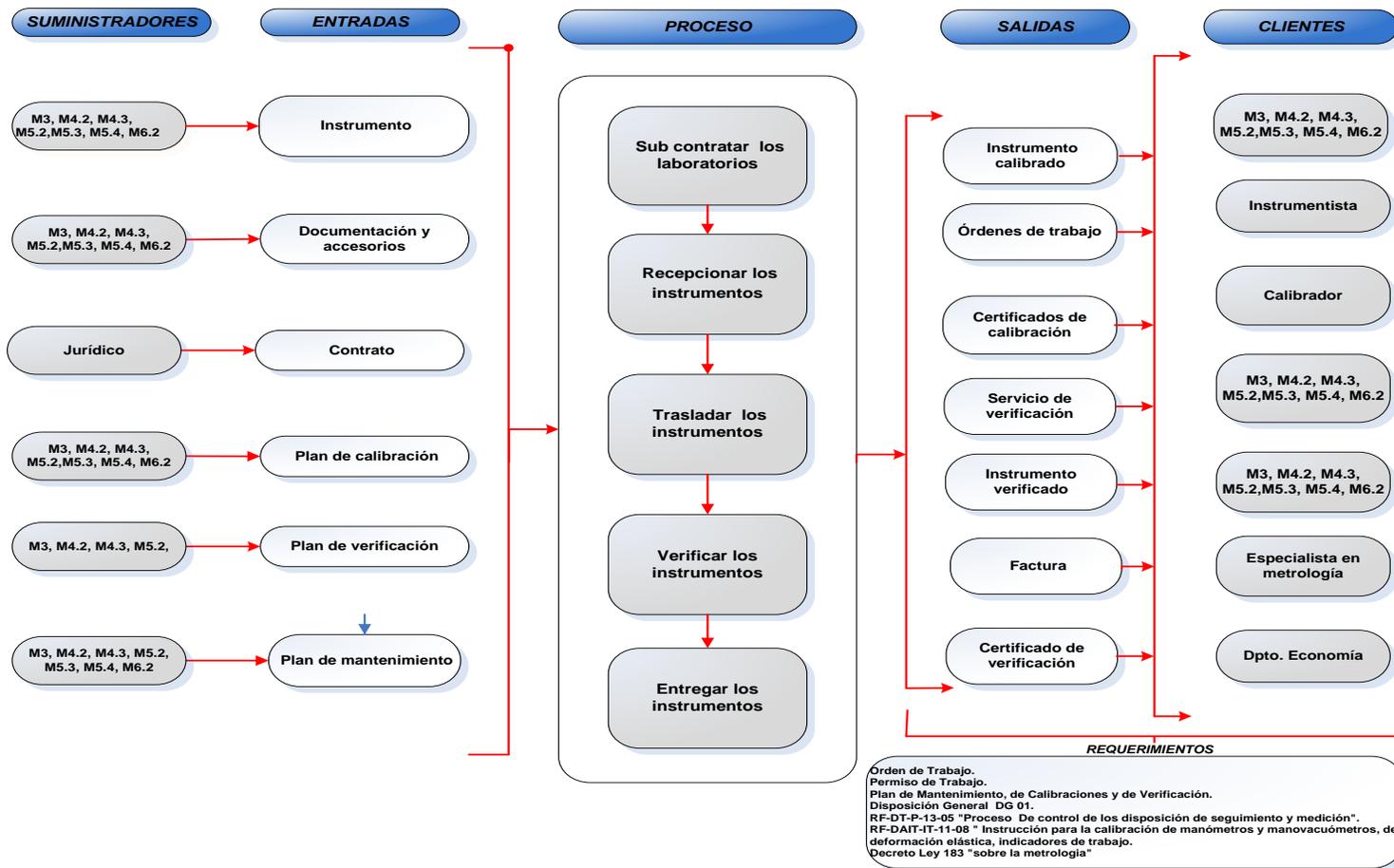
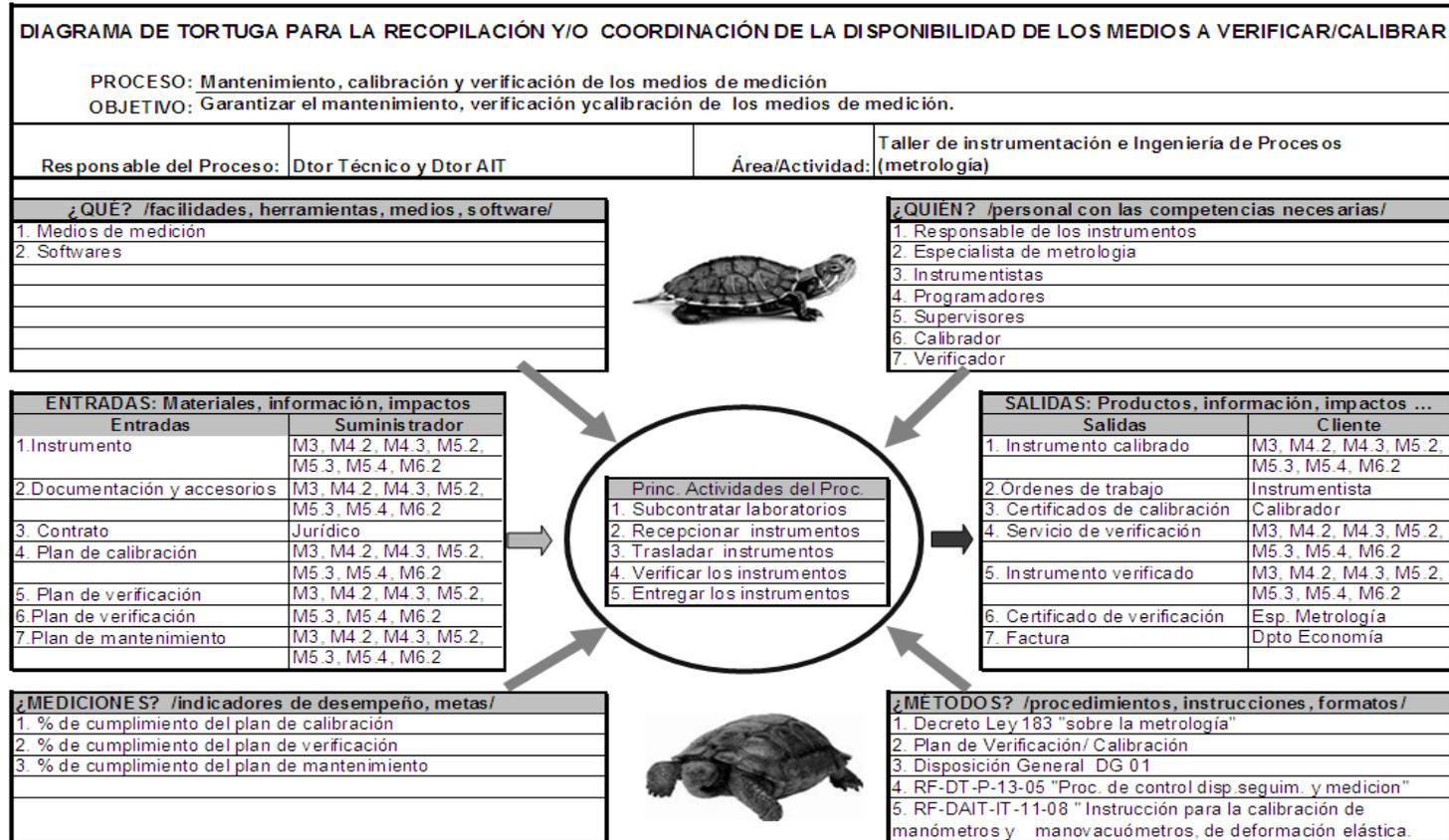


Diagrama de tortuga del proceso de Mantenimiento, calibración y verificación de los medios de medición. Fuente: Unidad de Negocio Refinería “Camilo Cienfuegos”.



Anexo No.12

Ficha del proceso Mantenimiento, calibración y verificación de los medios de medición.

Fuente: (Machado García, 2013).

PROCESO: Mantenimiento, calibración y verificación de los medios de medición.	Propietario: Dtor Técnico y Dtor AIT.
Misión: Garantizar el mantenimiento, verificación y calibración de los medios de medición.	
Documentación: <ul style="list-style-type: none">• 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 manovacúómetros, de deformación elástica, indicadores de trabajo.	
Alcance: <ul style="list-style-type: none">• 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: <ul style="list-style-type: none">• Instrumentos• Documentación y accesorios• Contratos• Plan de calibración• Plan de verificación• Plan de mantenimiento	

Proveedores:

- M3
- M4.2
- M4.3
- M5.2
- M5.3
- M5.4
- M6.2
- 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
- M4.2
- M4.3
- M5.2
- M5.3
- M5.4
- M6.2
- 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:

- Cantidad de equipos calibrados, verificados y reparados.

Indicadores:

- Cumplimiento del plan de calibración
- Cumplimiento del plan de verificación
- Cumplimiento del plan de mantenimiento

Anexo No.13

Relación de documentos legales. Fuente: (Martínez Hernández, 2014) & (Cambra Díaz, 2014).

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 17025:2006	Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración.
NC ISO/IEC Guía 2: 2005	Normalización y Actividades relacionadas. Vocabulario General
OIML V1: 2012	International Vocabulary of Terms in Legal Metrology.
NC ISO 9001:2008	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
http://www.inimet.cubaindustria.cu	Manual de Instrucciones para la ejecución del diagnóstico Metrológico
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.
GUM: 2008	Guía para la expresión de la incertidumbre en la medición
OIML D17:1996	Guía para la expresión de la incertidumbre de las mediciones
NC 18001: 2005	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 14001:2004	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.
OHSAS 18001: 2007	Sistemas de gestión de la seguridad y salud en el trabajo. Requisitos.
NC: 90-	Grupo 90 de las normas cubanas, por magnitudes.
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.

Anexo No.14

Principales dificultades del proceso de Mantenimiento, calibración y verificación de los instrumentos de medición. Fuente: Elaboración propia.

- Se extiende el período de extracción para la calibración o verificación del instrumento por imposibilidad de detener el proceso.
- Demora en el ciclo de verificación y calibración.
- Falta de control en la posición de los instrumentos, faltando chapilla de identificación.
- Falta de trazabilidad en algunos instrumentos por el SENAMET.
- Son escasos los estudios para conocer la calidad en el sistema de gestión de las mediciones.
- Uso de instrumentos en el proceso sin la debida confirmación metrológica o carencia de su evidencia.
- Necesidad de evaluar la incertidumbre en algunos sistemas de medición fiscal.
- Carencia de instrumentos primario en algunos puntos de transferencia fiscal.

