



Trabajo de Diploma

En opción al Título de Ingeniero Industrial

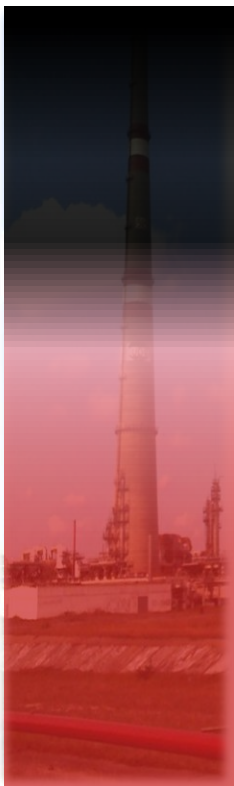


Título: Procedimiento para la Mejora de la Gestión de las Mediciones en el Proceso de Hidrofinación del Diesel.

Autor: Adrian Cambra Díaz

Tutores: MSc. Aníbal Barrera García

MSc. Midiala Hernández Santana



PENSAMIENTO





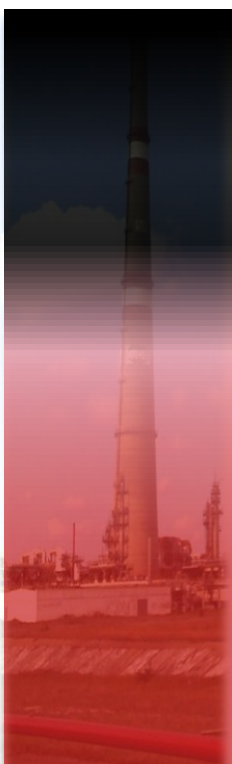
"El papel de la metrología en el progreso humano es invasivo, pero discreto, hasta el punto de que puede pasar tan desapercibido como la necesidad de un ambiente respirable para la inmensa mayoría de las especies vivientes".

Prof. Carlos Enrique Granados

"Hay una fuerza motriz más poderosa que el vapor, la electricidad y la energía atómica: la voluntad."

Albert Einsten





DEDICATORIA





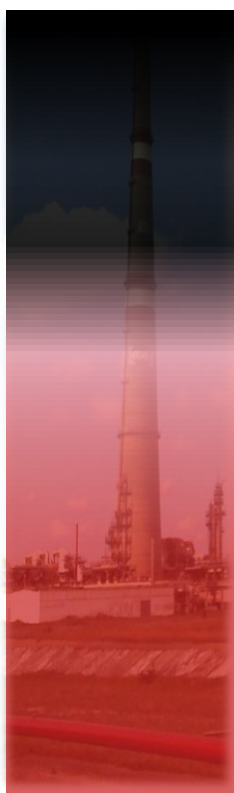
A mis padres por todo el amor que me han dado siempre, por ser un pedestal en mi vida en donde siempre podre apoyarme, razón por la cual los admiro y respeto.

A mi hermano, por constituir mi fuente de inspiración en la vida, motivo por el cual siempre me he esforzado en ser un ejemplo a seguir para él.

A mis abuelos por todo el cariño que me han brindado.

A mi novia Patricia por el empuje y confianza que me ha dado siempre





AGRADECIMIENTOS





A Aníbal porque no solo has sido mi tutor sino eres quien me ha brindado todos sus conocimientos en el transcurso de la carrera y siempre he podido contar con tu ayuda, para mi constituyes un ejemplo como profesional por tu compromiso y consagración al trabajo.

A Midiala por apoyarme y empujarme en el desarrollo de este trabajo, gracias por tenerme paciencia y sobre todas las cosas ser comprensiva.

A Dios por darme la fuerza y la voluntad necesaria para la realización de este trabajo, gracias por estar siempre presente en mi vida y por cuidar de mí en todo momento.

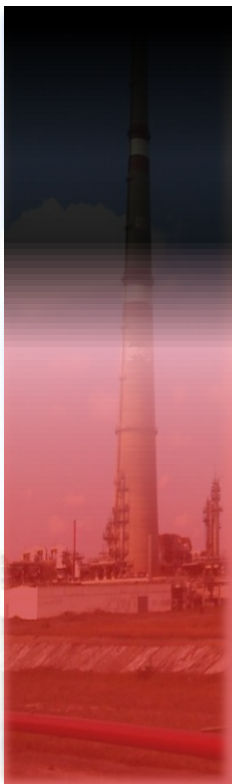
A Níco, Nerys, Castellano y Suanly por la ayuda que me ofrecieron.

A Raysa por el apoyo que me dio en los retoques finales

A mis amigos Vitico, Sobrino, Karel, Raúl, Gilberto y el Ruso por el apoyo que siempre me han ofrecido.

A David, Ernesto, Yoismel, Alejandro, Miguel Ángel, Mateo y Lázaro por los debates deportivos y por las travesuras del aula.

A Tanayi y Yeiny por ayudarme y caerme siempre atrás para que estudiara.



RESUMEN





RESUMEN

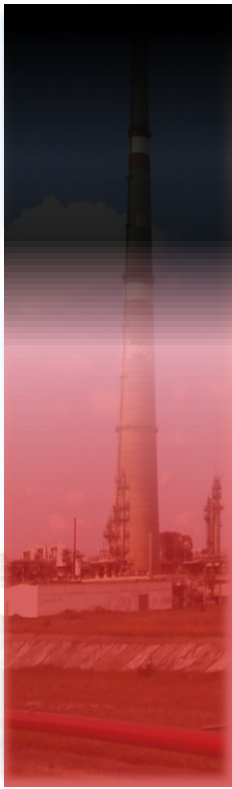
El presente trabajo se realizó en la Unidad de Negocio Refinería de Cienfuegos, con el objetivo fundamental de aplicar un procedimiento para la mejora de la gestión de las mediciones en el proceso de Hidrofinación de Diesel mediante el uso de las técnicas relacionadas con la metodología Seis Sigma, que posibilite conocer la calidad en las mediciones y mejorar dicho sistema. Para el cumplimiento del mismo se utilizan entrevistas, observaciones directas, revisión de documentos, estudio de repetibilidad y reproducibilidad, así como técnicas estadísticas propias de este tipo de estudio.

Como resultados fundamentales se determinan los porcentajes de variación debido a reproducibilidad y repetibilidad en diferentes ensayos que intervienen en el proceso objeto de estudio (% de Azufre y Densidad), se determina el número de categorías distintas (nc) que pueden ser distinguidas confiablemente por el sistema de medición, así como un análisis del estado de los instrumentos de medición que se utilizan a lo largo del proceso estudiado.

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: Repetibilidad y reproducibilidad, mediciones, instrumentos, Seis Sigma.





SUMMARY





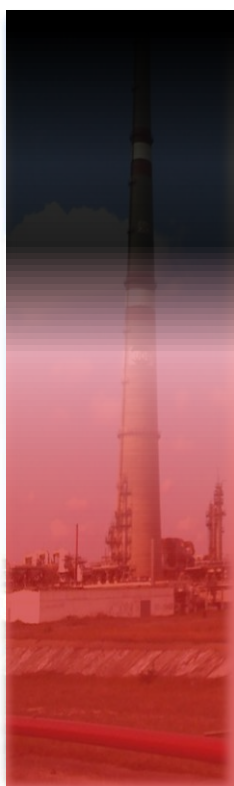
SUMMARY

This work was done in the Business Unit Cienfuegos refinery, with the primary objective of an improved method for the measurement management in the process of Diesel Hidrofinación using techniques related to Six Sigma, making it possible to know the quality measurements and improvement of this system. To comply with the same interviews, direct observations, document review, repeatability and reproducibility study and characteristics of this type of study used statistical techniques.

As fundamental variation percentages results due to reproducibility and repeatability in different assays that involved in the process under consideration (% sulfur and density), the number of different categories (n) that can be distinguished reliably determined are determined by the measurement system, and an analysis of the state of the measuring instruments used to study throughout the process.

Finally the conclusions and recommendations from the study and to define an appropriate route to follow to continue the theme developed in the research are discussed.
Keywords: repeatability and reproducibility, measurements, instruments, Six Sigma.



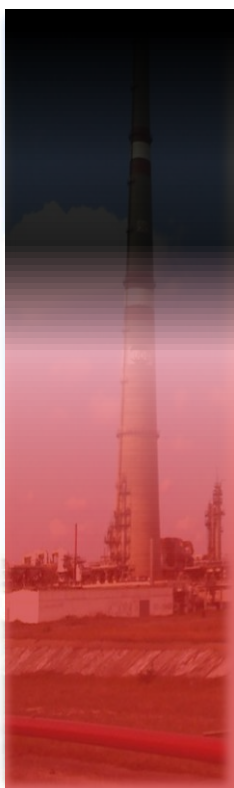


ÍNDICE





RESUMEN.....	9
SUMMARY	11
INTRODUCCIÓN.....	15
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....	22
1.1. La gestión de la calidad	23
1.2. Las normas de la familia ISO 9000 y la metrología	26
1.3. Generalidades sobre la metrología como ciencia de las mediciones	28
1.4. Gestión de las mediciones	30
1.4.1. Sistema de gestión de las mediciones	31
1.5. Análisis de los sistemas de medición	32
1.5.1 Evaluación de los sistemas de medición	33
1.5.2 Compatibilidad del sistema de gestión de las mediciones con el resto de los sistemas de gestión.....	34
1.6. Servicio Nacional de Metrología (SENAMET)	35
1.7. Características metrológicas de los instrumentos de medición	37
1.8. Calidad de las mediciones	39
1.9. Aseguramiento metrológico de la provincia.....	42
1.10. Relación entre calidad y metrología	43
1.10.1. Relación calidad – metrología en la obtención de Diesel.....	45
1.11 Metodologías de mejoramiento de procesos	46
CAPÍTULO II: PROCEDIMIENTO PARA LA MEJORA DE PROCESOS EN LA GESTIÓN DE LAS MEDICIONES.....	53
2.1. Caracterización de la entidad objeto de estudio	53
2.2 Procedimiento para la mejora de procesos en la gestión de las mediciones.....	60
Etapa I: Definir	63
Etapa II: Medir.....	67
Etapa III: Analizar	70
Etapa IV: Mejorar.....	71
Etapa V: Controlar.....	72
CAPÍTULO III: APLICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO PARA LA MEJORA DE LA GESTIÓN DE LAS MEDICIONES EN EL PROCESO DE HIDROFINACIÓN DEL DIESEL	76
3.1 Aplicación del procedimiento.....	76
Etapa I: Definir	76
Etapa II: Medir.....	88
Etapa III: Analizar las causas raíz	99
Etapa IV: Mejorar	101
Etapa V: Controlar.....	106
3.2 Impactos de la investigación.....	107
CONCLUSIONES	110
RECOMENDACIONES.....	112
BIBLIOGRAFÍA.....	114
ANEXOS	123



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).

En los últimos años han aparecido a nivel mundial nuevas tendencias en el tema de Calidad, siendo uno de los más publicados el referente a la “Metodología Seis Sigma”, la cual constituye una estrategia de mejora continua del negocio que busca encontrar y eliminar las causas de los errores, defectos y retrasos en los procesos del negocio, con énfasis hacia aquellos aspectos que son críticos para el cliente. La estrategia Seis Sigma se apoya en una metodología altamente sistemática y cuantitativa orientada a la mejora de la calidad del producto o del proceso; tiene tres áreas prioritarias de acción: satisfacción del cliente reducción del tiempo de ciclo y disminución de defectos. La meta que le da el nombre es lograr procesos con una calidad Seis Sigma, es decir, procesos que como máximo generen 3,4 defectos por millón de oportunidades.

Con su aplicación existen varias empresas que han logrado éxitos espectaculares, entre ellas varias empresas productoras de vehículos como la Nissan Renault y Chevrolet y General Motors (García Guerra, 2014).

La necesidad de responder de forma rápida, eficaz y con la necesaria calidad a los problemas de la tecnología y los servicios ha promovido el desarrollo acelerado e imprescindible de normas nacionales e internacionales.

En general, existen una treintena de organizaciones internacionales con actividades de carácter normativo, algunas de las más conocidas son: la Organización Internacional para la Normalización (ISO), la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC), la Oficina Internacional de Pesos y Medidas (BIPM), la Organización Internacional de Metrología Legal (OIML) y la Organización Mundial de la Salud (OMS según siglas en español o WHO según siglas en inglés) (Castañeda Cano & González Rey, 2007).

La metrología es el campo del conocimiento relativo a las mediciones (conjunto de operaciones que tienen por objeto determinar el valor de una magnitud). La metrología abarca todos los



aspectos tanto teóricos como prácticos relativos a la medición, independientemente del nivel de exactitud y campo de la ciencia y tecnología.

La metrología se aplica a los insumos (conformidad en las especificaciones), a las piezas durante el proceso de la producción, a las máquinas y equipos de manufactura, al herramental tecnológico y por supuesto a los propios instrumentos y máquinas de medir.

En los estudios del impacto económico de la metrología efectuados en Estados Unidos, Inglaterra, Canadá y la Unión Europea muestran que las inversiones ejecutadas por los diferentes gobiernos para establecer una estructura metrológica con reconocimiento internacional, se encuentran entre las inversiones más eficientes y que han producido un alto nivel de recuperación a la sociedad. Las mediciones y las operaciones relacionadas han sido estimadas que corresponden entre el 3 % y el 6 % del Producto Interno Bruto (ONN, 2005).

Los estudios demuestran que los países con mayor nivel de inversión en el campo de la metrología, en relación con el Producto Interno Bruto, son capaces de alcanzar un desarrollo más avanzado que aquellos que no lo hacen. Esta situación es demostrable por el alcance y desarrollo de mediciones confiables y de mayor exactitud que apoyan los proyectos en las áreas de producción de alta tecnología, seguridad y protección de alimentos, mediciones clínicas y farmacéuticas (ONN 2005).

En empresas de nuestro país a decir de (Machado García, 2013) el cual cita a (Arias Carrazana, 2007), constantemente se detectan deficiencias en el trabajo de metrología que afectan la calidad de las producciones y servicios y por ende, sus economías. Esta situación que se mantiene en la actualidad, lo cual se debe en buena medida, a factores subjetivos entre los que se encuentran, la falta de capacitación en la especialidad, el desconocimiento de las funciones que deben realizar las personas que en ella trabajan, la carencia de entidades consultoras sobre este tema y a factores objetivos como la obsolescencia tecnológica y carencia de instrumentos de medición.

Por la importancia de la comprensión de la metrología en todas las esferas 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, de lo cual la provincia de Cienfuegos no se encuentra excepta de esta situación, por lo que se coincide con el criterio de (Machado García, 2013)

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

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. Por otra parte la aplicación de la metodología Seis Sigma no ha sido ajena al conocimiento y divulgación de la misma tanto en universidades como en el sector empresarial en general, sino que constituye una necesidad su aplicación partiendo del objetivo que persigue la metodología antes mencionada, la cual puede contribuir a la mejora de los sistemas de medición.

En la situación planteada anteriormente se trabaja desde hace algunos años en la Unidad de Negocios Refinería “Camilo Cienfuegos” como parte de las organizaciones de la provincia de Cienfuegos perteneciente al Ministerio de Energía y Minas. Investigaciones precedentes se han vinculado la metodología Seis Sigma entre las que se puede citar las desarrollada por (Hernández Santana, 2012) y (Machado García, 2013). En esta organización se produce cierta variedad de productos, entre los que se encuentra el Diesel, al cual se le realizan un grupo de ensayos para determinar los parámetros a cumplir según las exigencias de las normas y los clientes, para esto intervienen un grupo de instrumentos y procedimientos de trabajo, que repercuten en la calidad final del producto, lo cual se traduce en variables o parámetros de calidad, dentro de las cuales una de las de mayor peso es % de Azufre y Densidad. En el Hidrofinador de Diesel se opera con equipos que tienen trazabilidad y que cumplen con la confirmación metrológica, los cuales son intrínsecamente seguros según lo exige el proceso. Pero al existir diversos análisis, instrumentos, e intervenir cierto número de personas se corre el riesgo que se obtengan mediciones erradas, quedando demostrado a través del proceso estudiado la necesidad de evaluar la calidad de las mediciones utilizando la metodología mencionada. 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 contribuir al mejoramiento de la gestión de las mediciones en los ensayos del Diesel Hidrofinado en la Unidad de Negocio Refinería de Cienfuegos, que garantice la calidad del producto?

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

Aplicar un procedimiento para la mejora de la gestión de las mediciones en el proceso de Hidrofinación de Diesel mediante el uso de las técnicas relacionadas con la metodología Seis Sigma, que posibilite conocer la calidad en las mediciones y mejorar dicho sistema.

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 Negocios Refinería “Camilo Cienfuegos”.
2. Aplicar un procedimiento que posibilite el mejoramiento de la gestión de las mediciones en los ensayos % Azufre y Densidad, a través del uso de las técnicas Seis Sigma.
3. Proponer un programa de mejora que facilite el perfeccionamiento de la gestión de las mediciones en los ensayos % de Azufre y Densidad del proceso de Hidrofinación de Diesel.

Preguntas de Investigación.

1. ¿Como utilizar la metodología Seis Sigma en la gestión de las mediciones?
2. ¿Cuáles son los elementos desde el punto de vista metrológico con mayores deficiencias en la organización?
3. ¿Como saber si las mediciones en el proceso analizado tienen o no calidad?
4. ¿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, realización de estudios de repetibilidad y reproducibilidad del ensayo % de Azufre y Densidad, evaluación de la confirmación metrológica de los instrumentos que intervienen en el proceso en estudio, evaluación de las especificaciones técnicas del Diesel, con énfasis en el % de Azufre y Densidad, además de poner a disposición un grupo de herramientas propias en la temática.



Hipótesis

La implementación de un procedimiento que haga uso de las técnicas relacionadas con la metodología Seis Sigma en los ensayos del proceso de Hidrofinación de Diesel, contribuirá al mejoramiento de la gestión de las mediciones y a conocer la calidad de las mismas en dichos ensayos.

Definición de variables

Variable independiente:

- Procedimiento que haga uso de las técnicas relacionadas con la metodología Seis Sigma

Variables dependientes:

- Mejoramiento de la gestión de las mediciones
- Calidad de las mediciones

Conceptualización y operacionalización de las variables

Procedimiento que haga uso de las técnicas relacionadas con la metodología Seis Sigma:

Es la aplicación de un conjunto de etapas y pasos que debe realizarse de la misma forma, para obtener siempre el mismo resultado bajo las mismas circunstancias, en el cual se utilicen técnicas para identificar las variaciones en los procesos, monitorear defectos y mejorar la calidad.

Esta variable se propone evaluarla a partir de la aplicación del conjunto de pasos que componen el procedimiento aplicado a la gestión de las mediciones, en el cual se haga uso de las técnicas propias de la metodología Seis Sigma.

Mejoramiento del sistema de gestión de las mediciones: Cambio o progreso hacia un estado mejor del conjunto de elementos interrelacionados, o que interactúan, los cuales son necesarios para lograr la confirmación metrológica y el control continuo de los procesos de medición.

Esta variable se propone evaluarla a partir de la calidad del producto terminado, mediante las especificaciones de calidad, determinadas por los diferentes ensayos (los seleccionados para el estudio), el monitoreo del sistema de medición para dichos ensayos y comparando el resultado de los ensayos antes y después de concluido el estudio.

Calidad de las mediciones: Grado en el que un conjunto de operaciones que tienen como objetivo determinar el valor de una magnitud cumple con los requisitos establecidos.



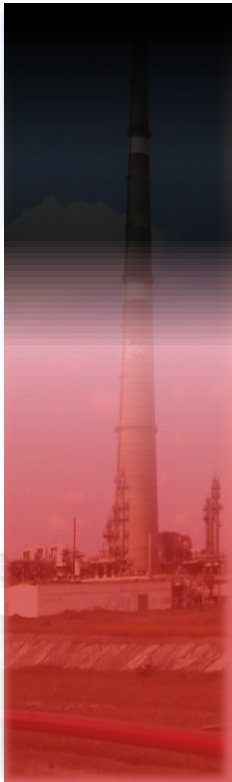
Esta variable se pretende medir a partir de los estudios de repetibilidad y reproducibilidad.

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 “Camilo Cienfuegos”, a demás 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 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 el proceso de Hidrofinación de Diesel, sobre la base de un conjunto de elementos propios en la temática, trayendo como resultado, el conocimiento de las principales debilidades en la materia, los elementos a mejorar dentro del sistema, evaluación del sistema de medición para los ensayos % de Azufre y Densidad, la propuesta de un programa de mejora y su respectiva implementación.



CAPITULO I



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 investigación.

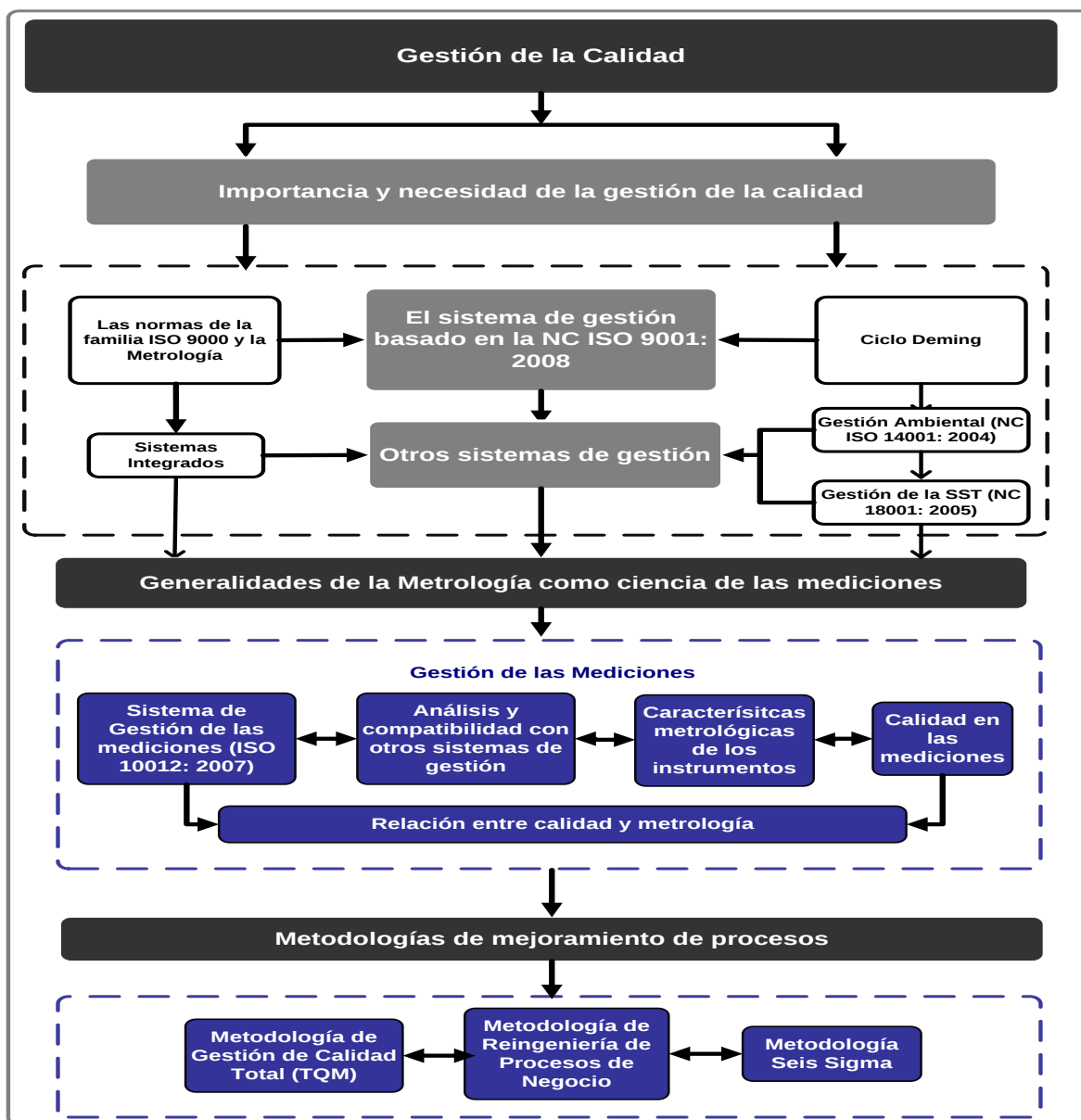


Figura 1.1. Hilo conductor. Fuente: Elaboración propia

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 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 (ver figura 1.2).



Figura 1.2. Etapas evolutivas del desarrollo de la calidad. Fuente: (Fernández Cao, 2004)

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.

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. Quien 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, 2012) y (Yvonne Coleman, 2013); con la ayuda de iniciativas como Seis Sigma, hay 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, a fin de ser utilizado 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 1.3, 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 se concibió 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.

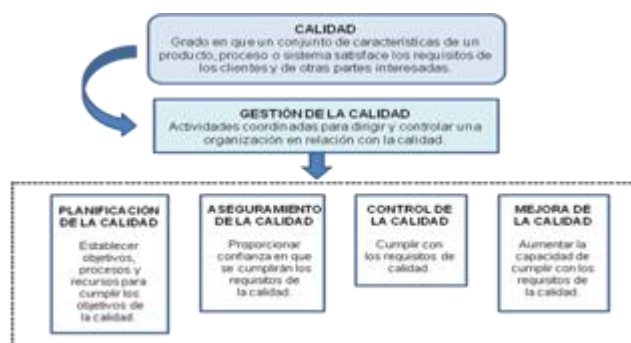


Figura 1.3. Conceptos de gestión de la calidad. Fuente: (Cátedra de Calidad, Metrología y Normalización, 2011)

Según la norma NC ISO 9000:2005 para que las organizaciones operen de manera eficaz, tienen que identificar y gestionar numerosos procesos interrelacionados. A menudo la salida de un proceso forma directamente la entrada del siguiente proceso. La identificación y gestión sistemática de los procesos empleados en la organización y en particular las interacciones entre tales procesos se conocen como “enfoque de procesos”. Esta norma internacional pretende fomentar la adopción del enfoque a procesos para gestionar una organización. Para esto se propone evaluar los procesos presentes en la organización y lograr la representación de los mismos. El **Anexo No.1** ilustra el concepto y los vínculos entre procesos presentados en la NC



ISO 9000:2005. 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 9000:2005 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.

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).

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).

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 los 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 observado 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. 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 define los requisitos para el control de los procesos de medición. En su edición del año 2007 se integran ambas partes, denominándose ISO 10012.

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. Más recientes aún, pero con la misma perspectiva aparece la ISO 9000:2005 y la ISO 9001:2008.

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, donde se utilizan 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 y procedimientos de medición, así como el 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.

Al igual que ocurre con la NC ISO 9001: 2008 en la cual 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 esta incluida en todos los sistemas de gestión.

1.3. Generalidades sobre la metrología como ciencia de las mediciones

La palabra metrología proviene del griego μέτρον (medida) y λόγος, (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.

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) plantea la importancia y necesidad de contar con normas y mediciones trazables en este



campo. Sin embargo, la ocupación en la precisión y reproducibilidad de las mediciones es parte constitutiva del desarrollo de la ciencia (Carvajal & Kottow, 2012).

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:** Establece las bases para las mediciones, asegura la trazabilidad consistente al Sistema Internacional de Unidades (SI).
- **Calibración y trazabilidad (Metrología Industrial):** Permiten la disseminación de las unidades y brindan confianza de que las mediciones son comparables.
- **Metrología Legal:** Establece los requisitos legales cuando son necesarios para el aseguramiento de mediciones confiables, seguras y exactas.

Por otra parte, la comunidad científica relacionada con las mediciones analíticas está promoviendo también la identificación de la Metrología Química como una rama independiente.

(Reyes Ponce; Hernández Leonard & Hernández Ruíz, 2009) expresan que las mediciones son importantes para:

- Garantizar la optimización y calidad de los procesos tecnológicos.
- Informar sobre la eficiencia de los procesos tecnológicos.
- Constituir la base sobre la cual se fundamentan todas las transacciones comerciales.
- Desempeñar 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 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.

Para realizar la medición 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).

Estos instrumentos 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, el instrumento y las 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).

(Arias Carrazana, 2007) en su investigación concluye que los mayores errores que ocurren 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 que realiza y del control que sobre ellos se debe realizar, así como la no aplicación de un sistema de gestión de las mediciones.

(Reyes Ponce; Hernández Leonard & Hernández Ruíz, 2009) 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.

1.4. Gestión de las mediciones

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.

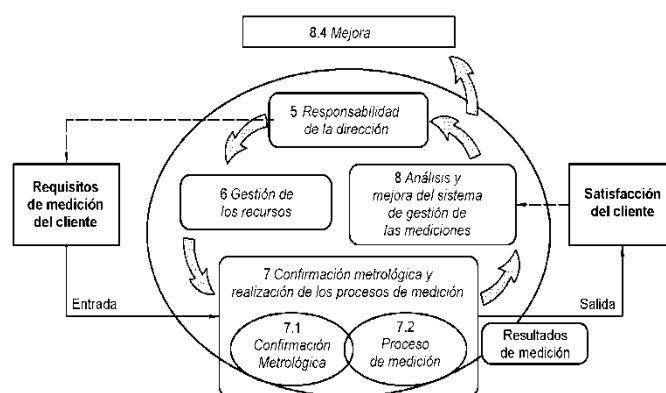


Figura 1.4. Modelo de sistema de gestión de las mediciones según NC ISO 10012: 2007.
Fuente: NC 10012: 2007

El autor de la investigación en curso coincide 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. Se tiene en cuenta a demás 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. La norma es aplicable a cualquier tipo de organización, la misma establece cinco grupos de requisitos mínimos que son genéricos, y se pretende que sean aplicados por las organizaciones, los grupos se muestran a continuación:

- **Requisitos generales.** En este grupo se definen los requisitos generales a tener en cuenta para el diseño del sistema y para que éste se gestione adecuadamente. Parte del alcance que tendrá el sistema de gestión de las mediciones, enfatiza en que el sistema debe hacer que se cumpla con los requisitos exigidos por los clientes.
- **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 llevará 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.

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. 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: la variabilidad de los observadores, la 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).

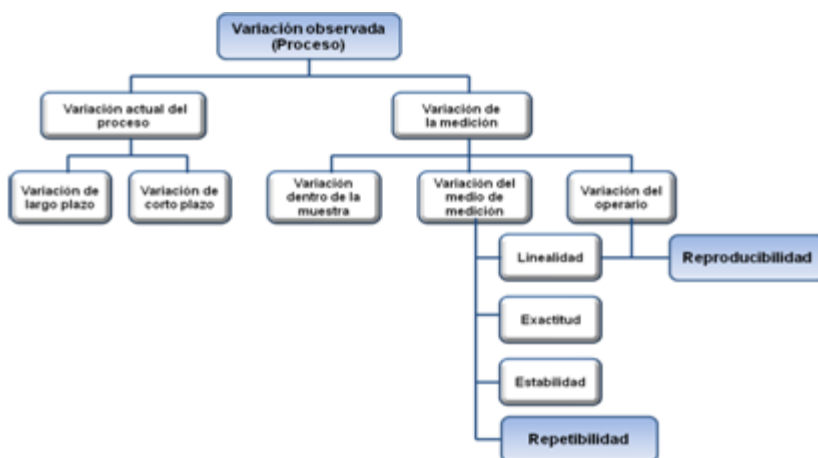




Figura 1.5. Fuentes de variación observadas en el proceso. Fuente: (Gutiérrez Pulido, 2004).

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

Los sistemas de medición tienen que estar bajo control estadístico. Esto significa que la variación en el sistema de medida es debida únicamente a causas comunes y no a causas especiales. La variabilidad del sistema de medición debe ser pequeña en comparación con la variabilidad del proceso.

Para evaluar este tipo de sistema se utilizan las “Pruebas de Reproducibilidad & Repetibilidad (R&R)” (Gutiérrez Pulido, 2004) y (Kwun Wanga & Wen Yang, 2007). Mientras que (Solminihaç 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).

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, 2012) comprueban y validan mediciones en diferentes procesos a través de las pruebas mencionadas. (Solminihaç 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. (Eicholtz et al., 2012) realiza pruebas de R&R para analizar el funcionamiento del sistema de medición en el método de ensayo para determinar empíricamente las propiedades inerciales de sillas manuales de ruedas. (Amada & Borrór, 2012) muestran cómo analizar la repetibilidad y reproducibilidad y expone las limitaciones causadas por la falta de replicación.



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.

(Correa & Burgos, 2007) difunde los estudios R&R, a partir del diseño experimental, estos investigadores muestran la aplicación de esta metodología en la empresa Cementos El Cairo, donde aplican dicho estudio a la prueba finura de 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 (Das, 2003); (Gutiérrez Pulido, 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).

1.5.2 Compatibilidad del sistema de gestión de las mediciones con el resto de los sistemas de gestión

Para lograr facilitar la integración de los sistemas de gestión, un elemento fundamental a tener en cuenta es comprobar que los aspectos contemplados en los documentos que rigen esos sistemas son compatibles entre sí.

La norma NC ISO 10012: 2007, en su objeto y campo de aplicación, plantea: *“esta norma internacional no está prevista para ser utilizada como requisito para demostrar conformidad con las Normas ISO 9000, ISO 14001 o cualquier otra norma. Las partes interesadas pueden acordar la utilización de esta Norma Internacional como entrada para cumplir los requisitos del sistema de gestión de las mediciones en actividades de certificación.”*

(Arias Carrazana, 2007) y el autor de la actual investigación no coincide exactamente con lo planteado anteriormente porque, si al elaborar un sistema de gestión de las mediciones basado



en los requisitos de esta norma, se tienen en cuenta los requisitos de las normas NC ISO 9001, NC ISO 14001 o NC 18001, se puede afirmar que puede ser utilizada, y de esta forma se logra la compatibilidad de los requisitos referidos a las mediciones en esos sistemas de gestión, y por lo tanto existe la posibilidad de lograr la integración de todos estos sistemas en uno.

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.

1.6. Servicio Nacional de Metrología (SENAMET)

La experiencia internacional demuestra que para garantizar la calidad en los procesos productivos y la competitividad de los bienes y servicios en el mercado, se hace necesario una adecuada infraestructura en el campo de la metrología, garantizando el cumplimiento de los requisitos de competencia técnica de los laboratorios de verificación y calibración así como el adecuado control metrológico por parte del Estado. Debe tomarse en cuenta el estimado de que en el país existen unos 4,5 millones de instrumentos de medición, con los cuales se realizan millones de mediciones diariamente (Arias Carrazana, 2007).

La necesidad de mediciones confiables y de mayor exactitud se ha desarrollado a gran ritmo en el mundo, en el sector industrial y del comercio nacional e internacional, en la salud, la protección humana y del medio ambiente, en las comunicaciones y en todos los campos de la ciencia y la tecnología. La metrología comienza a alcanzar un nivel de desarrollo en Cuba a partir del Triunfo de la Revolución. En el año 1964 se organiza el primer laboratorio de Metrología en el Ministerio de Industrias. En la década del 80 a partir de inversiones con la Unión Soviética, se desarrolla una red de laboratorios que componen en la actualidad el Servicio Nacional de Metrología.

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.