Anexo No.15

Fortalezas y debilidades del proceso de gestión de las mediciones. Fuente: Elaboración propia.

Fortalezas

- Se cuenta con instrumentación de tecnología de punta en la mayoría de los procesos.
- Utilización de un software para mejorar la gestión del proceso de Mantenimiento, Calibración y Verificación.
- Existencia de un registro de todos los instrumentos de la empresa separados por magnitudes y procesos.
- Se posee un sistema de gestión de calidad certificado por la NC ISO 9001: 2008 y la *Lloyd Register*.
- Personal capacitado y apto para operar los equipos.
- Elevada cultura metrológica por parte de directivos y trabajadores.
- 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.

- Incumplimiento en el período de verificación y calibración.
- No se evalúa la incertidumbre de medición en algunos sistemas de medición fiscal.
- Carencia de instrumentos primario en algunos puntos de transferencia fiscal.

Anexo No.16

Plan de acción para la implementación de la NC 994:2015. Fuente: Dirección Técnica de la Unidad de Negocio Refinería de Cienfuegos.

No.	ACTIVIDAD	RESPONSABLES	PARTICIPANTES	FECHA DE CUMPLIMIENTO	OBSERVACIONES
	PUNTOS DE TRASFERENCIAS				
1	Identificar los puntos de transferencia fiscal tanto en recepción como en entrega por productos.	Director Técnico	Especialista en Metrología	Septiembre 2014	
2	Dar tratamiento especializado al GLP (por estar excluido de la norma).	Director Técnico	Especialista en Metrología	Agosto 2014	
3	Identificar los sistemas de medición que intervienen en la transferencia.	Directo Técnico	Especialista en Metrología	Octubre 2014	
4	Revisar que los puntos de transferencia de custodia cumplan con el error máximo permitido de las mediciones fiscales.	Director Técnico	Especialista AIT	Noviembre 2014	
5	Identificar debilidades en los puntos de transferencias.	Director Técnico	Equipo Trabajo	Noviembre 2014	
6	Conexión DUCTO-LINEA entrega productos oscuros.	Director Técnico	Equipo Trabajo	I Trimestre 2015	Compra, flujómetro.
	INSTRUMENTOS				
1	Caracterizar los instrumentos de medición que participan en la transferencia (Tanque, flujómetro, cinta, termómetro) así como revisar la incertidumbre de los mismos.	Director Técnico	Especialista en Metrología	Octubre 2014	
2	Revisar fecha de verificación de los instrumentos identificados y los requisitos legales aplicables.	Director Técnico	Especialista en Metrología	Octubre 2014	
3	Revisar los instrumentos identificados y sugerir inspección, calibración de requerirla.	Director AIT	Especialista en Metrología	Octubre 2014	
4	Identificar la automática asociada a las mediciones (Nivel y temperatura).	Director AIT	Especialista AIT	Octubre 2014	
5	Identificar los instrumentos que no tiene trazabilidad y participan en la transferencia	Director Técnico	Especialista en Metrología	Octubre 2014	

	e inventario.				
	SISTEMA				
1	Identificar los sistemas de medición que participan en la transferencia.	Director MCP	Jefe de Taller	Septiembre 2014	
2	Evidenciar la existencia de registro histórico de mediciones y balances por productos y tanques.	Director AIT	Jefe de Taller	Septiembre 2014	
3	Un sistema de cálculo confiable y con facilidades de generar informes que puedan ser auditados y definidos como historial del equipo.	Director AIT	MCP	Trimestral	
4	Evidenciar trazas de los horarios de las mediciones fiscales e inventarios.	Director AIT	MCP	Trimestral	
5	Evaluar la incertidumbre de medición en los sistemas de transferencia.	Director Técnico	Especialista en Metrología	Febrero - Abril 2015	
	SEGURIDAD				
1	Revisión de la disponibilidad y seguridad operacional (Electricidad, bloqueos, alarmas, explosividad, incendios, alta tensión eléctrica, descarga atmosférica, sistema de rociadores, pararrayos y otros).	Director AIT	MCP	Permanente	
2	Evaluar el sistema (montaje, hermeticidad, y posible desvío de flujo en el sistema de medición, así como operaciones simultáneas de llenado y vaciado a un mismo tanque).	MCP	Jefe de Taller	Trimestral	
3	El sistema deberá tener un medio para almacenar el total acumulado en cada metro contador o tanque, así como el total del sistema (estos valores acumulados no podrán reposicionarse a valor cero, además de la existencia de un procedimiento de seguridad para tal propósito).	Director AIT	MCP	Trimestral	

Anexo No.17

VARIABLES CRÍTICAS DE CALIDAD EN EL PROCESO DE MANTENIMIENTO, CALIBRACIÓN Y VERIFICACIÓN Y SU PRIORIDAD. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Variable de salida	¿Por qué es importante para el cliente?	Situación actual
<p style="text-align: center;">Período de verificación y calibración</p>	<p style="text-align: center;">Garantizando que se cumpla este período la empresa trabaja con equipos trazables</p>	<p>El plan de calibración se cumple al 75 %.</p> <p>El plan de verificación se cumple al 88 %.</p> <p>Existe un 2 % de instrumentos sin trazabilidad, que estos no entran dentro del plan.</p>
<p style="text-align: center;">Evaluación de la incertidumbre en los sistemas de medición fiscal</p>	<p style="text-align: center;">Asegura mayor calidad en la medición</p>	<p>No se evalúa la incertidumbre de la medición en los sistemas de transferencia de custodia, solo se conoce la incertidumbre de forma puntual de los instrumentos que intervienen en dicha transferencia.</p>
<p style="text-align: center;">Calidad en la medición en puntos de transferencia de custodia</p>	<p>Funcionamiento correcto de los instrumentos de medición.</p> <p>Su comportamiento en el tiempo.</p> <p>Adecuación de los equipos de medición a las necesidades reales de los procesos de la empresa.</p> <p>Trazabilidad de los instrumentos de medición con los patrones nacionales.</p>	<p>Se han realizado en parte de los sistemas de medición estudios para evaluar la calidad de las mediciones, aunque existe la necesidad de continuar con este tipo de investigaciones.</p>

Anexo No.18

Votación ponderada. Fuente: Elaboración propia.

Nombres y apellidos	Factores		
	1	2	3
Luis García López	2	1	3
Ramiro Rodríguez Tabares	1	2	3
Midiala Hernández Santana	2	1	3
Antonio Cárdenas Miranda	1	2	3
Carlos Hidalgo Meizoso	3	1	2
Mario Moreira	1	2	3
Heinz García Suárez	2	3	1
Rubén Pérez Ayo	1	2	3
Haydee Rodríguez Roque	1	2	3
Eriel Fragozo Bordón	1	2	3
José Pablo García Pozo	1	3	2
Yoandra Gravié	1	2	3
Jorge Gerardo González Álvarez	1	2	3
Alexis González Martínez	2	1	3
Orlando Ferrer Lamotte	2	3	1
Yosvany González Mazorra	2	1	3
Lidisbet Gutiérrez González	1	2	3
Rosaura Usagaua Ramos	2	1	3
Osvaldo Díaz de Villega Gómez	1	2	3
Suma	28	35	48
Frecuencia	19	19	19
Orden de Prioridad	3	2	1

Factores

1. Período de verificación y calibración
2. Calidad en la medición en puntos de transferencia de custodia
3. Evaluación de la incertidumbre en los sistemas de medición fiscal

Anexo No.19

Relación de los puntos de transferencia custodia de la Refinería de Cienfuegos. Fuente: Elaboración propia.

No.	Denominación	Modelo	Posición	Producto	No. Serie	Fecha de verificación	Entidad	Norma Utilizada	No. Certificado	Tanque
1	Flujómetro Coriolis	E+H	Cargadero	GLP Especial	A4070702000	12/03/2014	OTN V.C	OIML-R-117/2000	66-13-01	
2	Flujómetro Coriolis	E+H	Cargadero	GLP Especial Retorno			OTN V.C			
3	Flujómetro Coriolis	E+H	Cargadero	GLP Regular	A4070802000	11/03/2014	OTN V.C	OIML-R-117/2000	66-13-02	
4	Flujómetro Coriolis	E+H	Cargadero	GLP Regular Retorno			OTN V.C			
5	Flujómetro Coriolis	E+H	Muelle	GLP Regular	990E2702000	12/03/2014	OTN V.C	OIML-R-117/2000	66-13-05	
6	Flujómetro Coriolis	E+H	Muelle	GLP Regular Retorno			OTN V.C			
7	Flujómetro Coriolis	E+H	Muelle Auxiliar	Jet A1	AADAF302000	14/05/2014	OTN V.C	NC-918/2012	66-13 -03	
8	Flujómetro Coriolis	E+H	Muelle Auxiliar	Diésel	AADAF202000	10/04/2014	OTN V.C	NC-918/2012	66-13-04	
9	Flujómetro Coriolis	yocogawa	Isla (1) 96-FT-121	Gasolina 92	D1K700104		OTN V.C	NC-918/2012	753109	
10	Flujómetro Coriolis	yocogawa	Isla (1) 96-FT-131	Gasolina 83	D1K700105	2014/07	OTN V.C	NC-918/2012	753107	
11	Flujómetro Coriolis	yocogawa	Isla (1) 96-FT-141	Diésel	D1KA01434	2014/07	OTN V.C	NC-918/2012	753101	
12	Flujómetro Coriolis	yocogawa	Isla (2) 96-FT-221	Gasolina 92	D1K700106	2014/07	OTN V.C	NC-918/2012	753113	
13	Flujómetro Coriolis	yocogawa	Isla (2) 96-FT-231	Gasolina 83	D1K700110	2014/07	OTN V.C	NC-918/2012	753108	
14	Flujómetro Coriolis	yocogawa	Isla (2) 96-FT-241	Diésel	D1K700103	2014/07	OTN V.C	NC-918/2012	753102	
15	Flujómetro Coriolis	yocogawa	Isla (3) 96-FT-321	Gasolina 92	D1K700108	2014/07	OTN V.C	NC-918/2012	753110	
16	Flujómetro	yocogawa	Isla (3) 96-FT-331	Keroseno	D1K700111	2014/07	OTN V.C	NC-	753104	