Esta gran red es la encargada de ejecutar un conjunto de actividades organizativas, legales, técnicas, científicas y productivas que tienen como objetivo garantizar la exactitud requerida, confiabilidad y la uniformidad de las mediciones en el país. Además debe garantizar la trazabilidad de las mediciones que intervienen en los procesos de producción, investigación y servicios que se realizan.

Todo ello conlleva a que las mediciones, calificaciones y/o validaciones en las actividades vinculadas con la salud pública, polos científicos, producción de medicamentos, defensa, industria azucarera, sideromecánica, electrónica, comercio nacional e internacional y otras, requieran de este servicio, en muchos casos para lograr el reconocimiento externo en la aprobación y comercialización de sus productos y servicios.

El SENAMET ha logrado que hoy Cuba cuente, con la base legal de la metrología, que está compuesta por:

- Decreto Ley No. 62 “Sobre la implantación del Sistema Internacional de Unidades,” de diciembre de 1982.
- Decreto Ley No. 183 “De la Metrología,” de febrero de 1998.
- Decreto Ley No. 182 “De calidad,” de febrero de 1998.
- Decreto Ley No.270 “Reglamento del Decreto Ley de Metrología,” de enero del 2001.
- Decreto No. 271 “De las Contravenciones de las regulaciones establecidas sobre Metrología”, de enero del 2001.
- Se incluyen documentos adoptados como normas cubanas (NC), a partir de la Organización Internacional de Metrología Legal (OIML) (ver Reyes Ponce; Hernández Leonard & Hernández Ruíz, 2009 p.158).

En la figura 1.6 se muestra la relación de los documentos de la metrología legal, en el cual se cita la actividad y el número del documento relacionado con esta.

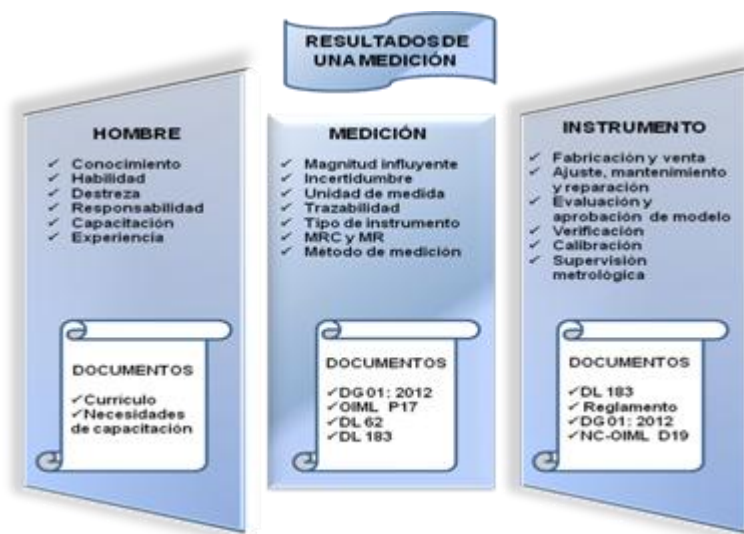


Figura 1.6: Relación entre los documentos de la metrología legal. Fuente: (Reyes Ponce; Hernández Leonard & Hernández Ruíz, 2009)

Esta base legal es imprescindible para regular el control metrológico de las básculas empleadas en el pesaje de los productos de exportación e importación, los instrumentos de medición para la salud y la seguridad industrial, la protección al consumidor y el control de los recursos del país, todos ellos pertenecientes internacionalmente al campo regulatorio.

El SENAMET, tiene como estrategia desarrollar la metrología Científica y la Metrología Legal y garantizar la trazabilidad de la Metrología Industrial, para lo cual deben fortalecerse los laboratorios de calibración de los organismos y empresas.

Además de lo anterior el SENAMET tiene la responsabilidad de garantizar que en el país se apliquen las exigencias internacionales y que se hagan las mediciones correctamente.

Existe gran diversidad de instrumentos de medición, a los cuales el SENAMET le brinda servicio, estos a su vez tienen diferentes características metrológicas, algunas de ellas se considera oportuno tratarlas en el siguiente apartado.

1.7. Características metrológicas de los instrumentos de medición

Independientemente de sus construcciones, principios de funcionamiento y magnitudes que miden, a los instrumentos de medición les son comunes una serie de características metrológicas, las cuales resultan de extrema importancia para seleccionar el instrumento adecuado para realizar una medición (Arias, 2005).

Seguidamente se mencionan algunas de ellas:



Rango de indicación: Conjunto de los valores limitados por las indicaciones extremas del instrumento de medición. El rango es normalmente expresado en términos de sus límites inferior y superior.

Valor nominal: Valor redondeado o aproximado de una característica de un instrumento de medición que sirve de guía para su utilización.

Intervalo de medición: Módulo de la diferencia entre los límites de un rango nominal.

Valor de división: Diferencia entre los valores correspondientes a dos marcas sucesivas de la escala.

Resolución: Menor diferencia entre indicaciones de un dispositivo de indicación que puede ser distinguida de forma significativa. Para un instrumento de indicación digital, es el cambio en la indicación cuando el dígito menos significativo se incrementa en un paso.

Repetibilidad: Aptitud de un instrumento de medición para dar indicaciones casi similares para aplicaciones repetidas de la misma magnitud a medir, bajo las mismas condiciones de medición (Cruz de Oliveira, 2011).

Precisión: Proximidad entre las indicaciones o los valores medidos obtenidos en mediciones repetidas de un mismo objeto, o de objetos similares, bajo condiciones especificadas (VIM, 2012). Puede ser estimada por índices de repetibilidad y reproducibilidad.

Condiciones nominales de funcionamiento: Condiciones de utilización donde las características metrológicas específicas de un instrumento de medición se supone que están comprendidas entre límites dados. Las condiciones nominales de funcionamiento especifican generalmente valores nominales asignados para el mensurando y para las magnitudes de influencia.

Condiciones límites: Condición de funcionamiento extrema que un instrumento o sistema de medida debe poder soportar sin que se dañen o degraden sus características metrológicas especificadas, cuando posteriormente se utilice en sus condiciones nominales de funcionamiento (VIM, 2012).

Estabilidad: Propiedad de un instrumento de medida por la que éste conserva constantes sus características metrológicas a lo largo del tiempo (NC OIML V2: 1995) y (VIM, 2012).

La práctica ha demostrado la importancia que tiene la observación de estas características metrológicas para obtener buenos resultados en las mediciones; pero, lamentablemente, ésta es desconocida por las personas que deben realizarlas. El hecho de no tenerlas en cuenta en



su totalidad, puede ocasionar la rotura del instrumento de medición, la salida de los parámetros que resultan de su calibración y la afectación de la calidad de las mediciones en el producto.

(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.

1.8. 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?* Estas preguntas encierran 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:

- 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.

Una organización solamente garantiza la gestión de la calidad si conoce con profundidad:

- El estado de funcionamiento de sus instrumentos de medición.
- Sus campos de utilización.
- Su comportamiento en el tiempo.

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.

Es una función metrológica de la empresa evaluar las condiciones reales de los instrumentos de medición, dirigir o encauzar la acción de los mismos a satisfacer las necesidades definidas y periódicamente actualizadas de la exactitud de las mediciones (Arias Carrazana, 2005).

Las organizaciones deben establecer acciones en relación a los instrumentos de medición, para garantizar la confiabilidad de las mediciones.

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 1.7 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, 2009).

Cada uno de los aspectos mencionados se encuentran explicado en la figura que aparece a continuación dada por (Reyes Ponce; Hernández Leonard & Hernández Ruíz, 2009).

Una de los elementos que influyen 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.



Figura 1.7. Bases técnicas para garantizar la calidad de la medición. Fuente: (Reyes Ponce; Hernández Leonard & Hernández Ruíz, 2009)

(Solminihac et al., 2012) proponen un conjunto de pasos para asegurar la calidad en las mediciones con respecto a la influencia del recurso humano (ver figura 1.8).

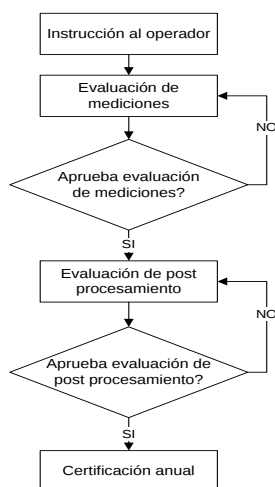


Figura 1.8. Estructura General para evaluar la calidad de las mediciones en el factor humano. Fuente: (Solminihac et al., 2012)

Estos mismos autores proponen una estructura similar para evaluar la calidad de las mediciones alcanzadas por los instrumentos (ver figura 1.9).

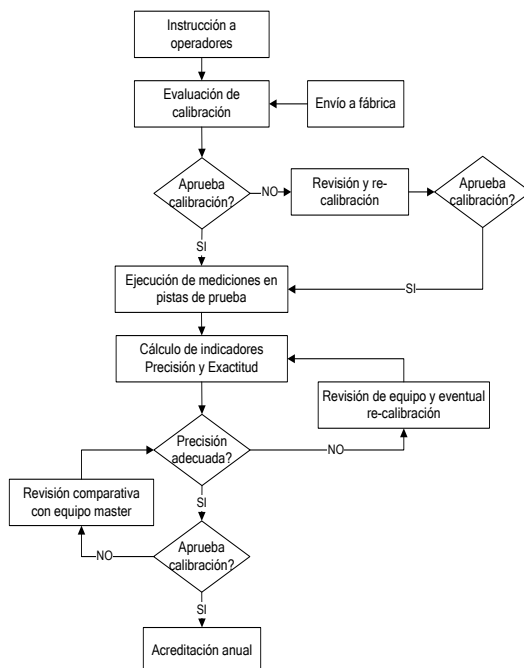


Figura 1.9. Estructura General para evaluar la calidad de las mediciones en los instrumentos. Fuente: (Solminihac et al., 2012)



(Correa & Burgos, 2007) 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.

Por esto los autores mencionados demuestran la necesidad de aplicar metodologías como el diseño experimental, en el cual puedan ser considerados estos cambios, donde se pueda actuar a medida que éstos se presenten.

La estrategia experimental se utiliza de manera conveniente para disminuir costos de calidad y en la mejora continua de la calidad de procesos y productos, es una herramienta de importancia crítica en el medio de la ingeniería para mejorar el rendimiento de un proceso (Pena-Baena Niebles & Sanjuan Mejia, 2004).

(Correa & Burgos, 2007) en su investigación buscan identificar y disminuir la variabilidad presente en las mediciones de los ensayos que se realizan en los laboratorios de control de calidad. Según estos autores la efectividad de este tipo de estudios radica principalmente en el control que se haga de las variables que intervienen en los procesos de medición, estas variables son el medio ambiente en que son desarrolladas, el estado de los equipos e implementos utilizados, la capacitación que tiene el operario, el uso de material homogéneo y la aplicación de un método normalizado.

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

Para el aseguramiento metrológico de los instrumentos de medición y contribuir a la calidad de sus resultados, el país cuenta con laboratorios y personal especializado, distribuidos por las diferentes regiones, subordinándose la provincia de Cienfuegos al Centro Metrológico de Villa Clara.

1.9. Aseguramiento metrológico de la provincia

El Centro Metrológico de Villa Clara, al cual Cienfuegos tributa, tiene entre sus funciones, cumplir en las provincias centrales del país las orientaciones establecidas por el SENAMET. Para ello cuenta, en su estructura, con un grupo de trabajo de aseguramiento metrológico que lleva a cabo, entre otras funciones, el asesoramiento a las empresas en todo lo concerniente a las mediciones, lo cual incluye el sistema de gestión de las mediciones.

Cuenta con laboratorios acreditados donde se realizan verificaciones y calibraciones de los instrumentos de medición, pero actualmente, por la falta de trazabilidad no puede dar algunos servicios, lo cual afecta a las empresas.

Un gran número de empresas tienen, en su plantilla, personal encargado de realizar las actividades referidas a la metrología, pero la mayoría de ellos cumplen, además otras tareas, por lo cual, no le pueden dedicar todo el tiempo a este trabajo, y se dedican fundamentalmente a garantizar que los instrumentos de medición sean verificados o calibrados, para evitar que durante las inspecciones se les aplique alguna medida.

En las inspecciones, supervisiones metrológicas y en las auditorías realizadas a las empresas, se detectan deficiencias en las actividades de metrología, que como es lógico, afectan la calidad de las producciones o servicios que se prestan. Esto muestra que se carece de un buen aseguramiento metrológico, lo cual está motivado por factores objetivos, como pueden ser: los materiales, instrumentos de medición, condiciones de los locales, condiciones ambientales, falta de recursos financieros, y también por factores subjetivos entre los que pueden enumerarse: la despreocupación de las personas, su falta de capacitación, falta de exigencia y del control que debe realizarse sobre la persona que realiza el trabajo.

Para garantizar el aseguramiento metrológico se debe partir de que la persona que realiza las mediciones debe 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.

1.10. Relación entre calidad y metrología

La calidad de los productos y los procesos se evidencian mediante la demostración del cumplimiento de los requisitos especificados en las normas y se basa en las mediciones confiables y trazables al Sistema Internacional (SI), realizadas en laboratorios de ensayo y calibración competentes. Este procedimiento es conocido como evaluación de conformidad y se define como la demostración del cumplimiento de los especificados en la relación con un producto, proceso, sistema, persona u organismo. Un requisito especificado es aquella necesidad o expectativa que se declara, por ejemplo, en un documento normativo, en las especificaciones de productos y en las regulaciones legales o de otro tipo dictadas por la sociedad (Reyes Ponce; Hernández Leonard & Hernández Ruíz, 2009).



La importancia de la metrología en su estrecha relación con la calidad radica en que las mediciones garantizan que los resultados de los procesos den productos finales con calidad especificada, y ello es aplicable a todas las actividades tanto científicas como de las diferentes ramas de la economía. Según (Reyes Ponce, 2007) las mediciones constituyen la principal fuente de información sobre la eficiencia de los procesos tecnológicos y permiten garantizar su óptima calidad.

Las normas internacionales, relacionadas genéricamente con las actividades de evaluación de la conformidad, entre las que se encuentran los ensayos/pruebas, la inspección y varias formas de certificación, son preparadas por los grupos de trabajo del Comité ISO de Evaluación de la Conformidad (CASCO). Específicamente, la Norma Internacional ISO IEC 17000:2005 precisa los términos y las definiciones generales relacionados con la evaluación de la conformidad y su uso para facilitar el comercio (Reyes Ponce; Hernández Leonard & Hernández Ruíz, 2009).

Las autoras mencionadas plantean que el objetivo es generar confianza en la calidad de lo evaluado, por lo que sus acciones conforman una pirámide en cuya parte superior se encuentran las actividades más complejas y con un mayor nivel de compromiso en asegurar la confianza deseada. En tal posición se encuentra la acreditación, encargada de aprobar la confianza necesaria en la evaluación objetiva y competente de la conformidad de un producto, servicio o sistema de gestión. En el segundo nivel de la pirámide se ubica la certificación, que está sujeta a exigentes requisitos, establecidos internacionalmente en un conjunto de normas y guías de actuación.

Los laboratorios de ensayo y calibración son organismos evaluadores de la conformidad, por lo que deben estar acreditados por los organismos correspondientes. Para ello los laboratorios deben demostrar su conformidad con los requisitos técnicos y de gestión de la norma NC-ISO 17025.

La relación calidad- metrología está presente en todas las actividades de la vida, de aquí que su impacto tenga una repercusión directa en el desarrollo económico, político y social de un país. Requisito que se refleja en las normas internacionales referentes a sistemas de gestión, donde se establece la medición del desempeño de los procesos y la evaluación de la calidad de los productos. Numerosas empresas, tanto a nivel internacional como nacional, utilizan dichas normas, ejemplo, en la industria farmacéutica, siderúrgica, alimenticia, azucarera, petrolera, entre muchas otras. En todas ellas intervienen gran cantidad y variedad de instrumentos y múltiples ensayos de laboratorios para evaluar la conformidad del producto.

Por ser la industria petrolera objeto de investigación el autor del actual trabajo cree oportuno tratar algunos elementos respecto al tema abordado en el desarrollo de los apartados anteriores.



Entre los productos que se obtienen en esta industria se encuentran: Gasolina, Turbo combustible Jet A1, Gas Licuado del Petróleo, Nafta, Keroseno, Fuel oil y Diesel, siendo este último objeto de análisis en el presente estudio.

1.10.1. Relación calidad – metrología en la obtención de Diesel

El petróleo crudo, tal como se extrae del subsuelo, se separa en fracciones por medio del procedimiento de la destilación fraccionada, conocido como refinación. Esta consiste en el conjunto de procesos físicos y químicos a los que es sometido el petróleo crudo para obtener, por destilación fraccionada, los diversos hidrocarburos con propiedades y características particulares. Dentro de los productos que se obtienen se encuentra el diesel, este se utiliza como combustible para hornos y motores diesel.

Durante el proceso de hidrofinación del diesel intervienen gran cantidad de instrumentos, los cuales miden temperatura, presión y volumen, a los cuales se les deben garantizar aseguramiento metrológico, debido a que las magnitudes que ellos miden influyen en la calidad del producto terminado. Así como diferentes ensayos mediante los cuales se evalúa la conformidad del producto según las especificaciones y requisitos exigidos. Entre estos se encuentran: densidad, azufre, viscosidad, entre otros.

Algunos elementos a tener en cuenta para avalar la calidad de las mediciones en los procesos de hidrofinación son:

- Utilizar una tecnología de medición adecuada que responda a la exigencia de la calidad fiscal requerida.
- La tecnología de medición debe permitir la obtención de niveles de incertidumbre mínimos adecuados para la medición fiscal.
- Incertidumbre en la medición. Para todos los casos se deben utilizar productos de marcas reconocidas y de uso común dentro de la industria.

En Cuba, la Oficina Nacional de Normalización (ONN) y el SENAMET, garantiza el aseguramiento metrológico para todos los instrumentos que se utilizan en las plantas donde se opera con equipos que tienen trazabilidad y que cumplen con la confirmación metrológica, los cuales son intrínsecamente seguro según lo exige el proceso. Pero al existir diversos análisis, instrumentos, e intervenir cierto número de personas se corre el riesgo que se obtengan mediciones erradas. Por ser este una significativa fuente de variabilidad, se evidencia la necesidad de realizar estudios que permitan disminuirla.

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.

1.11 Metodologías de mejoramiento de procesos

A partir de consultas realizadas, 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); (Brown, 2013):

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

Metodología de Gestión de Calidad Total (TQM)

La gestión de la calidad total (TQM) es un acercamiento estratégico basado en la noción de que la calidad debe recorrer la organización entera. Va más allá del mando y del control; con el uso de diferentes técnicas logra un cambio en la cultura de la organización.

La filosofía de calidad del TQM es una responsabilidad de la alta dirección, la satisfacción del cliente es el objetivo primario, la mejora continua es el credo y la manera de actuar debe estar basada en los hechos, no en las opiniones y todos los empleados deben estar comprometidos.

Juran considera la gestión de la calidad en tres procedimientos básicos: Planeación de la Calidad, Control de la Calidad y Mejora de Calidad. Define la calidad como la satisfacción del cliente o aptitud para el uso (Aubyn Salkey, 2008). Desde su punto de vista, el acercamiento a la gestión de la calidad consiste en:

- El problema esporádico se descubre y actúa en el proceso de control de la calidad.
- El problema crónico requiere un proceso diferente, a saber, la mejora de calidad.

Los problemas crónicos están relacionados con una inadecuada planeación de la calidad del proceso.

Valoración crítica de la metodología de TQM

Hay varias críticas asociadas con TQM como las expresadas en los estudios de (Wilkinson, et al., 1992). Un resumen de estas aparece a continuación:



- A pesar de la cultura de compromiso, el eslogan de delegación de autoridad y el enfoque basado en el control de gestión, en algunos casos, la gestión basada en el estrés producido.
- Los sistemas de TQM son burocráticos, es decir, más tiempo es consumido, por lo que es caro en instalar y establecer.
- Las ganancias de introducir TQM no se ven con frecuencia de manera inmediata. Esto lleva a la desmotivación y falta de interés en los sistemas y procedimientos. El resultado es que el impacto de la introducción de TQM se envejece con el tiempo.
- A pesar de las demandas por la naturaleza inclusiva de TQM, su fracaso ha determinado a menudo una falta de integración. Un nuevo conjunto de procedimientos puede implementarse para el control de la calidad existente, los cuales son difíciles de entender y vistos como otro sistema de control burocrático.
- TQM requiere niveles altos de veracidad en la organización. Por consiguiente, es difícil introducirlo eficazmente en las situaciones donde no exista dicha veracidad.
- La falta de compromiso de la dirección es una de las razones para el fracaso de esfuerzos de TQM (Brown et al., 1994).
- Exclusivo enfoque en los requisitos del cliente (Draghici & Petcu, 2010).

Metodología de Reingeniería de Procesos de Negocio

La aparición de la metodología de reingeniería de procesos de negocio (BPR) se remonta a principios de los años noventa. La misma está basada en una escuela diferente de pensamiento a la mejora del proceso continuo. La reingeniería asume que el proceso actual no es pertinente, no funciona, por lo cual debe empezarse a diseñar un nuevo proceso.

(Roberts, 1994) presenta un procedimiento concentrado en un conjunto de pasos relacionados con BPR exponiendo de esta manera la forma en que las compañías deben ejecutar la Reingeniería del Proceso como una pauta por lograr el éxito. El procedimiento tiene nueve pasos fundamentales, los cuales son: Identificación de la oportunidad, análisis de la capacidad actual del proceso, diseño del proceso, riesgo y valoración del impacto, plan de transición, prueba piloto, modificaciones de la infraestructura, aplicación, transición y evaluación del desempeño del proceso. Después de la realización de todos los pasos, el autor mencionado enfatiza en la necesidad de la mejora continua.

Valoración crítica a la metodología de BPR

(Aubyn Salkey, 2008) resume un grupo de críticas, las cuales se exponen a continuación:

- BPR asume que el factor que limita el desempeño de la organización es la ineficacia de sus procesos.
- BPR no proporciona una manera eficaz de enfocar los esfuerzos de mejora en las restricciones de la organización.
- Las recomendaciones de forma general se basan en la reestructuración radical, reduciendo el número de departamentos, sobre todo los que están relacionados con el trato de clientes, y reduciendo los número de empleados (Needle, 2004).
- Se ha criticado por no sólo enfocar la calidad como un costo, sus críticas más frecuentes se basan en que se utiliza como medio para reducir la mano de obra y como una novedad de paso (Needle, 2004).

Seis Sigma como metodología de mejora de procesos

Seis Sigma es un programa de mejora de la calidad que tiene como objetivo reducir la variabilidad del proceso a través de la aplicación de los métodos estadísticos y herramientas de gestión de la calidad. 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), coincidiendo con este criterios autores tales como: (Reyes Aguilar, 2002); (McCarty, 2004); (John, et al., 2008); (Daglioglu; Inal & Aksoy, 2009); (Gremyr & Fouquet, 2012) y (Galvania & Carpinettib, 2012). 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) e (ISO 13053: 2011). Esta metodología obliga a las personas a medir los procesos (Eckes, 2003); (Gygi; DeCarlo & Williams, 2005); (ISO 13053: 2011) y (Galvania & Carpinettib, 2012).

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).

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 realizados en empresas manufactureras instaladas en Brasil y los Estados Unidos demuestran lo planteado anteriormente (Reyes Aguilar, 2002); (Calia & Guerrini, 2005); (Pinto & Carvalho, 2006); (Fernández & Turrioni, 2007); (Andrietta & Miguel, 2007).

Esta filosofía se basa en el ciclo iterativo definir, medir, analizar, mejorar, controlar (DMAIC) (ver figura 1.10) empleada para optimizar los procesos existentes, constituye la base para el trabajo

sistemático del proyecto (ISO 13053: 2011). El objetivo de DMAIC es elevar la calidad (John, et al., 2008). En el **Anexo No.2** se indican las principales actividades y se alinean las herramientas empleadas para las respectivas fases del ciclo mencionado.

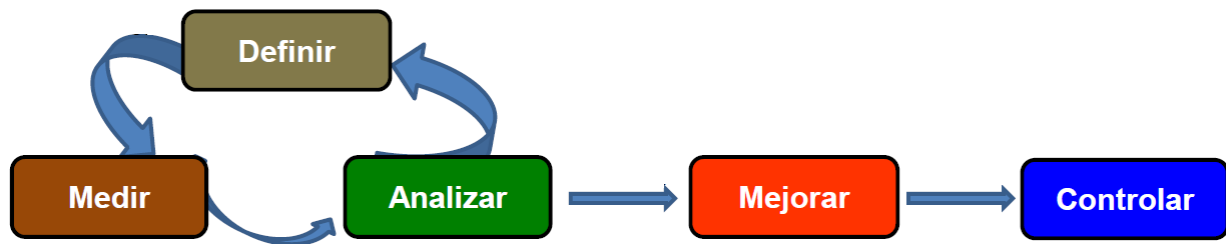


Figura 1.10. Secuencia Seis Sigma DMAIC. Fuente: ISO 13053: 2011

Mientras que (Galvania & Carpinettib, 2012) 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.

(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.

(Gremyr & Fouquet, 2012) opina que el ciclo Planificar-Hacer-Verificar-Actuar (PHVA) y la mejora DMAIC pueden ser estructurados para que se complementan entre sí; reforzando el marco proporcionado por DMAIC (ver figura 1.11).

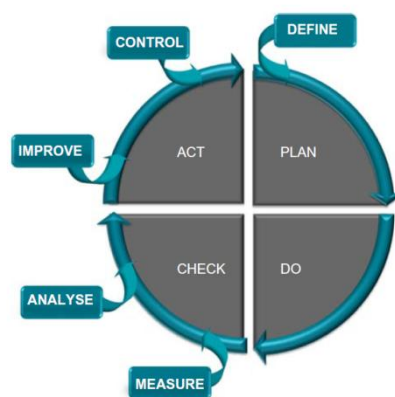


Figura 1.11. Complementación del DMAIC y PDCA. Fuente: (Gremyr & Fouquet, 2012)

Valoración crítica de la metodología Seis Sigma



Simplemente como todas las iniciativas de mejora de proceso previamente analizadas, 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

En el **Anexo No.3** se muestra una comparación de las metodologías de mejora de proceso analizadas anteriormente.

La buena selección de las técnicas de ingeniería de calidad depende del grado de complejidad de cada una de ellas, de los procesos, de la competencia y compromiso del personal, de la gestión y los recursos, entre otros. Igualmente, la puesta en marcha también puede depender de factores externos, como las exigencias del cliente, el mercadeo y la competencia (Zapata Gómez, 2013).

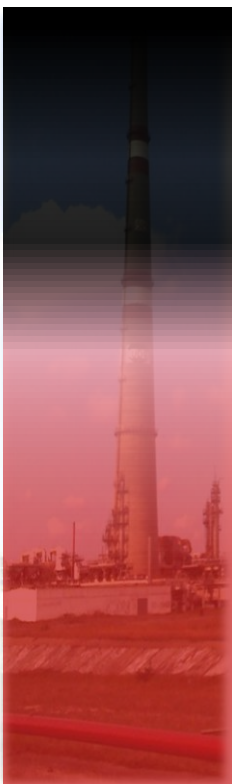
Del análisis realizado previamente, el autor de la presente investigación decide seleccionar Seis Sigma como la metodología a utilizar, debido a que esta metodología supera a las debilidades descritas en el resto de las analizadas. La metodología Seis Sigma es más comprensiva y fácil de aplicar, una 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.

Es válido resaltar que en la búsqueda bibliográfica que se realiza en la investigación, solo se evidencian los trabajos desarrollados por (Hernández Santana, 2012 & Machado García, 2013) donde se utiliza dicha metodología para la mejora de la gestión de las mediciones, la cual es propuesta para 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 decisorio 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 que realiza, las deficiencias en el control que sobre ellos se debe realizar, así como la no aplicación de un sistema de gestión de las mediciones.
4. Para evaluar la calidad en un sistema de medición se utilizan las pruebas de repetibilidad y reproducibilidad, lo que se corrobora en la literatura científica consultada, sin embargo, son pocos investigadores que integran técnicas del diseño experimental a este tipo de estudio, así como la conjugación integrada a metodologías de mejoras de procesos.
5. Se selecciona la metodología Seis Sigma, debido a que esta supera las debilidades descritas en el resto de las analizadas, 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, por lo que se evidencia la necesidad integrarla a la mejora de la gestión de las mediciones



CAPITULO II





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, siendo este diseñado por (Hernández Santana, 2012) y (Machado García, 2013), utilizando la metodología Seis Sigma. En este se utilizan criterios de diferentes autores, tales como: (Gutiérrez Pulido & de la Vara Salazar, 2004); (Reyes Ponce et al., 2006); (Arias Carrazana, 2007); (Correa & Burgos, 2007); NC ISO 10012: 2007; (Guadalupe Echeverría, 2008); ISO 13053: 2011; (Gibbons et al., 2012). Se expone además las transformaciones propuestas por el autor del actual trabajo, como es la integración del diseño experimental al mismo, a partir de las consultas realizadas en diversas fuentes bibliográficas.

2.1. Caracterización de la entidad objeto de estudio

La Refinería de Petróleo “Camilo 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 con la colaboración de la desaparecida Unión Soviética, 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

Con la caída de la Unión Soviética, desaparecen también los suministros estables de crudo y 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 en el marco de la Alternativa Bolivariana para las Américas (ALBA) 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 claramente 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 854 trabajadores, los cuales se dividen en obreros, técnicos y dirigentes, cuyos porcentajes se muestran en la figura 2.1.

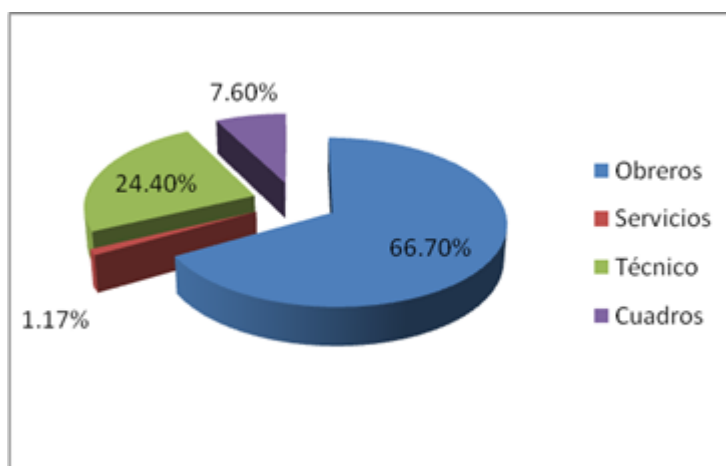


Figura 2.1. Representación de las categorías ocupacionales en la Unidad de Negocio Refinería de Petróleo “Camilo Cienfuegos”. Fuente: Elaboración propia.

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)



- Unión 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 Diesel.
- **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 *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 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, se exponen el procedimiento propuesto en la actual investigación, el cual es diseñado y aplicado por (Hernández Santana, 2012) y (Machado García, 2013) 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

Este estudio es un punto de partida para aumentar la confiabilidad en los resultados de las mediciones de los ensayos analizados. A partir de los resultados obtenidos se evidencia la necesidad de continuar con la implementación de este tipo de investigación en otros procesos.

Como resultado del análisis bibliográfico diversos autores como (Correa & Burgos, 2007); (Brazzale et al., 2010) y (Viña Rodríguez, et al., 2013) recomiendan el empleo de técnicas basadas en el diseño experimental para la realización de los estudios de repetibilidad y reproducibilidad, siendo este una herramienta de importancia crítica en el medio de la ingeniería para mejorar el rendimiento de un proceso.

El autor de esta investigación coincide con el criterio de los investigadores citados, razón por la cual se introducen en el procedimiento diseñado por (Hernández Santana, 2012) y (Machado García, 2013) las técnicas del diseño experimental, siendo el mismo abordado en el siguiente apartado.

2.2 Procedimiento para la mejora de procesos en la gestión de las mediciones

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, 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 dos de los procesos de la organización objeto de estudio. 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., 2006); (Guadalupe Echeverría, 2008); (Arias Carrazana, 2007); (Correa & Burgos, 2007); ISO 13053: 2011; (Gibbons et al., 2012); y la NC ISO 10012: 2007.

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, así como parte de los requisitos planteados en la NC ISO 9001: 2008, NC ISO 14001: 2004, NC 18001: 2005 e ISO 13053:2011, además de las técnicas de diagnóstico que se aplicarán para conocer el estado del sistema de gestión de las mediciones en la organización. De ser necesario se realizará una capacitación en el tema.

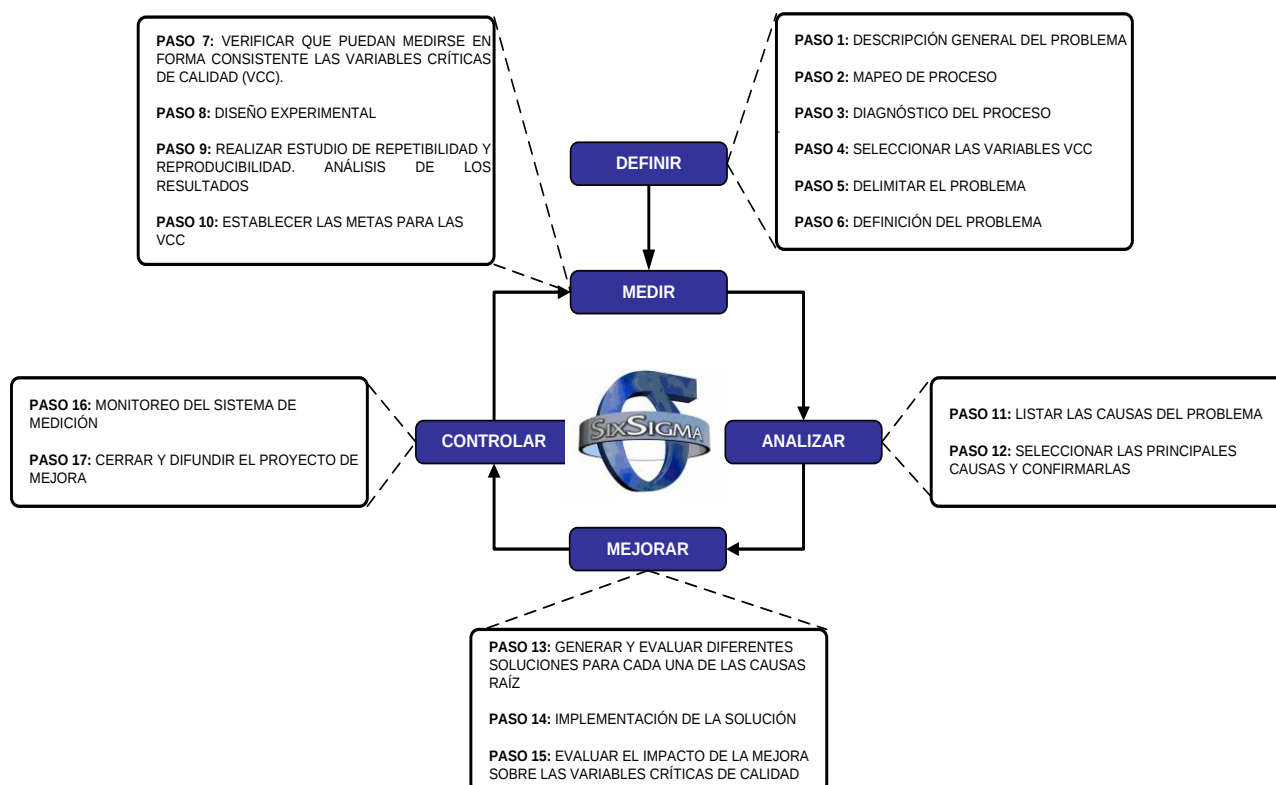


Figura 2.2. Procedimiento para la mejora de la gestión de las mediciones, a partir de la utilización de la metodología Seis Sigma. Fuente: (Hernández Santana, 2012) y (Machado García, 2013).