	Coriolis							918/2012		
17	Flujómetro Coriolis	yocogawa	Isla (3) 96-FT-341	Diésel	D1K700107	2014/07	OTN V.C	NC-918/2012	753103	
18	Flujómetro Coriolis	yocogawa	Isla (4) 96-FT-421	Diésel	D1K902739	2014/07	OTN V.C	NC-918/2012	753106	
19	Flujómetro Coriolis	yocogawa	Isla (4) 96-FT-431	Diésel	D1K700112	2014/06	OTN V.C	NC-918/2012	753105	
20	Flujómetro Coriolis	yocogawa	Isla (4) 96-FT-441	Jet-1	D1K700113	2014/07	OTN V.C	NC-918/2012	753111	
21	Flujómetro Coriolis	yocogawa	Isla (4) 96-FT-451	Jet-1	D1K500838	2014/07	OTN V.C	NC-918/2012	753113	
1	Basculas	Crisplant	Bloque 27	GLP Regular	1	10/02/2014	OTN Cfg	NC 90-06-45	9419/14-03	
2	Basculas	Crisplant	Bloque 28	GLP Regular	2	10/02/2014	OTN Cfg	NC 90-06-45	9419/14-04	
3	Basculas	Crisplant	Bloque 29	GLP Regular	3	10/02/2014	OTN Cfg	NC 90-06-45	9419/14-05	
4	Basculas	Crisplant	Bloque 30	GLP Regular	4	10/02/2014	OTN Cfg	NC 90-06-45	9419/14-06	
5	Basculas	Crisplant	Bloque 31	GLP Regular	6	10/02/2014	OTN Cfg	NC 90-06-45	9419/14-07	
6	Basculas	Crisplant	Bloque 32	GLP Regular	7	10/02/2014	OTN Cfg	NC 90-06-45	9419/14-08	
7	Basculas	Crisplant	Bloque 33	GLP Regular	8	10/02/2014	OTN Cfg	NC 90-06-45	9419/14-09	
8	Basculas	Crisplant	Bloque 34	GLP Regular	9	10/02/2014	OTN Cfg	NC 90-06-45	9419/14-10	
9	Basculas	Crisplant	Bloque 35	GLP Regular	10	10/02/2014	OTN Cfg	NC 90-06-45	9419/14-11	
10	Basculas	Crisplant	Bloque 36	GLP Regular	12	10/02/2014	OTN Cfg	NC 90-06-45	9419/14-12	
11	Basculas	Crisplant	Bloque 37	GLP Regular	13	10/02/2014	OTN Cfg	NC 90-06-45	9419/14-13	
12	Basculas	Crisplant	Bloque 38	GLP Regular	14	10/02/2014	OTN Cfg	NC 90-06-45	9419/14-14	
13	Basculas	Crisplant	Bloque 39	GLP Regular	15	10/02/2014	OTN Cfg	NC 90-06-45	9419/14-15	
14	Flujómetro Coriolis	E+H	Muelle	Ifo				NC-918/2012		

15	Flujómetro Coriolis	E+H	Muelle	Diésel				NC-918/2012		
16	Entrega de fuel oíl		Cargadero Isla 6	fuel oíl				NC 90-04-18:1988		
16	Entrega de fuel oíl		Termoeléctrica	fuel oíl				NC-918/2012		Tk 1033
17	Recepción de crudo		Muelle	Crudo						Tk -1241 ,1242 ,1243,1003
18	Cargadero de ferrocarril		Titulo 96 y 97	diésel, fuel oíl, kerocina y Gasolina	Brazos			NC 90-04-18:1988		

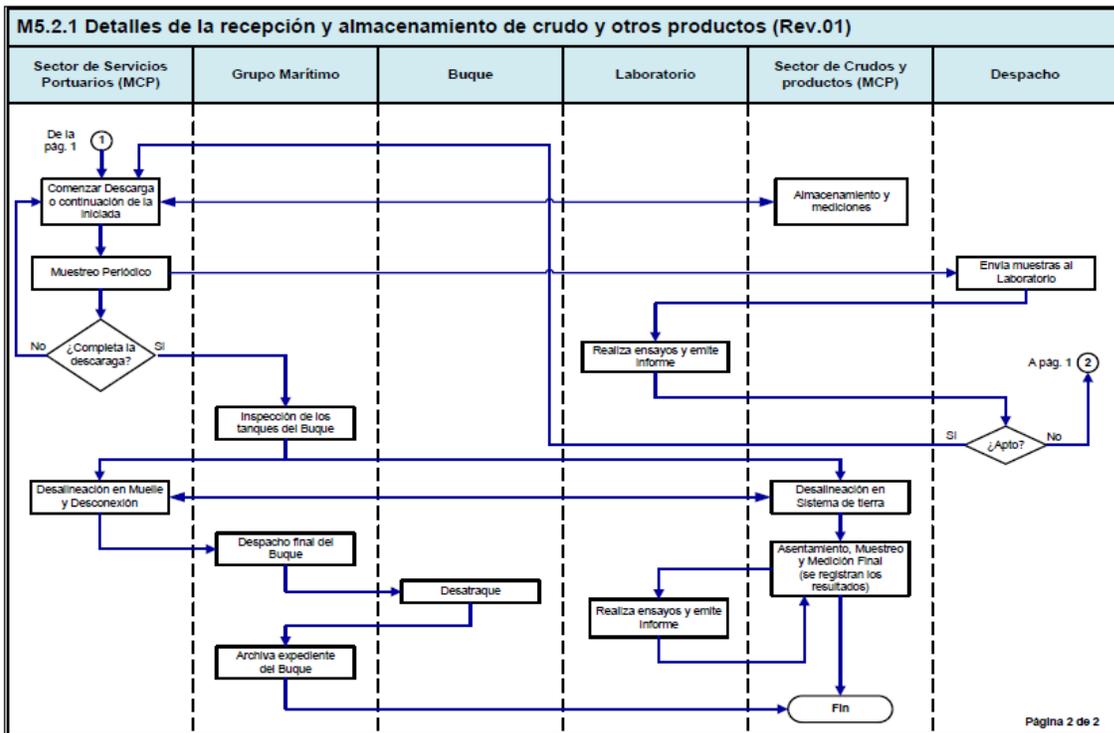
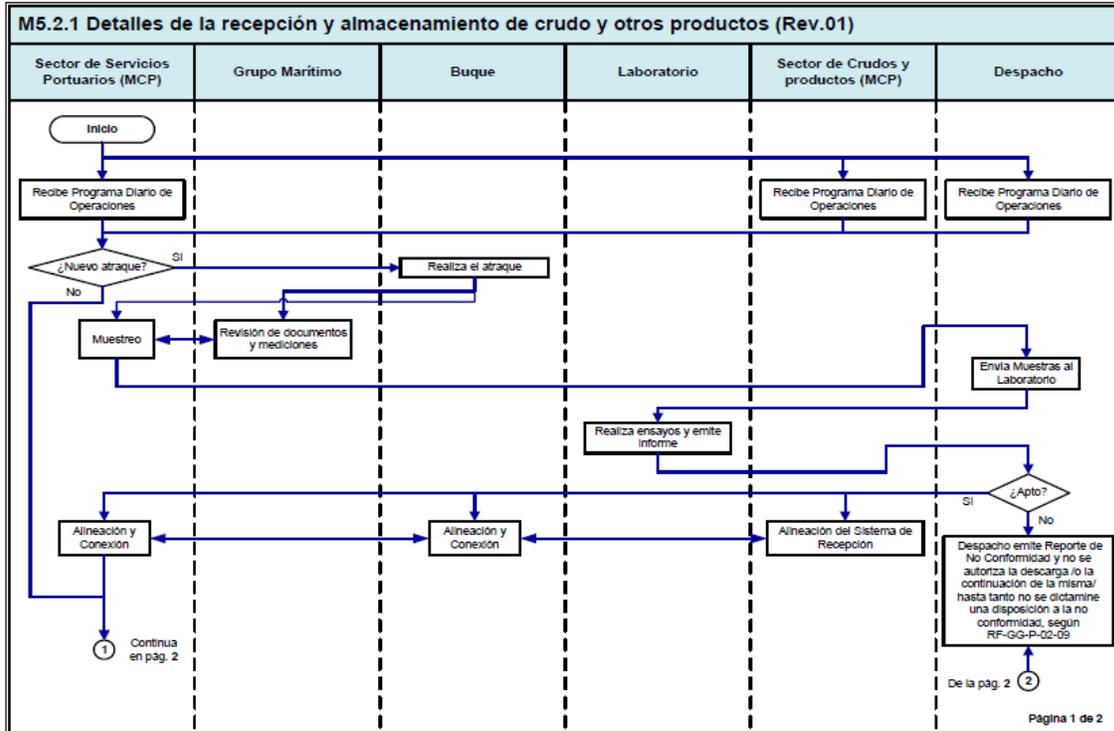
Anexo No.20

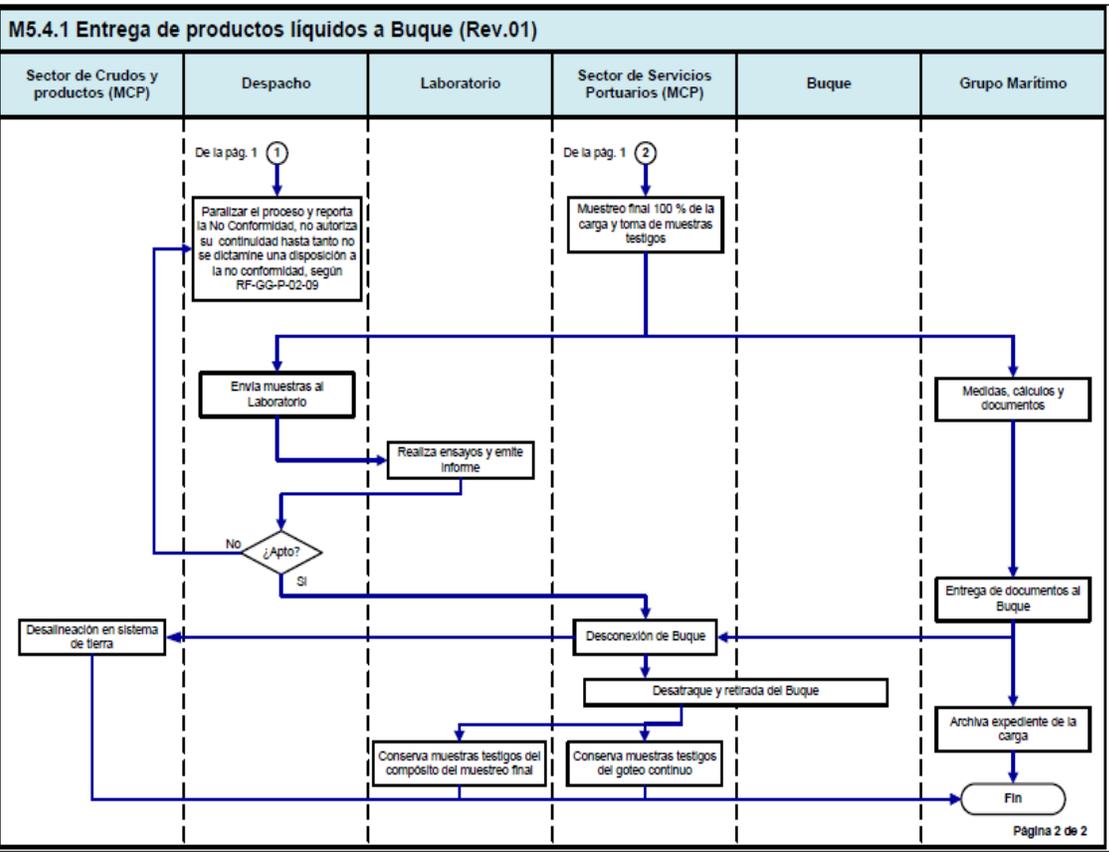
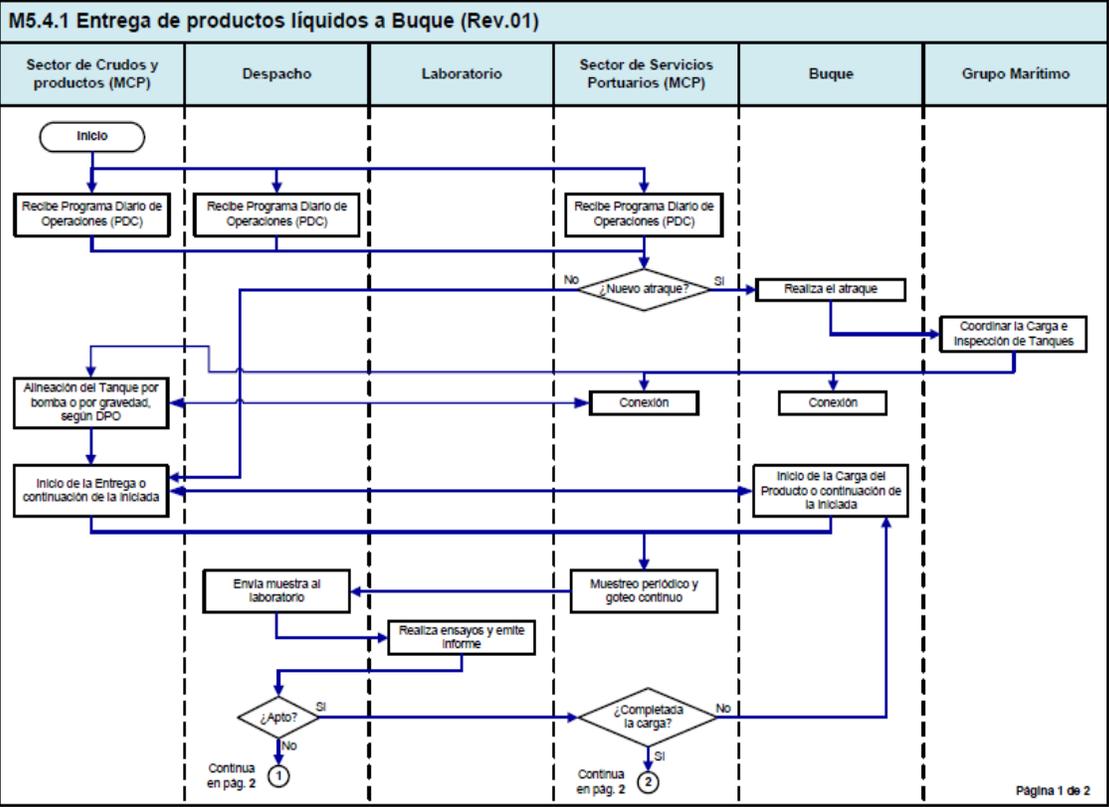
Ubicación de las zonas donde se localizan los puntos de medición fiscal y transferencia de custodia. Fuente: Elaboración propia.



Anexo No.21

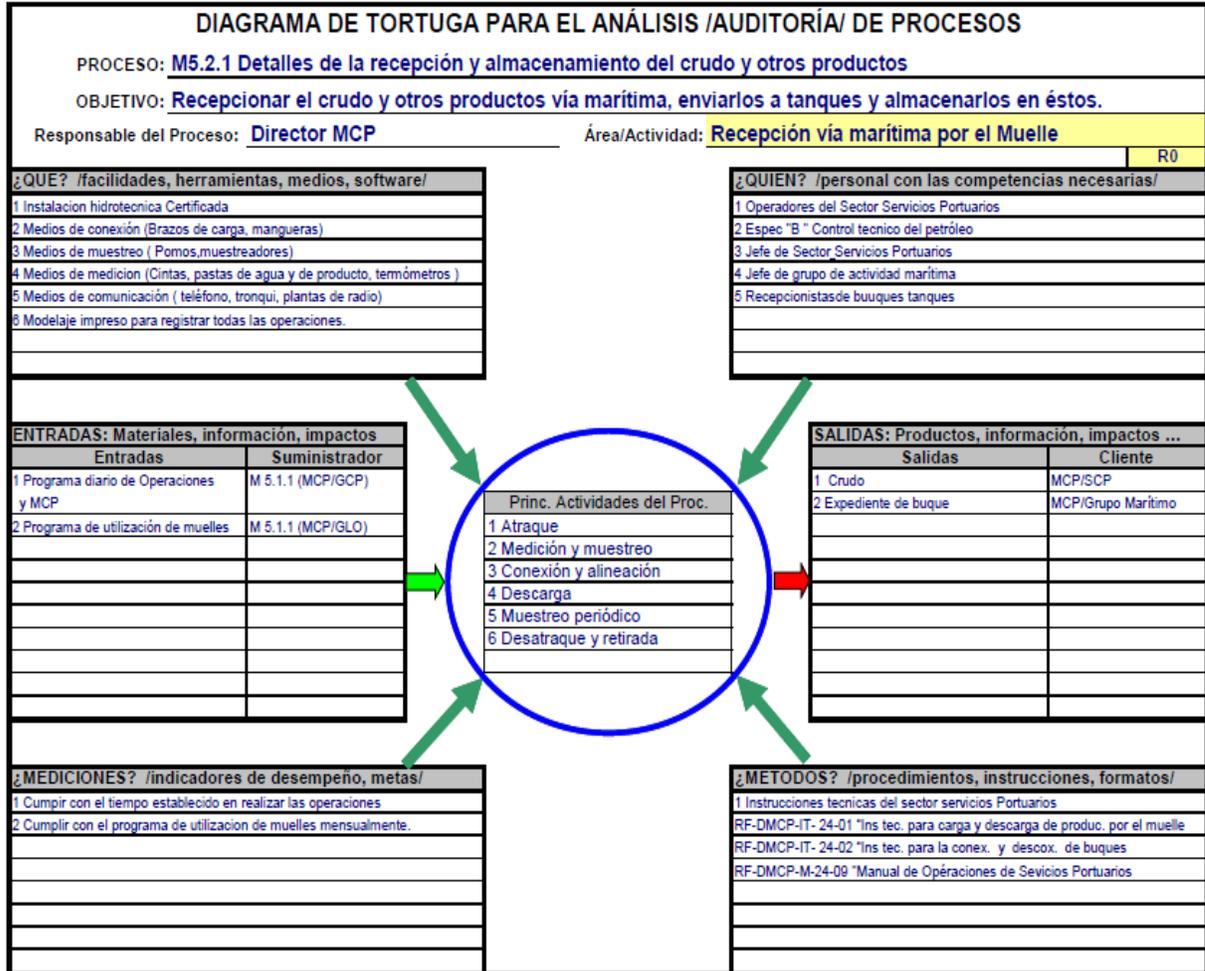
Diagrama de flujo de los procesos de Recepción y almacenamiento de crudo y otros productos y Entrega de productos líquidos a buques. Fuente: Unidad de Negocio Refinería "Camilo Cienfuegos".





Anexo No.22

Ficha de los procesos de Recepción y almacenamiento de crudo y otros productos y Entrega de productos líquidos a buques, cargadero de pailas y ferrocarriles. Fuente: Unidad de Negocio Refinería “Camilo Cienfuegos”.