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	Describir de forma general el problema	Documentación descriptiva del sistema de gestión de las mediciones, reuniones participativas, trabajo de grupo.
	Mapear el proceso	Reuniones participativas, documentación de proceso, Mapeo de procesos (SIPOC).
	Diagnosticar el 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
	Diseño experimental	Técnicas de diseño de experimentos
	Realizar estudios de repetibilidad y reproducibilidad. Analizar los resultados	Estudios de repetibilidad y reproducibilidad
	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
	Implementar la solución	5W y 2H Planes de Control
	Evaluar el impacto de la mejora sobre las variables críticas de calidad.	Estudios de repetibilidad y reproducibilidad

Controlar	Monitorear el 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, teniendo en cuenta los criterios de los autores mencionados anteriormente.

Etapas 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, 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 (*Descripción del contexto*), se 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:

a) Los requisitos del cliente (exigencias de salida).

-Las demandas de los clientes de la actividad esclareciendo adecuadamente el producto final que estos esperan.

b) Los requisitos para los proveedores (exigencias de entrada).

-Las demandas del proceso, 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., 2006) y (Arias Carrazana, 2007).

Requisitos legales aplicables en materia de gestión de las mediciones

Tomando como base los listados actualizados emitidos por la Oficina Nacional de Normalización (ONN), Servicio Nacional de Metrología (SENAMET), 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.

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

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., 2006), el cual se encuentra en vigor en múltiples empresas del país.

Estos tienen como objetivo indagar 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.

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. De forma general deben quedar claros los elementos del sistema que se deben considerar.

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 la 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 que 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 consiste en 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 y 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. Para demostrar la influencia de la calidad de las mediciones, se hace necesario analizarla a través de la calidad del producto, debido a que las mismas se encuentran presentes en todos los procesos.

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 y 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 realiza el estudio de repetibilidad y reproducibilidad (R&R) basado en el diseño experimental, para saber con mayor precisión 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. Por tanto lo más indicado es llevar a cabo un estudio de repetibilidad y reproducibilidad al sistema de medición de las variables críticas de calidad.



Paso 8: Diseño experimental

Un experimento diseñado es una prueba o serie de pruebas en las cuales se inducen cambios deliberados en las variables de entrada de un proceso o sistema, de manera que sea posible observar e identificar las causas de los cambios en la respuesta de salida.

La metodología estadística es el único enfoque objetivo para analizar un problema que involucre datos sujetos a errores experimentales. Hay dos aspectos en cualquier problema experimental: el diseño del experimento y el análisis estadístico de los datos.

Al realizar un diseño experimental, identificar el fenómeno que está presente en el estudio es de vital importancia, el cual puede ser aleatorio o determinístico.

Conocer las variables presentes en la experimentación implica identificar las variables en estudio. Seleccionar aquellas de interés y clasificarlas en independientes y de respuesta, controlables e incontrolables, y en discretas o continuas.

Determinar el modelo estadístico

Con el fin de identificar el modelo que mejor ajuste a las necesidades experimentales, siendo para este caso la variación en las mediciones debido a la repetibilidad y reproducibilidad de la medida, se establece según la información primaria y secundaria recolectada que bajo un ambiente de condiciones controladas, se tiene sólo una variable controlable o factor a considerar.

Por tanto algunos autores como es (Correa & Burgos, 2007) proponen el modelo unifactorial, el cual se caracteriza por la presencia de una variable controlable en el experimento y la ausencia de manipulación de variables incontrolables en la toma de datos. Los niveles del factor controlable son elegidos por el investigador, con el objetivo de bosquejar la variabilidad de los diferentes tratamientos. En dependencia de la situación en la cual se realiza el estudio se puede seleccionar otro modelo estadístico.

Determinar tamaño muestral

La selección del tamaño muestral es una decisión importante en el diseño experimental. Consiste en la determinación del número de réplicas que se deben realizar en el estudio, para lo cual es necesario:

- Determinar la probabilidad de error tipo I y tipo II
- Determinar la componente de varianza y desviación estándar de los tratamientos
- Suponer un tamaño muestral inicial



- Determinar el parámetro λ
- Utilizar la curva característica de operación (ver Montgomery, 1991)

Paso 9: Realizar estudio de repetibilidad y reproducibilidad. Análisis de los resultados

Un estudio R&R es perfectamente factible para la mayoría de las variables críticas de calidad que se presentan en la práctica, donde pueden haber dificultades en el caso de variables lentas de tipo administrativas (ejemplo: quejas). Con independencia del tipo de variables, el equipo de mejora debe revisar con detalle la forma en que se miden sus variables críticas de calidad y asegurar que estas mediciones se hacen en forma consistente, debido que a través de estas variables se mide el impacto de las mejoras.

De forma general los estudios R&R evalúan experimentalmente qué parte de la variabilidad total observada es atribuible al error de medición y cuantificar este error, comparando con la variabilidad del producto y con las especificaciones de calidad que requiere. Las fuentes de variabilidad se pueden evaluar a partir de la variabilidad del producto mediante el proceso de medición y la reproducibilidad de los operadores.

(Gutiérrez Pulido & de la Vara Salazar, 2004) plantea que existen dos tipos de estudios R&R, el corto y el largo. El estudio R&R largo es el más completo y el recomendado, debido a que permite evaluar cada una de las fuentes de variabilidad, en particular la repetibilidad y reproducibilidad. Mientras que el estudio R&R corto, es menos recomendado, debido a que solo permite evaluar la variabilidad del instrumento de medición y del operador.

Dentro de los métodos utilizados se encuentra el de medias y rangos, para analizar los datos de un estudio R&R largo. Según el autor mencionado la ventaja de este método es su simplicidad (ver Gutiérrez Pulido & de la Vara Salazar, 2004). Otro de los métodos recomendados es el ANOVA (Análisis de varianza) para el análisis de los datos del estudio largo, siendo este más completo, debido que no supone la inexistencia de interacción parte x operador (producto x operador), como lo hace el método basado en medias y rangos, cuando esta interacción está presente los resultados de este último son incorrectos, ya que subestima la verdadera variación de la medición (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).

Para el procesamiento de los datos en este tipo de estudio se recomienda utilizar el software Minitab 15.0.



Validar modelo estadístico

Antes de pasar al análisis de los resultados es necesaria la validación del modelo estadístico definido en el paso anterior. Para validar dicho modelo es necesario el cumplimiento de tres supuestos fundamentales:

- Los errores deben seguir una distribución normal
- Los errores deben ser independientes
- Las varianzas de los tratamientos deben ser iguales

Análisis de los resultados

El análisis de los resultados permite obtener información concreta y de gran utilidad, a partir de la cual se pueden obtener conclusiones del estudio realizado.

Cuando se trata de estudios de repetibilidad y reproducibilidad es interesante analizar la variabilidad existente entre los diferentes operarios y su efecto sobre la variable de respuesta. El uso de gráficos facilita el análisis de la información y la interpretación de los resultados.

Paso 10: 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 los 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 11: Listar las causas del problema

En la etapa anterior queda definido el estado del proceso en cuanto a variabilidad, 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 12: 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.

Etapas IV: Mejorar

Como lo hecho en la etapa previa se está listo para que en ésta se propaguen, 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 13: 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 14: 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 15: 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, es decir, volver a realizar un estudio de repetibilidad y reproducibilidad para las variables críticas de calidad seleccionadas, ya que no es suficiente quedarse con un primer acercamiento. Este tipo de estudio y en general el diseño experimental obedecen 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 16: 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? 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, midiendo cada cierto intervalo de tiempo una o varias magnitudes. Estos tiene 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 y el momento en que se pueda realizar un estudio R&R.

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 17: 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
 - Se requiere el empleo de recursos y técnicas que faciliten la recopilación y el análisis de los datos sobre toda actividad.
- Registro documental del proceso
 - El registro documental está constituido por datos e informaciones sobre el trabajo, de forma descriptiva, estadística y gráfica con el fin de documentar las actividades, así como las conclusiones de la evaluación y las propuestas de recomendación.
- Ejecución del trabajo en equipo

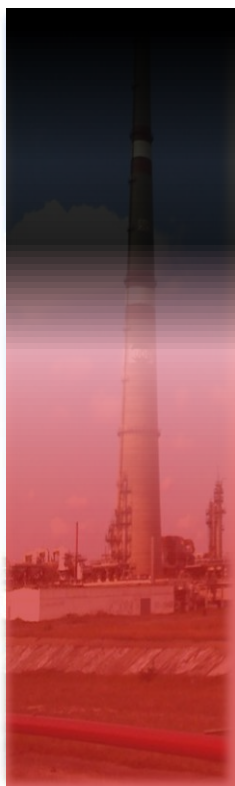
Conclusiones parciales del capítulo

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 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., 2006); (Arias Carrazana, 2007); (Correa & Burgos, 2007); NC ISO 10012: 2007; (Guadalupe Echeverría, 2008); ISO 13053: 2011; (Gibbons



et al., 2012), pero el mismo carece de la integración del diseño experimental, esta inclusión constituye un aporte de la presente investigación.

3. El procedimiento general propuesto por (Hernández Santana, 2012) y (Machado García, 2013) 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, a partir de la evaluación de la calidad del producto final.



CAPITULO III





CAPÍTULO III: APLICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO PARA LA MEJORA DE LA GESTIÓN DE LAS MEDICIONES EN EL PROCESO DE HIDROFINACIÓN DEL DIESEL

En este capítulo se presentan los resultados relacionados con la aplicación del procedimiento para la mejora de la gestión de las mediciones en el proceso de Hidrofinación del Diesel, sobre la base 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.

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) y (Machado García, 2013), así como las transformaciones formuladas en la actual investigación, 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.7**.

A medida que transcurra 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 una evaluación de la eficacia de un sistema de gestión de las mediciones nos 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, entre otras.

Paso 1: Descripción general del problema

La Unidad de Negocio Refinería, 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) 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 sus procesos, además de los resultados obtenidos en investigaciones anteriores (ver Hernández Santana, 2012 y Machado García, 2013).

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) y (Machado García, 2013).

El sistema de gestión de las mediciones incluye todos los procesos donde se realizan mediciones; proceso 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) y (Machado García, 2013).

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.

Dada la importancia de la temática tratada, esta se refleja en la política de la organización, cuando expone “Cumplir los requisitos de calidad de los productos pactados con los cliente”, donde estos son evaluados a partir de las mediciones de cada uno de los parámetros de calidad de los productos; dicha política se muestra en el **Anexo No. 8**.

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 procedimientos, los cuales se nombran a continuación.



- RF-DT-P-13-04 “Procedimiento para el control de los dispositivos de seguimiento y medición”
- RF-DAIT-11-03 “Reparación y calibración de dispositivos de seguimiento y medición”
- RF-DAIT-11-04 “Procedimiento para el cambio de ajustes o parámetros en los sistemas de control”
- RF-DT-IT-13-01 “Instrucción para la inspección interna de la comercialización”

Determinación de los requisitos

Entre los requisitos a cumplir para realizar el trabajo dentro del proceso se encuentran:

- Disponer de la Orden de Trabajo
- Solicitar el Permiso de Trabajo
- Determinar el periodo de verificación según Disposición General DG-01 del 2012
- 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 de 1998
- Realizar el control de calidad a las mediciones en el proceso de medición.

Narración del proceso

(Hernández Santana, 2012) y (Machado García, 2013) 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 del proceso de Mantenimiento, calibración y verificación de los instrumentos de medición en la Unidad de Negocio Refinería de Petróleo, utilizando la técnica SIPOC, se conforma el diagrama de tortuga mostrándose este en el **Anexo No.12**, mientras en el **Anexo No.13** 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) y (Machado García, 2013) realizan un diagnóstico inicial en la actividad de metrología, estructurado en:

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

En la actual investigación se realiza la actualización del diagnóstico, incorporando nuevos elementos según el Manual de Instrucción para la ejecución del diagnóstico metrológico, dado por (Reyes Ponce et al., 2006), el cual se encuentra en vigor en múltiples empresas del país. Los nuevos elementos incluidos son:

- Encuesta a funcionarios y trabajadores en materia de metrología
- Entrevistas a directivos en materia de metrología

Estos tienen como objetivo analizar 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. A continuación se describe 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.14**.

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 Trabajo y Seguridad Social (MTSS), 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
- Registro de no conformidades

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 un equipo de trabajo, donde evalúan el cumplimiento de cada requisito.

En la figura 3.1 se representan los resultados obtenidos.

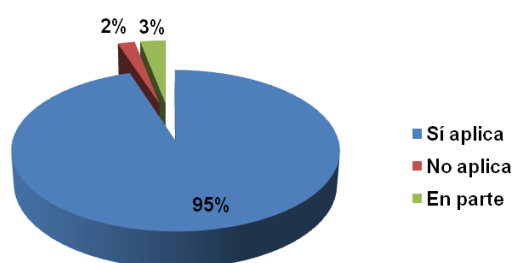


Figura 3.1. Representación del porcentaje de cumplimiento de los requisitos planteados en el cuestionario de la NC ISO 10012: 2007. Fuente: Elaboración propia.

Del análisis de la figura anterior se evidencia que el 3% de los requisitos que se plantean en el cuestionario utilizado están definidos documentalmente en parte, pero existen actuaciones que pretenden resolver dicha situación. Para cada proceso de medición no están identificados los elementos que pueden poner en riesgo el cumplimiento de los requisitos y los límites de control del proceso, lo cual representa el 2%.

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 la calidad de las mediciones.



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 realiza un estudio de las exigencias de medición en todos los procesos, para seleccionar los instrumentos que cumplan con las especificaciones en cuanto a: precisión, rango, valor de división, unidad de medida, así como asegurar que dichas unidades se correspondan con las establecidas en el Sistema Internacional de Unidades (Decreto Ley No. 62 “Sobre la implantación del Sistema Internacional de Unidades,” de diciembre de 1982). De esta forma se garantiza que los instrumentos adquiridos tengan trazabilidad, para lograr el Aseguramiento Metrológico por el Servicio Nacional de Metrología (SENAMET).

Se encuentra definido para cada uno de los instrumentos que integran el proceso de medición, período de calibración y de verificación, el cual se establece por el Decreto Ley No.183 de febrero de 1998 y regulado por la Disposición General DG-01:2012 “Instrumentos de medición sujetos a la verificación obligatoria y a aprobación de modelo según los campos de aplicación donde serán utilizados”. Actualmente se trabaja por un Plan de Calibración y de Verificación con la utilización de un software (MP2), con el sistema de órdenes y permisos de trabajo para extraer del proceso los instrumentos, existe un proceder para los imprevistos de trabajo. Las principales dificultades en estos momentos, que coinciden con las definidas por (Hernández Santana, 2012) y (Machado García, 2013) se centran en:

- 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.
- No se cuenta con la reserva necesaria para reponerlo en caso de que el instrumento termine su vida útil.
- Falta de control en la posición de los instrumentos, faltando chapilla de identificación.
- Falta de trazabilidad en algunos instrumentos por el SENAMET.
- No existencia en determinado momento de materiales de referencias certificados para los ensayos de laboratorio.



- 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.

A partir de los resultados obtenidos se procede a enumerar fortalezas y debilidades del proceso de gestión de las mediciones en la Unidad de Negocio Refinería “Camilo Cienfuegos”, para lo cual se realiza una Lluvia de Ideas (Brainstorming) con el equipo de trabajo.

Los resultados que se obtienen son los siguientes:

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.
- 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 existen laboratorios de calibración en la magnitud electricidad en la empresa y se presentan algunas dificultades con temperatura.
- Insuficientes estudios para conocer la calidad en los resultados de los sistemas de medición.

- Escasas 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.
- En los ensayos no siempre se cuenta con los materiales de referencias certificados (MRC).

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

La calibración y verificación de un instrumento es una condición necesaria para el aseguramiento de la calidad de las mediciones.

Para la satisfacción de las necesidades técnicas es importante considerar la adecuación del funcionamiento y la exactitud de los instrumentos de medición a los requisitos tecnológicos de la empresa, de acuerdo con las exigencias de la puesta en uso y de su utilización (magnitudes influyentes, mantenimiento, alimentación sí es necesario, agresividad del objeto a medir o del medio ambiente, entre otros) (Hernández Santana, 2012) y (Machado García, 2013).

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 las definidas en investigaciones anteriores (Hernández Santana, 2012) y (Machado García, 2013), debido a que las condiciones en la organización no han variado en la temática analizada, estas variables son las siguientes:

- Período de verificación y calibración
- Tiempo de ciclo de salida y reposición del instrumento al proceso
- Calidad en los resultados de los sistemas de medición

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 la tabla 3.1 se ilustra la situación actual de dichas variables.

Tabla 3.1: 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
Período de verificación y	Garantizando que se cumpla este período la	El plan de calibración se cumple al 70 %.



calibración	empresa trabaja con equipos trazables	El plan de verificación se cumple al 86 %. Existe un 2 % de instrumentos sin trazabilidad, que estos no entran dentro del plan.
Tiempo de ciclo de salida y reposición del instrumento al proceso	Asegura una mayor disponibilidad del equipo en el proceso	No se cuenta con reserva de instrumentos para reponer en el momento de la calibración. No se cuenta con laboratorios de calibración en la magnitud de electricidad.
Calidad en los resultados de los sistemas de medición	Funcionamiento correcto de los instrumentos de medición. Su comportamiento en el tiempo. Adecuación de los equipos de medición a las necesidades reales de los procesos de la empresa. Trazabilidad de los instrumentos de medición con los patrones nacionales.	No realizan en todos los sistemas de medición estudios para evaluar la calidad de las mediciones.

Luego de procesar los resultados obtenidos con la aplicación de la técnica mencionada (ver **Anexo No.15**), se propone como variable crítica de calidad a estudiar:

- Calidad en los resultados de los sistemas de medición

Paso 5: Delimitar el problema

Para demostrar la influencia de la calidad en las mediciones, se hace necesario analizarla a través de la calidad del producto, debido a que las mismas se encuentran presentes en todos

los procesos. En la organización objeto de estudio existen diferentes productos que son comercializados, por lo cual el autor de la investigación decide seleccionar uno de ellos para estudiar la calidad en las mediciones, mediante las variables críticas del producto, lo cual se detalla a continuación.

Durante el año 2013 la Refinería de Petróleo cumple al 101,55% el plan de producción general con los rendimientos planificados, como se muestra en la tabla 3.2.

Tabla 3.2: Producción del año 2013 por productos. Fuente: Informe Anual de la Dirección de Movimiento de Crudo y Productos (MCP), 2013

Producto	Plan	Real	% Cumplimiento
Crudo	3,096,466	3,132,157	101.15
GLP	45,761	41,589	90.88
Gasolina motor	448,561	475,126	105,92
Turbocombustible	297,623	320,515	107.69
Diesel	745,021	767,653	103.04
Fuel Oíl	1,424,412	1,368,102	98.5
Total	2,981,270	3,027,458	101.55

Por ser el Diesel el producto de mayor comercialización, su producción constituir un reto para la organización, cumpliendo con los estándares establecidos en las normativas de CUPET. Por tanto, se hace necesario la toma de gran cantidad de mediciones que avale la calidad del producto terminado. Por todo lo expuesto se decide seleccionar el proceso de Hidrofinación del Diesel.

Este producto sale de la planta con un 0.8% de azufre, por lo cual es necesario que se le reduzca esta cantidad a 0,5% según especificaciones de CUPET. Para ello se realiza el tratamiento con hidrógeno a una parte del mismo hasta lograr un diesel con un 0.2%. Luego se mezcla con el de salida de planta para obtener el producto con 0,5% de azufre (especificación de comercialización en el catálogo de CUPET), para ser enviado a tanque como producto terminado.

Por tanto, es a través de la calidad del Diesel que se analizará la calidad del sistema de medición, por lo cual se hace necesario el análisis de dicho proceso.



Análisis del proceso M5.3.13 Hidrofinación del Diesel

El proceso Hidrofinación del Diesel (M5.3.13) se encuentra compuesto por un grupo de operaciones, las cuales son descritas en el **Anexo No.16**.

Para un mejor análisis del proceso en estudio se muestra en el **Anexo No.17** el diagrama de flujo, especificando cada una de las operaciones que ocurren y su secuencia, así como el esquema de la planta hidrofinadora de diesel a través del software Exaquantum en el **Anexo No.18**, mientras en el almacenamiento se utiliza el software Tankvision.

En el **Anexo No.19** se muestra el mapa del proceso M5.3.13 utilizando la técnica SIPOC, mientras en el **Anexo No.20** se halla la ficha correspondiente al proceso analizado.

Las especificaciones de este producto, por las cuales el cliente emite su conformidad, son exigidas por el Catálogo de CUPET sobre especificaciones de productos, Rama combustible, las mismas se detallan en el **Anexo No.21**, entre las que se encuentran: color, viscosidad, punto de inflamación, agua y sedimentos, destilación entre otras.

En los procedimientos RF-DO-GCA-13-03 “Gráfico de Control Analítico S-300-1” y RF- DMCP-M-21- 47 “Manual de operaciones del Sector MCP”, se reflejan las especificaciones que dependen del tratamiento que se le realiza al producto analizado en la Planta Hidrofinadora y en tanques de almacenamiento de producto terminado, estas se encuentran en el **Anexo No.22**, siendo estas variables críticas en la calidad de dicho producto, constituyendo un elemento esencial los resultados de las mediciones tomadas a lo largo del proceso y en el producto final.

En el desarrollo de la investigación se decide seleccionar las variables en las cuales tengan mayor repercusión los requisitos exigidos por los clientes así como en las especificaciones del producto, para lo cual se decide desarrollar el Método Delphi, es válido señalar que para medir la calidad de dicho producto se evalúan 16 características.

A fin de conocer las variables objeto de estudio, se seleccionan 13 expertos (ver **AnexoNo.23**), entre los cuales se encuentran especialistas de la planta hidrofinadora de diesel, de la Dirección Técnica y MCP. Es significativo destacar que el promedio de años de experiencia en la actividad es de 28.

Para la descripción de la competencia de los expertos, se combina la autovaloración y la evaluación de la competencia (**Anexo No.24**). En el perfil de competencia de los expertos, como puede observarse no hay expertos de perfil de competencia bajo, mayoritariamente se encuentran entre medio (8) y alto (5), (**Anexo No.25**).

Se utiliza el paquete estadístico SPSS versión 21.0 para verificar si el juicio de los expertos es consistente o no, cuyos resultados se muestran en el **Anexo No.26**. El coeficiente de Kendall tiene un valor de 0,906 aproximado a 1, y la significación asintótica (0.0) es menor que el nivel de confianza (0.05), además se utiliza la prueba de hipótesis λ^2 , en la cual se cumple la región crítica. Por tanto se concluye que el juicio de los expertos es consistente.

Finalmente se selecciona para el estudio el azufre y densidad. Unido al criterio dado por los expertos se añade que el objetivo fundamental de la hidrofinación del diesel es la reducción de azufre al 0,2% de dicho producto.

Según el “Catálogo de especificaciones de productos. Rama combustible” de CUPET (DT-GC/C 0702) establece que el porcentaje de azufre que debe tener el diesel para estar dentro de las especificaciones requeridas por el cliente es de 0.5% masa-masa, pero el diesel que se obtiene en la planta de destilación de crudo tiene 0.8% por lo que es necesario el tratamiento con hidrógeno para lograr una disminución de la concentración hasta un 0.2%, para ser mezclado y obtener 0.5%. Este es uno de los parámetros más importante a tener en cuenta en la hidrofinación de diesel.

De igual forma se establece que la densidad del diesel especial tiene que estar entre 0.815 - 0.865 g/m³. Para realizar este ensayo la norma ASTM-D-1298-4052 establece que se realice a 15°C. Esta es una de las características del diesel más importante, sobre todo para los clientes debido a que por ella se conoce el aprovechamiento dentro de los motores.

El producto sale de la hidrofinadora con un contenido de azufre de 0.2%, este se mezcla en línea con el que se obtiene de la planta de destilación fraccionada, que sale a 0.8%. Esto se realiza ante de la llegada a tanque terminado, para que el llenado del mismo sea con diesel 0,5%. La especificación a cumplir es de un diesel a 0,5% el cual es en tanque terminado, siendo esta una de las especificaciones para su comercialización. La mezcla del producto se puede hacer en línea o de un tanque intermedio que tenga diesel con 0.2% de azufre (pocas veces sucede de esta última forma).

Ya definida las variables críticas de calidad a estudiar dentro del proceso descrito anteriormente, es importante delimitar los subprocesos que deben ser analizados. Para ello el equipo de trabajo se debe preguntar qué tanto cada subproceso contribuye a las variables seleccionadas desde el punto de vista de las mediciones realizadas a lo largo del proceso. Por ello el estudio se orienta hacia estos subprocesos.

Paso 6: Definición del problema

Se tiene el Diesel, al cual se le realizan un grupo de ensayos para determinar los parámetros a cumplir según las exigencias de las normas y los clientes, para esto intervienen un grupo de instrumentos y procedimientos de trabajo, los cuales repercuten en la calidad final del producto, traduciéndose esta en variables o parámetros de calidad, siendo las de mayor peso para la investigación en curso el azufre y densidad, constituyendo estos algunos de los parámetros que debe cumplir con más rigor dicho producto. En la planta y en los tanques se opera con equipos que tienen trazabilidad y que cumplen con la confirmación metrológica, los cuales son intrínsecamente seguros según lo exige el proceso. Pero al existir diversos análisis e instrumentos e intervenir cierto número de personas se corre el riesgo que se obtengan mediciones erradas, lo cual conlleva a pérdidas económicas, debido a que se tiene que reprocesar el producto, denotándose la necesidad de evaluar la calidad de las mediciones.

Etapas II: Medir

En esta etapa se realiza la medición de las variables críticas de calidad definidas en la etapa anterior, con el objetivo de realizar un estudio R&R.

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 así como ensayos de laboratorio, los cuales responden a diferentes magnitudes tanto físicas como químicas, mostrándose estos en los **Anexo No.27 y 28** respectivamente.

Con respecto a los instrumentos que se encuentran ubicados en la planta, son resultados de un estudio HAZOP (*Hazardous Operation*). Es válido destacar que todos los instrumentos que intervienen en el proceso tienen aseguramiento metrológico en Cuba. En cuanto al almacenamiento se encuentra instalado un sistema de medición de nivel (radar) los cuales no intervienen en transferencia fiscal, pero son útiles para el control operacional de los niveles del producto en los tanques, mediante esto se conoce la disponibilidad en cada uno de ellos.

Por ser estas variables de tipo físico – químico, son fácilmente medibles, por tanto el equipo de trabajo debe revisar con detalle la forma en que se miden estas variables, asegurando que las mismas se hagan de forma consistente, ya que a través de estas se mide el impacto de la mejora.

En el **Anexo No.29** se describe la forma en que se realizan las mediciones en la operación seleccionada para el estudio en el proceso de Hidrofinación del Diesel.

En el **Anexo No.30**, se muestra un informe de ensayo del TK-1060 correspondiente a febrero de 2014, en el cual se reportan las especificaciones de calidad del Diesel dadas por el

laboratorio, donde queda explícito el número del registro, el método utilizado para el ensayo, resultado obtenido por cada uno, especificación según norma y la incertidumbre del método.

Paso 8: Diseño experimental

Al realizarse los ensayos seleccionados en el laboratorio químico, existen fuentes importantes de variación, como son: el método y habilidad de los operarios, el equipo utilizado, el medio ambiente dentro del laboratorio, el material a analizar y las mediciones. De las mencionadas se elige la habilidad del operario, ya que es la fuente de mayor peso de acuerdo a estudios previos realizados por la empresa (Hernández Santana, 2012) y (Machado García, 2013). Se quiere entonces determinar el efecto de esta variable sobre los resultados de las mediciones de los ensayos, cuando se mantienen controladas las demás fuentes, de este modo no sólo es conocida la variabilidad en los resultados de las mediciones, sino también la confiabilidad en ellas.

Las variables de interés en el estudio es la habilidad del operario, la densidad y % de azufre del Diesel, donde la primera es una variable independiente, controlable y cualitativa, y tiene cuatro niveles: A, B, C y D. El resto de las variables de respuesta, son cuantitativas y continuas.

Determinar el modelo estadístico

Con el fin de identificar el modelo que mejor ajuste a las necesidades experimentales, siendo para este caso la variación en las mediciones debido a la repetibilidad y reproducibilidad de la medida, se establece según la información primaria y secundaria recolectada que bajo un ambiente de condiciones controladas, se tiene sólo una variable controlable o factor a considerar.

Por tanto se decide seleccionar el modelo unifactorial, el cual se caracteriza por la presencia de una variable controlable en el experimento y la ausencia de manipulación de variables incontrolables en la toma de datos. El modelo unifactorial de efectos aleatorios desarrollado para los ensayos seleccionados en el laboratorio químico, considera el factor controlable habilidad del operario y como variable de respuesta % de azufre y densidad del Diesel. Este modelo puede ser representado mediante la siguiente expresión:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij} \quad \text{Donde } i = 1, 2, \dots, a \text{ y } j = 1, 2, \dots, n$$

Donde:

Y_{ij} : Representa la j-ésima réplica correspondiente al i-ésimo nivel de la variable controlable habilidad del operario.

μ : Es la media del % de azufre y densidad general de la población.

τ_i : Es el efecto del i-ésimo nivel del factor controlable habilidad del operario sobre las variables de respuesta % de azufre y densidad.

ε_{ij} : Es el error experimental en los datos.

Determinar tamaño muestral

- Determinar la probabilidad de error tipo I y tipo II

Se define una confiabilidad del 95% para el estudio, es decir, $\alpha = 0.05$ y una potencia del 90%, es decir, $\beta = 0.1$.

- Determinar la componente de varianza y desviación estándar de los tratamientos

La variabilidad que es importante detectar entre tratamientos se considera igual a la variabilidad dentro de cada tratamiento para efectos de este estudio. Esta se obtiene a partir del error admitido (e.m.p) para cada uno de los ensayos, la cual es de $\pm 0,0027\%$.

- Determinar el parámetro λ

La expresión utilizada para hallar el parámetro λ es la siguiente (Montgomery, 1991):

$$\lambda = \sqrt{1 + \frac{n\sigma^2_{\tau}}{\sigma^2}} = 2.65$$

- Utilizar la curva característica de operación (ver Montgomery, 1991)

Se utilizan las curvas características (Montgomery, 1991) y se identifica β con los datos recopilados, se obtiene que el β de la tabla es 0.20, esto quiere decir que para obtener una potencia del 95%, 6 réplicas son insuficientes, y es necesario aumentar el tamaño muestral inicialmente propuesto para alcanzar la potencia deseada. Ver tabla 3.3

Tabla 3.3. Cálculo del tamaño muestral según la potencia requerida. Fuente: Elaboración propia

N_0	λ	β	$(1-\beta)$
6	2.65	0.20	0.80
7	2.83	0.16	0.84
8	3	0.08	0.92



Aunque el número mínimo de mediciones para garantizar las condiciones del estudio es ocho, se decide por parte del equipo de trabajo realizar un total de dos réplicas más por analista, para obtener mejores resultados.

Realizar el estudio de repetibilidad y reproducibilidad

Los estudios R&R evalúan de forma experimental qué parte de la variabilidad total observada es atribuible al error de medición y cuantifica si este error es aceptable comparando con la variabilidad del producto. Las fuentes de variabilidad que se pueden evaluar en este tipo de estudio son: variabilidad del producto, del instrumento y los operadores.

En el proceso de investigación se decide utilizar el método ANOVA, por las ventajas que posee el mismo, las cuales son explicadas en el capítulo II del presente estudio, utilizando para el procesamiento de los datos el software Minitab 15, además (Hernández Santana 2012) y (Machado García, 2013) lo emplean en sus investigaciones.

Como se expone en el paso 4, se toma para realizar dicho estudio las variables azufre, y densidad, por ser estas las de mayor influencia en la comercialización del producto, así como en las exigencias del cliente.

Es válido aclarar que estos dos ensayos se realizan en planta y tanque terminado. A continuación se muestra el estudio R&R en tanque terminado para el azufre, el resto de los análisis se encuentran en el **Anexo No.31**

Estudio de repetibilidad y reproducibilidad para el azufre en tanque terminado (TK 1060)

El objetivo que se pretende con la realización de este estudio basado en el diseño experimental es precisamente la posibilidad de repetir un resultado bajo condiciones constantes y reproducirlo variando condiciones preestablecidas. Para lograr esto es necesario crear un panorama de condiciones controladas antes y durante su ejecución.

Para comenzar el estudio se sigue la secuencia descrita en el procedimiento RF-DT-P-13-08 “Estudios de repetibilidad y reproducibilidad en los sistemas de medición” algunos de ellos se describen a continuación:

- Se selecciona al azar un operario para tomar la muestra en el TK 1060.
- Se toman diez muestras al azar siguiendo el proceder de la NC ASTM D 4057: 2009.
- Se trasladan las mismas hacia el laboratorio, al llegar se registran en el libro de recepción de muestras y se etiquetan según el procedimiento RF-DT-IT-16-04 “Instrucción para la manipulación de los objetos de ensayos e informe de resultados”.

- Se seleccionan cuatro analistas de forma aleatoria, que se encuentren aptos para realizar los análisis.
- Se aleatoriza el orden de las muestras y los analistas, asegurando que el resultado del ensayo no sea conocido entre ellos.
- Los mismos miden el % de azufre dos veces por cada muestra, cumpliendo con el procedimiento expuesto en la ASTM D-4294.

En este caso son 80 observaciones (4 analistas x 20 réplicas). En la tabla 3.4 se muestra el resultado de los cuatro analistas evaluados, denominados con la simbología A, B, C y D, con dos repeticiones cada uno, y cada uno de ellos tiene diez medidas alternadas.

Tabla 3.4: Resultados del ensayo azufre. Fuente: Elaboración propia

OPERARIO	MUESTRA	Analista									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	1	0,465	0,463	0,464	0,466	0,466	0,463	0,465	0,464	0,463	0,465
A	2	0,465	0,464	0,464	0,466	0,466	0,463	0,464	0,464	0,463	0,465
B	1	0,467	0,471	0,468	0,466	0,468	0,468	0,469	0,467	0,47	0,471
B	2	0,467	0,471	0,468	0,467	0,466	0,468	0,47	0,469	0,47	0,471
C	1	0,465	0,463	0,464	0,465	0,466	0,466	0,466	0,465	0,463	0,466
C	2	0,465	0,463	0,465	0,465	0,466	0,466	0,466	0,465	0,463	0,466
D	1	0,463	0,464	0,466	0,465	0,465	0,466	0,466	0,465	0,463	0,466
D	2	0,464	0,464	0,466	0,465	0,465	0,466	0,466	0,464	0,463	0,466

Validar modelo estadístico

En este paso se describe la forma de validar el modelo estadístico estableciendo el cumplimiento de tres supuestos fundamentales (Gutiérrez Pulido & de la Vara Salazar, 2008):

- Los errores deben tener una distribución normal
- Los errores deben ser independientes
- Las varianzas de los tratamientos deben ser iguales

Esta actividad de validación debe hacerse siempre como un paso previo al análisis de resultados.