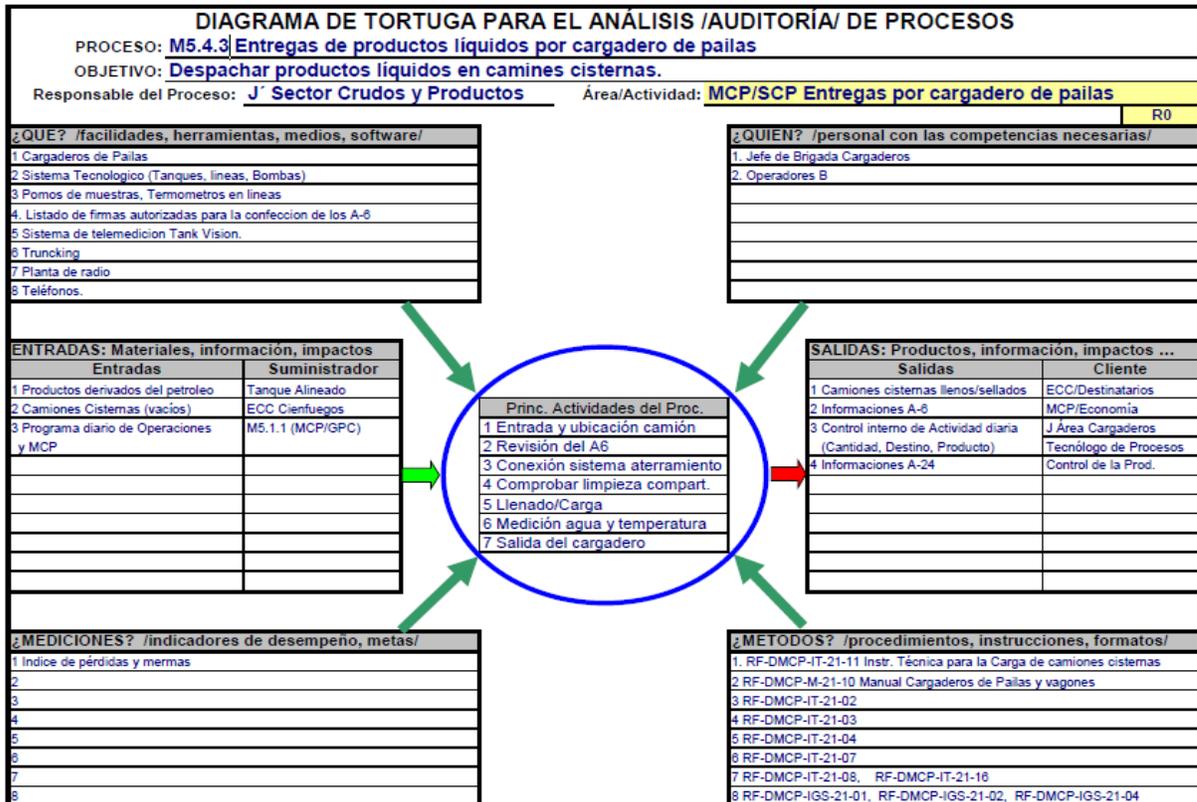
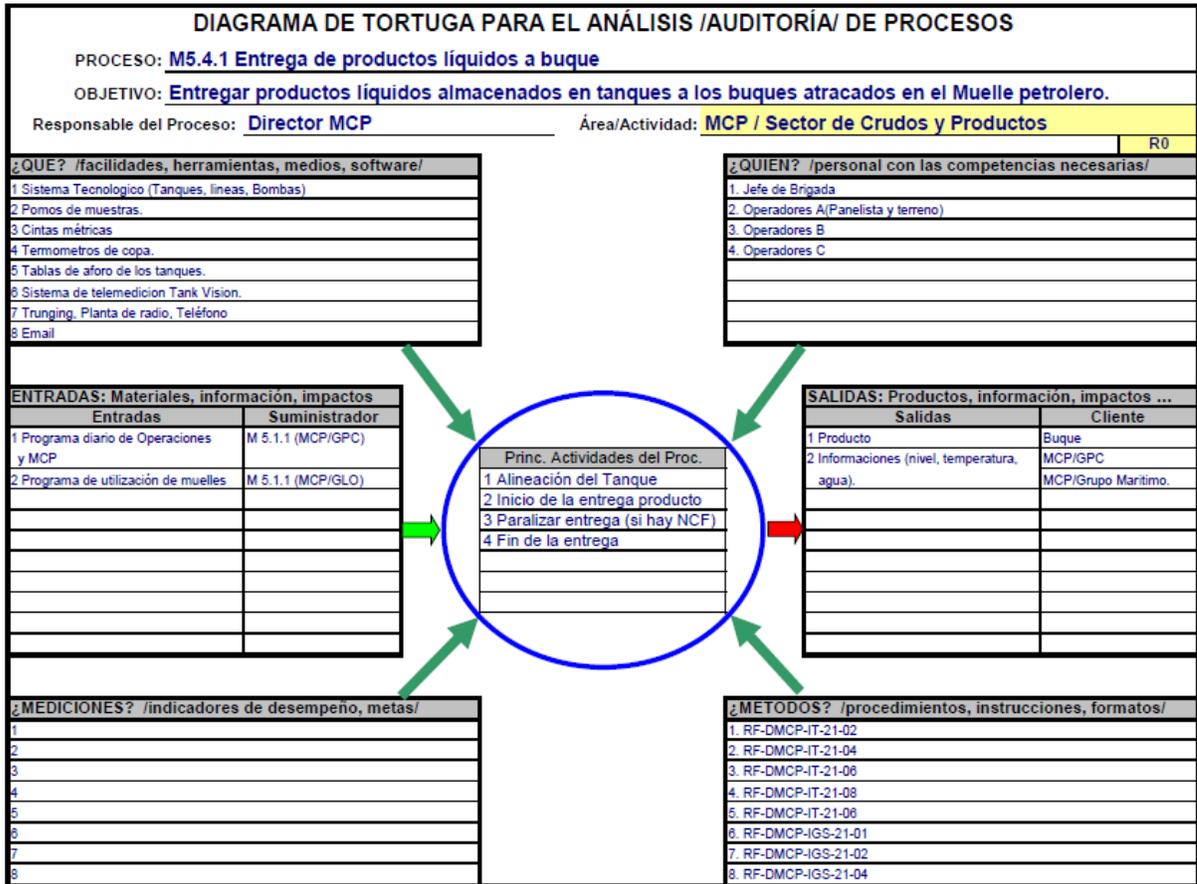


DIAGRAMA DE TORTUGA PARA EL ANÁLISIS /AUDITORIA/ DE PROCESOS

PROCESO: **M5.4.4 Entregas de productos líquidos por cargadero de ferrocarriles**

OBJETIVO: **Despachar productos líquidos en vagones cisternas.**

Responsable del Proceso: **J' Sector Crudos y Productos**

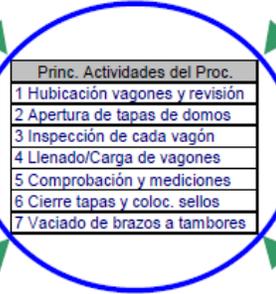
Área/Actividad: **MCP/SCP Entrega por cargadero de ferrocarril**

R0

¿QUE? /facilidades, herramientas, medios, software/
1 Cargaderos de FF.CC
2 Sistema Tecnológico (Tanques, líneas, Bombas).
3 Termómetros en líneas, Pomos de muestras.
4. Listado de firmas autorizadas para la confección de los A-8
5 Sistema de telemedición Tank Vision.
6 Trunking
7 Planta de radio
8 Teléfonos.

¿QUIEN? /personal con las competencias necesarias/
1. Jefe de Brigada Cargaderos
2. Operadores B

ENTRADAS: Materiales, información, impactos	
Entradas	Suministrador
1 Producto combustible	Tanque alineado
2 Vagones Cisternas (vacíos)	Destinatario/ECC/FF.CC
3 Programa diario de Operaciones y MCP	M 5.1.1 (MCP/GPC)



SALIDAS: Productos, información, impactos ...	
Salidas	Cliente
1 Vagones Cisternas llenos/sellados	FF.CC/ECC/Destinatario
2 Producto combustible de brazos	Tambor correspondiente
3 Informaciones (Carta Porte)	MCP/Economía
	ECC Cienfuegos / Econ.
	FF.CC
4 Informaciones (Reporte diario de vagones cisternas).	Dpto de Control de la Producción

¿MEDICIONES? /indicadores de desempeño, metas/
1 Índice de pérdidas y mermas
2
3
4
5
6
7
8

¿METODOS? /procedimientos, instrucciones, formatos/
1. RF-DMCP-IT-21-10 Instrucción técnica para la carga de vagones cistern.
2. RF-DMCP-IT-21-09: Instr. téc. uso de las cartas porte y sellos alta seg.
3. RF-DMCP-M-21-10 Manual Cargaderos de Pailas y vagones
4. RF-DMCP-IT-21-07
5. RF-DMCP-IT-21-08
6. RF-DMCP-IT-21-04
7. RF-DMCP-IT-21-03, RF-DMCP-IGS-21-04, RF-DMCP-IGS-21-02.
8 RF-DMCP-IT-21-12, RF-DMCP-IGS-21-01, RF-DMCP-IGS-21-01

Anexo No.23

Evaluación de la incertidumbre de medida para un volumen dado en la transferencia de custodia de los productos crudo y fuel oíl. Fuente: Elaboración propia.

CRUDO

TK- 1242. Capacidad: 50000 litros

Temperatura: 29°C

Medición de cinta con plomada: 15870 m

Definición del modelo matemático

El modelo de la medición del nivel con cinta queda de la siguiente forma:

$$L_T = L_0 + L_0 \times \alpha \times \Delta T$$

$$L_T = 15,870 + 15,870 \times 11 \times 10^{-6} \times 9$$

$$L_T = 15,8716 \text{ m}$$

donde:

L_T : es la longitud total al medir con la cinta, o sea, es la altura real obtenida por el operario (m) teniendo en cuenta la dilatación lineal de la cinta por efecto de la temperatura.

L_0 : es la longitud observada por el operario (m).

α : es el coeficiente de dilatación térmica lineal de la cinta, por lo general de $(11 \pm 1) \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$.

Δ_t : Diferencia entre la temperatura de la cinta (que es la misma del combustible en el interior del tanque) y la temperatura a la cual se calibra la misma (siempre a 20 °C).

Cálculo de la incertidumbre combinada del resultado de la medición

$$\mu_{c(L_T)} = \sqrt{(1 + \alpha \times \Delta t)^2 \times \mu_{(L_0)}^2 + (L_0 \times \Delta t)^2 \times \mu_{(\alpha)}^2 + (L_0 \times \alpha)^2 \times \mu_{(\Delta t)}^2}$$

Luego se procede al cálculo de las incertidumbres de L_0 , α y Δ_t .

Incertidumbre de L_0 .

Por error de la cinta

$$e. m. p = 2(a + b \times L_0) = 2(0,3 + 0,2 \times 15,87 \text{ m}) = 3,474 \text{ mm} = 0,003474 \text{ m}$$

(Pacheco González, 2008) recomienda estimar la incertidumbre del error máximo permisible a partir de una distribución rectangular, calculándose como:

$$\mu_{(e.m.p)} = \frac{e.m.p}{\sqrt{3}} = \frac{0,003474}{\sqrt{3}} = 0,00201 \text{ m}$$

Para el cálculo de la incertidumbre de la calibración de la cinta utilizada, se utiliza la siguiente fórmula:

$$\mu_{(calibración\ cinta)} = \frac{\text{Incertidumbre\ expandida\ de\ calibración}}{\text{Factor\ de\ cobertura}} = \frac{0,00007}{2} = 0,000035 \text{ m}$$

Por apreciación del observador

El autor mencionado propone asumir una distribución uniforme, estimándose de la siguiente forma (Pacheco González, 2008):

$$\mu_{(obs)} = \frac{L_{m\acute{a}x} - L_{m\acute{i}n}}{\sqrt{12}}$$

Donde:

$\mu_{(obs)}$: Incertidumbre del observador (m)

$L_{m\acute{a}x}$: Valor máximo medido por el operador.

$L_{m\acute{i}n}$: Valor mínimo medido por el operador.