El primer supuesto considerado es el de normalidad, el cual se analiza a partir del sesgo y la curtosis estandarizada, oscilando estos entre -2 y 2 para que los residuos sigan distribución

normal, cumpliéndose este supuesto para los datos analizados (ver **Anexo No.32**). (Correa & Burgos, 2007) plantea que este supuesto siempre se cumple para ensayos de laboratorio.

El segundo supuesto considerado es la independencia de los errores. A continuación se presenta el gráfico de los residuales obtenidos con el programa estadístico Statgraphics Centurión.

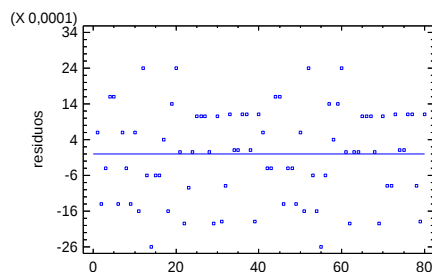


Figura 3.2. Gráfica de residuales vs observaciones para el estudio. Fuente: Salida del software Statgraphics Centurión.

En la figura anterior se observa una nube de puntos que no tienen una tendencia definida, los residuos se encuentran distribuidos en forma aleatoria, esto indica independencia de los residuos y por tanto independencia en las observaciones.

El tercer supuesto es el de igualdad de varianza. A continuación se muestra el dato arrojado por el Statgraphics para la prueba de Bartlett.

Tabla 3.5: Verificación de Varianza. Fuente: Salida del Software Statgraphics Centurión

Prueba	Bartlett test	Valor-P
de Bartlett	1,07628	0,140636

Con esta prueba se busca comprobar la siguiente hipótesis:

$$H_0: \sigma_1 = \sigma_2 = \dots = \sigma_4$$

$$H_1: \text{algún } \sigma_i \dots \neq \sigma_j \quad \text{con } i, j = 1, 2, \dots, 4$$

El estadístico mostrado en esta tabla evalúa la hipótesis de que la desviación estándar del % de Azufre medido dentro de cada uno de los 4 niveles (analistas) es la misma. Puesto que el valor-P es mayor que 0,05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las

desviaciones estándar, con un nivel del 95,0% de confianza. Por lo tanto si $0,05 < 0,14$, entonces se acepta la hipótesis nula, es decir, se cumple el supuesto de igualdad de varianza.

Análisis de los resultados

La tabla de análisis de varianza y el planteamiento de pruebas de hipótesis actúan como una buena herramienta para la toma de decisiones acerca de la significancia del efecto del factor (destreza de los analistas) sobre la variable respuesta.

La prueba de hipótesis planteada dentro del estudio es:

H_0 : No hay diferencias significativas en la variabilidad existente entre los analistas

H_1 : Hay diferencias significativas en la variabilidad existente entre los analistas

La tabla 3.6 muestra los resultados obtenidos del análisis de varianza mediante el Statgraphics para el modelo unifactorial de efectos aleatorios. De la tabla anterior, se evidencia que es notable la elevada variabilidad entre tratamientos. Una variabilidad tan grande se puede deber a diferencias en el desempeño de cada uno de los operarios, causadas posiblemente por la falta de un programa de capacitación adecuado, una supervisión ineficiente del proceso de medición, entre otras.

Tabla 3.6: ANOVA para el % de Azufre medido en tanque terminado por los analistas.

Fuente: Salida del Software Statgraphics Centurión

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0,000226037	3	0,0000753458	45,32	0,0000
Intra grupos	0,00012635	76	0,0000016625		
Total (Corr.)	0,000352387	79			

Puesto que el valor-P es menor que 0,05, existe una diferencia significativa en la variabilidad de las mediciones entre los analistas, con un nivel del 95,0% de confianza. Por lo tanto si $0,00 < 0,05$, entonces se rechaza la hipótesis nula.

El uso de gráficos facilita el análisis de la información y la interpretación de los resultados. El diagrama de caja y bigote describe al mismo tiempo varias características importantes de un conjunto de datos, tales como el centro, la dispersión, la desviación de la simetría y la identificación de observaciones que se alejan de manera poco usual del resto de los datos. Los diagramas de caja y bigotes son muy útiles para hacer comparaciones gráficas entre niveles del factor por ejemplo, ya que tienen gran impacto visual y son fáciles de comprender (ver figura 3.3).

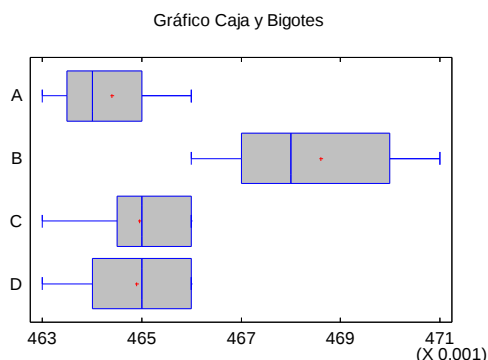


Figura 3.3: Diagrama caja y bigote comparativo. Fuente: Salida del software Statgraphics Centurión

Este diagrama revela que existe mucha variabilidad en el analista B, ya que tanto la longitud de la caja como la del bigote es muy amplia, además la distribución del % de azufre es poco simétrica con respecto al valor central debido a que la longitud de ambos rectángulos alrededor de la mediana es muy diferente, así como un alejamiento del % de azufre promedio en relación con los demás analistas. Del analista A se observa que la distribución del % de azufre es poco simétrica con respecto al valor central, así como un pequeño alejamiento del promedio de las mediciones con respecto a C y D.

Luego los datos obtenidos del estudio son procesados con el software Minitab 15, para de esta forma conocer la variabilidad del sistema de medición. Los resultados son:

Tabla 3.7: R&R del sistema de medición. Fuente: Elaboración propia

Fuente	VarComp	%Contribución (de VarComp)	Desv.Est (DE)	Var. de estudio (6 * SD)	%Var. de estudio (%S V)
R&R del sistema de medición total	0,0000053	99,55	0,0023076	0,0138456	99,77
Repetibilidad.	0,0000002	3,51	0,0004330	0,0025981	18,72
Reproducibilidad	0,0000051	96,04	0,0022666	0,0135996	98,00
Analistas.	0,0000036	67,39	0,0018986	0,0113915	82,09
Analistas*Muestras	0,0000036	8,66	0,0012381	0,0074285	53,53
Parte a parte.	0,0000000	0,45	0,0001552	0,0009309	6,71

Variación total	0,0000053	100,00	0,0023128	0,0138768	100,00
Número de categorías distintas = 1					

En este tipo de estudio debe asegurarse que el porcentaje de variación total debido a R&R sea relativamente pequeño. En este caso, el valor es igual a 99,77%, por tanto el sistema de medición es considerado no aceptable.

El número de categorías distintas (nc) que pueden ser distinguidas confiablemente por el sistema de medición analizado en este estudio es igual a 1. Normalmente, este número debe ser, al menos 5 (Gutiérrez Pulido & de la Vara Salazar, 2004).

De la varianza total, 98 % es debida a diferencias entre analistas (reproducibilidad) en tanto que 18,72% es debida al instrumento (repetibilidad), lo que se corrobora siguiente figura.

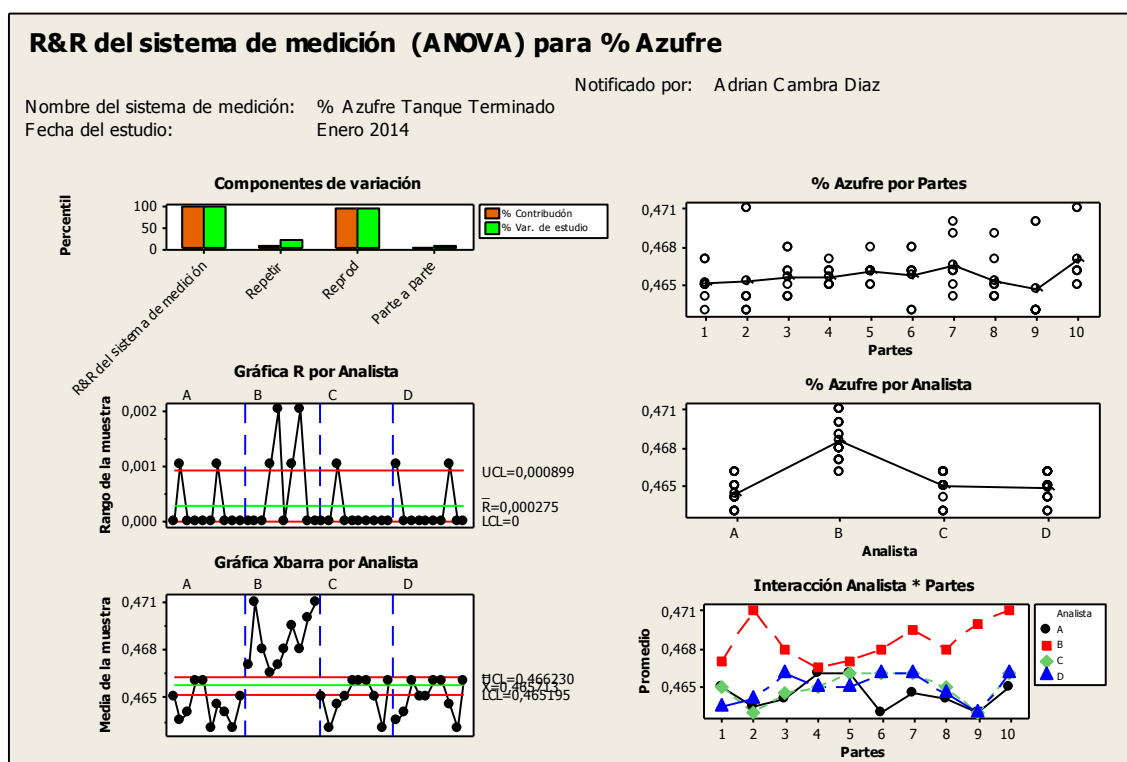


Figura 3.4. R&R del sistema de medición (ANOVA) para el azufre. Fuente: Salida del Software Minitab 15

De la figura anterior se aprecia el análisis gráfico que entrega el Minitab 15 del estudio realizado, la misma se encuentra compuesta por seis gráficos, donde se puede resumir lo siguiente:

En el gráfico X-barra se observa que parte de los puntos están situados fuera de los límites de control y una parte dentro de los mismos, lo cual refuerza la idea de que existe variación en el



sistema de medición. En el diagrama de barras se observa que prácticamente toda la variación se encuentra en la columna de reproducibilidad. En cuanto al gráfico Mediciones por analista se puede decir que existen diferencias en las mediciones realizadas por los analistas B y A, lo que se evidencia en la desviación de la línea horizontal, esto corrobora el análisis realizado anteriormente.

Con respecto al gráfico Interacción Analista * Muestras se observa cierta variabilidad en la medida del analista B con respecto al resto. Se puede decir que entre el analista C y D hay similitud en sus mediciones. Este gráfico nos demuestra que existen diferencias en los resultados del ensayo (azufre), posiblemente el método de medición no sea el adecuado, por tanto se deben corregir las desviaciones para realizar otro estudio.

Se concluye que el factor analista con un nivel de confianza del 95% afecta la variabilidad en la medición del % de azufre del diesel producido, sin embargo no ocurre lo mismo en el caso del ensayo densidad. Por lo tanto se deben tomar acciones con el % de azufre para su mejoramiento.

Estudio de las mediciones por magnitudes durante el proceso de Hidrofinación del Diesel y análisis de la calidad del producto

En el proceso mencionado existen un grupo de instrumentos los cuales regulan los diferentes parámetros de las magnitudes que intervienen en el proceso (ver Anexo No.25), así como los relacionados con los ensayos químicos (ver Anexo No.26), estando todas las variables totalmente aceptadas.

En la Unidad de Negocio Refinería de Cienfuegos, se elabora anualmente el plan de calibración y verificación de los instrumentos existentes en la organización. A continuación se describe el proceder de la calibración y verificación según el tipo de instrumento.

Con respecto a los instrumentos que no responden a metrología legal (instrumentos industriales) reciben el servicio de reparación y calibración por el laboratorio de la empresa. El laboratorio cuenta con instrucciones y procedimientos donde se describe el proceder de los servicios que presta, los relacionados con los instrumentos del proceso objeto de análisis son:

- RF-DAIT-IT-11-01: Instrucción para la comprobación de transmisores de presión diferencial.
- RF-DAIT-IT-11-08: Instrucción para la calibración de manómetros y manovacuómetros, de deformación elástica, indicadores de trabajo.
- RF-DAIT- IT-11-02: Instrucción para el mantenimiento y reparación de los manómetros.



- RF-DAIT-I-11-05: Instrucción para el mantenimiento de transmisores e indicadores de nivel.
- RF-DAIT-P-11-03: Procedimiento para la reparación y calibración de dispositivos de seguimiento, medición y control.
- RF-DAIT-IT-11-52 Instrucción para la utilización en la calibración de temperatura del baño líquido modelo 915.
- RF-DAIT-IT-11-57 Instrucción para la inspección y mantenimiento de Termostatos.

Al término del servicio el laboratorio emite un certificado de calibración, en el cual se reflejan los siguientes datos:

- Denominación del instrumento
- Posición
- Número de serie
- Rango de medición
- Documento utilizado
- Método de calibración
- Patrones utilizados
- Resultados del reporte de calibración

Además se le coloca al instrumento un sello en el cual se indica la fecha de la calibración y la persona que brinda el servicio.

Cabe señalar que los equipos de medición de los ensayos del laboratorio químico además de recibir el servicio de calibración, que puede ser en este caso interna o externa (que la empresa contrata), también reciben el servicio de verificación, este es contratado a la Oficina Nacional de Normalización (ONN) o al Instituto Nacional de Investigaciones de Metrología (INIMET), debido a que son instrumentos que interviene en la determinación de la calidad de los análisis de un producto (metrología legal).

En la actualidad todos los instrumentos que intervienen en el proceso y en los análisis químicos se encuentran calibrados y/o verificados, seguidamente se muestra la relación de los diferentes instrumentos con sus fechas de calibración y/o verificación en el presente año (2014) según plan (ver **Anexo No.33**).

Como se puede apreciar hasta la fecha todos los equipos han sido calibrado y/o verificados, estando cumplido al 100%.

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

Tomando en cuenta la situación para las variables críticas de calidad, se plantea como meta reducir el porcentaje de variación total debido a R&R al ensayos % de azufre, tanto en planta como en tanque terminado a menos del 30 %, así como aumentar el número de categorías distintas (nc) a más de 4.

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 variación del sistema de medición en los ensayos % de azufre y densidad del Diesel en el laboratorio central de la Unidad de Negocios Refinería Cienfuegos. El diagrama de causa y efecto, que se muestran en el **Anexo No.34**, es construido en una sesión de tormenta de ideas de conjunto con el equipo de trabajo.

Planteamiento de las hipótesis y verificación de las causas más probables: El equipo de trabajo revisa las causas posibles y seleccionan las más probables mediante una votación basada en la experiencia. Estas causas se enumeran en la tabla 3.8.

Tabla 3.8: Verificación de las causas probables (raíces). Fuente: Elaboración propia

Causa probables (hipótesis)	Verificación de la causa	Oportunidad de mejora
Falta de capacitación	Revisión de la determinación de las necesidades de capacitación (DNC) de los analistas y mediante entrevistas personales.	Gestionar la capacitación adecuada a las características del puesto analizado y actualización de la tecnología utilizada.
Experiencia	Mediante los años de trabajo de los analistas en la actividad.	No es necesario realizar mejoras



Calibración	Mediante la revisión del plan de calibración, así como la presencia del certificado que acredite que el equipo se encuentre apto para el uso.	Gestionar la calibración de los equipos según plan
Falta de certificación de los materiales de referencia	A través de la revisión de los certificados de calidad de los materiales de referencia utilizados en el ensayo.	Adquirir los materiales de referencia certificados
Mal uso de materiales consumibles	Observación de las operaciones durante el ensayo.	No utilizar materiales consumibles usados en otros ensayos
Aplicación de herramientas estadísticas	Mediante la utilización de cartas de control.	Actualizar los datos en la web del laboratorio
Monitoreo y registro de las condiciones ambientales	Supervisión del cumplimiento del procedimiento: RF-DT-IT-16-07-03 "Control y registro de las condiciones ambientales".	No es necesario realizar mejoras
Muestreo	Mediante la supervisión del cumplimiento de la NC ASTM D 4057:2009.	Gestionar recipientes idóneos para las muestras
Errores de la medición	Realizando una repetibilidad del ensayo a través del control de calidad.	Realizar estudios R&R e Intercalibraciones con otros laboratorios
Cálculo de la incertidumbre	Mediante la supervisión del cumplimiento de la instrucción RF-DT-IT-16-07 "Instrucción para la evaluación y expresión de la incertidumbre del resultado de la medición".	No es necesario realizar mejoras

Métodos de Ensayos	Realizar la supervisión del cumplimiento de los requisitos exigidos por las ASTM D 4057:2009 y ASTM 4294	Exigir el cumplimiento de los requisitos de la ASTM D 4057:2009 y ASTM 4294
--------------------	--	---

Etapas 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

A partir de los resultados obtenidos, se generan un grupo de soluciones para las causas raíces detectadas u oportunidades de mejora, las cuales se mencionaron en el paso anterior.

A estas propuestas se aplica la Matriz UTI para definir las prioridades de mejora. Los resultados de la aplicación de esta herramienta, se muestran en el **Anexo No.35** (en la tabla se presentan los resultados obtenidos, ordenados de modo descendente).

Usando esta herramienta para cada una de las oportunidades se evalúan los siguientes criterios en una escala del 1 al 10:

Urgencia: Tiempo disponible frente al necesario para realizar una actividad.

Tendencia: Consecuencias de tomar la acción sobre la situación.

Impacto: Incidencia de la acción o actividad que se está analizando en los resultados de la gestión, en determinada área, producto o servicio.

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

- Gestionar la capacitación adecuada a las características del puesto analizado
- Adquirir los materiales de referencia certificados
- Exigir el cumplimiento de los requisitos de las ASTM D 4057:2009 y ASTM 4294

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 5W y 2H (qué, quién, cómo, por qué, dónde, cuándo y cuánto). Dicho plan se encuentra en el **Anexo No.36**, 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.

Orientado a la revisión de las medidas propuestas se diseña un plan de control, que se auxilia de un conjunto de indicadores, (para medir el grado de cumplimiento de lo orientado) y recoge la frecuencia para determinarlos (ver **Anexo No.37**). Los indicadores mencionados en su mayoría están basados en medidas porcentuales y están vinculados a alguna acción específica, (ver **Anexo No.38**), según previo análisis en sesión de trabajo entre los integrantes del equipo.

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, es decir, volver a realizar un estudio repetibilidad y reproducibilidad para el % de azufre, tanto en planta como en tanque terminado.

Luego de implementada las mejoras, se espera un período de tres meses para realizar el cálculo de los indicadores del plan de control (ver **Anexo No.39**), para nuevamente ejecutar el estudio de repetibilidad y reproducibilidad para la variable crítica % de azufre.

Para comenzar el estudio se siguen los pasos declarados en la etapa II de la presente investigación, solo que se seleccionan los mismos cuatro analistas. Las condiciones en que es realizado este segundo estudio son iguales al anterior.

A continuación se muestra el estudio realizado en el ensayo % de azufre en tanque terminado, el resto de los análisis se desarrollan en el **Anexo No.40**

En la tabla 3.9 se muestra el resultado de los cuatro analistas evaluados, denominados con la simbología A, B, C y D, con dos repeticiones cada uno, y cada uno de ellos tiene diez medidas alternadas.

Tabla 3.9: Resultados del ensayo % de azufre en tanque terminado luego de implementadas las mejoras. Fuente: Elaboración propia

OPERARIO	MUESTRA	Analistas									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	1	0,466	0,46	0,461	0,466	0,47	0,464	0,469	0,478	0,472	0,462
A	2	0,466	0,46	0,461	0,466	0,47	0,464	0,469	0,478	0,472	0,461
B	1	0,466	0,461	0,461	0,466	0,47	0,464	0,468	0,478	0,472	0,462
B	2	0,466	0,46	0,461	0,466	0,47	0,464	0,469	0,477	0,473	0,462
C	1	0,465	0,461	0,46	0,465	0,471	0,464	0,469	0,477	0,472	0,462

C	2	0,465	0,46	0,46	0,465	0,471	0,464	0,469	0,478	0,472	0,461
D	1	0,465	0,46	0,46	0,465	0,47	0,465	0,468	0,478	0,472	0,462
D	2	0,466	0,46	0,46	0,465	0,47	0,465	0,468	0,478	0,472	0,462

Después de recolectar los datos de este segundo estudio, se validan los supuestos del modelo. Para la validación del modelo, se procede de igual forma que en el primer estudio y los tres supuestos (normalidad, independencia de los errores y homogeneidad en varianza) también se cumplen para este nuevo estudio (ver **Anexo No.41**).

Se realiza nuevamente el análisis de varianza y el planteamiento de la prueba de hipótesis. Como resultado se obtiene que el valor-P es mayor que 0,05, lo cual indica que no existe una diferencia significativa en la variabilidad de las mediciones entre los analistas, con un nivel del 95,0% de confianza. Por lo tanto si $0,05 < 0,9983$, entonces se acepta la hipótesis nula (ver **Anexo No.42**).

Para analizar los resultados del estudio R&R se procesan los datos con el software Minitab 15, obteniendo lo siguiente.

Tabla 3.11: R&R del sistema de medición. Fuente: Elaboración propia

Fuente	VarComp	%Contribución (de VarComp)	Desv.Est (DE)	Var. de estudio (6 * SD)	%Var. de estudio (%SV)
R&R del sistema de medición total	0,0000003	0,80	0,0005023	0,0030139	8,96
Repetibilidad	0,0000001	0,36	0,0003354	0,0020125	5,98
Reproducibilidad	0,0000001	0,44	0,0003739	0,0022435	6,67
Analistas	0,0000000	0,00	0,0000000	0,0000000	0,00
Analistas*Muestras	0,0000001	0,44	0,0003739	0,0022435	6,67
Parte a parte	0,0000312	99,20	0,0055830	0,0334980	99,60
Variación total	0,0000314	100,00	0,0056056	0,0336333	100,00
Número de categorías distintas = 15					

En este tipo de estudio el porcentaje de variación total debido a R&R debe ser relativamente pequeño. En este caso, el valor es igual a 8,96%, por tanto el sistema de medición es considerado aceptable.

El número de categorías distintas (nc) que pueden ser distinguidas confiablemente por el sistema de medición analizado en este estudio, es igual a 15.

De la varianza total, 6,67% es debida a diferencias entre analistas (reproducibilidad) en tanto que 5,98% es debida al instrumento (repetibilidad), se corrobora de forma gráfica en la figura siguiente.

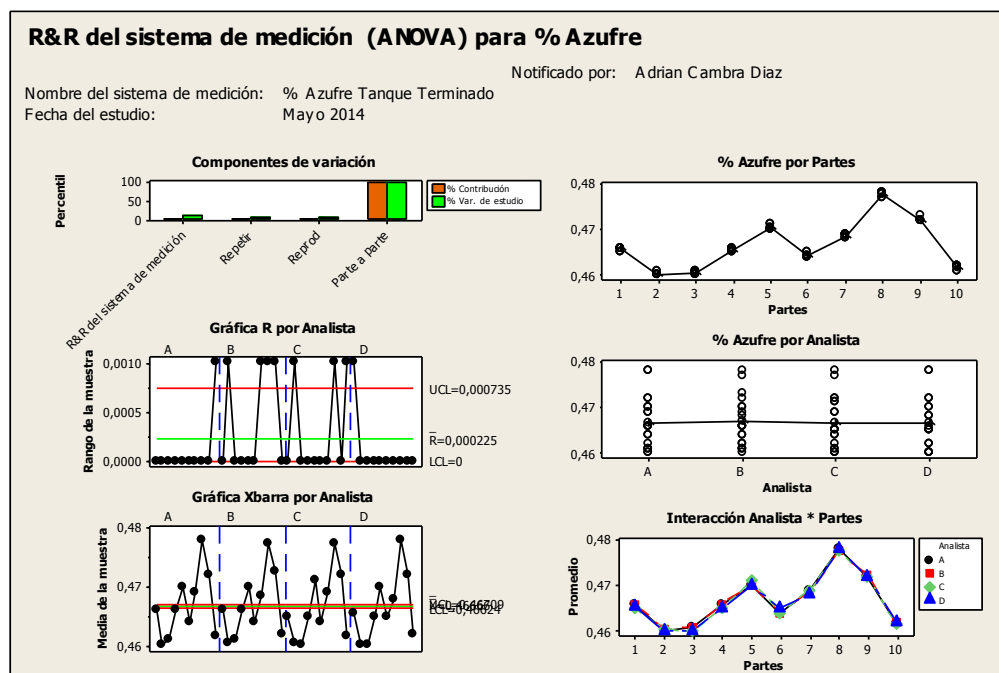


Figura 3.5. R&R del sistema de medición (ANOVA) para el % de azufre en tanque terminado luego de implementar las mejoras. Fuente: Salida del Software Minitab 15

En el gráfico X-barra se observa que todos los puntos están situados fuera de los límites de control, lo cual refuerza la idea de que el sistema de medición es aceptable. En el diagrama de barras se observa que la mayor parte de la variación se encuentra en la columna parte a parte, lo que implica que el estudio es capaz de detectar variaciones. En cuanto al gráfico Mediciones por Analistas se puede decir que no existen diferencias en las mediciones realizadas entre ellos, lo que se evidencia como la línea es prácticamente horizontal. Con respecto al gráfico Interacción Analistas * Muestras se observa una homogeneidad para medir por parte de los analistas. Esto demuestra el análisis realizado anteriormente.

Por tanto, este sistema de medición es considerado aceptable, poniendo de manifiesto la efectividad de las propuestas de mejoras.

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

Tabla 3.12: Evaluación del impacto de mejora en la variable crítica % de azufre en planta y tanque terminado. Fuente: Elaboración propia

	Planta		Tanque terminado		
Criterio	Antes	Después	Antes	Después	Comentario
R&R del sistema de medición total	93,21	9,68	99,77	8,96	Mejora notablemente la variación del sistema de medición.
Repetibilidad	13,01	8,73	18,72	5,98	Disminuye la variación de las mediciones con un instrumento con el mismo analista.
Reproducibilidad	92,30	4,17	98,00	6,67	Disminuye notablemente la variación de las mediciones del objeto con diferentes analistas.
Analista*Muestras	49,18	4,17	53,53	0.00	Disminuye considerablemente, por tanto existe homogeneidad para medir por parte de los analistas.
Parte a parte	36,21	99,53	6,71	99,60	Aumenta significativamente, lo que implica que el estudio es capaz de detectar variaciones.
nc	1	14	1	15	Aumenta el número de categorías distintas (nc) que pueden ser distinguidas confiablemente por el sistema de medición analizado.



Etapas 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

Los estudios R&R presentados en las etapas anteriores, permiten tener una evaluación del proceso de medición en un período corto de tiempo, y las conclusiones obtenidas son válidas pero no para siempre. El estudio se debe repetir cada cierto tiempo para conocer el estado actual del proceso de medición. En la práctica se dificulta definir el intervalo de tiempo entre un estudio R&R y el siguiente.

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 % de azufre, tanto en planta como en tanque terminado. Estos proveen información clave sobre el estado del proceso de medición. Esta información puede ser utilizada para definir intervalos de calibración o el momento de realizar otro estudio R&R.

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 muestras del comportamiento de las variables por un período de al menos cinco meses.

La presente investigación comienza en enero del 2014, la implementación de las medidas se realiza durante el período febrero-abril y en mayo se realizan nuevamente los estudios R&R en el ensayo seleccionado, motivo por el cual no se tienen las observaciones de las muestras necesarias para el estudio de estabilidad, lo cual queda pendiente a realizar por parte del equipo de trabajo en el mes de octubre de 2014.

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 la recopilación de los documentos utilizados en la investigación hasta mayo de 2014, donde se refleja el trabajo realizado, quedando redactado un documento con los resultados obtenidos hasta el momento, se propone el cierre final para noviembre de 2014.

Se refleja en el mismo los principales logros alcanzados hasta mayo de 2014 luego de poner en práctica las propuestas de mejora, entre los que sobresalen:



- Estudio de repetibilidad y reproducibilidad basado en el diseño experimental del ensayo % de azufre y densidad del Diesel, donde se muestran las deficiencias de la reproducibilidad para evidenciar la acreditación de este ensayo por la NC ISO 17025: 2006 “Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración”
- Evaluación de la confirmación metrológica de todos los instrumentos que intervienen en el proceso de Hidrofinación de Diesel.
- Evaluación de las especificaciones técnicas del Diesel, según el Reglamento Técnico de CUPET durante el proceso, mediante las muestras analizadas.

Los resultados obtenidos se presentan ante la Dirección Técnica, Dirección de Operaciones, Dirección de Movimiento de Crudo y Producto, Dirección de Automática, Informática y Telecomunicaciones, así como el Jefe de Laboratorio Químico de la organización, contando con total apoyo, la cual debe ser extendida a otros procesos dentro de la Unidad de Negocio Refinería de Cienfuegos.

3.2 Impactos de la investigación

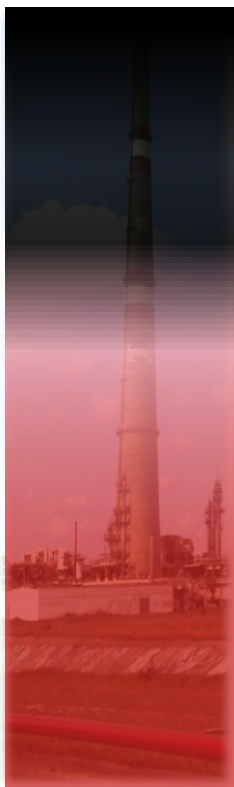
En la presente investigación se aplica un procedimiento para la mejora de la gestión de las mediciones mediante el uso de las técnicas relacionadas con la metodología Seis Sigma en la Unidad de Negocio Refinería de Cienfuegos. Se describe el sistema de gestión de las mediciones, se realizan estudios de repetibilidad y reproducibilidad en los ensayos % de azufre y densidad del Diesel, además de poner a disposición un grupo de herramientas propias en la temática.

Un importante análisis se enmarca en el ámbito económico, de manera que la concepción de la investigación, como un servicio de intercomparación entre laboratorios contratado a una entidad reconocida, atendiendo a criterios como número de especialistas, porcentaje de ocupación de los mismos, trámites legales, requisitos aduanales, embalaje y duración del servicio, incurriría en un gasto que asciende a la cifra de 5 000.00 dólares canadienses por cada uno de los ensayos. 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, debido a que actualmente CUPET y PDVSA realizan de cuatro a cinco rondas al año. Con esta investigación se validan los estudios de precisión en estos ensayos, lo cual consta como evidencia para su historial, ya que estos ensayos se acreditaron recientemente.



Conclusiones parciales del capítulo

1. Las principales deficiencias en la gestión de las mediciones recae en la ausencia de estudios para conocer la calidad en 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.
2. Las variables que tienen mayor influencia en las especificaciones del producto Diesel Especial y los clientes son: % de Azufre y Densidad, siendo estos uno de los parámetros con los cuales debe cumplir con mayor rigor.
3. La aplicación de estudios de repetibilidad y reproducibilidad de la medida basados en el diseño experimental permiten estudiar la variabilidad debida al factor operario que está presente en los resultados de los ensayos bajo condiciones controladas del medio ambiente, el método, el material, los equipos y la medición.
4. En el estudio de repetibilidad y reproducibilidad al ensayo % de azufre, se observó variabilidad en las mediciones, corroborado por un 98 % de variabilidad debido a reproducibilidad, dado por una incorrecta aplicación del método de medición por parte de algunos analistas.
5. Luego de aplicar las mejoras propuestas se evidenció que el sistema de medición es aceptable, lo que implica que este es capaz de detectar variaciones. Se puede decir que no existen diferencias en las mediciones realizadas entre los analistas, observándose una homogeneidad para medir por parte de los mismos, dado solo por un 8,96% de variabilidad.



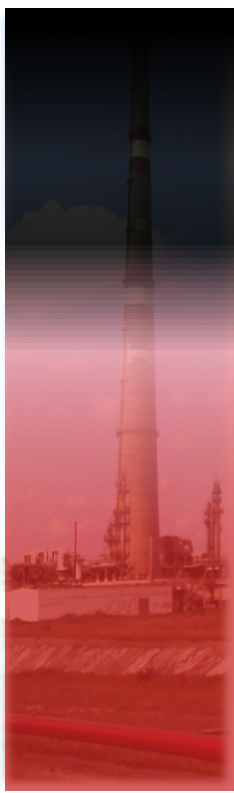
CONCLUSIONES





CONCLUSIONES

1. Se aplicó un procedimiento que posibilita la mejora del proceso de gestión de las mediciones, tomando como base la integración de requisitos establecidos en la NC ISO 10012: 2007, Metodología Seis Sigma y resoluciones vigentes relativas a la metrología, así como la inclusión del diseño experimental en el mismo.
2. Se actualizó el diagnóstico en la gestión de las mediciones y se determinó las principales deficiencias en la temática en la Unidad de Negocio Refinería de Petróleo “Camilo Cienfuegos”, sobresaliendo las relacionadas con los escasos estudios para conocer la calidad en los sistemas de medición, donde se pone de manifiesto la necesidad de implementar el procedimiento propuesto en la presente investigación.
3. Se seleccionó para realizar el estudio el proceso de Hidrofinación del Diesel por ser este producto el que más se produce y comercializa en la organización, además en el mismo intervienen gran cantidad de mediciones que avalan la calidad del producto.
4. Se identifican las variables que tienen mayor influencia en las especificaciones del producto y los clientes, resultando ser el % de azufre y la densidad, constituyendo estos parámetros los que deben cumplirse con más rigor en el Diesel.
5. Se realiza un estudio de repetibilidad y reproducibilidad al ensayo % de azufre y densidad basado en el diseño experimental, observando en el primero de ellos cierta variabilidad en las mediciones, resultando que el método de medición no es el adecuado, dado por un 98% debido a reproducibilidad.
6. Se proponen un grupo de acciones encaminadas al tratamiento de las deficiencias detectadas durante el estudio, se implementan y evalúan las mismas, quedando demostrado que el sistema de medición es aceptable, lo que implica que es capaz de detectar variaciones, corroborando que las soluciones propuestas resuelven el problema y llevan a las mejoras buscadas.