De las mediciones realizadas, la variación de la longitud es de 0,003 m, resultado la incertidumbre de:

$$\mu_{(obs)} = \frac{0,004 \text{ m}}{\sqrt{12}} = 0,001154 \text{ m}$$

La Resolución de la cinta utilizada, según el certificado de verificación es de 0,001 m, calculándose la incertidumbre de la forma siguiente:

$$\mu_{(resolución)} = \frac{\text{resolución}}{\sqrt{12}} = \frac{0,001}{\sqrt{12}} = 0,000288 \text{ m}$$

Sumando cuadráticamente las incertidumbres queda:

$$\mu_{(L_o)} = \sqrt{\mu_{(e.m.p)}^2 + \mu_{(obs)}^2 + \mu_{(resolución)}^2 + \mu_{(calibración\ cinta)}^2}$$

$$\mu_{(L_o)} = \sqrt{(0,00201)^2 + (0,001154)^2 + (0,000288)^2 + (0,000035)^2}$$

$$\mu_{(L_o)} = 0,00254 \text{ m}$$

Incertidumbre del coeficiente α

Como el coeficiente se da con un error de $\pm 1 \cdot 10^{-6}$, tratando esto como una distribución uniforme:

$$\mu_{\alpha} = \frac{1 \times 10^{-6}}{\sqrt{3}} = 5,8 \times 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

Incertidumbre de la medición de temperatura

Considerando el error máximo permisible del termómetro, tratando este como una distribución rectangular queda:

$$\mu_{(e.m.p)} = \frac{e.m.p}{\sqrt{3}} = \frac{1,5^{\circ}\text{C}}{\sqrt{3}} = 0,866^{\circ}\text{C}$$

La Resolución del termómetro utilizado, según el certificado de calibración es de 2°C , calculándose la incertidumbre de la forma siguiente:

$$\mu_{(resolución)} = \frac{resolución}{\sqrt{12}} = \frac{2^{\circ}\text{C}}{\sqrt{12}} = 0,57735^{\circ}\text{C}$$

Para el cálculo de la incertidumbre de la calibración del termómetro utilizado, se utiliza la siguiente fórmula:

$$\mu_{(calibración)} = \frac{\text{Incertidumbre expandida de calibración}}{\text{Factor de cobertura}} = \frac{0,29^{\circ}\text{C}}{2} = 0,145^{\circ}\text{C}$$

Sumando cuadráticamente ambas incertidumbre queda:

$$\mu_{(\Delta t)} = \sqrt{\mu_{(e.m.p)}^2 + \mu_{(resolución)}^2 + \mu_{(calibración)}^2}$$

$$\mu_{(\Delta t)} = \sqrt{(0,866)^2 + (0,577)^2 + (0,145)^2}$$

$$\mu_{(\Delta t)} = 1,0507^{\circ}\text{C}$$

La incertidumbre combinada de la medición de L_T es:

$$\mu_{c(L_T)} = \sqrt{(1 + \alpha \times \Delta t)^2 \times \mu_{(L_0)}^2 + (L_0 \times \Delta t)^2 \times \mu_{(\alpha)}^2 + (L_0 \times \alpha)^2 \times \mu_{(\Delta t)}^2}$$

$$\mu_{c(L_T)} = \sqrt{(1 + 11 \times 10^{-6} \times 9)^2 \times 0,00254^2 + (15,87 \times 9)^2 \times (5,8 \times 10^{-7})^2 + (15,87 \times 11 \times 10^{-6})^2 \times (1,0507)^2}$$

$$\mu_{c(L_T)} = 0,002548 \text{ m}$$

El modelo para el cálculo de la expansión térmica de volumen queda de la siguiente forma:

$$\Delta V = \beta V_0 \Delta t$$

donde:

ΔV : Incremento de volumen por efecto de la temperatura (L).

V_0 : Volumen inicial, obtenido a partir de la longitud observada por el operario mediante la medición con cinta (m), buscando su equivalencia en unidades de volumen (L) mediante la tabla de aforo del tanque objeto de análisis.

β : Coeficiente de expansión de volumen.

Δt : Diferencia entre la temperatura en que existe en el interior del tanque y la temperatura de corrección que se utiliza para la transferencia (siempre a 15°C).

Según (Sears et al., 2009), existe una relación entre el coeficiente de expansión de volumen β y el coeficiente de expansión lineal α , siendo esta:

$$\beta = 3\alpha$$

Por tanto:

$$\Delta V = 3\alpha V_0 \Delta t$$

Cálculo de la incertidumbre combinada del resultado de la medición

$$\mu_{c(\Delta V)} = \sqrt{(3\alpha \times \Delta t)^2 \times \mu_{(V_0)}^2 + (3V_0 \times \Delta t)^2 \times \mu_{(\alpha)}^2 + (V_0 \times 3\alpha)^2 \times \mu_{(\Delta t)}^2}$$

Luego se procede al cálculo de las incertidumbres de V_0 , α y Δt .

Incertidumbre de V_0 .

Es la incertidumbre al realizar la lectura en la cinta y mediante la tabla de aforo del tanque determinar el volumen existente, siendo esta evaluada en el análisis anterior.

$$\mu_{(L_0)} = 0,00254 \text{ m}$$

$$\mu_{(V_0)} = 7313,798 \text{ L}$$

Incertidumbre del coeficiente α

Como el coeficiente de dilatación lineal de la gasolina se expresa con un error de $\pm 1.10^{-5}$, tratando esto como una distribución uniforme:

$$\mu_{\alpha} = \frac{1 \times 10^{-5}}{\sqrt{3}} = 5,8 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

Incertidumbre de la medición de temperatura

Es la incertidumbre al realizar la lectura en el termómetro, la cual es evaluada anteriormente, siendo de:

$$\mu_{(\Delta t)} = 1,0507^\circ\text{C}$$

La incertidumbre combinada de la medición de ΔV es:

$$\mu_{c(\Delta V)} = \sqrt{(3 \times 3,2 \times 10^{-4} \times 14)^2 \times 7313,798^2 + (3 \times 45194174,76 \times 14)^2 \times (5,8 \times 10^{-6})^2 + (45194174,76 \times 3 \times 4 \times 10^{-4})^2 \times (1,0507)^2}$$

$$\mu_{c(\Delta V)} = 58036,4862 \text{ L}$$

Por calibración del tanque

Para el cálculo de la incertidumbre por la calibración del tanque objeto de análisis, se realiza de la siguiente forma:

$$\mu_{(\text{calibración tanque})} = \text{Incertidumbre de calibración} = 91393,68 L$$

Incertidumbre en la obtención del volumen estándar mediante la corrección por la tabla ASTM - 54

Este volumen se determina por la tabla ASTM-54 con el valor de temperatura (°C) medida por el operario al medir la altura y la densidad de referencia (kg/m³) medida en el laboratorio sobre una muestra extraída del tanque.

La tabla permite obtener el factor de conversión (f) con una precisión de 0,04% para el rango de temperatura hasta 40 °C. Las normas ASTM aseguran esta precisión siempre que se empleen los instrumentos y métodos que ellos recomiendan. La precisión de 0,04% para una probabilidad del 95% ya incluye los errores que se cometen en la medición de la temperatura y la densidad para entrar a esta por tanto no es necesario calcular estas incertidumbres.

De acuerdo al dato disponible es posible calcular la incertidumbre estándar.

$$\mu_{(f)} = \frac{0,04}{\sqrt{3}} = 0,023\%$$

Al realizar la corrección por temperatura, el 0,023% del volumen obtenido es 10394,6602 L, siendo esta la incertidumbre por corrección mediante la tabla ASTM-54.

$$\mu_{(f)} = 10394,6602 L$$

Incertidumbre del volumen estándar

La incertidumbre del volumen estándar queda de la siguiente forma:

$$\mu_{c(VE)} = \sqrt{\mu_{(LT)}^2 + \mu_{(\Delta V)}^2 + \mu_f^2 + \mu_{(\text{calibración tanque})}^2}$$

$$\mu_{c(VE)} = \sqrt{(7336,8335)^2 + (58036,4862)^2 + (10394,6692)^2 + (91393,68)^2}$$

$$\mu_{c(VE)} = 109008,7921L$$

La incertidumbre $\mu_{c(VE)}$ debe expresarse en forma relativa:

$$\frac{\mu_{c(VE)}}{VE} \times 100 = \mu_{c(VE)}\%$$

$$\mu_{c(VE)}\% = \frac{109008,7921}{45696840} \times 100 = 0,24\%$$

Representando este valor para el crudo un 0,26%. El cálculo de la incertidumbre expandida queda como:

$$\mu = \text{Factor de cobertura} \times \mu_c (VE)$$

$$\mu = 2 \times 109008,7921L$$

$$\mu = 218017,5842L$$

FUEL OÍL

TK- 1150. Capacidad: 2000 litros

Temperatura: 68°C

Medición de cinta con plomada: 1345 m

Definición del modelo matemático

En el caso de la actual investigación el modelo de la medición del nivel con cinta queda de la siguiente forma:

$$L_T = L_0 + L_0 \times \alpha \times \Delta T$$

$$L_T = 1,345 + 1,345 \times 11 \times 10^{-6} \times 48$$

$$L_T = 1,3457$$

Cálculo de la incertidumbre combinada del resultado de la medición

$$\mu_c (L_T) = \sqrt{(1 + \alpha \times \Delta t)^2 \times \mu_{(L_0)}^2 + (L_0 \times \Delta t)^2 \times \mu_{(\alpha)}^2 + (L_0 \times \alpha)^2 \times \mu_{(\Delta t)}^2}$$

Luego se procede al cálculo de las incertidumbres de L_0 , α y Δ_t .

Incertidumbre de L_0 .