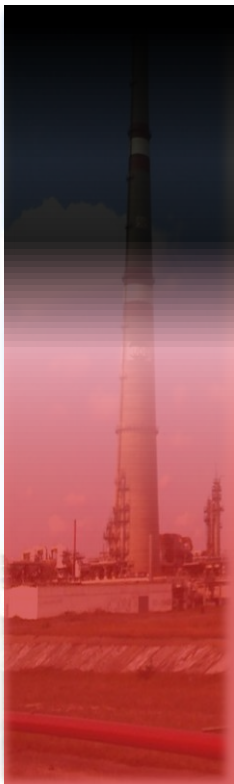


RECOMENDACIONES



RECOMENDACIONES

- Extender el estudio realizado a otros ensayos, a otros productos y a otros procesos relacionados con las mediciones en la Unidad de Negocio Refinería de Cienfuegos.
- Realizar el monitoreo al sistema de medición analizado utilizando las cartas de control $\bar{X}$ -R.
- Realizar cada determinado período de tiempo estudios de repetibilidad y reproducibilidad a los ensayos analizados en la actual investigación, para comprobar su comportamiento en el tiempo.
- Utilizar la metodología Seis Sigma como herramienta en otros procesos de la organización objeto de estudio por ser iniciativa estratégica para la calidad, con la implementación de la mejora continua.



BIBLIOGRAFÍA



BIBLIOGRAFÍA

- Al-Refaie, A., & Bata, N. (2010). Evaluating measurement and process capabilities by GR&R with four quality measures *Measurement*, 43(6), 842-851.
- Andrietta, J. M., & Miguel, P. A. C. (2007). Aplicação do programa Seis Sigma no Brasil: resultados de um levantamento tipo survey exploratório-descriptivo 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. (2005). *Adiestramiento de Sistemas de gestión de las mediciones. Una aplicación práctica para el trabajo del metrólogo*. Villa Clara: Oficina Territorial de Normalización
- 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.
- 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.
- Brown, M. G., Hitchcock, D. E., & Willard, M. L. (1994). *Why TQM fails and what to do about it*. New York: Irwin.



- 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.
- 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.
- 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.
- Coser Mergulhão, R., & Martins, R. A. (2008). Relação entre sistemas de medição de desempenho e projetos Seis Sigma: estudo de caso múltiplo. *Produção*, 18(2), 342-358.
- Cruz de Oliveira, E. (2011). Critica metrological evaluation of fuel analyses by measurement uncertainty. *Metrology and Measurement Systems*, XVIII(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.

- Dağlioğlu, G., İnal, T., & Aksoy, K. (2009). Altı Sigma Nedir? *ARŞİV*, (18), 132-139.
- Domínguez Domínguez, J. (2006). Optimización simultánea para la mejora continua y reducción de costos en procesos. *Ingeniería y Ciencia*, 2(4), 145-162.
- Draghici, M., & Petcu, A. J. (2010). TQM and Six Sigma – the Role and Impact on Service Organization. *The Romanian Economic Journal*, (36), 123-135.
- Eckes, G. (2003). *Six Sigma For Everyone*. United States of American: John Wiley & Sons, Inc.
- Eicholtz, M. R., Caspall, J. J., Sprigle, S., & Ferri, A. (2012). Test method for empirically determining inertial properties of manual wheelchairs. *JRRD*, 49(1), 51-62.
- European Association of National Metrology Institutes. (2013). Boletín de EURAMET. (No.8).
- Fernandes, M. M., & Turrioni, J. B. (2007). Seleção de projetos Seis Sigma: aplicação em uma indústria do setor automobilístico. *Revista Produção*, 17(3), 579-591.
- Fernández Cao, E. (2004). La calidad y la cultura de la calidad. Desarrollo y evolución histórica. *Normalización*, (1), 3-6.
- 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.
- Gibbons, P. M., Kennedy, C., Burgess, S., & Godfrey, P. (2012). The development of a value improvement model for repetitive processes (VIM). *International Journal of Lean Six Sigma*, 3(4), 315-338.
- Gremyr, I., & Fouquet, J.-B. (2012). Design for Six Sigma and lean product development. *International Journal of Lean Six Sigma*, 3(1), 45-58.
- 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.
- Guerra Bretaña, R. M., & Meizoso Valdés, M. C. (2012). *Gestión de la Calidad. Conceptos, modelos y herramientas*. La Habana: Editorial UH.
- 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* (Vol. 2). México: McGraw-Hill.
- Guttler, B., & Richter, W. (2010). Metrology in Chemistry in Germany. *MAPAN- Journal of Metrology of India*, 25(3), 219-225.
- 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., & Borror, C. M. (2012). Analyzing unreplicated gauge R&R studies. *Quality Engineering*, 24(4), 543-551.
- Solminihaç, H., Bustos, M., Echaveguren, T., Chamarro, A., & Vargas, S. (2012). Desarrollo conceptual de un sistema integrado para el control de calidad en mediciones de resistencia al deslizamiento. *Contribución*, 75-92.
- 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.
- 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 Wanga, F., & Wen Yang, C. (2007). Applying principal component analysis to a GR&R study *Journal of the Chinese Institute of Industrial Engineers*, 24(2), 182-189.
- 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.
- 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.
- Myszewski, J. M. (2013). On improvement story by 5 whys. *The TQM Journal*, 25(4), 371-383.
- Needle, D. (2004). *Business in Context: An introduction to business and its environment* (4th edition ed.). Canadá: Thomson Learning.
- 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.



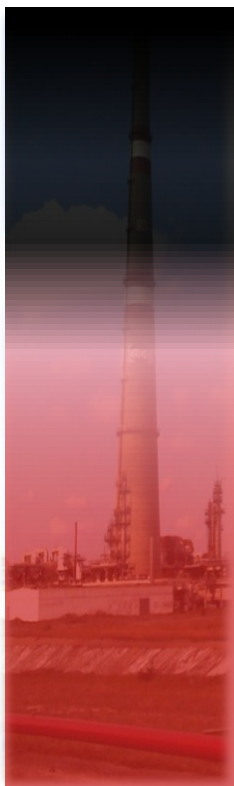
- NC-ISO 10012: 2007. Sistemas de gestión de las mediciones. Requisitos para los procesos de medición y los equipos de medición.
- NC-ISO 9001:2008. Sistemas de gestión de la calidad. Requisitos.
- Oficina Nacional de Normalización. (2005). *Estrategia de Desarrollo de la Metrología a Mediano Plazo (2006-2010)*. 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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., 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., Alvarez 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>
- Roberts, L. (1994). *Process reengineering: The key to achieving breakthrough success*: ASQC Quality Press.
- 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.
- Salinas Quevedo, E. J., & Zhunio Pucha, J. I. (2009). *Propuesta de un plan para la aplicación de estrategias 5'S, seis sigma y SMED para optimizar los procesos de producción en INDALUM S.A.* Tesis de Grado. Universidad Politécnica Salesiana. Facultad de Ingenierías, Cuenca.
- 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.



- Schroeder, R. G., Linderman, K., Liedtke, C., & Choo, A. S. (2007). Six sigma: definition and underlying theory. *Journal of Operations Management*.
- Singh, J., kumar, A., Dilawar Sharma, N., & Bandyopadhyay, A. K. (2011). Reliability and long term stability of a digital pressure gauge (DPG) used as a standard. A case study. *MAPAN-Journal of Metrology Society of India*, 26(2), 115-124.
- 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*.
- Solminihaç, 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".
- Wilkinson, A., Marchington, M., Goodman, J., & Ackers, P. (1992). Total quality management and employee involvement. *Human Resource Management Journal*, 2(4), 1-20.
- 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.



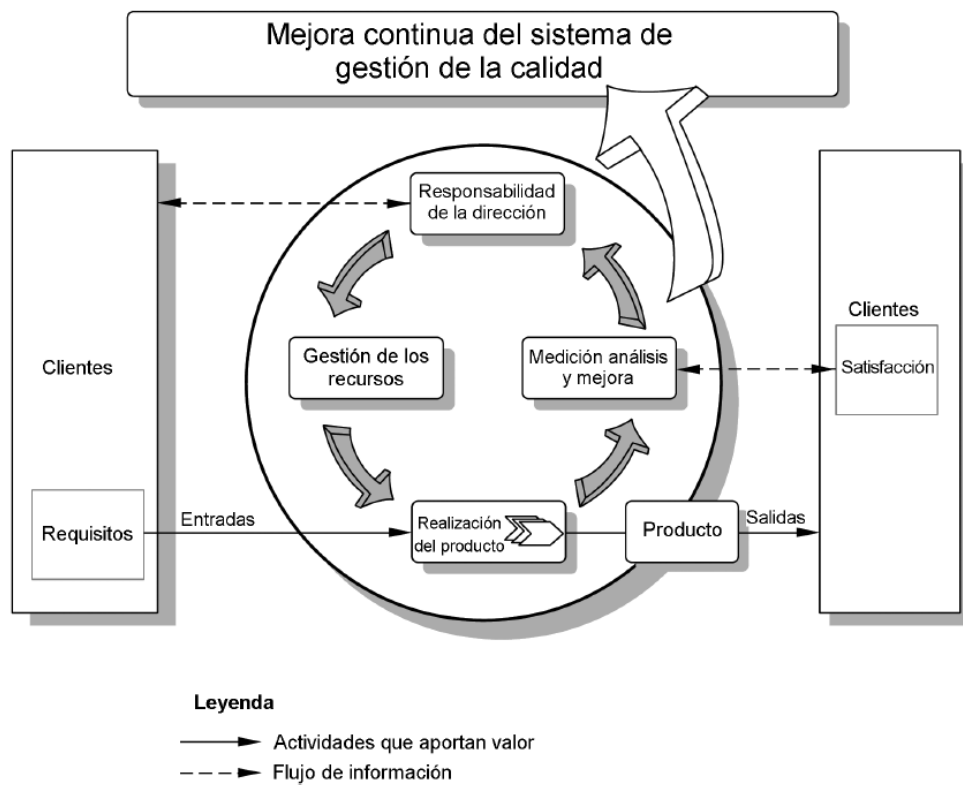
ANEXOS



ANEXOS

Anexo No.1

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



Anexo No.2

Actividades y herramientas de la Metodología Seis Sigma. Fuente ISO 13053: 2011

	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)	M (para datos continuos) R (para otros)		
Determinación del tamaño de la muestra		M	M	M	
Control Estadístico del proceso (SPC)		R	R		R

ANEXOS

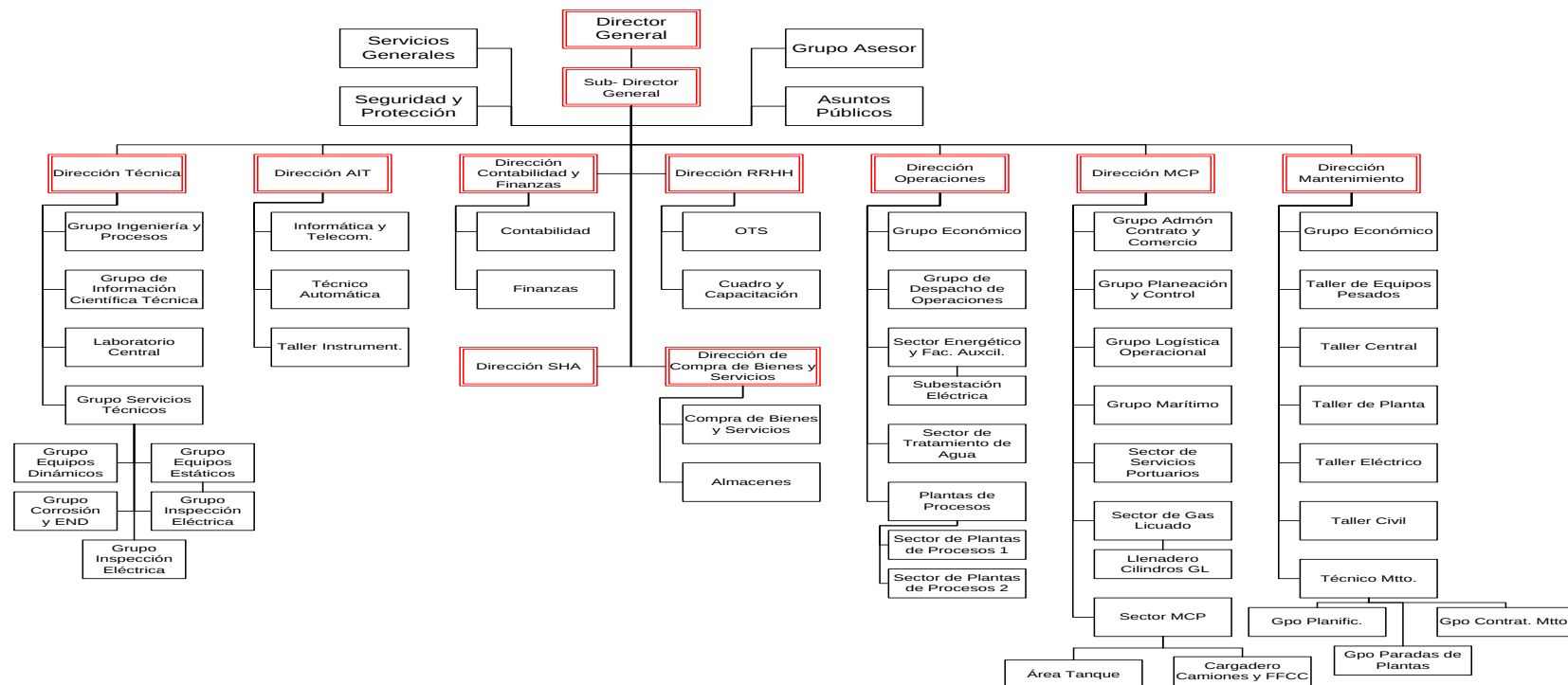
Gráficos de tendencias		S			S
Diagrama de Afinidad			S		
ANOVA			R	R	
Diagrama de causa y efecto			R		
Diseño de experimentos (DOE)			R	R	
Pruebas de Hipótesis			R	R	
FMEA de proceso			R	M	
Regresión and correlación			R	R	
Confiabilidad			R	R	
Análisis de los 5-Why			S		
Tormenta de ideas				S	
MCA - 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					

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

	TQM	BPR	Seis Sigma
Consideraciones por el factor humano	Los empleados son conscientes de su responsabilidad por la calidad	No se estima la resistencia al cambio de los empleados dentro de la organización.	Cambios constantes de gestión, técnicas pero no relacionadas al mejoramiento y diseño del puesto de trabajo y aspectos ergonómicos del proceso
Monitorear los beneficios financieros	Pequeños monitoreos de beneficios financieros medibles	No presenta métodos efectivos de monitoreo de los beneficios financieros	Contiene indicadores de beneficios financieros
Alineamiento estratégico de procesos	Los programas no pueden ser alineados con las estrategias	A veces los proyectos no están aun completamente alineados con los procesos estratégicos	Alineación estratégica, está relacionada con el incremento de la calidad del producto y la satisfacción del cliente
Mejoramiento esperado	73 % de las compañías electrónicas en EUA tienen programas de calidad, pero más de la mitad muestran mejoramiento inferior al 10%	Cambio radical es prometido pero no presenta un método que indique el nivel esperado de mejoramiento del nuevo proceso	Reducción en el proceso de 3,4 defectos por millón de oportunidades
La efectividad en el desarrollo del método	No promueve sucesos hasta un tiempo, carece de un método de desarrollo efectivo.	No provee un camino efectivo que focalice los esfuerzos de mejoramiento sobre las restricciones de la organización	Contiene una prueba de cinco pasos del método de despliegue

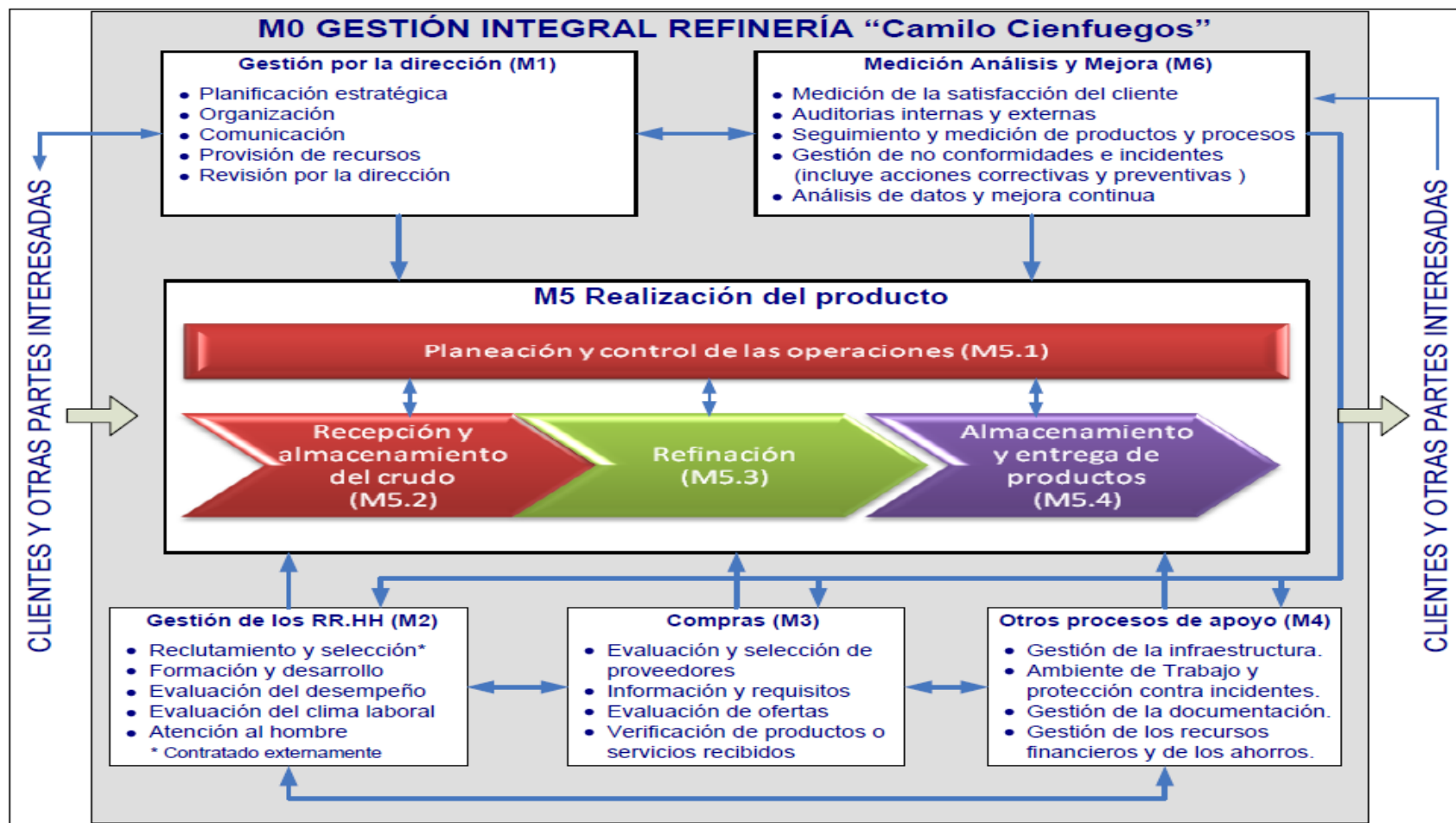
Anexo No.4

Organigrama de la Empresa. Fuente: Unidad de Negocio Refinería “Camilo Cienfuegos”



Anexo No.5

Mapa de proceso de la Refinería “Camilo Cienfuegos”. Fuente: Refinería “Camilo Cienfuegos”



Anexo No.6

Lista de chequeo para realizar el diagnóstico sobre el cumplimiento de la norma NC-ISO 10012: 2007

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			

	están documentados, validados y controlados?			
	¿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 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?			
	¿Incluyen los registros la siguiente información?: • 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			
	¿Están los requisitos metrológicos determinados en base a: • 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?			
	¿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:			

	• Los efectos de los operadores • Los equipos • Las condiciones ambientales • Las magnitudes de influencia • Los métodos			
	¿Están identificadas y cuantificadas las características de desempeño requeridas para el uso previsto del proceso de medición? • Incertidumbre de la medición • Estabilidad • Error máximo permitido • Repetibilidad • Reproducibilidad • Otras			
	¿Para cada proceso de medición se controla: • 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			
	¿Existen los registros para: • 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 esta 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 auditorias al SGM?			
	¿Están especificados los métodos para obtener y utilizar la información relacionada con la satisfacción del cliente?			
	¿Se comunican los resultados de las auditorias a las partes interesadas?			
	¿se registran los resultados de las auditorias 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			

	de medición modificados debido a una conformidad? no			
	¿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

Composición del equipo de trabajo. Fuente: Elaboración propia

- Director Técnico de la Refinería de Cienfuegos: Luis García López, 32 años de experiencia.
- Director del Sector 1: Juan L Artiles Martínez, 36 años de experiencia.
- Director Técnico de AIT: Mario Moreira, 16 años de experiencia.
- Director de MCP: Irenaldo Pérez Caldos, 6 años de experiencia.
- Jefe de Grupo de Ingeniería de Procesos: Ramiro Rodríguez Tabares, 32 años de experiencia.
- Jefe del Laboratorio Químico Central: Rubén Pérez Ayo, 32 años de experiencia.
- Jefe de Control de Calidad del Laboratorio Químico Central: Rubén Rangel Gómez, 30 años de experiencia.
- Jefe del Sector de Crudo y Producto: Eriel Fragoso Bordón, 6 años de experiencia.
- Jefe de Cargadero: Jose Pablo García Pozo, 10 años de experiencias.
- Especialista de Metrología: Midiala Hernández Santana, 29 años de experiencia.
- Especialista de Medio Ambiente: Maricela Rodríguez Alayón, 15 años de experiencia, atiende la gestión ambiental en toda la refinería.
- Especialista de AIT: Ricardo Rodríguez Peñate, 36 años de experiencia.
- Supervisor de Tanques: Yosdani Miranda, 6 años de experiencia.
- Técnico de Metrología: Antonio Cárdenas Miranda, 36 años de experiencia.
- Tecnóloga A: Haydee Rodríguez Roque, 28 años de experiencia, Black Belt Seis Sigma: 2010.
- Tecnólogo de MCP: Alexis González Martínez, 7 años de experiencia.
- Tecnóloga de MCP: Yanelis Oropesa Ortiz, 7 años de experiencia.
- Tecnólogos de procesos:
 - ✓ Yosvany González Mazorra, 4 años de experiencia, atiende la sección 100.
 - ✓ Nerys Saavedra Pérez, 31 años de experiencias, encargada de la sección 300.



- ✓ Suanly Suárez Sabina, 5 años de experiencia, atiende la planta de procesos, Especialista de SHA.
- ✓ Kenier Barroso Suárez, 3 años de experiencia, atiende las direcciones de Mantenimiento y Automática, Informática y Telecomunicación (AIT), Especialista de SHA.



Anexo No.8

Política de calidad de la Unidad de Negocio Refinería “Camilo Cienfuegos”

 PETRÓLEOS CUBA VENEZUELA S.A.	REFINERÍA CIENFUEGOS		Código Documento: PCAS
	Reemplaza a: Rev. Anterior	Fecha de Emisión 22/07/2013	Revisión N° 3
			Página 1 de 1

Política de la Calidad, Ambiental y de Seguridad y Salud en el Trabajo

La **Refinería Cienfuegos**, perteneciente a la empresa mixta binacional Cuba Venezuela, **CUVENPETROL, S.A** está consciente de que su éxito en la refinación del petróleo está determinado por la satisfacción de los clientes, la protección del medio ambiente, la seguridad y salud de las personas y la integridad de sus instalaciones, por lo cual ha decidido establecer, mantener y mejorar continuamente un sistema integrado de gestión basado en las normas: ISO 9001, ISO/IEC 17025, ISO 14001 y NC 18001. Para ello cuenta con la infraestructura adecuada y con recursos humanos competentes y motivados, comprometiéndose a:

- Cumplir los requisitos de calidad de los productos, pactados con los clientes;
- Suministrar los productos a los clientes en las cantidades, plazos y condiciones acordadas;
- Gestionar todos los procesos productivos y de apoyo cumpliendo con los requisitos legales y regulatorios aplicables;
- Preservar el medio ambiente promoviendo el uso de las mejores prácticas para la prevención de la contaminación, la concientización de sus trabajadores y el logro de objetivos de desarrollo sostenible.
- Garantizar la seguridad y salud de nuestros trabajadores, contratistas, visitantes y la comunidad.



Ramón Curapiaca Medina
Vicegerente General,
REFINERÍA CIENFUEGOS



Humberto Padrón García
Director General,
REFINERÍA CIENFUEGOS

Copia controlada No.:

PROHIBIDA SU REPRODUCCION SIN LA AUTORIZACIÓN DEL AREA EMISORA DE LA EMPRESA

Narración del proceso Mantenimiento, Calibración y Verificación. Fuente: Elaboración propiaProceso 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-01:2003 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 manovacuómetros, 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:

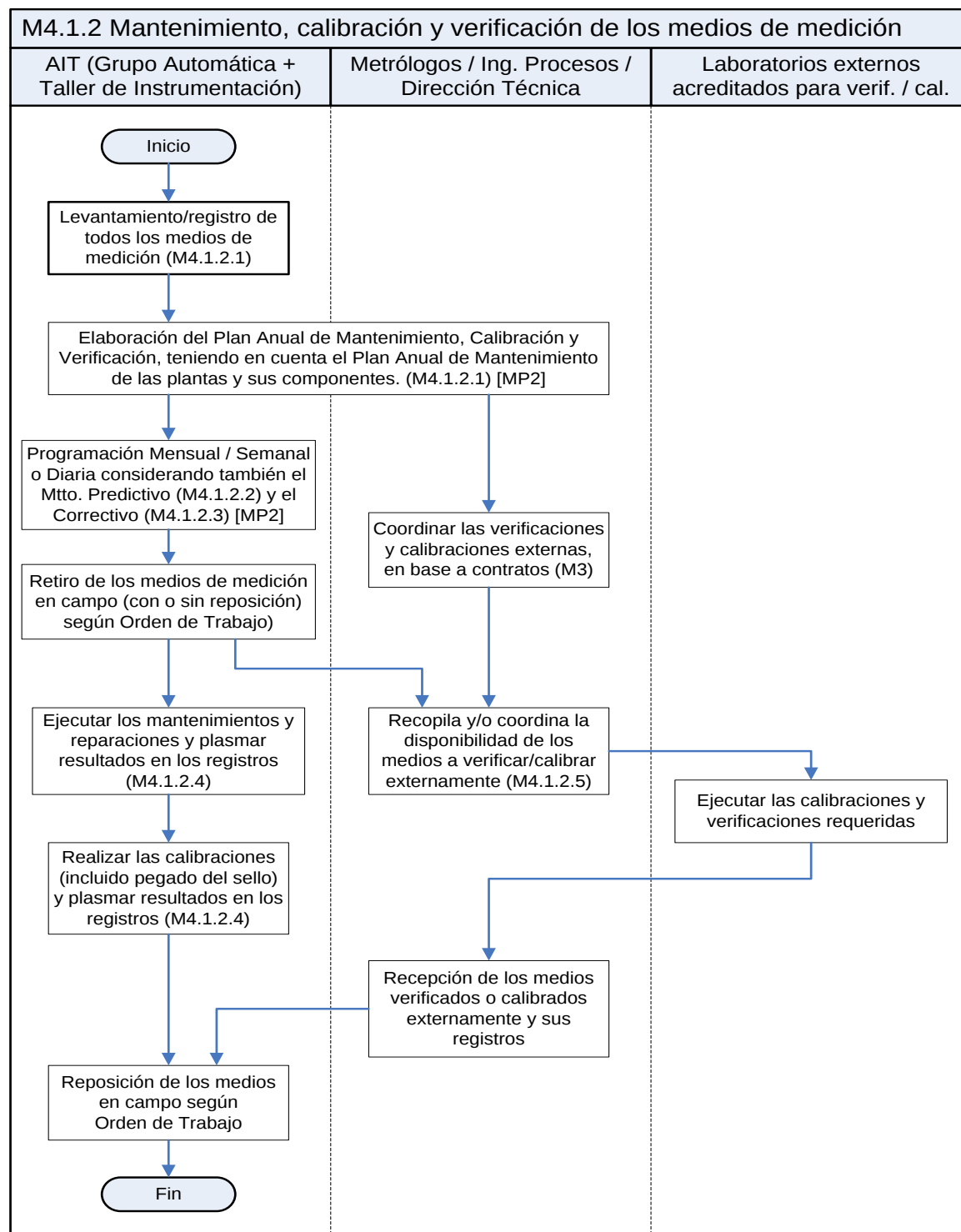
- 1) Levantamiento/registro de todos los instrumentos de medición (M4.1.2.1): Se realiza un registro con todos los instrumentos de medición por magnitud, donde se reflejan todas las características y ubicación de los mismos. Mediante un estudio multidisciplinario se identifican aquellos instrumentos 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.



Anexo No.10

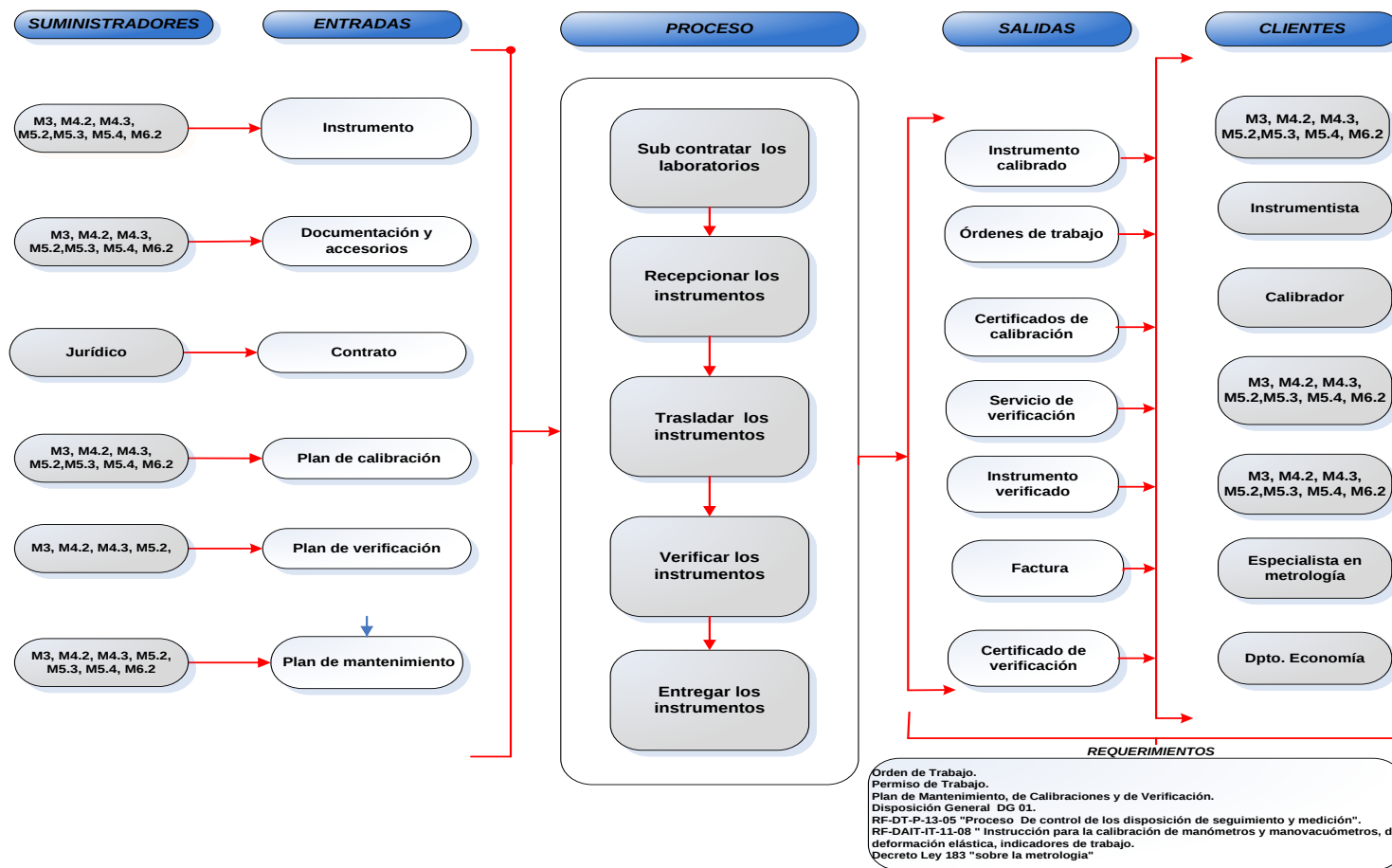
Diagrama de flujo del proceso de mantenimiento, reparación, calibración de instrumentos.