Por error de la cinta

$$e.m.p = 2(a + b \times L_0) = 2(0,3 + 0,2 \times 1,345 \text{ m}) = 1,138 \text{ mm} = 0,001138 \text{ m}$$

(Pacheco González, 2008) recomienda estimar la incertidumbre del error máximo permisible a partir de una distribución rectangular, calculándose como:

$$\mu_{(e.m.p)} = \frac{e.m.p}{\sqrt{3}} = \frac{0,001138}{\sqrt{3}} = 0,000657 \text{ m}$$

Para el cálculo de la incertidumbre de la calibración de la cinta utilizada, se utiliza la siguiente fórmula:

$$\mu_{(\text{calibración cinta})} = \frac{\text{Incertidumbre expandida de calibración}}{\text{Factor de cobertura}} = \frac{0,00007}{2} = 0,000035 \text{ m}$$

Por apreciación del observador

El autor mencionado propone asumir una distribución uniforme, estimándose de la siguiente forma (Pacheco González, 2008):

$$\mu_{(obs)} = \frac{L_{m\acute{a}x} - L_{m\acute{i}n}}{\sqrt{12}}$$

De las mediciones realizadas, la variación de la longitud es de 0,003 m, resultado la incertidumbre de:

$$\mu_{(obs)} = \frac{0,003 \text{ m}}{\sqrt{12}} = 0,000866 \text{ m}$$

La Resolución de la cinta utilizada, según el certificado de verificación es de 0,001 m, calculándose la incertidumbre de la forma siguiente:

$$\mu_{(resolución)} = \frac{\text{resolución}}{\sqrt{12}} = \frac{0,001}{\sqrt{12}} = 0,000288 \text{ m}$$

Para el cálculo de la incertidumbre de la calibración del tanque utilizado, se utiliza la siguiente fórmula:

$$\mu_{(\text{calibración tanque})} = \frac{\text{Incertidumbre expandida de calibración}}{\text{Factor de cobertura}} = \frac{0,002}{2} = 0,001 \text{ m}$$

Sumando cuadráticamente las incertidumbres queda:

$$\mu_{(L_o)} = \sqrt{\mu_{(e.m.p)}^2 + \mu_{(obs)}^2 + \mu_{(resolución)}^2 + \mu_{(\text{calibración cinta})}^2}$$

$$\mu_{(L_o)} = \sqrt{(0,000657)^2 + (0,000866)^2 + (0,000288)^2 + (0,000035)^2}$$

$$\mu_{(L_o)} = 0,001505 \text{ m}$$

Incertidumbre del coeficiente α

Como el coeficiente se da con un error de $\pm 1 \cdot 10^{-6}$, tratando esto como una distribución uniforme:

$$\mu_{\alpha} = \frac{1 \times 10^{-6}}{\sqrt{3}} = 5,8 \times 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

Incertidumbre de la medición de temperatura

Considerando el error máximo permisible del termómetro, tratando este como una distribución rectangular queda:

$$\mu_{(e.m.p)} = \frac{e.m.p}{\sqrt{3}} = \frac{1,5^{\circ}\text{C}}{\sqrt{3}} = 0,866^{\circ}\text{C}$$

La Resolución del termómetro utilizado, según el certificado de calibración es de 2°C, calculándose la incertidumbre de la forma siguiente:

$$\mu_{(resolución)} = \frac{resolución}{\sqrt{12}} = \frac{2^{\circ}\text{C}}{\sqrt{12}} = 0,57735^{\circ}\text{C}$$

Para el cálculo de la incertidumbre de la calibración del termómetro utilizado, se utiliza la siguiente fórmula:

$$\mu_{(calibración)} = \frac{Incertidumbre\ expandida\ de\ calibración}{Factor\ de\ cobertura} = \frac{0,29^{\circ}\text{C}}{2} = 0,145^{\circ}\text{C}$$

Sumando cuadráticamente ambas incertidumbre queda:

$$\mu_{(\Delta t)} = \sqrt{\mu_{(e.m.p)}^2 + \mu_{(resolución)}^2 + \mu_{(calibración)}^2}$$

$$\mu_{(\Delta t)} = \sqrt{(0,866)^2 + (0,577)^2 + (0,145)^2}$$

$$\mu_{(\Delta t)} = 1,4391^{\circ}\text{C}$$

Sustituyendo cada término la incertidumbre combinada de la medición de L_T es:

$$\mu_{c(Lt)} = \sqrt{(1 + \alpha \times \Delta t)^2 \times \mu_{(L_0)}^2 + (L_0 \times \Delta t)^2 \times \mu_{(\alpha)}^2 + (L_0 \times \alpha)^2 \times \mu_{(\Delta t)}^2}$$

$$\mu_c(L_T) = \sqrt{(1 + 11 \times 10^{-6} \times 48)^2 \times 0,001505^2 + (1,345 \times 48)^2 \times (5,8 \times 10^{-7})^2 + (1,345 \times 11 \times 10^{-6})^2 \times (1,4391)^2}$$

$$\mu_c(L_T) = 0,0015064\ m$$

El modelo para el cálculo de la expansión térmica de volumen queda de la siguiente forma:

$$\Delta V = \beta V_0 \Delta t$$

Según (Sears et al., 2009), existe una relación entre el coeficiente de expansión de volumen β y el coeficiente de expansión lineal α , siendo esta:

$$\beta = 3\alpha$$

Por tanto:

$$\Delta V = 3\alpha V_0 \Delta t$$

Cálculo de la incertidumbre combinada del resultado de la medición

$$\mu_{c(\Delta V)} = \sqrt{(3\alpha \times \Delta t)^2 \times \mu_{(V_0)}^2 + (3V_0 \times \Delta t)^2 \times \mu_{(\alpha)}^2 + (V_0 \times 3\alpha)^2 \times \mu_{(\Delta t)}^2}$$

Luego se procede al cálculo de las incertidumbres de V_o , α y Δt .

Incertidumbre de V_o .

Es la incertidumbre al realizar la lectura en la cinta y mediante la tabla de aforo del tanque determinar el volumen existente, siendo esta evaluada en el análisis anterior.

$$\mu_{(L_o)} = 0,001505 \text{ m}$$

$$\mu_{(V_o)} = 269,5752$$

Incertidumbre del coeficiente α

Como el coeficiente de dilatación lineal de la gasolina se expresa con un error de $\pm 1.10^{-5}$, tratando esto como una distribución uniforme:

$$\mu_{\alpha} = \frac{1 \times 10^{-5}}{\sqrt{3}} = 5,8 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

Incertidumbre de la medición de temperatura

Es la incertidumbre al realizar la lectura en el termómetro, la cual es evaluada anteriormente, siendo de:

$$\mu_{(\Delta t)} = 1,0507^\circ\text{C}$$

Sustituyendo cada término la incertidumbre combinada de la medición de ΔV es:

$$\mu_c(\Delta V) = \sqrt{(3 \times 3,2 \times 10^{-4} \times 53)^2 + 269,5752^2 + (3 \times 231857,5584 \times 53)^2 \times (5,8 \times 10^{-6})^2 + (231857,5584 \times 3 \times 2,43 \times 10^{-4})^2 \times (1,0507)^2}$$

$$\mu_c(\Delta V) = 278,2916 \text{ L}$$

Por calibración del tanque

Para el cálculo de la incertidumbre por la calibración del tanque objeto de análisis, se realiza de la siguiente forma:

$$\mu_{(\text{calibración tanque})} = \text{Incertidumbre de calibración} = 481,832 \text{ L}$$

Incertidumbre en la obtención del volumen estándar mediante la corrección por la tabla ASTM - 54

De acuerdo al dato disponible es posible calcular la incertidumbre estándar.

$$\mu_{(f)} = \frac{0,04}{\sqrt{3}} = 0,023\%$$

Al realizar la corrección por temperatura, el 0,023% del volumen obtenido es 53,3272 L, siendo esta la incertidumbre por corrección mediante la tabla ASTM-54.

$$\mu_{(f)} = 53,3272 \text{ L}$$

Incertidumbre del volumen estándar

La incertidumbre del volumen estándar queda de la siguiente forma:

$$\mu_{c(VE)} = \sqrt{\mu_{(LT)}^2 + \mu_{(\Delta V)}^2 + \mu_f^2 + \mu_{(\text{calibración tanque})}^2}$$

$$\mu_{c(VE)} = \sqrt{(269,8259)^2 + (278,2916)^2 + (53,3272)^2 + (481,832)^2}$$

$$\mu_{c(VE)} = 620,6016L$$

La incertidumbre $\mu_{c(VE)}$ debe expresarse en forma relativa:

$$\frac{\mu_{c(VE)}}{VE} \times 100 = \mu_{c(VE)}\%$$

$$\mu_{c(VE)}\% = \frac{620,6016}{240916} \times 100 = 0,26\%$$

Representando este valor para el fuel oil un 0,26%. El cálculo de la incertidumbre expandida queda como:

$$\mu = \text{Factor de cobertura} \times \mu_{c(VE)}$$

$$\mu = 2 \times 620,6016 L$$

$$\mu = 1241,2032 L$$

Anexo No.25

Verificación de las causas probables (raíces). Fuente: Elaboración propia.

Causas probables (hipótesis)	Verificación de las causas	Oportunidades de mejora
Condiciones ambientales	Mediante los registros, orden de carga y el programa diario de operaciones	No es posible realizar mejoras, pues es necesario cumplir las medidas de seguridad
Dominio de la instrumentación	Mediante los registros de la mediciones y evaluaciones practicas al personal	Capacitar al personal necesario.
Conocimiento de las instrucciones	Mediante los registros, evaluaciones y auditorías al área encargada	Instruir al personal con dificultad en el proceder de las instrucciones, así como sus responsabilidades
Unidades de medidas	Todos los instrumentos que intervienen en los sistemas de medición analizados se encuentran dentro del Sistema Internacional de Unidades	No es necesario realizar mejoras
Errores en la medición	Mediante los registros de la mediciones por turnos de trabajo, cierres de inventarios balances mensuales	Corrigiendo la medición, reflejando la variación, determinando el valor real
Cálculo del valor de la medición	Mediante los registros, el software, el balance diario	Comprobando la existencia con la transferencia
Incertidumbre de medición	No se tiene evaluada la incertidumbre de medición en los sistemas de medición fiscal y transferencia de custodia, mediante el método GUM o el expuesto en la NC – Guía 1066:2015.	Exigir la evaluación de la incertidumbre de medición en estos sistemas, según los métodos mencionados, contribuyendo a la mejora de la calidad en las mediciones.
Destreza	Diagnosticar el personal involucrado en la acción de medición relacionada con la transferencia. Por las evaluaciones técnicas y los resultados de las mediciones, mediante los registros.	Destinar para la medición al personal con mayores posibilidades y más jóvenes

Visibilidad	Diagnosticar el personal con dificultad para determinar el valor de la medición relacionada con la transferencia	Destinar a medir al personal de menor dificultad
Falta de capacitación	Mediante las DNC, comprobar las necesidades de capacitación del personal involucrado	Gestionar y capacitar al personal involucrado en las acciones relacionada con la medición en la transferencia
Selección del instrumento	Mediante el rango de medición, el producto a medir y el método de medición. Teniendo en cuenta la resolución, error máximo permisible e incertidumbre	No es necesario realizar mejoras
Requisitos técnicos	Mediante la documentación técnica y los certificados de calibración o verificación de los instrumentos	Comprar el instrumento acorde a los requisitos de la transferencia
Calibración y verificación	Mediante la revisión del plan de calibración/verificación así como la presencia del certificado que acredite que el instrumento se encuentre apto para el uso.	Cumplir el plan de calibración/ verificación
Incertidumbre de los instrumentos de medición utilizados en el sistema	Mediante el certificado de calibración o verificación de los instrumentos de medición del sistema	No es necesario realizar mejoras
Resolución de los instrumentos de medición utilizados en el sistema	Mediante la documentación técnica y los certificados de calibración o verificación	No es necesario realizar mejoras
Falta del elemento primario	Diagnosticar la ausencia de elementos primarios sistemas de medición fiscal y transferencia de custodia	Poner en el plan de inversiones la compra de los mismo, para cumplimentar la acción de transferencia
Presión	Observar en tanques el diferencial de presión esté acorde con el Manual de Operaciones	Cumplir lo establecido en el Manual de Operaciones
Densidad	Mediante la web del laboratorio sitio donde se colocan los resultados de cada muestra	Tomando los resultados, que coincidan con el catálogo de especificaciones por cada producto establecido por CUPET

Anexo No.26

Método Delphy para las causas más probables. Fuente: Elaboración propia.