Fuente: MP-001 MP R6



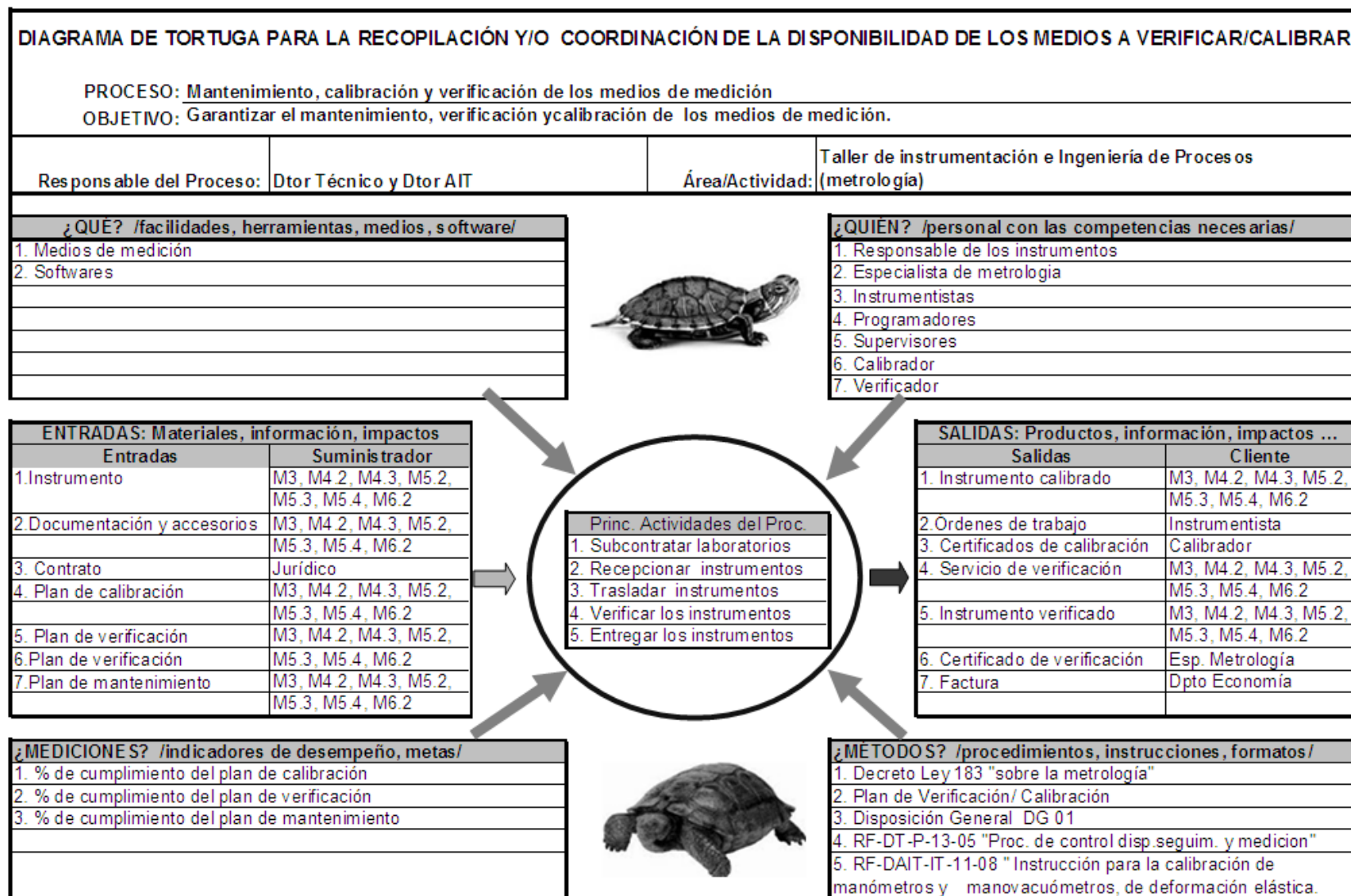
Anexo No.11

Mapa de proceso de mantenimiento, reparación, calibración de instrumentos. Fuente: Elaboración propia



Anexo No.12

Diagrama Tortuga de proceso de mantenimiento, reparación, calibración de instrumentos. Fuente: Elaboración propia



Ficha del proceso Mantenimiento, calibración y verificación de los medios de medición.**Fuente:** Elaboración propia

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: • 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: • Empieza: Con el levantamiento de todos los instrumentos y equipos de toda la empresa. • Incluye: Valoración, estudios, elaboración de planes de mejora, mantenimiento, calibración y gestión de la verificación e inspecciones a diferentes niveles. • Termina: Con el equipo disponible.	
Entradas: • Instrumentos • Documentación y accesorios • Contratos • Plan de calibración • Plan de verificación	

- Plan de mantenimiento

Proveedores:

- M3
- M4.2
- 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	
<u>Inspecciones:</u> • Técnicas	<u>Registros:</u> • 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”
<u>Variables de Control:</u> • Cantidad de equipos calibrados, verificados y reparados.	<u>Indicadores:</u> • Cumplimiento del plan de calibración • Cumplimiento del plan de verificación • Cumplimiento del plan de mantenimiento

Anexo No.14

Relación de documentos legales. Fuente: Elaboración propia

Código	Título
Decreto Ley 182	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: 2000	International Vocabulary of Terms in Legal Metrology.
Antúnez. R.M: 2008	La metrología en Cuba. La metrología como ciencia de las mediciones.
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 diagnostico Metrológico

NC OIML D-12: 1995	Campos de aplicación de los instrumentos de medición sujetos a verificación.
DG- 01: 2012	Instrumentos de medición sujetos a verificación obligatoria y a aprobación de modelo según los campos de aplicación donde serán utilizados.
DG-03:200	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-05:200	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	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: 1995	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.

Anexo No.15

Votación ponderada. Fuente: Elaboración propia

Participaciones	Factores			
	1	2	3	4
Luis García López	4	1	2	3
Juan L Artilés Martínez	2	4	3	
Mario Moreira	2	1	3	4
Irenaldo Pérez Caldoso	2	4	3	
Ramiro Rodríguez Tabares	4	2	1	3
Rubén Pérez Ayo	3	1	4	2
Rubén Rangel Gómez	2	3	1	4
Eriel Fragoso Bordón	1	2	3	4
Midiala Hernández Santana	4	3	1	2
Maricela Rodríguez Alayón	2	3	1	4
Ricardo Rodríguez Peñate	4	3	2	1
Antonio Cárdenas Miranda	4	2		3
Haydee Rodríguez Roque	4	2	1	3
Alexis González Martínez	3	1	2	4
Yanelis Oropesa Ortiz	4		1	2
Yosvany González Mazorra	4	1	2	3
Nerys Saavedra Pérez	4	2	1	3
Suanly Suárez Sabina	4	1	3	2
Kenier Barroso Suárez	3		2	4
Suma	60	36	36	51
Frecuencia	19	17	18	17
Orden de Prioridad	1	3	4	2

Factores

1. Calidad en los sistemas de mediciones
2. Tiempo de ciclo de salida y reposición del instrumento al proceso
3. Utilización de materiales de referencia certificados
4. Período de verificación y calibración



Anexo No.16

Descripción de las operaciones en el proceso de Hidrofinación del Diesel. Fuente: Elaboración propia

En la Sección 300-1, se procesará fracción 180-350 °C proveniente de la sección 100 o de tanque intermedio, a través de la estación de bombeo Título 51. El suministro del producto sin hidrofinar a la planta viene por la línea 1103/1 del área de tanques intermedios o directamente de la planta 100, que va al tambor de materia prima D-01- 301 a una temperatura de 60 °C y una presión de 5 Kgf/cm².

Nudo de mezcla con hidrogeno: En el nudo de mezcla llega la fracción 180-350 °C e hidrogeno, para obtenerse un diesel hidrogenado, el cual va al intercambiador de calor E-1,2,3-01-301 por la línea 304/1, donde se calienta los productos hasta una temperatura de 360- 400 °C y pasa al reactor R-01-301.

Bloque de Reacción: Después del nudo de mezcla la fracción 180-350°C con gas hidrogenado, pasa al precalentamiento en los intercambiadores 1,2,3 E-01-301, los cuales trabajan en serie. Finalmente la mezcla de gas y producto sale del reactor con una temperatura 145 °C y 36 Kgf/cm² al enfriador por aire y posteriormente por la línea 305/3 a una temperatura de 55 °C al intercambiador por agua. A la salida de dicho intercambiador la mezcla, ya enfriada hasta una temperatura de 45 °C y una presión de 34,5 Kgf/cm² va al separador de Hidrofinación.

Separador de Hidrofinación: En el tambor de media presión, tiene lugar la separación del producto hidrofinado inestable del gas hidrocarbonado que sale por la parte superior y va a la torre absorbadora de gas hidrocarbonado no refinado de media presión T- 01-303. Se tiene la separación del producto hidrofinado inestable del gas hidrogenado circulante que sale por la parte superior y va a la torre absorbadora T-01-302 a lavarse con amina para atrapar el H₂S. El agua sulfhídrica rica en sales de amonio va a la planta de tratamientos PTR.

Bloque de Estabilización En esta Torre se separa del hidrogenado, los productos formados en Hidrofinación, tales como el hidrógeno sulfurado, el amoníaco y el agua. Por el tope de la Torre sale gas hidrocarbonado y vapores de gasolina, luego entra al enfriador por aire y de ahí pasa al intercambiador por agua (gas hidrocarbonado y gasolina salen por carcasa y agua por los tubos). Desde el fondo de la torre T-01-301, por la línea 311/1, sale el diésel hidrofinado estable, con una temperatura de 98 °C y una presión de 8 Kgf/cm².



Bloque de absorción: El gas circulante impuro rico en hidrógeno (gas hidrogenado) se envía desde el separador B-01-301 a la torre de absorción T-01-302 para limpiarlo de H₂S con una solución de metil- dietanolamina (MDEA) al 40 % alimentada a la parte superior de la torre de. Por el fondo de la torre sale la amina rica. Posteriormente el gas hidrocarbonado se envía del separador B-01-302 a la torre de absorción T-01- 303 de media presión para la depuración de H₂S con una solución MDEA al 40 %. Los productos restantes de la torre estabilizadora pasan después del enfriador por aire A-01- 303 y del enfriador de agua E-01-305 pasan al separador B-01-305, donde se separa el gas hidrocarbonado, el agua y la gasolina. El gas hidrocarbonado de baja presión se envía a la torre de absorción T-01-304 para separar el H₂S con una solución MDEA al 40 %. La solución de amina rica es enviada por la propia presión del tambor separador B-01-306 hacia la Planta Regeneradora de Aminas en el título 02.

Toma de muestra para evaluar las características de calidad a la salida de planta: Se realiza con el objetivo de evaluar las características finales del producto, como son: densidad a 15°C, azufre total, destilación °C y punto de inflamación.

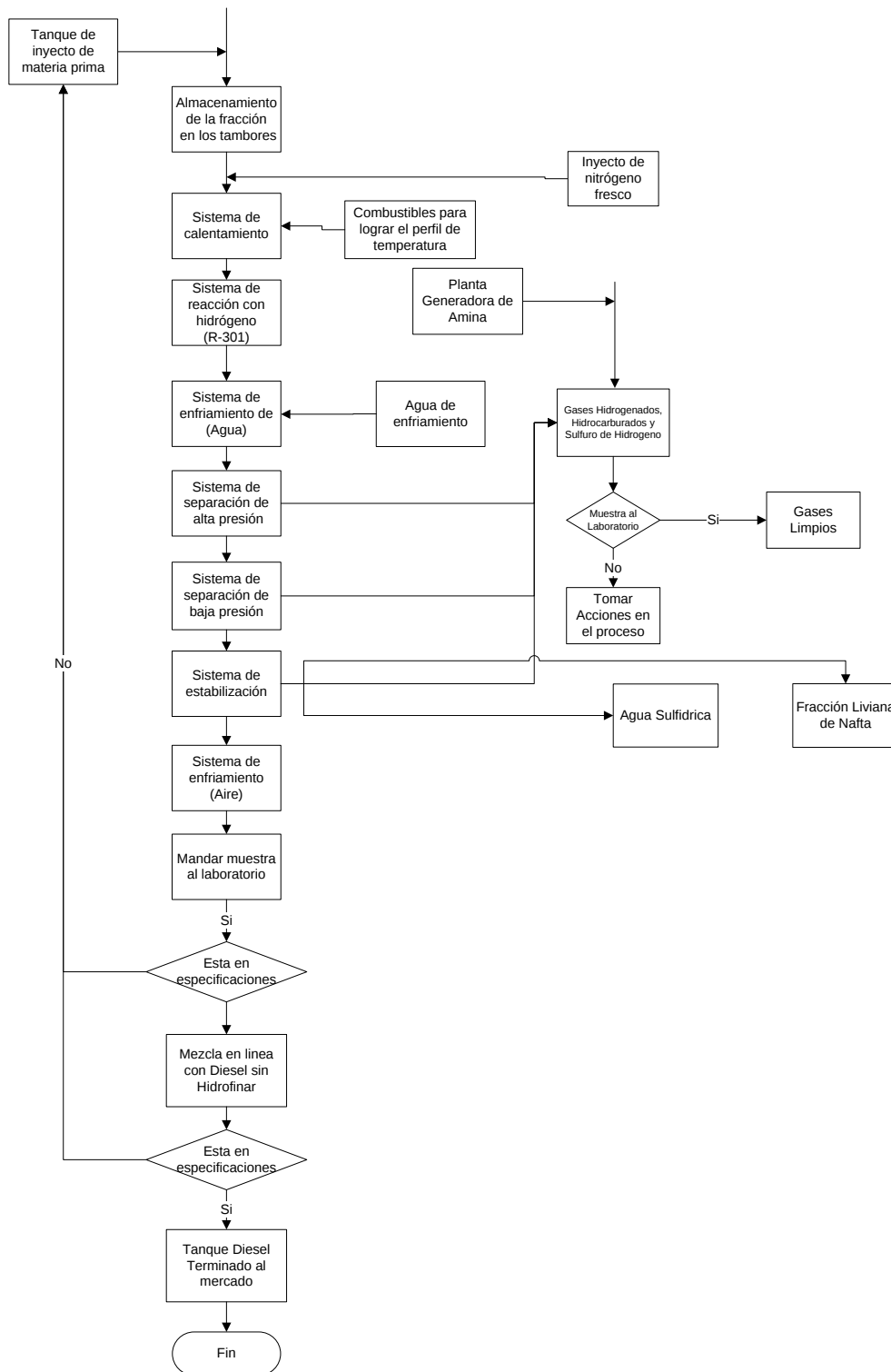
Nudo de mezcla del diésel hidrofinado estable con la sección 180-350°C: Después de que sale el diésel hidrofinado de la planta por la línea 311/1 se produce la mezcla con el que llega de la planta 100. Esta mezcla se produce en línea hasta que llegue a tanque terminado.

Toma de muestra para evaluar las características de calidad en el producto terminado: Se realiza con el objetivo de evaluar las características finales del producto, como son: densidad a 15°C, azufre total, destilación °C, color, índice de centano, viscosidad, corrosión, y punto de inflamación según DT-GC/C 0702 Catálogo de especificaciones de CUPET

Toma de muestra total en tanque listo para sellar: Una vez llenado el tanque, es necesario por especificaciones del producto el reposo durante cuatro horas por metro de nivel. Luego se toma la muestra para evaluar la totalidad de las características finales del producto para poder emitir el informe de ensayo y poner el tanque al mercado.

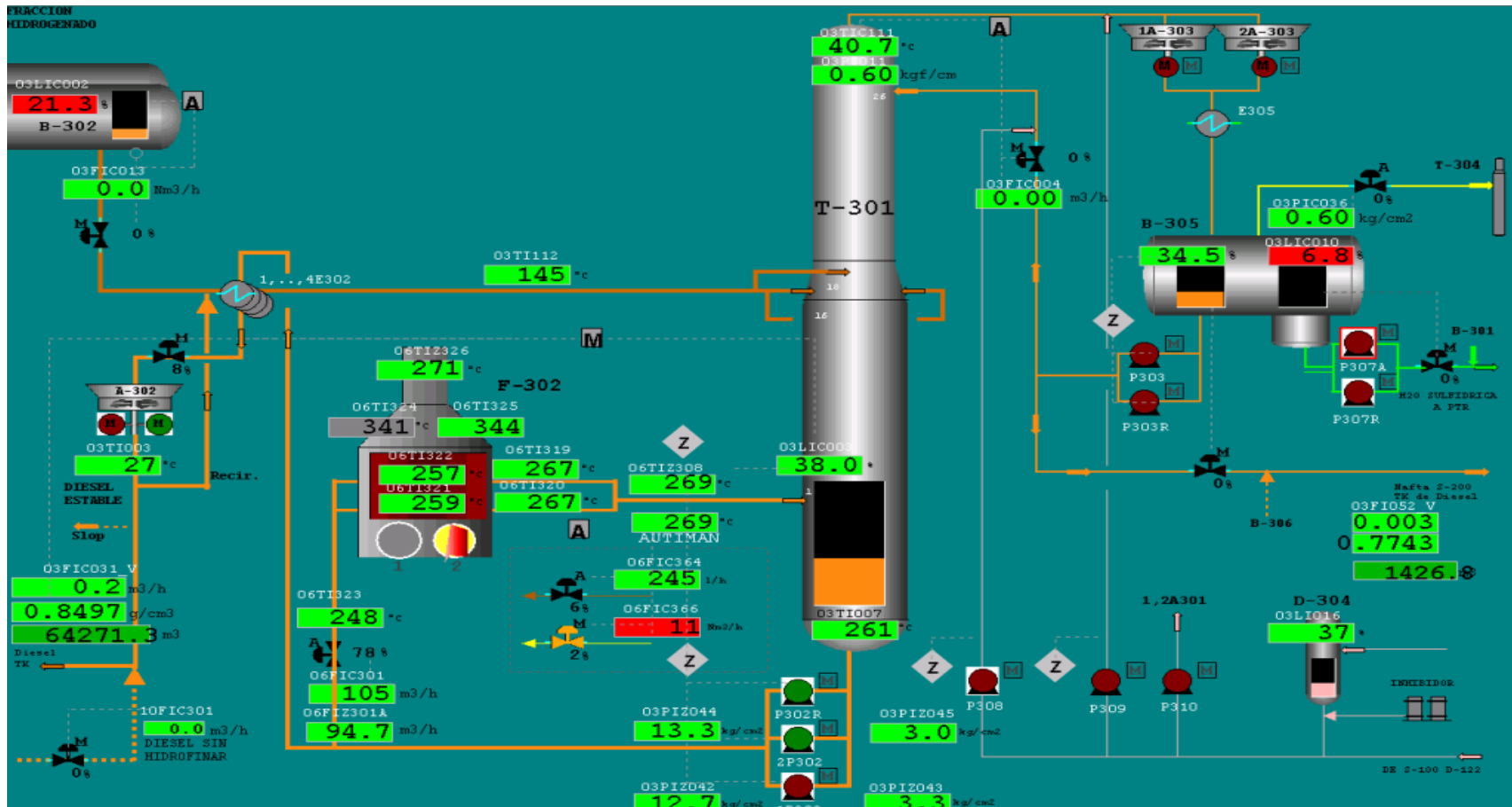


Diagrama de flujo del proceso de Hidrofinación del Diesel. Fuente Elaboración propia.



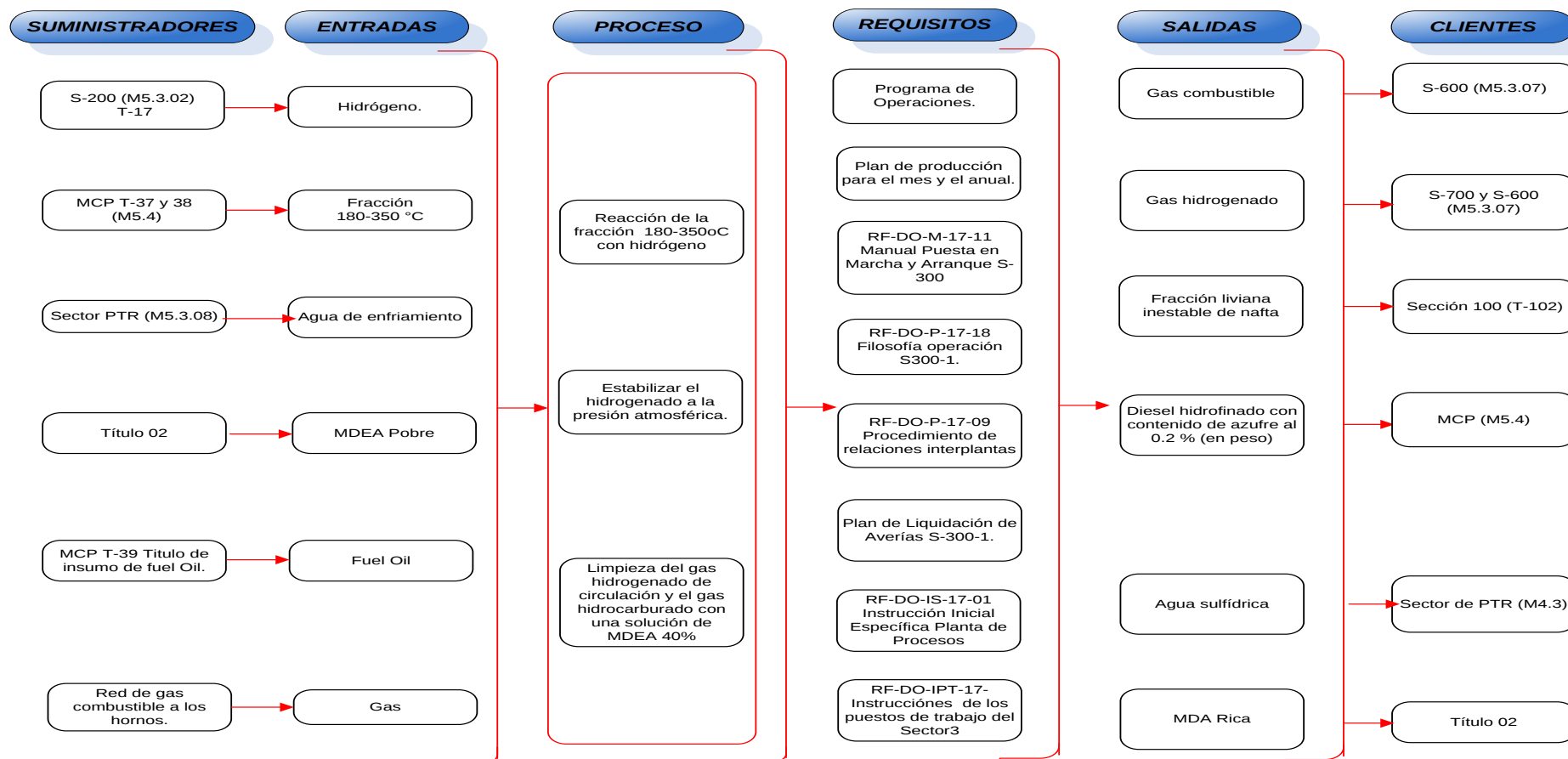
Anexo No.18

Proceso de Hidrofinación de Diesel a través del software Exaquantum. Fuente: DCS



Anexo No.19

Subproceso M5.3.13 Hidrofinación de Diesel de la Unidad de Negocios Refinería Cienfuegos. Fuente: elaboración propia



Ficha del proceso M5.3.13 Hidrofinación de Diesel. Fuente: Elaboración propia.

SUBPROCESO: M5.3.13 Hidrofinación de Diesel	PROPIETARIO: Director Operaciones
RESPONSABLE: Dada la complejidad del proceso el responsable directo es el Director General de la Unidad de Negocios Refinería Cienfuegos quien tiene su apoyo en tres de las principales direcciones de la organización como se muestra en la figura.. <pre> graph TD A[Director General de la Unidad de Negocios Refinería Cienfuegos] --- B[Director Técnico.] A --- C[Director de Operaciones.] A --- D[Director de MCP.] </pre> Organigrama de las Direcciones responsables del subproceso M5.3.13 Hidrofinación de Diesel de la Unidad de Negocios Refinería Cienfuegos. Director de Operaciones. Responsable de todas las operaciones de producción del producto, se subordinan la Planta de Procesos, la Planta de Tratamiento y residuales, sector energético y facilidades auxiliares. Director Técnico. Responsable de medir los parámetros de calidad, se subordinan Servicios Técnicos, Laboratorio, Centro de Información Científico Técnica y el Departamento de Tecnología. Director Movimiento de Crudo y Productos (MCP). Responsable de todas las operaciones en el muelle y en los tanques, se subordinan Servicios Portuarios y la dirección del sector tanques.	
Objetivo del proceso: Producir Diesel Hidrofinado de acuerdo a las normas y especificaciones existentes en el mercado nacional e internacional para la futura comercialización del mismo.	

Documentación:

- El Programa de Operaciones.
- El Plan de producción para el mes y el anual.
- RF-DO-M-17-11 Manual Puesta en Marcha y Arranque S-300
- RF-DO-IS-17-01 Instrucción Inicial Específica Planta de Procesos
- RF-DO-IPT-17-01 Instrucción del puesto de trabajo del Jefe de Taller
- RF-DO-IPT-17-03 Instrucción del puesto de trabajo Jefe Sector3
- RF-DO-P-17-09 Procedimiento de relaciones interplantas
- RF-DO-IPT-17-06 Instrucción del Puesto de Trabajo Jefe Brigada
- RF-DO-P-17-18 Filosofía operación S300-1.
- Plan de Liquidación de Averías S-300-1.

Alcance: Es obtener un diesel con un contenido de azufre hasta 0.2 % en masa a partir de la fracción 180-350°C derivada de la mezcla de crudos Mesa –Merey.

Recursos necesarios:

Técnicos: Torres de destilación, Calderas, Bombas y motores, Tanques (Crudo, intermedios y productos terminados), Equipos de Comunicación (Computadoras, Teléfonos, Fax, Plantas y Trunking), Equipos de medición y de control automáticos y manuales, Equipos para la toma de muestras y de ensayos químicos del laboratorio, Medios de Transporte, Material de Laboratorio, Sistemas de extinción de fuego y servicios médicos

Materiales: Crudo (Mezcla Mesa 30 y Merey 16), Sosa Cáustica, NaCl granulada, Arcilla, Agua, Productos químicos para tratamiento de los residuales y sustancias catalizadoras.

Humanos: Responsables de cada una de las direcciones, Jefes de cada una de las Áreas y departamentos así como especialistas, técnicos y operadores en cada uno de los procesos y subprocesos.

Procesos del sistema con que se relaciona:

Producción de Gasolina, Producción de Gas Licuado del Petróleo (GLP), Producción de Diesel y Fuel oil, Dirección General, Dirección de Tecnología, Servicios Técnicos, Mantenimiento, Laboratorio, Dirección de Procura, Dirección Energética y



Trasporte.

Entradas:

- Hidrógeno.
- Fracción 180-350 °C
- Agua de enfriamiento
- MDEA Pobre
- Fuel Oil
- Gas.

Proveedores:

- S-200 (M5.3.02) MCP T-37 y 38 (M5.4)
- MCP T-37 (M5.4)
- Sector PTR (M5.3.08)
- Título 02
- MCP T-39 Titulo de insumo de fuel Oil.
- Red de gas combustible a los hornos.

Salidas:

- Gas combustible
- Gas hidrogenado
- Fracción liviana inestable de nafta
- Diesel hidrofinado con contenido de azufre al 0.2 % (en peso)
- Agua sulfídrica
- MDA Rica

Clientes:

- S-600 (M5.3.07)
- S-700 y S-600 (M5.3.07)
- MCP (M5.4)
- Sector de PTR (M4.3)
- Título 02
- Sección 100 (T-102)

Variables de Control:**Indicadores:**



• Relación de circulación del gas hidrogenado a materia prima. • Temperaturas, presiones y volúmenes en cada uno de los puntos de control establecidos del proceso. • Parámetros de calidad del producto.	• % de cumplimiento de los planes de producción. • Rendimiento de la mezcla de crudos. • Ventas. • % cumplimiento de los parámetros de calidad del producto.
---	--



Anexo No.21

Especificaciones del Diesel. Fuente: Catalogo de Especificaciones de Cupet

PRODUCTO: COMBUSTIBLE DIESEL REGULAR COMBUSTIBLE DIESEL ESPECIAL		CODIGOS: 2252010010 2252010012		
EMPRESAS PRODUCTORAS: REFINERÍA "NICO LÓPEZ" REFINERÍA "HERMANOS DÍAZ" REFINERÍA "SERGIO SOTO" PRODUCTO IMPORTADO		PRINCIPALES CONSUMIDORES: MERCADO NACIONAL		
DESCRIPCION DEL PRODUCTO:	LIQUIDO TRANSLUCIDO, OBTENIDO EN LA REFINACIÓN DEL PETRÓLEO CRUDO, MEDIANTE MEZCLAS DE DIFERENTES COMPONENTES.			
ESPECIFICACIONES DEL PRODUCTO				
INDICES DE CALIDAD	U/M	METODO DE ENSAYO	VALOR ESPECIFICADO	
			REGULAR	ESPECIAL
1- AZUFRE TOTAL	% m/m	ASTM D 129, D 4294, D 1552	0.80 máx	0.50 máx
2- DESTILACION: INICIAL 10 % RECOBRADO 50 % RECOBRADO 90 % RECOBRADO FINAL	°C	NC ASTM D 86	Reportar Reportar 235-300 360 máx Reportar	
3- TEMPERATURA DE INFLAMACION	°C	NC ASTM D 93	45 mín	
4- INDICE DE CETANO	-	ASTM D 4737	43 mín	
5- VISCOSIDAD A 40 °C	mm ² /s	ASTM D 445	1.6-5.3	
6- No. DE NEUTRALIZACION	mg KOH/g	ASTM D 974	0.5 máx	
7- COLOR ASTM	-	ASTM D 1500, D 6045	3.5 máx	
8- CORROSION AL Cu, 3 h A 50 °C	-	NC ASTM D 130	1 máx	
9- CENIZAS	% m/m	ASTM D 482	0.01 máx	
10- CARBON CONRADSON	% m/m	ASTM D189, D4530	0.1 máx	
11- DENSIDAD A 15 °C	g/cm ³	ASTM D1298, D4052	0.815-0.865	
12- AGUA Y SEDIMENTOS	% v/v	NC ASTM D 1796, D 2709,	0.05 máx	
13- APARIENCIA	-	VISUAL	(1)	
14- PARTÍCULAS CONTAMINANTES	mg/kg	ASTM D 6217	(2)	
15- ESTABILIDAD A LA OXIDACIÓN	mg/kg	ASTM D 2274	(2)	
16- ADITIVOS (3)				
USOS:	COMBUSTIBLE PARA MOTORES DIESEL Y TURBINAS DE GAS, ASI COMO PARA QUEMADORES DE HORNOS Y COCINAS QUE REQUIEREN UN COMBUSTIBLE DESTILADO.			
ENVASE Y ALMACENAMIENTO:	ENTREGA A GRANEL EN CAMIONES, VAGONES Y BUQUES CISTERNA. ALMACENAMIENTO EN TANQUES SUPERFICIALES O SOTERRADOS.			
PELIGROSIDAD:	LIQUIDO INFLAMABLE CLASE III. CMA 300 mg/m ³ . EVITESE EL CONTACTO CON LA PIEL.			
OBSERVACIONES: (1) VISUALMENTE LIBRE DE SEDIMENTOS, SÓLIDOS EN SUSPENSION Y AGUA LIBRE. (2) MONITOREAR COMPORTAMIENTO CON UNA FRECUENCIA MENSUAL COMO MÍNIMO. VALORES ÓPTIMOS PARA GRUPOS ELECTRÓGENOS: ESTABILIDAD OXIDACIÓN: 25 g/m ³ máx., CONTAMINACIÓN TOTAL: 24 mg/kg máx. (3) GENERALMENTE SE SUMINISTRA ADITIVADO, EN UNA PROPORCIÓN 1/1000 EN VOLUMEN CON BIOMIX-D, ADITIVO MEJORADOR DE LA COMBUSTIÓN Y RENDIMIENTO DEL MOTOR. ESTA INFORMACIÓN SE REFLEJARÁ EN LA DECLARACIÓN DE CONFORMIDAD DEL PRODUCTO.				

Anexo No.22

Grafico de control analítico del Diesel. Fuente: Manual de operaciones de Hidrofinadora y Manual de operaciones de MCP.

Fracción 180-350 °C	Análisis a realizar	U/M	Valor Especificado	Lugar de Muestreo	Frecuencia	Método
	AZUFRE TOTAL	% masa	0.8 Max	En cada uno de los tanques del producto. (este resultado se toma de MCP) En caso de destilación directa, en la línea de las bombas P-301 o-P-301R	Cuando se llene un tanque (1046,1047,1048 y 1048A)	ASTM D1298, D4052
	DESTILACION: INICIAL 10 % RECOBRADO 50 % RECOBRADO 90 % RECOBRADO FINAL		Reportar Reportar 235-300 Max. 360 Reportar			NC ASTM D 86
	TEMPERATURA DE INFLAMACION	°C	Min. 52			NC ASTM D 93
	DENSIDAD A 15 °C	g/cm ³	0.815-0.865			NC ASTM D 86
	AGUA Y SEDIMENTOS	%v/v	Ausencia			NC ASTM D 1796
Diesel Hidrogenado Estable	AZUFRE TOTAL	% masa	0.5 Max	En la tubería de la salida de la sección, en la línea L-311/6	1/Turno 10: 00 AM 10.00 PM	ASTM D1298, D4052
	DESTILACION: INICIAL 10 % RECOBRADO 50 % RECOBRADO 90 % RECOBRADO FINAL		Reportar Reportar 235-300 Max. 360 Reportar			NC ASTM D 86
	PUNTO DE INFLAMACION	°C	Min. 52			NC ASTM D 93

	DENSIDAD A 15 °C	g/cm ³	0.815-0.865			NC ASTM D 86
	AGUA Y SEDIMENTOS		0.05Max			NC ASTM D 1796
	CORROSIÓN LAMINA DE COBRE	Unidad	Max 1			ASTM D-130
	COLOR	Unidad ASTM	3.5 Max			ASTM D 1500
	ÍNDICE DE CETANO	Calculado	43 Min			ASTM D 4737
	CONTENIDO DE IMPUREZAS MECÁNICAS	Visual	Ausencia			Visual
Diesel Hidrogenado Estable + Fracción 180-350 °C	AZUFRE TOTAL	% masa	0.5 Max	Nudo de Mezcla	1/Turno 10: 00 AM 10.00 PM	ASTM D1298, D4052
	CORROSIÓN DE LAMINA DE COBRE	Unidad	Max 1			ASTM D-130
	PUNTO DE INFLAMACIÓN	°C	Min 52			NC ASTM D 93

Selección de los expertos. Fuente: Elaboración propia

Para la selección de los expertos se debe determinar la cantidad y luego la relación de los candidatos de acuerdo a los criterios de competencia, creatividad, disposición a participar, experiencia científica y profesional en el tema, capacidad de análisis, pensamiento lógico y espíritu de trabajo en equipo.

Se calcula el número de expertos para llevar a cabo el desarrollo de este método:

$$n = \frac{p(1-p)k}{i^2}$$

Donde:

$$n = \frac{0.05(1 - 0.05) * 3.8416}{0.12^2}$$

k: Cte. que depende del nivel de significación estadística.

p: Proporción de error que se comete al hacer estimaciones del problema con n expertos. (0.05)

$$n \approx 13 \text{ expertos}$$

i: Precisión del experimento. (0.12)

1- α	k
99%	6,6564
95%	3,8416
90%	2,6896

La determinación del coeficiente es acorde al nivel de confianza escogido para el trabajo ($\alpha=0.05$).

En este caso se cuenta con 13 expertos, los cuales poseen los siguientes cargos y años de experiencia:

- Director Técnico de la Refinería de Cienfuegos: Luis García López, 32 años de experiencias.



- Jefe de Grupo de Ingeniería de Procesos: Ramiro Rodríguez Tabares, 32 años de experiencias.
- Especialista de Metrología: Midiala Hernández Santana, 29 años de experiencias.
- Director del Sector 1: Juan L Artilles Martínez, 36 años de experiencias.
- Jefe del Laboratorio Químico Central: Rubén Pérez Ayo, 32 años de experiencia.
- Jefe de Control de Calidad del Laboratorio Químico Central, Rubén Rangel Gómez 30 años de experiencia.
- Jefe del Sector de Crudo y Producto: Eriel Sánchez, 6 años de experiencia.
- Supervisor de Tanques: José Pablo García Pozo, 10 años de experiencia.
- Tecnólogo MCP: Alexis González Martínez, 7 años de experiencia.
- Técnico de Metrología: Antonio Cárdenas Miranda, 36 años de experiencias.
- Tecnóloga A: Haydee Rodríguez Roque, 28 años de experiencias, Black Belt Seis Sigma: 2010.
- Tecnólogos de procesos: Nerys Saavedra Pérez, 31 años de experiencias, atiende la sección 300
- Técnico de Metrología: Antonio Cárdenas Miranda, 36 años de experiencia.



Anexo No.24

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

Estimado(a) colega:

Como usted conoce, uno de los aspectos que necesita atención dentro del sistema de gestión de la calidad, es la gestión de las mediciones, específicamente la calidad de las mismas. Con este fin el equipo de trabajo conformado para la actual investigación ha seleccionado un producto para realizar dicha evaluación, a partir de sus características críticas de calidad.

El producto seleccionado es el Diesel, al cual se le realizan un grupo de ensayos (16) mediante los cuales se determina su calidad, pero al ser estos numerosos se desea conocer cuáles tienen mayor repercusión en los requisitos exigidos por los clientes.

Para comenzar el estudio se desea obtener información acerca de los ensayos con mayor prioridad y atendiendo a su experiencia profesional, se solicita su disposición de colaborar y su valoración al respecto.

Agradecemos su valiosa colaboración y nos disculpamos por ocupar su preciado tiempo.

1. Marque con una X, en una escala creciente del 1 al 10, el valor que se corresponda con el grado de conocimiento o información que tenga sobre la temática en función de las características de calidad del Diesel.

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

- 2- Realice una autovaloración, según la tabla siguiente, de sus niveles de conocimiento sobre el tratamiento, almacenamiento y parámetros de calidad del Diesel.

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



Anexo No.25

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

Expertos	Ka	Kc	$K=1/2(Ka+Kc)$	Clasificación
1	0,8	1,0	0,9	Alto
2	0,9	1,0	0,95	Alto
3	0,7	0,8	0,75	Medio
4	0,8	0,9	0,85	Alto
5	0,8	0,9	0,85	Alto
6	0,7	0,7	0,7	Medio
7	0,8	1,0	0,9	Alto
8	0,9	0,9	0,9	Alto
9	0,6	0,8	0,7	Medio
10	0,6	0,8	0,7	Medio
11	0,6	0,7	0,65	Medio
12	0,5	0,7	0,6	Medio
13	0,5	0,6	0,55	Medio



Anexo No.26

Procesamiento del Método Delphi. Fuente: Elaboración propia

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 el caso de la última ronda $\lambda^2_{calculada}=175,500$ y $\lambda^2_{tabulada}= 37, 652$. El procesamiento de los resultados se efectúa mediante el paquete de programa SPSS versión 16.0. 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.



Prueba W de Kendall

Rangos

	Rango promedio
APARIENCIA °C	9,92
CENIZAS	8,92
AGUA y SEDIMENTO	8,92
VISCOSIDAD A 40 °C	8,92
AZUFRE TOTAL	15,27
CARBÓN CONRADSON	6,77
No. DE NEUTRALIZACION	8,92
TEMPERATURA DE INFLAMACIÓN	10,42
COLOR ASTM	8,92
DESTILACION INICIAL	8,92
DESTILACION FINAL	9,42
INDICE DE CETANO	8,92
CORROSION AL Cu, 3h A 50°C	2,15
PARTICULAS CONTAMINANTES	2,15
ESTABILIDAD A LA OXIDACIÓN	2,15
DENSIDAD A 15 °C	15,27

Estadísticos de contraste

N	13
W de Kendall ^a	,906
Chi-cuadrado	176,612
gl	15
Sig. asintót.	,000

a. Coeficiente de concordancia de Kendall

Anexo No.27

Relación de instrumentos de la Hidrofinadora y Tanques. Fuente: Dirección de Automática, Informática y Telecomunicaciones.

03PRC-001	0000300124DP20801	Presión de la R 301
03FRC-011	0000300124DP20801	Flujo desde la C-301,R en R-301
03FV-011	0000300124DP20801	Flujo desde la C-301,R en R-301
03FR-023	0000300124DP20802	Flujo de Agua químicamente en E-301
03FRC-012	0000300124DP20801	Flujo materia prima de bombas P 301
03FRZAL-012A	0000300124DP20801	Flujo materia prima de bombas P 301
03FRC-016	0000300124DP20801	Flujo gas Hidrogenado de C 301
03FRZAL-016A	0000300124DP20801	Flujo gas Hidrogenado de C 301
03XVZ-301_C1	0000300124DP20801	Bloqueo válvula para flujo de materia prima
03XVZ-301_SO	0000300124DP20801	Senal abierto válvula 03XVZ-301
03XVZ-301_SC	0000300124DP20801	Senal cerrado válvula 03XVZ-301
03FV-012	0000300124DP20801	Flujo materia prima desde P 301
03PV-001	0000300124DP20801	Flujo Gas Combustible salida T 302
03FR-020	0000300124DP20801	Flujo Gas Combustible salida T 302
03FQI-051	0000300124DP20801	Flujo materia prima en D 301
03FQI-052	0000300124DP20803	Flujo Gasolina
03LRC-001	0000300124DP20801	Nivel en el D 301
03LG-001	0000300124DP20801	Nivel en el D 301 NEW
03LV-001	0000300124DP20801	Regulación nivel en el D 301

03PR-003	0000300124DP20801	Presión en el D301
03TRC-002	0000300124DP20802	Temperatura de entrada B 301
03LRC-013	0000300124DP20802	Nivel en el B 301
03LZALL-013	0000300124DP20802	Limite de nivel en el B 301
03LV-013A	0000300124DP20802	Regulación nivel en el B-301
03LVZ-013BC1	0000300124DP20802	Bloqueo flujo hidrogenado de B 301
03LVZ-013BSO	0000300124DP20802	Senal abierto de válvula 03LVZ-013B
03LVZ-013BSC	0000300124DP20802	Senal cerrado de válvula 03LVZ-013B
03LIRC-015	0000300124DP20802	Nivel agua sulfhídrica en el B 301-interfase
03LG-015	0000300124DP20802	Nivel agua sulfhídrica en el B 301-interfase
03LZALL-014	0000300124DP20804	Limite de nivel en el T 302
03LV-015A	0000300124DP20802	Flujo Agua sulfhídrica desde B 301
03LVZ-015BC1	0000300124DP20802	Bloqueo válvula para flujo Agua sulfhídrica desde planta
03LVZ-014BSO	0000300124DP20804	Señal abierto válvula 03LVZ-014B
03LVZ-014BSC	0000300124DP20804	Señal cerrado válvula 03LVZ-014B
03LRC-002	0000300124DP20802	Nivel en el B 302
03LG-002	0000300124DP20802	Nivel en el B 302
03FRC-013	0000300124DP20802	Flujo hidrogenado desde B-302
03FV-013	0000300124DP20802	Flujo hidrogenado desde B-302
03PIC-005	0000300124DP20802	Presión en el B 302
03PV-005	0000300124DP20802	Flujo Gas hidrocarb.desde B 302
03FR-019	0000300124DP20802	Flujo Gas hidrocarb.desde B 302
03TIC-003	0000300124DP20802	Temperatura salida A 302

03FQI-031	0000300124DP20802	Flujo combustible estable desde la planta
03LRC-010	0000300124DP20803	Nivel en el B 305 internase Gasolina/ Agua
03LV-010	0000300124DP20803	Flujo Agua sulfhídrica desde B 305
03LRC-005	0000300124DP20803	Nivel en el B 305
03LG-005	0000300124DP20803	Nivel en el B 305
03LV-005	0000300124DP20803	Flujo Gasolina desde B 305
03PIC-036	0000300124DP20803	Presión el B 305
03PV-036	0000300124DP20803	Regulación de presión en el B 305
03LZALL-015	0000300124DP20802	Limite de nivel en el B 301
03PZAH-023/1	0000300124DP20803	Presión desde P 308
03TRC-007	0000300124DP20803	Temperatura en el fondo T 301
03LRC-003	0000300124DP20803	Nivel en el T 301
03LG-003	0000300124DP20803	Nivel en el T 301
03LV-003	0000300124DP20802	Regulación de nivel en el T 301
03TR-111	0000300124DP20803	Temperatura en el cabezal T 301
03TR-112	0000300124DP20803	Temperatura hidrogenado desde E 302 en T 301
03PR-011	0000300124DP20803	Presión de el cabezal T 301
03FRC-004	0000300124DP20803	Flujo reflux T 301
03FV-004	0000300124DP20803	Flujo reflux T 301
03LIAHL-016	0000300124DP20803	Nivel en el D 304
03LG-016	0000300124DP20803	Nivel en el D 304
03LRC-014	0000300124DP20804	Nivel en el T 302
03LG-014	0000300124DP20804	Nivel en el T 302

03PZAH-023/2	0000300124DP20803	Presion desde P 309
03LV-014A	0000300124DP20804	Flujo solución saturada DEA
03LVZ-014BC1	0000300124DP20804	Bloqueo válvula para flujo sol.saturada DEA
03LVZ-015BS0	0000300124DP20802	Señal abierto válvula 03LVZ-015B
03LVZ-015BSC	0000300124DP20802	Cenal cerrado válvula 03LVZ-015B
03Pdl-014	0000300124DP20804	Dif. Presión en el T-302
03FRC-003	0000300124DP20804	Flujo solucion DEA resirerada
03FV-003	0000300124DP20804	Flujo solucion DEA resirerada
03FRZAL-003A	0000300124DP20804	Flujo solucion DEA resirerada
03LRC-009	0000300124DP20806	Nivel en el B 306
03LV-009	0000300124DP20806	Regulación de nivel en el B 306
03LRC-011	0000300124DP20806	Nivel en el B 306 - interfase
03LV-011	0000300124DP20806	Regulación de nivel DEA saturada en el B 306
03PIC-004	0000300124DP20806	Presión en el B 306
03PV-004A	0000300124DP20806	Regulación de presión en el B 306
03PV-004B	0000300124DP20806	Regulación de presión en el B 306
03LRC-004	0000300124DP20806	Nivel en el D 302
03LG-004	0000300124DP20806	Nivel en el D 302
03LV-004	0000300124DP20806	Regulación de nivel en el D 302-DEA
03PIC-012	0000300124DP20806	Presion Gas inerte
03PV-012	0000300124DP20806	Regulación de presión Gas inerte-entrada
03PI-009	0000300124DP20806	Presión en el D 302

03LIAHL-018	0000300124DP20806	Nivel en el D 305
03LG-018	0000300124DP20806	Nivel en el D 305
03PZAH-023/3	0000300124DP20806	Presión desde P 311
03LIAHL-017	0000300124DP20806	Nivel en el D 303
03LG-017	0000300124DP20806	Nivel en el D 303
03PIC-013	0000300124DP20806	Presión Gas inerte
03PV-013	0000300124DP20806	Regulación de presión Gas inerte-salida
03LRC-007	0000300124DP20804	Nivel el T 304
03LG-007	0000300124DP20804	Nivel el T 304
03LV-007	0000300124DP20804	Nivel el T 304
03Pdl-016	0000300124DP20804	Dif. Presión en el T304
03FRC-008	0000300124DP20804	Flujo DEA inyeccion en el T 304
03FV-008	0000300124DP20804	Flujo DEA inyeccion en el T 304
03FR-022	0000300124DP20804	Flujo GAS salida cabezal de T 304
03PIZAH-029	0000300124DP20804	Presión de el cabezal T 304
03LRC-008	0000300124DP20805	Nivel el T 304
03LG-008	0000300124DP20805	Nivel el T 304
03LV-008	0000300124DP20805	Nivel el T 303
03Pdl-015	0000300124DP20805	Dif. Presión en el T-303
03FRC-005	0000300124DP20805	Flujo DEA inyección en el T 303
03FV-005	0000300124DP20805	Flujo DEA inyección en el T 303
03TI-132-1	0000300124DP20801	Termopar Multizonal del R-301 Zona 2E Punto 1
03TI-132-2	0000300124DP20801	Termopar Multizonal del R-301 Zona 2E Punto 2

03TI-132-3	0000300124DP20801	Termopar Multizonal del R-301 Zona 2E Punto 3
03TI-132-4	0000300124DP20801	Termopar Multizonal del R-301 Zona 2E Punto 4
03TI-132-5	0000300124DP20801	Termopar Multizonal del R-301 Zona 2E Punto 5
03TI-132-6	0000300124DP20801	Termopar Multizonal del R-301 Zona 2E Punto 6
03TI-132-7	0000300124DP20801	Termopar Multizonal del R-301 Zona 2E Punto 7
03TI-132-8	0000300124DP20801	Termopar Multizonal del R-301 Zona 2E Punto 8
03TI-132-9	0000300124DP20801	Termopar Multizonal del R-301 Zona 2E Punto 9
03TI-132-10	0000300124DP20801	Termopar Multizonal del R-301 Zona 2E Punto 10
03TI-133-1	0000300124DP20801	Termopar Multizonal del R-301 Zona 3E Punto 1
03TI-133-2	0000300124DP20801	Termopar Multizonal del R-301 Zona 3E Punto 2
03TI-133-3	0000300124DP20801	Termopar Multizonal del R-301 Zona 3E Punto 3
03TI-133-4	0000300124DP20801	Termopar Multizonal del R-301 Zona 3E Punto 4
03TI-133-5	0000300124DP20801	Termopar Multizonal del R-301 Zona 3E Punto 5
03TI-133-6	0000300124DP20801	Termopar Multizonal del R-301 Zona 3E Punto 6
03TI-133-7	0000300124DP20801	Termopar Multizonal del R-301 Zona 3E Punto 7
03TI-133-8	0000300124DP20801	Termopar Multizonal del R-301 Zona 3E Punto 8
03TI-133-9	0000300124DP20801	Termopar Multizonal del R-301 Zona 3E Punto 9
03TI-133-10	0000300124DP20801	Termopar Multizonal del R-301 Zona 3E Punto 10
03TI-134-1	0000300124DP20801	Termopar Multizonal del R-301 Zona 4E Punto 1
03TI-134-2	0000300124DP20801	Termopar Multizonal del R-301 Zona 4E Punto 2
03TI-134-3	0000300124DP20801	Termopar Multizonal del R-301 Zona 4E Punto 3
03TI-134-4	0000300124DP20801	Termopar Multizonal del R-301 Zona 4E Punto 4
03TI-134-5	0000300124DP20801	Termopar Multizonal del R-301 Zona 4E Punto 5

03TI-134-6	0000300124DP20801	Termopar Multizonal del R-301 Zona 4E Punto 6
03TI-134-7	0000300124DP20801	Termopar Multizonal del R-301 Zona 4E Punto 7
03TI-134-8	0000300124DP20801	Termopar Multizonal del R-301 Zona 4E Punto 8
03TI-134-9	0000300124DP20801	Termopar Multizonal del R-301 Zona 4E Punto 9
03TI-134-10	0000300124DP20801	Termopar Multizonal del R-301 Zona 4E Punto 10
03TRC-001	0000300124DP20801	Temperatura de la reactor R-301.
03TR-141	0000300124DP20801	Temperaturade la reactor R-301.
03TR-142	0000300124DP20801	Temperatura de lareactor R-301.
03TR-131	0000300124DP20801	Temperatura de salida reactor R-301.
03PDR-006	0000300124DP20801	Dif. presión en el reactor R-301
03PRC-001	0000300124DP20801	Presión del R 301
03HZL-302	0000300124DP20806	Emergencia CERRAR válvula YV302
03HZL-310	0000300124DP20806	Emergencia CERRAR válvula YV310
03HSZ-001	0000300124DP20806	Emergencia STOP botón bombas P 301,R y quemadores F301 y F302
06TI-315	0000300126DP20818	Entrada en F 301
06TI-312	0000300126DP20818	Salida de convección a Radiación del F-301
06TI-313	0000300126DP20818	Salida de convección a Radiación del F-301
06TI-314	0000300126DP20818	Salida de convección a Radiación del F-301
06TI-309	0000300126DP20818	Salida del F-301
06TI-310	0000300126DP20818	Salida del F-301
06TI-311	0000300126DP20818	Salida del F-301
06TRC-306	0000300126DP20818	Temperatura hacia reactor F 301

06TRC-306A	0000300126DP20818	Temperatura salida horno F 301
06TI-316	0000300126DP20818	Temperatura de Gases del F-301.
06TI-317	0000300126DP20818	Temperatura de Gases del F-301.
06TI-318	000300126DP20818	Temperatura de Gases del F-301.
06TI-323	000300126DP20819	Entrada en F 302
06TI-321	000300126DP20819	Salida de convección a Radiación del F-302
06TI-322	000300126DP20819	Salida de convección a Radiación del F-302
06TI-319	000300126DP20819	Salida del F-302
06TI-320	000300126DP20819	Salida del F-302
06TRC-308	000300126DP20819	Temperatura hacia F 302
06TRC-308A	000300126DP20819	Temperatura salida horno F 302
06TI-324	000300126DP20819	Temperatura de Gases del F-302
06TI-325	000300126DP20819	Temperatura de Gases del F-302
06TI-326	000300126DP20819	Temperatura de Gases del F-302
06TR-351	000300126DP20811	Temperatura de Gas combustible del F301
06TR-352	000300126DP20811	Temperatura de Gas combustible del F302
06HSZ-301	000300126DP20811	Emergencia SHUT DOWN quemadores F302
06HSZ-302	000300126DP20811	Emergencia STOP compresores C301A,B
07XV_301_C1	0000300127DP20819	Aire de purga a la atmosfera para C-301
07XV_302_C1	0000300127DP20819	Aire de purga a la atmosfera para C-301R
07FTZ_303	0000300127DP20808-2	Flujo en la salida de agua desde motor C-301
07FTZ_304	0000300127DP20808-2	Flujo en la salida de agua desde motor C-301R
07FTZ_305	0000300127DP20808-2	Flujo en la salida de agua desde sellos C-301

07FTZ_306	0000300127DP20808-2	Flujo en la salida de agua desde sellos C-301R
07FTZ_311	0000300127DP20816	Flujo en escape por los sellos C-301
07FTZ_312	0000300127DP20817	Flujo en escape por los sellos C-301R
07FT_302	0000300127DP20816	Gas hidrogenado de sección 200 en B-303
07FV_302	0000300127DP20816	Gas hidrogenado de sección 200 en B-303
07PT_308	0000300127DP20816	Presión en el B 303
07LTZ_312A	0000300127DP20816	Nivel en el B 303
07LV_312A	0000300127DP20816	Nivel en el B 303
07LV_312_Z0	0000300127DP20816	Cerrado de válvula LV-312
07LV_312_S0	0000300127DP20816	Posición cerrado de válvula LV-312
07LG_312B	0000300127DP20816	Nivel en el B 303
07LSHHZ_312B	0000300127DP20816	Max. nivel en el B 303
07LSLLZ_312B	0000300127DP20816	Min. nivel en el B 303
07LG-301	0000300127DP20818	Nivel en el D-224-1
07LG-302	0000300127DP20818	Nivel en el D-224-1
07PT_301	0000300127DP20808-1	Presión de entrada de agua hacia sellos C-301
07PT_302	0000300127DP20808-1	Presión de entrada de agua hacia sellos C-301R
07PT_303	0000300127DP20808-2	Presión de salida de agua desde sellos C-301
07PT_304	0000300127DP20808-1	Presión de entrada de agua desde sellos C-301R
07PT_311	0000300127DP20807	Presión de agua en la entrada C-301
07PT_306	0000300127DP20808-1	Presión de entrada de agua hacia motor C-301, C-301R
07PT_312	0000300127DP20807	Presión de agua en la salida C-301
07PI313	0000300127DP20807	Presión de agua en la entrada C-301R

07PI314	0000300127DP20807	Presión de agua en la salida C-301R
07PIZ315	0000300127DP20818	Presión Aceite al carter C-301
07PIZ316	0000300127DP20818	Presión Aceite al carter C-301R
07PIZ321A	0000300127DP20819	Presión en el Motor C-301 (4 tomas)
07PIZ321B	0000300127DP20819	Presión en el Motor C-301 (4 tomas)
07PIZ321C	0000300127DP20819	Presión en el Motor C-301 (4 tomas)
07PIZ321D	0000300127DP20819	Presión en el Motor C-301 (4 tomas)
07PIZ322A	0000300127DP20819	Presión en el Motor C-301R (4 tomas)
07PIZ322B	0000300127DP20819	Presión en el Motor C-301R (4 tomas)
07PIZ322C	0000300127DP20819	Presión en el Motor C-301R (4 tomas)
07PIZ322D	0000300127DP20819	Presión en el Motor C-301R (4 tomas)
07PI323	0000300127DP20819	Presión en Mecanismo de giro C-301
07PI324	0000300127DP20819	Presión en Mecanismo de giro C-301-1
07PIZ325	0000300127DP20816	Presión entrada C 301
07PIZ326	0000300127DP20817	Presión entrada C 301R
07PIZ327	0000300127DP20816	Presión salida C 301
07PIZ328	0000300127DP20817	Presión salida C 301R
07TT_301	0000300127DP20808-1	Temper.de entrada de agua al motor C-301
07TT_303	0000300127DP20808-2	Temper.de salida de agua desde motor C-301
07TT_302	0000300127DP20808-1	Temper.de entrada de agua al motor C-301R
07TT_305	0000300127DP20818	Temperatura de aceite al carter C-301
07TT_304	0000300127DP20808-2	Temper.de salida de agua desde motor C-301R
07PT_305	0000300127DP20808-2	Presión de salida de agua desde motor C-301, C-301R

07TT_306	0000300127DP20818	Temperatura de aceite al carter C-301R
07TT_307	0000300127DP20819	Temp.en aire del motor C 301
07TT_308	0000300127DP20819	Temp.en aire del motor C 301-1
07TTZ_321	0000300127DP20819	Temperatura en el rodamiento C-301/1
07TTZ_322	0000300127DP20819	Temperatura en el rodamiento C-301/2
07TTZ_323	0000300127DP20819	Temperatura en el rodamiento C-301/3
07TTZ_324	0000300127DP20819	Temperatura en el rodamiento C-301R/1
07TTZ_325	0000300127DP20819	Temperatura en el rodamiento C-301R/2
07TTZ_326	0000300127DP20819	Temperatura en el rodamiento C-301R/3
07TT_327	0000300127DP20816	Temperatura entrada en B-307/1 (C 301)
07TT_328	0000300127DP20816	Temperatura entrada en B-307/1 (C 301)
07TT_329	0000300127DP20817	Temperatura entrada en B-307/2 (C 301R)
07TT_330	0000300127DP20817	Temperatura entrada en B-307/2 (C 301R)
07TTZ_331	0000300127DP20816	Temperatura salida de B-308/1 (C 301)
07TTZ_332	0000300127DP20816	Temperatura salida de B-308/1 (C 301)
07TTZ_333	0000300127DP20817	Temperatura salida de B-308/2 (C 301R)
07TTZ_334	0000300127DP20817	Temperatura salida de B-308/2 (C 301R)
07TT_335	0000300127DP20819	Temperatura en el estator C-301
07TT_336	0000300127DP20819	Temperatura en el estator C-301
07TT_337	0000300127DP20819	Temperatura en el estator C-301
07TT_338	0000300127DP20819	Temperatura en el estator C-301
07TT_339	0000300127DP20819	Temperatura en el estator C-301
07TT_340	0000300127DP20819	Temperatura en el estator C-301



07TT_341	0000300127DP20819	Temperatura en el estator C-301R
07TT_342	0000300127DP20819	Temperatura en el estator C-301R
07TT_343	0000300127DP20819	Temperatura en el estator C-301R
07TT_344	0000300127DP20819	Temperatura en el estator C-301R
07TT_345	0000300127DP20819	Temperatura en el estator C-301R
07TT_346	0000300127DP20819	Temperatura en el estator C-301R
07MC301A_ALR		Sonora de compresor C 301
07MC301B_ALR		Sonora de compresor C 301R
07HSZ-301		Emergencia SHUT DOWN quemadores F301



Relación de instrumentos utilizados en los ensayos del laboratorio químico al Diesel.

Fuente: Laboratorio Químico

Ensayo	Denominación	Unidad	Método
DENSIDAD A 15 °C	Densímetro Digital	g/cm ³	ASTM D-1298-4052
AZUFRE TOTAL	FRX automático	% m/m	ASTM D-4294
AGUA y SEDIMENTO		% v/v	ASTM D-1796
VISCOSIDAD A 40 °C	Viscosímetro	mm ² /s	ASTM D- 445
CENIZAS		% m/m	ASTM D-4530
CARBÓN CONRADSON		% m/m	ASTM D-4530
No. DE NEUTRALIZACION		mgKOH/g	ASTM D-974
TEMPERATURA DE INFLAMACIÓN	Copa cerrada TA-6	°C	ASTM D-93
COLOR ASTM	Colorímetro automático	-	ASTM D-6045,1500
DESTILACION:	Destilador	°C	ASTM D-86
INDICE DE CETANO		-	ASTM D4737
CORROSION AL Cu,3h A 50°C	Baño de corrosión	-	ASTM D-130
PARTÍCULAS CONTAMINATE		mg/kg	ASTM D-6217(1)
ESTABILIDAD A LA OXIDACIÓN			ASTM D-2274(1)
APARIENCIA			VISUAL

**Anexo No.29**

Descripción de la forma en que se realizan las mediciones en las diferentes operaciones del proceso de Hidrofinación y almacenamiento Diesel. Fuente: Elaboración propia

El operario de turno toma la muestra según la NC ASTM D 4057: 2009, según establece el RF-DO-GCA-13-03 "Grafico de Control Analítico Sección 300". La muestra es tomada en la línea L-311/6 y en tanque dos veces al día. Se trasladan las mismas hacia el laboratorio, al llegar se registran en el libro de recepción de muestras y se etiquetan según el procedimiento RF-DT-IT-16-04 "Instrucción para la manipulación de los objetos de ensayos e informe de resultados".

Toma de muestra para evaluar las características de calidad a la salida de planta: Se realiza con el objetivo de evaluar las características finales del producto, como son: densidad a 15°C, azufre total, destilación °C y punto de inflamación.

Toma de muestra para evaluar las características de calidad en el producto terminado: Se realiza con el objetivo de evaluar las características finales del producto, como son: densidad a 15°C, azufre total, destilación °C, color, índice de centano, viscosidad, corrosión, y punto de inflamación según DT-GC/C 0702 Catálogo de especificaciones de CUPET

Toma de muestra parcial en tanque alineado a planta: Se realiza con el objetivo de mezclar para evaluar las características del producto que se va entrando a tanque. Esta se toma de forma diaria a las 10:00 am, siempre que el tanque este alineado.

Toma de muestra total en tanque listo para sellar: Una vez llenado el tanque, es necesario por especificaciones del producto el reposo durante cuatro horas por metro de nivel. Luego se toma la muestra para evaluar la totalidad de las características finales del producto para poder emitir el informe de ensayo y poner el tanque al mercado.



Anexo No.30

Informe de ensayo correspondiente al mes de febrero del 2014 de Diesel especial.
Fuente: Laboratorio Químico



Laboratorio Central
 Unidad de Negocios Refinería de Petróleo "Camilo Cienfuegos"
 Finca Carolina, Apartado Postal 239, 55 100 Cienfuegos, Cuba.
 Empresa Mixta Cuvenpetrol, S.A.
 Teléfono :54-3215,54-3212,54-3140

INFORME DE ENSAYO

Nombre del Producto: Diesel Reg

Nombre y Dirección del Cliente: Despacho Central (Ref. Camilo Cienfuegos Finca "Carolina")

No. Registro: 1215 Procedencia: TK-1060

Determinación	U/Medida	Método	Resultado
Color ASTM	-	ASTM D - 6045/1500	L 1.5
Densidad a 15 °C	g/cm3	ASTM D - 4052	0.8616
Gravedad a 15 °C	°API	ASTM D - 1298	32.63
Azufre FRX	%m/m	ASTM D - 4294	0.756
Viscosidad a 40 °C	mm2/s	ASTM D - 445	4.3644
Temp. Inflamación PM CC	°C	ASTM D - 93	75.0
Destilación Inicial	°C	ASTM D - 86	180.0
10%			246.0
50%			294.0
90%			355.0
Destilación Final	°C	ASTM D - 86	377.0
Índice de Cetano	-	ASTM D - 976	49.62
Genizas	%m/m	ASTM D - 482	0.00
Carbón Conradson	%m/m	ASTM D - 4530/189	0.026
Apariencia	Visual	ASTM D - 4176	Claro y brillante
Acidez (NA)	mg KOH/g	ASTM D-664	0.182

Aspectos a tener en cuenta:

Fecha de Recepción: 4/2/2014

Fecha de Terminación: 4/2/2014

Anexo No.31

Resultados del estudio de reproducibilidad y repetibilidad. Fuente: Elaboración propia

Tabla 1: Resultados del ensayo % azufre en planta. Fuente: Elaboración propia

OPERARIO	MUESTRA	Muestra									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	1	0,195	0,196	0,198	0,196	0,195	0,195	0,195	0,195	0,195	0,195
A	2	0,195	0,195	0,198	0,196	0,195	0,195	0,195	0,195	0,195	0,195
B	1	0,195	0,195	0,195	0,196	0,191	0,195	0,195	0,196	0,195	0,195
B	2	0,195	0,195	0,195	0,196	0,191	0,195	0,195	0,196	0,195	0,195
C	1	0,195	0,195	0,195	0,195	0,196	0,195	0,195	0,195	0,191	0,195
C	2	0,195	0,195	0,195	0,195	0,195	0,195	0,196	0,195	0,191	0,195
D	1	0,19	0,195	0,195	0,196	0,195	0,196	0,195	0,195	0,195	0,195
D	2	0,19	0,195	0,195	0,196	0,195	0,195	0,195	0,195	0,195	0,195

Estos resultados son procesados con el software Minitab 15, obteniendo lo siguiente.

Tabla 2: R&R del sistema de medición. Fuente: Elaboración propia

Fuente	VarComp	%Contribución (de VarComp)	Desv.Est (DE)	Var. de estudio (6 * SD)	%Var. de estudio (%SV)
R&R del sistema de medición total	0,0000038	86,89	0,0019621	0,0117729	93,21
Repetibilidad	0,0000001	1,69	0,0002739	0,0016432	13,01
Reproducibilidad	0,0000038	85,19	0,0019429	0,0116576	92,30

Analistas	0,0000027	61,01	0,0016442	0,0098649	78,11
Analistas*Muestras	0,0000011	24,19	0,0010353	0,0062115	49,18
Parte a parte	0,0000006	13,11	0,0001622	0,0045735	36,21
Variación total	0,0000044	100,00	0,0021050	0,0126300	100,00
Número de categorías distintas = 1					

En este estudio se observa que la variación total debido al R&R del sistema de medición es de 93,21%, por tanto el sistema de medición es considerado no aceptable. El número de categorías distintas (nc) que pueden ser distinguidas confiablemente por el sistema de medición analizado en este estudio es igual a 1. De la varianza total, 92,30 % es debida a diferencias entre analistas (reproducibilidad) en tanto que 13,01% es debida al instrumento (repetibilidad), corroborándose de forma gráfica en la siguiente figura.

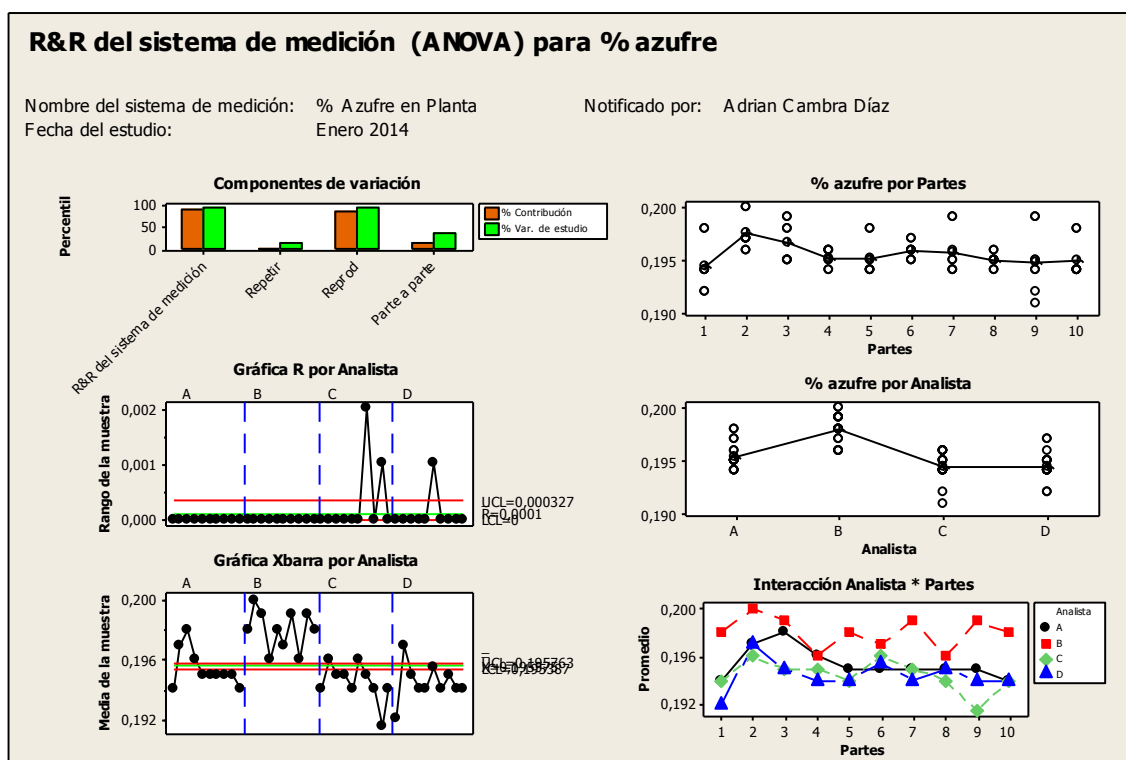


Figura 1: R&R del sistema de medición (ANOVA) para el % de azufre en planta. Fuente: Salida del Software Minitab 15.

De la figura anterior se aprecia el análisis gráfico que entrega el Minitab 15 del estudio realizado, la misma se encuentra compuesta por seis gráficos, donde se puede resumir lo siguiente:

En el gráfico X-barra se observa que parte de los puntos están situados fuera de los límites de control y una parte dentro de los mismos, lo cual refuerza la idea de que existe variación en el sistema de medición. En el diagrama de barras se observa que prácticamente toda la variación se encuentra en la columna de reproducibilidad. En cuanto al gráfico Mediciones por analista se puede decir que existen diferencias en las mediciones realizadas por el analista B respecto a los demás, evidenciándose en la desviación de la línea horizontal, esto corrobora el análisis realizado anteriormente.

Con respecto al gráfico Interacción Analista * Muestras se observa cierta variabilidad en la medida del analista B con respecto al resto. Se puede decir que entre el analista A, C y D hay similitud en sus mediciones.

Se concluye que el factor analista con un nivel de confianza del 95% afecta la variabilidad en la medición del % de azufre del diesel producido, para lo cual se deben tomar acciones para su mejoramiento.

Ensayo Densidad en Planta

Tabla 3: Resultados del ensayo densidad en planta. Fuente: Elaboración propia

Operario	Muestra	Mediciones									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	1	0,8532	0,8528	0,8535	0,853	0,8533	0,8534	0,8531	0,8536	0,8535	0,8528
A	2	0,8532	0,8528	0,8535	0,853	0,8533	0,8534	0,8531	0,8536	0,8535	0,8528
B	1	0,8532	0,8528	0,8535	0,853	0,8533	0,8534	0,8531	0,8536	0,8535	0,8528
B	2	0,8532	0,8528	0,8535	0,8531	0,8533	0,8534	0,8531	0,8536	0,8535	0,8528
C	1	0,8532	0,8528	0,8535	0,853	0,8534	0,8534	0,8532	0,8536	0,8535	0,8529
C	2	0,8532	0,8528	0,8535	0,853	0,8533	0,8534	0,8531	0,8537	0,8535	0,8528
D	1	0,8531	0,8528	0,8535	0,853	0,8533	0,8534	0,8531	0,8536	0,8535	0,8528
D	2	0,8532	0,8528	0,8535	0,853	0,8533	0,8533	0,8532	0,8536	0,8535	0,8528

Estos resultados son procesados con el software Minitab 15, obteniendo lo siguiente.