Teniendo en cuenta que el grupo de trabajo reúne a los principales expertos en el tema en la Unidad de Negocio Refinería de Cienfuegos, se les aplica una lista con el objetivo de dar un orden de prioridad a las causas probables,

Para el caso en análisis se presenta más de siete características (K), por lo que la prueba de hipótesis que debe realizarse es λ^2 la cual establece:

Hipótesis:

H₀: no hay comunidad de preferencia entre los expertos.

H₁: existe comunidad de preferencia entre los expertos.

Región Crítica: $\lambda^2_{calculada} \geq \lambda^2_{tabulada}$

Si se cumple la región crítica se rechaza H₀, existiendo comunidad de preferencia entre los expertos, con lo cual se cumple en la presente investigación. En este caso $\lambda^2_{calculada}=151,410$ y $\lambda^2_{tabulada}= 28,869$. El procesamiento de los resultados se efectúa mediante el paquete de programa SPSS versión 22.0. Los resultados muestran que la región crítica se cumple con lo cual se llega a la conclusión que los resultados obtenidos en este procesamiento son confiables y existe comunidad de preferencia entre los expertos.

Estadísticos descriptivos

	N	Media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
Instruir al personal con dificultad en el proceder de las instrucciones, así como sus responsabilidades.	19	3,74	1,147	2	6
Garantizar las condiciones y requisitos para la calidad de la medición en la transferencia y los inventarios.	19	7,74	,653	6	9
Comprobando la existencia con la transferencia.	19	2,26	,806	1	3
Destinar para la medición al personal con mayores posibilidades y más jóvenes.	19	2,21	1,032	1	4

Gestionar y capacitar al personal involucrado en las acciones relacionadas con la medición en la transferencia.	19	9,11	,937	7	10
Determinación de los requisitos tecnológicos en la transferencia.	19	9,42	,607	8	10
Tomar los resultados, que coincidan con el catálogo de especificaciones por cada producto establecido por CUPET.	19	2,16	1,302	1	4
Cumplir el plan de calibración/verificación.	19	4,89	,994	2	7
Cumplir lo establecido en el Manual de Operaciones.	19	6,16	,688	5	8
Poner en el plan de inversiones la compra de los mismos, para cumplimentar la acción de transferencia.	19	7,32	1,455	5	10

Rangos

	Rango promedio
Instruir al personal con dificultad en el proceder de las instrucciones, así como sus responsabilidades.	3,74
Garantizar las condiciones y requisitos para la calidad de la medición en la transferencia y los inventarios.	7,74
Comprobando la existencia con la transferencia.	2,26
Destinar para la medición al personal con mayores posibilidades y más jóvenes.	2,21
Gestionar y capacitar al personal involucrado en las acciones relacionadas con la medición en la transferencia.	9,11
Determinación de los requisitos tecnológicos en la transferencia.	9,42
Tomar los resultados, que coincidan con el catálogo de especificaciones por cada producto establecido por CUPET.	2,16
Cumplir el plan de calibración/ verificación.	4,89
Cumplir lo establecido en el Manual de Operaciones.	6,16
Poner en el plan de inversiones la compra de los mismos, para cumplimentar la acción de transferencia.	7,32

Estadísticos de prueba

N	19
W de Kendall ^a	,885
Chi-cuadrado	151,410
gl	9
Sig. asintótica	,000

a. Coeficiente de concordancia de Kendall

Anexo No.27

Plan de acción para las mejoras propuestas: Fuente Elaboración propia.

Oportunidad de mejora: Gestionar la capacitación adecuada al personal involucrado en la transferencia.						
Meta: Implementar la NC 994: 2015 Condiciones y requisitos técnicos para la medición fiscal y transferencia de custodia.						
Responsables: Director Técnico, Jefe de Laboratorio, Director de Capacitación						
¿Qué?	¿Quién?	¿Cómo?	¿Por qué?	¿Dónde?	¿Cuándo?	¿Cuánto?
Gestionar entrenamiento acorde a la NC 994: 2015 y el uso de la tecnología adquirida.	Director General	Identificando capacitaciones acordes a la norma adquirida y a la necesidades	Para garantizar la calidad de la medición en la transferencia custodia y medición fiscal como su inventario	En el extranjero o dentro del país	Primer trimestre del 2015	Según presupuesto de capacitación.
Gestionar Capacitación	Directores	Identificando las necesidad de capacitación mediante la evaluación de su desempeño	Para capacitarlos con relación a los puntos de transferencia según los requisitos de la NC 994:2015	En el país o en la empresa	De forma permanente.	Según presupuesto
Intercambio de conocimiento con otras empresas que implementen la norma	Directores	Mesa de trabajo, talleres, conferencia.	Para ampliar experiencia y conocimientos sobre el tema	En el país o la empresa	Mientras esté vigente la norma	Según planificación

Determinar al personal adecuado para la medición.	Director MCP	Comprobación de conocimiento, chequeo médicos rutinarios, etc.	Para ganar eficiencia y efectividad en la medición	En la empresa	Cuando se requiera.	-
---	--------------	--	--	---------------	---------------------	---

Oportunidad de mejora: Garantizar las condiciones y requisitos para la calidad de la medición en la transferencia y los inventarios.

Meta: Minimizar los errores en la medición durante la transferencia y los inventarios.

Responsables: Director Técnico, Jefe de Laboratorio, Director de Capacitación

¿Qué?	¿Quién?	¿Cómo?	¿Por qué?	¿Dónde?	¿Cuándo?	¿Cuánto?
Medir existencia de producto	Operario, control de producción	Con equipos e instrumentos correspondientes según los procedimientos de trabajo	Para garantizar el balance	En cada tanque	Según el manual de operaciones.	-
Comprobación de la existencia con la transferencia	Control de la producción	Mediante los registros, el software, el balance diario	Para el control de existencia	En control de la producción	Diario	-
Corregir la medición, reflejando la variación, determinando el valor real	Control de la producción	Mediante los registros de las mediciones corrigiendo los volúmenes mediante	Para garantizar la calidad de la medición y estandarizar la misma	En control de la producción y MCP	Por turnos de trabajo, cierres de inventarios balances	-

		densidad a temperatura estándar.			mensuales	
Exigir la evaluación de la incertidumbre de la medición en estos sistemas, para contribuir a la mejora de la calidad en las mediciones	Directores	Calculando la incertidumbre en los sistemas de medición teniendo en cuenta NC 1066: 2015	Para conocer las desviaciones o error permisible en el sistema	En el sistema	Cuando se realiza la transferencia.	1 semana

Oportunidad de mejora: Determinación de los requisitos tecnológicos en la transferencia.

Meta: Reducir las pérdidas en la transferencia.

Responsables: Director Técnico, Jefe de Laboratorio, Director de Capacitación

¿Qué?	¿Quién?	¿Cómo?	¿Por qué?	¿Dónde?	¿Cuándo?	¿Cuánto?
Comprar el instrumento acorde a los requisitos de la transferencia	Dirección de compras	Mediante ofertas	Para homogenizar la entrega, reducir las pérdidas y minimizar la incertidumbre.	En el extranjero	Según el plan de inversión	Según el presupuesto de la inversión
Dominio de la instrumentación	Dirección de MCP	Con el uso del software (COTA), la	Para realizar una óptima transferencia	En la entrega	Se adquiera	Según el presupuesto

		documentación técnica				
Calibración y verificación	Oficina Nacional de Normalización	Según procedimientos y normas establecidas	Para garantizar calidad y validez de la medición como reconocimiento legal	Donde se requiera	Según el DG 01:2015	Según tarifa

Anexo No.28

Evaluación de la incertidumbre de medida para un volumen dado en la transferencia de custodia de los productos crudo y fuel oíl utilizando flujómetro (elemento primario).

Fuente: Elaboración propia.

CRUDO

$$\mu_{c(VE)} = \sqrt{\mu_{(coriolis)}^2 + \mu_f^2}$$

Para el caso de los flujómetros Coriolis instalados en la Refinería de Petróleo de Cienfuegos, tienen una incertidumbre expandida de 0,15 % con k=2, según lo expuesto sus certificados de verificación.

$$\mu_{(coriolis)} = \frac{\text{Incertidumbre expandida}}{\text{Factor de cobertura}} = \frac{0,15}{2} = 0,075 \%$$

$$\mu_{(coriolis)} = 0.075\%$$

El volumen objeto de análisis en el Tk-1242 es 45696840 L, representando la incertidumbre del flujómetro de este volumen 34272.63L.

$$\mu_{c(VE)} = \sqrt{(34272.63)^2 + (10394.6604)^2} = 35814.2727L$$

La incertidumbre $\mu_{c(VE)}$ debe expresarse en forma relativa:

$$\frac{\mu_{c(VE)}}{VE} \times 100 = \mu_{c(VE)}\%$$

$$\mu_{c(VE)}\% = \frac{35814.2727}{45696840} \times 100 = 0,078\%$$

FUEL OÍL

$$\mu_{c(VE)} = \sqrt{\mu_{(coriolis)}^2 + \mu_f^2}$$

Los flujómetros instalados tienen una incertidumbre expandida de 0,15 % con k=2, según lo expuesto en sus certificados de verificación.

$$\mu_{(coriolis)} = \frac{\text{Incertidumbre expandida}}{\text{Factor de cobertura}} = \frac{0,15}{2} = 0,075 \%$$

$$\mu_{(coriolis)} = 0.075\%$$

El volumen objeto de análisis en el Tk-1150 es 240916 L, representando la incertidumbre del flujómetro de este volumen 34272.63L.

$$\mu_{c(VE)} = \sqrt{(180.687)^2 + (53.3272)^2} = 188,3921 L$$

La incertidumbre $\mu_{c(VE)}$ debe expresarse en forma relativa:

$$\frac{\mu_{c(VE)}}{VE} \times 100 = \mu_{c(VE)}\%$$

$$\mu_{c(VE)}\% = \frac{188.3921}{240916} \times 100 = 0,078\%$$