Tabla 4: R&R del sistema de medición. Fuente: Elaboración propia

Fuente	VarComp	%Contribució	Desv.Est	Var. de estudi	%Var. de e
--------	---------	--------------	----------	----------------	------------

		n (de VarComp)	(DE)	o (6 * SD)	studio (%S V)
R&R del sistema de medición total	0,0000000	1,41	0,0000334	0,0002001	11,86
Repetibilidad	0,0000000	1,36	0,0000328	0,0001967	11,86
Reproducibilidad	0,0000000	0,05	0,0000062	0,0000370	2,19
Analistas	0,0000000	0,05	0,0000062	0,0000370	2,19
Analistas*Muestras	0,0000000	0,00	0,0000053	0,0000015	0,18
Parte a parte	0,0000001	98,59	0,0002792	0,0016752	99,29
Variación total	0,0000001	100,00	0,0002812	0,0016871	100,00
Número de categorías distintas = 11					

En este tipo de estudio el porcentaje de variación total debido a R&R debe ser relativamente pequeño. En este caso, el valor es igual a 11,86%, por tanto el sistema de medición es considerado aceptable.

El número de categorías distintas (nc) que pueden ser distinguidas confiablemente por el sistema de medición analizado en este estudio, es igual a 11.

De la varianza total 2,19% es debida a diferencias entre analistas (reproducibilidad) en tanto que 11,86% es debida al instrumento (repetibilidad), corroborándose de forma gráfica en la figura siguiente.

R&R del sistema de medición (ANOVA) para Densidad

Nombre del sistema de medición: Densidad en Planta
Fecha del estudio: Enero 2014

Notificado por: Adrian Cambra Díaz

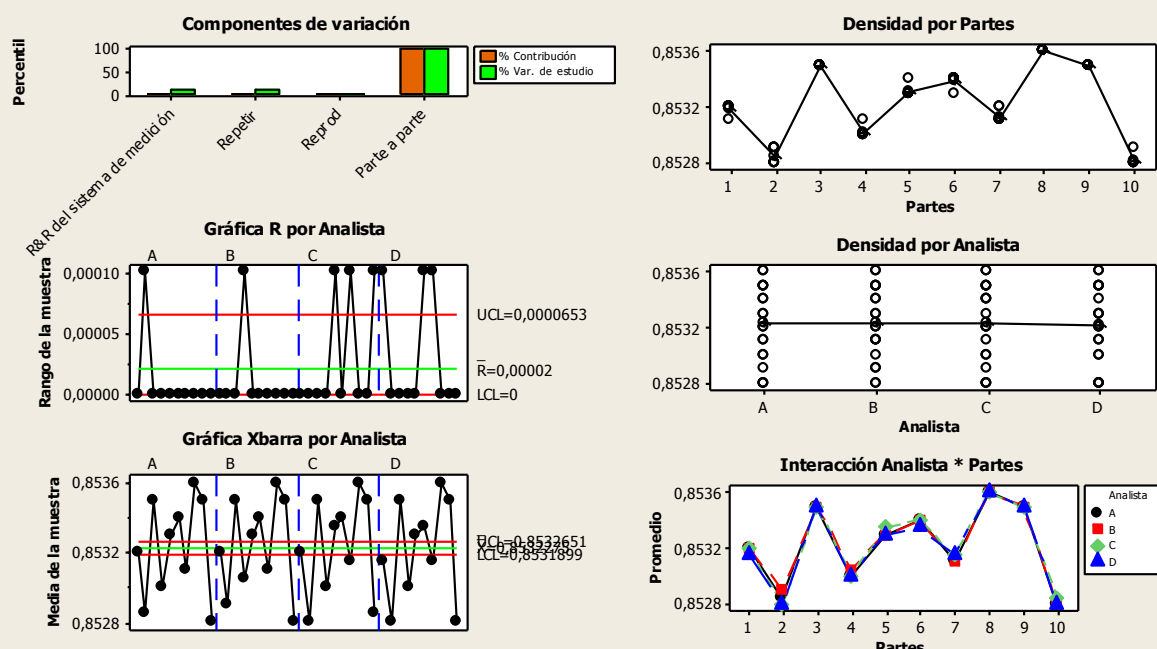


Figura 2: R&R del sistema de medición (ANOVA) para la densidad en planta. Fuente: Salida del Software Minitab 15

En el gráfico X-barra se observa que todos los puntos están situados fuera de los límites de control, lo cual refuerza la idea de que el sistema de medición es aceptable. En el diagrama de barras se observa que la mayor parte de la variación se encuentra en la columna parte a parte, lo que implica que el estudio es capaz de detectar variaciones. En cuanto al gráfico Mediciones por Analistas se puede decir que no existen diferencias en las mediciones realizadas entre ellos, evidenciándose en la línea que es prácticamente horizontal. Con respecto al gráfico Interacción Analistas * Muestras se observa una homogeneidad para medir por parte de los analistas. Esto corrobora el análisis realizado anteriormente.

Por tanto, este sistema de medición es considerado aceptable.

Densidad en Tanque Terminado

Tabla 5: Resultados del ensayo densidad en planta. Fuente: Elaboración propia

Operario	Muestra	Mediciones									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

A	1	0,8541	0,8539	0,8545	0,8542	0,8544	0,8546	0,854	0,8543	0,854	0,8535
A	2	0,8541	0,8539	0,8545	0,8542	0,8544	0,8546	0,8539	0,8543	0,8539	0,8535
B	1	0,8541	0,8538	0,8545	0,8542	0,8544	0,8547	0,854	0,8543	0,8539	0,8535
B	2	0,8541	0,8538	0,8545	0,8542	0,8544	0,8547	0,854	0,8542	0,8539	0,8535
C	1	0,8542	0,8538	0,8545	0,8542	0,8544	0,8546	0,854	0,8542	0,8539	0,8535
C	2	0,8541	0,8538	0,8545	0,8541	0,8544	0,8546	0,854	0,8542	0,8539	0,8535
D	1	0,8542	0,8538	0,8546	0,8542	0,8544	0,8546	0,854	0,8542	0,8539	0,8535
D	2	0,8541	0,8538	0,8545	0,8542	0,8545	0,8546	0,854	0,8542	0,8539	0,8535

Estos resultados son procesados con el software Minitab 15, obteniendo lo siguiente.

Tabla 6: R&R del sistema de medición. Fuente: Elaboración propia

Fuente	VarComp	%Contribución (de VarComp)	Desv.Est (DE)	Var. de estudio (6 * SD)	%Var. de estudio (%SV)
R&R del sistema de medición total	0,0000000	1,42	0,0000408	0,0002449	11,92
Repetibilidad	0,0000000	0,85	0,0000316	0,0001897	9,23
Reproducibilidad	0,0000000	0,57	0,0000258	0,0001549	7,54
Analistas	0,0000000	0,00	0,0000000	0,0000000	0,00
Analistas*Muestras	0,0000000	0,57	0,0000258	0,0001549	7,54
Parte a parte	0,0000001	98,58	0,0003401	0,0020405	99,29
Variación total	0,0000001	100,00	0,0003425	0,0020551	100,00
Número de categorías distintas = 11					

En este tipo de estudio el porcentaje de variación total debido a R&R debe ser relativamente pequeño. En este caso, el valor es igual a 11,92%, por tanto el sistema de medición es considerado aceptable.

El número de categorías distintas (nc) que pueden ser distinguidas confiablemente por el sistema de medición analizado en este estudio, es igual a 11.

De la varianza total 7,54% es debida a diferencias entre analistas (reproducibilidad) en tanto que 9,23% es debida al instrumento (repetibilidad), corroborándose de forma gráfica en la figura siguiente.

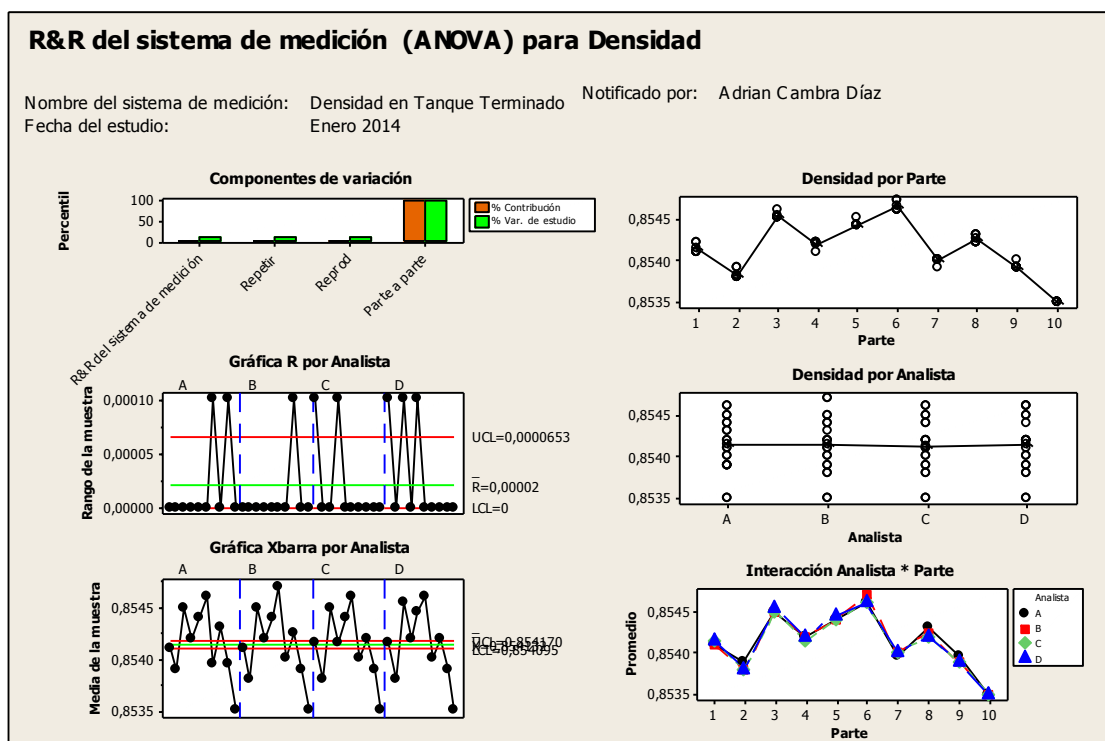


Figura 3: R&R del sistema de medición (ANOVA) para la densidad en tanque terminado.
Fuente: Salida del Software Minitab 15

En el gráfico X-barra se observa que todos los puntos están situados fuera de los límites de control, lo cual refuerza la idea de que el sistema de medición es aceptable. En el diagrama de barras se observa que la mayor parte de la variación se encuentra en la columna parte a parte, lo que implica que el estudio es capaz de detectar variaciones. En cuanto al gráfico Mediciones por Analistas se puede decir que no existen diferencias en las mediciones realizadas entre ellos, evidenciándose en la línea que es prácticamente horizontal. Con respecto al gráfico Interacción Analistas * Muestras se observa una homogeneidad para medir por parte de los analistas. Esto corrobora el análisis realizado anteriormente.

Por tanto, este sistema de medición es considerado aceptable.

Validación del modelo estadístico para los ensayos analizados. Fuente: Elaboración propia

Ensayo % Azufre en planta.

El primer supuesto considerado es el de normalidad, el cual se analiza a partir del sesgo y la curtosis estandarizada, oscilando estos entre -2 y 2 para que los residuos sigan distribución normal, cumpliéndose este supuesto para los datos analizado. (Correa & Burgos, 2007) plantea que este supuesto siempre se cumple para ensayos de laboratorio.

El segundo supuesto considerado es la independencia de los errores. A continuación se presenta el gráfico de los residuales obtenidos con el programa estadístico Statgraphics Centurión.

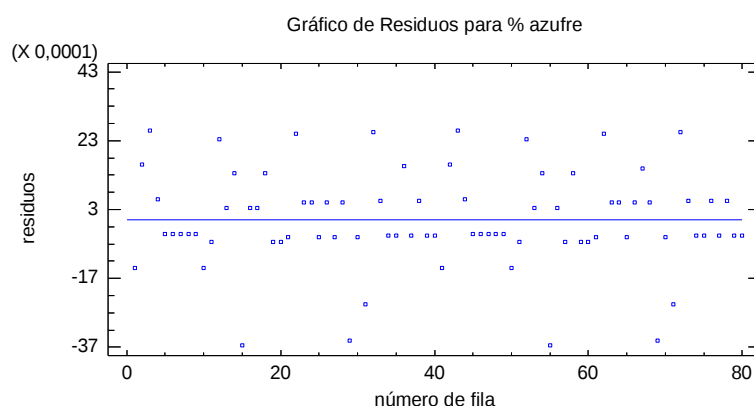


Figura 1. Gráfica de residuales vs observaciones para el estudio. Fuente: Salida del software Statgraphics Centurión.

En la figura anterior se observa una nube de puntos que no tienen una tendencia definida, los residuos se encuentran distribuidos en forma aleatoria, esto indica independencia de los residuos y por tanto independencia en las observaciones.

El tercer supuesto es el de igualdad de varianza. A continuación se muestra el dato arrojado por el Statgraphics para la prueba de Bartlett.

Tabla 1: Verificación de Varianza

Prueba	Bartlett test	Valor-P
de Bartlett	1,02412	0,620922

Con esta prueba se busca comprobar la siguiente hipótesis:

$$H_0: \sigma_1 = \sigma_2 = \dots = \sigma_4$$

$$H_1: \text{algún } \sigma_i \dots \neq \sigma_j \quad \text{con } i, j = 1, 2, \dots, 4$$

El estadístico mostrado en esta tabla evalúa la hipótesis de que la desviación estándar del % de Azufre medido dentro de cada uno de los 4 niveles (analistas) es la misma. Puesto que el valor-P es mayor o igual que 0,05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones estándar, con un nivel del 95,0% de confianza. Por lo tanto si $0,05 < 0,62$, entonces se acepta la hipótesis nula, es decir, se cumple el supuesto de igualdad de varianza.

Análisis de los resultados

La tabla de análisis de varianza y el planteamiento de pruebas de hipótesis actúan como una buena herramienta para la toma de decisiones acerca de la significancia del efecto del factor (destreza de los analistas) sobre la variable respuesta.

La prueba de hipótesis planteada dentro del estudio es:

$$H_0: \text{No hay diferencias significativas en la variabilidad existente entre los analistas}$$

$$H_1: \text{Hay diferencias significativas en la variabilidad existente entre los analistas}$$

La tabla 2 muestra los resultados obtenidos del análisis de varianza mediante el Statgraphics para el modelo unifactorial de efectos aleatorios. De la tabla anterior, se evidencia que es notable la elevada variabilidad entre tratamientos. Una variabilidad tan grande se puede deber a diferencias en el desempeño de cada uno de los operarios, causadas posiblemente por la falta de un programa de capacitación adecuado, una supervisión ineficiente del proceso de medición, entre otras.

Tabla 2: ANOVA para el % de Azufre medida en planta por los analistas

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0,0000117	3	0,0000039	1,96	0,1273

Intra grupos	0,0001513	76	0,00000199079		
Total (Corr.)	0,000163	79			

Puesto que el valor-P es menor que 0,05, no existe una diferencia significativa en la variabilidad de las mediciones entre los analistas, con un nivel del 95,0% de confianza. Por lo tanto si $0,05 < 0,13$, entonces se acepta la hipótesis nula.

El uso de gráficos facilita el análisis de la información y la interpretación de los resultados. El diagrama de caja y bigote describe al mismo tiempo varias características importantes de un conjunto de datos, tales como el centro, la dispersión, la desviación de la simetría y la identificación de observaciones que se alejan de manera poco usual del resto de los datos. Los diagramas de caja y bigotes son muy útiles al hacer comparaciones gráficas entre niveles del factor por ejemplo, ya que tienen gran impacto visual y son fáciles de comprender (ver figura 2).

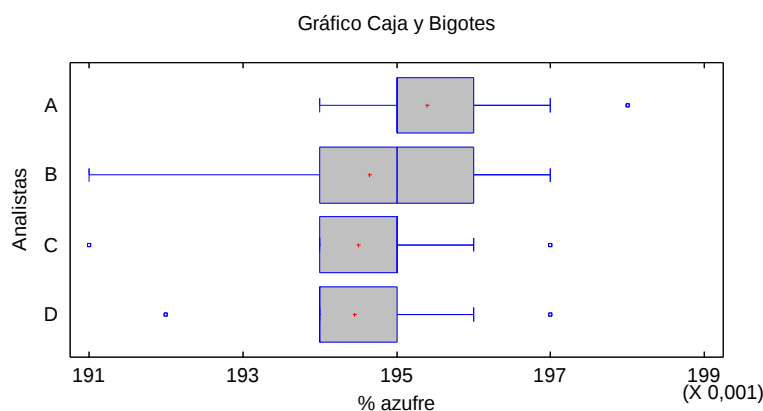


Figura 2: Diagrama caja y bigote comparativo. Fuente: Salida del software Statgraphics Centurión

Este diagrama revela que existe variabilidad en el analista B, ya que tanto la longitud de la caja como la del bigote es muy amplia, además la distribución del % de azufre es poco simétrica con respecto al valor central debido a que la longitud de ambos rectángulos alrededor de la mediana es muy diferente, así como un alejamiento del % de azufre promedio en relación con los demás analistas. Del analista A se observa que la distribución del % de azufre es poco simétrica con respecto al valor central, así como un pequeño alejamiento del promedio de las mediciones con respecto a C y D.

Densidad en planta

El primer supuesto considerado es el de normalidad, el cual se analiza a partir del sesgo y la curtosis estandarizada, oscilando estos entre -2 y 2 para que los residuos sigan distribución normal, cumpliéndose este supuesto para los datos analizado. (Correa & Burgos, 2007) plantea que este supuesto siempre se cumple para ensayos de laboratorio.

El segundo supuesto considerado es la independencia de los errores. A continuación se presenta el gráfico de los residuales obtenidos con el programa estadístico Statgraphics Centurión.

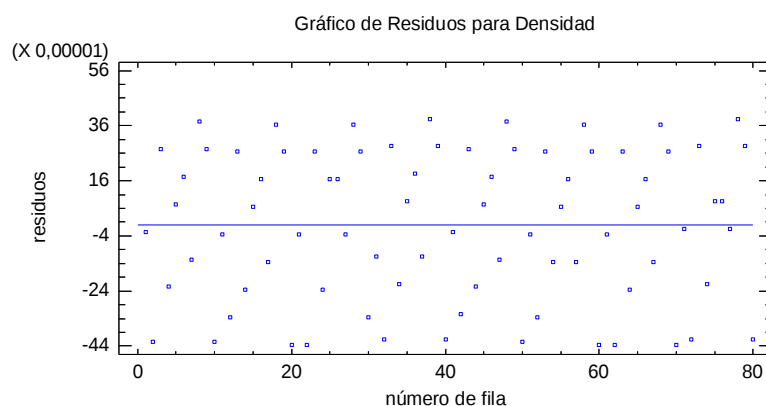


Figura 3.

Gráfica de residuales vs observaciones para el estudio. Fuente: Salida del software Statgraphics Centurión.

En la figura anterior se observa una nube de puntos que no tienen una tendencia definida, los residuos se encuentran distribuidos en forma aleatoria, esto indica independencia de los residuos y por tanto independencia en las observaciones.

El tercer supuesto es el de igualdad de varianza. A continuación se muestra el dato arrojado por el Statgraphics para la prueba de Bartlett.

Tabla 3: Verificación de Varianza

Prueba	Bartlett test	Valor-P
de Bartlett	1,00089	0,995537

Con esta prueba se busca comprobar la siguiente hipótesis:

$$H_0: \sigma_1 = \sigma_2 = \dots = \sigma_4$$

$$H_1: \text{algún } \sigma_i \dots \neq \sigma_j \quad \text{con } i, j = 1, 2, \dots, 4$$

El estadístico mostrado en esta tabla evalúa la hipótesis de que la desviación estándar de la densidad medido dentro de cada uno de los 4 niveles (analistas) es la misma. Puesto que el valor-P es mayor o igual que 0,05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones estándar, con un nivel del 95,0% de confianza. Por lo tanto si $0,05 < 0,99$, entonces se acepta la hipótesis nula, es decir, se cumple el supuesto de igualdad de varianza.

Análisis de los resultados

La tabla de análisis de varianza y el planteamiento de pruebas de hipótesis actúan como una buena herramienta para la toma de decisiones acerca de la significancia del efecto del factor (destreza de los analistas) sobre la variable respuesta.

La prueba de hipótesis planteada dentro del estudio es:

H_0 : No hay diferencias significativas en la variabilidad existente entre los analistas

H_1 : Hay diferencias significativas en la variabilidad existente entre los analistas

La tabla 4 muestra los resultados obtenidos del análisis de varianza mediante el Statgraphics para el modelo unifactorial de efectos aleatorios. De la tabla anterior, se evidencia que es notable la elevada variabilidad entre tratamientos. Una variabilidad tan grande se puede deber a diferencias en el desempeño de cada uno de los operarios, causadas posiblemente por la falta de un programa de capacitación adecuado, una supervisión ineficiente del proceso de medición, entre otras.

Tabla 4: ANOVA para la densidad medido en planta por los analistas

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	5,5E-9	3	1,83333E-9	0,02	0,9948
Intra grupos	0,000005694	76	7,49211E-8		
Total (Corr.)	0,0000056995	79			

Puesto que el valor-P es menor que 0,05, no existe una diferencia significativa en la variabilidad de las mediciones entre los analistas, con un nivel del 95,0% de confianza. Por lo tanto si $0,05 < 0,99$, entonces se acepta la hipótesis nula.

El uso de gráficos facilita el análisis de la información y la interpretación de los resultados. El diagrama de caja y bigote describe al mismo tiempo varias características importantes de un conjunto de datos, tales como el centro, la dispersión, la desviación de la simetría y la identificación de observaciones que se alejan de manera poco usual del resto de los datos. Los diagramas de caja y bigotes son muy útiles al hacer comparaciones gráficas entre niveles del factor por ejemplo, ya que tienen gran impacto visual y son fáciles de comprender (ver figura 4).

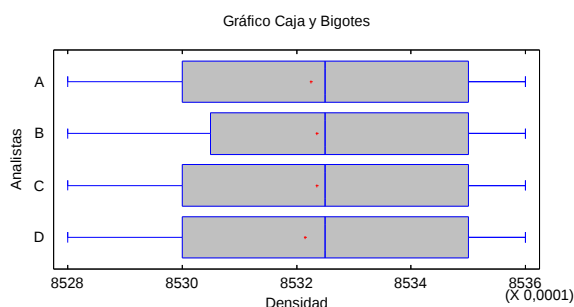


Figura 4: Diagrama caja y bigote comparativo. Fuente: Salida del software Statgraphics Centurión

Este diagrama revela que no existe variabilidad entre los analistas, ya que tanto la longitud de la caja como la del bigote son similares, además la distribución de la densidad es simétrica con respecto al valor central y el valor de las medias es prácticamente el mismo.

Densidad en Tanque Terminado

El primer supuesto considerado es el de normalidad, el cual se analiza a partir del sesgo y la curtosis estandarizada, oscilando estos entre -2 y 2 para que los residuos sigan distribución normal, cumpliéndose este supuesto para los datos analizado. (Correa & Burgos, 2007) plantea que este supuesto siempre se cumple para ensayos de laboratorio.

El segundo supuesto considerado es la independencia de los errores. A continuación se presenta el gráfico de los residuales obtenidos con el programa estadístico Statgraphics Centurión.



Figura 5. Gráfica de residuales vs observaciones para el estudio. Fuente: Salida del software Statgraphics Centurión.

En la figura anterior se observa una nube de puntos que no tienen una tendencia definida, los residuos se encuentran distribuidos en forma aleatoria, esto indica independencia de los residuos y por tanto independencia en las observaciones.

El tercer supuesto es el de igualdad de varianza. A continuación se muestra el dato arrojado por el Statgraphics para la prueba de Bartlett.

Tabla 5: Verificación de Varianza

	<i>Prueba</i>	<i>Valor-P</i>
de Bartlett	1,00089	0,995537

Con esta prueba se busca comprobar la siguiente hipótesis:

$$H_0: \sigma_1 = \sigma_2 = \dots = \sigma_4$$

$$H_1: \text{algún } \sigma_i \dots \neq \sigma_j \quad \text{con } i, j = 1, 2, \dots, 4$$

El estadístico mostrado en esta tabla evalúa la hipótesis de que la desviación estándar del % de Azufre medido dentro de cada uno de los 4 niveles (analistas) es la misma. Puesto que el valor-P es mayor o igual que 0,05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones estándar, con un nivel del 95,0% de confianza. Por lo tanto si $0,05 < 0,99$, entonces se acepta la hipótesis nula, es decir, se cumple el supuesto de igualdad de varianza.

Análisis de los resultados

La tabla de análisis de varianza y el planteamiento de pruebas de hipótesis actúan como una buena herramienta para la toma de decisiones acerca de la significancia del efecto del factor (destreza de los analistas) sobre la variable respuesta.

La prueba de hipótesis planteada dentro del estudio es:

H_0 : No hay diferencias significativas en la variabilidad existente entre los analistas

H_1 : Hay diferencias significativas en la variabilidad existente entre los analistas

La tabla 6 muestra los resultados obtenidos del análisis de varianza mediante el Statgraphics para el modelo unifactorial de efectos aleatorios. De la tabla anterior, se evidencia que es notable la elevada variabilidad entre tratamientos. Una variabilidad tan grande se puede deber a diferencias en el desempeño de cada uno de los operarios, causadas posiblemente por la falta de un programa de capacitación adecuado, una supervisión ineficiente del proceso de medición, entre otras.

Tabla 6: ANOVA para la densidad medida en tanque terminado por los analistas.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	5,5E-9	3	1,83333E-9	0,02	0,9948
Intra grupos	0,000005694	76	7,49211E-8		
Total (Corr.)	0,0000056995	79			

Puesto que el valor-P es menor que 0,05, no existe una diferencia significativa en la variabilidad de las mediciones entre los analistas, con un nivel del 95,0% de confianza. Por lo tanto si $0,05 < 0,99$, entonces se acepta la hipótesis nula.

El uso de gráficos facilita el análisis de la información y la interpretación de los resultados. El diagrama de caja y bigote describe al mismo tiempo varias características importantes de un conjunto de datos, tales como el centro, la dispersión, la desviación de la simetría y la identificación de observaciones que se alejan de manera poco usual del resto de los datos. Los diagramas de caja y bigotes son muy útiles al hacer comparaciones gráficas entre niveles del factor por ejemplo, ya que tienen gran impacto visual y son fáciles de comprender (ver figura 6).

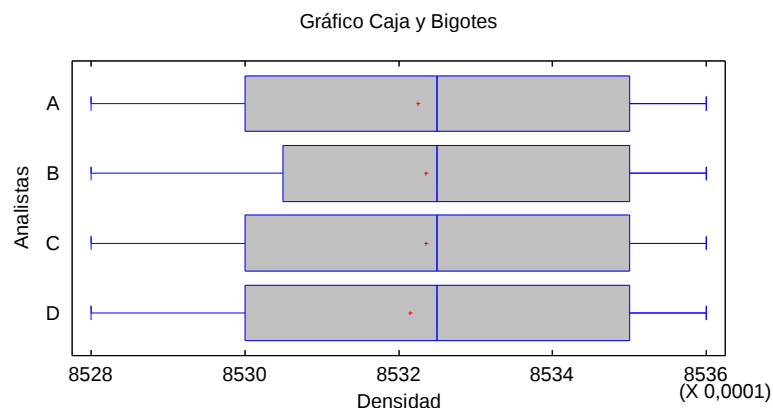


Figura 4: Diagrama caja y bigote comparativo. Fuente: Salida del software Statgraphics Centurión

Este diagrama revela que no existe variabilidad entre los analistas, ya que tanto la longitud de la caja como la del bigote son similares, además la distribución de la densidad es simétrica con respecto al valor central y el valor de las medias es prácticamente el mismo.

Anexo No.33

Registro de mantenimiento, verificación y calibración para la instrumentación que interviene en la determinación de la calidad del Diesel. Fuente: Elaboración propia

Magnitud	Denominación	Ubicación	Fecha de calibración /Verificación	Incertidumbre
Volumen cristalería	Volumétrico Pipeta	Laboratorio químico	Una vez durante su vida útil	0.00080 cm ³ Para K=2
	Matraz			0.0221 cm ³ para K=2
	Copilla de viscosidad			0.0180 cm ³ para K=2
Volumen	Tanque vertical 1020,1021,1022 y 1023	Titulo 24	04/2008	0.2%
	Tanque vertical 1061	Titulo 25	05/2010	0.2%
	Tanque vertical 1017,1018 y 1019	Titulo 25	04/2008	0.2%
	Tanque vertical 1153 y 1154	Titulo 40	03/2009	0.2%
Masa	Balanza Técnica	Laboratorio químico	09/2013	0.25 mg para K=2

ANEXOS

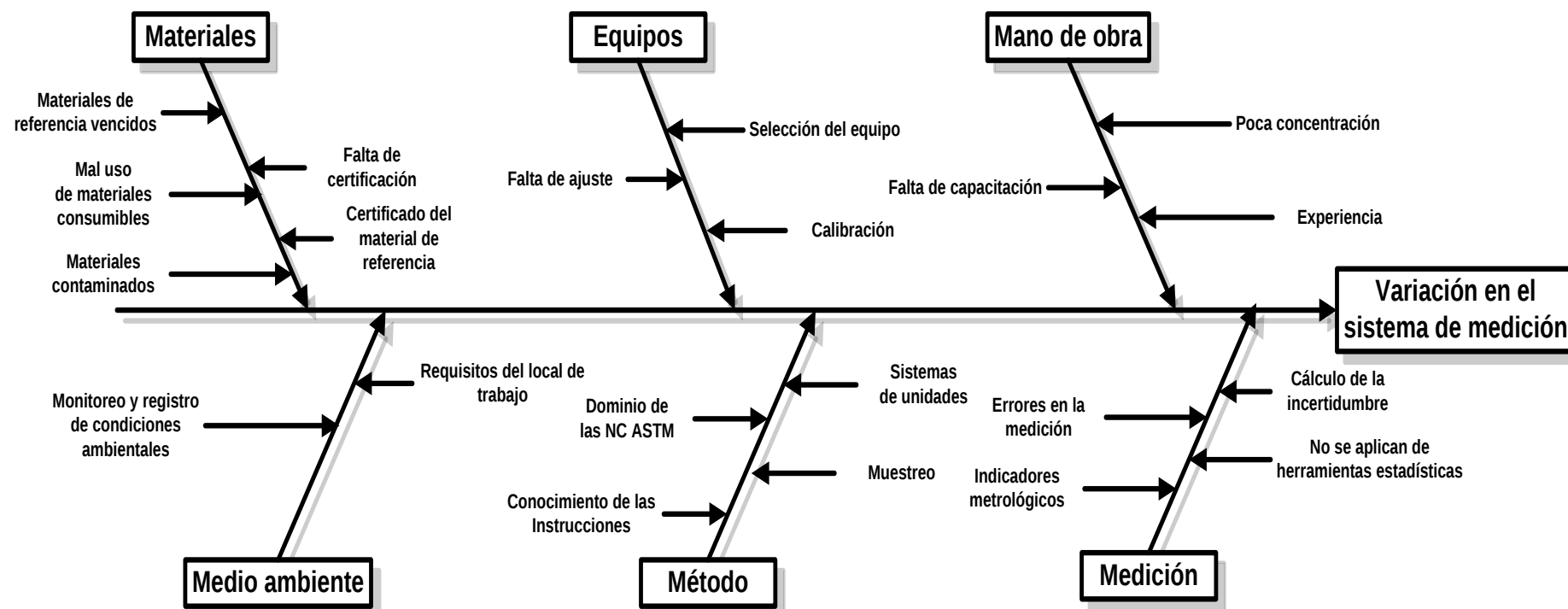
	Balanza digital		09/2013	0.10mg para K=2
Temperatura	Termómetro de líquido en vidrio	Laboratorio químico	07/2012	0.33 °C para K=2
	Termohidrómetro		01/2013	0.0028 °C para k=2
Tiempo	Cronometro Digital	Laboratorio químico	21/03/2014	0.33 s para k
	Cronometro analógico		21/03/2014	0.5 s con K=2
Fisico-Quimico	Densímetros digital	Laboratorio químico	14/06/2012	0.00033g/cm ³ para k=2
	Medidor de PH		09/2013	0.0006 PH con k=2
	Conductímetro		09/2013	0.3% con K=2
	Espectrofotómetro		09/2013	0.3% para k=2
	Titimetro		09/2013	0.03 °API para K=2
Patrones	MRC	Laboratorio químico	Muestras de referencia certificadas	

ANEXOS

Presión	Manómetros	Laboratorio químico	11/2013	0.223 % para K=2
	Manómetros de Planta	Sección 300	01-05/2014	0.223 % para K=2
Temperatura	Termómetros Bimetálicos	Planta	03/2014	0.57 °C para K=2
	Termómetros Bimetálicos	2 por cada tanque	03/2014	0.57 °C para K=2
	Transmisor temperatura promedio Prothermo	1 por cada tanque	-	-

Anexo No.34

Diagrama de Causa – Efecto. Fuente: Elaboración propia



Matriz UTI para definir las prioridades de mejora. Fuente: Elaboración propia

Debilidades detectadas	U	T	I	Total
Gestionar la capacitación adecuada a las características del puesto analizado y actualización de la tecnología utilizada.	9	8	8	576
Adquirir los materiales de referencia certificados	7	7	8	392
Exigir el cumplimiento de los requisitos de la ASTM D 4057:2009 y ASTM 4294	8	6	6	288
No utilizar materiales consumibles usados en otros ensayos	5	8	6	240
Actualizar los datos en la web del laboratorio	6	5	6	180
Gestionar recipientes idóneos para las muestras	6	6	5	180
Realizar estudios R&R e Intercalibraciones con otros laboratorios	4	5	5	100
Gestionar la calibración de los equipos según plan	5	3	5	75

Anexo No.36

Plan de acción para las mejoras propuestas: Fuente Elaboración propia

Oportunidad de mejora: Gestionar la capacitación adecuada a las características del puesto analizado						
Meta: Capacitación acorde a los requisitos exigidos en el puesto de trabajo						
Responsables: Director Técnico, Jefe de Laboratorio, Director de Capacitación						
¿Qué?	¿Quién?	¿Cómo?	¿Por qué?	¿Dónde?	¿Cuándo?	¿Cuánto?
Gestionar entrenamiento acorde a la tecnología adquirida	Director de Capacitación	Identificando la necesidad de entrenamiento acorde a la tecnología y al desarrollo científico técnico	Para evitar resultados erróneos, uso inadecuado de instrumentos, mala interpretación de los ensayos.	En el extranjero o dentro del país	Permanente	Acorde al presupuesto de capacitación
Gestionar Capacitación	Jefe de Laboratorio	Identificando las necesidad de capacitación de los analistas mediante la evaluación de su desempeño	Para capacitarlos en los métodos de ensayo que sea necesario. Y para lograr que todos reproduzcan el método como lo establece la ASTM	Laboratorio Químico	Permanente	Mensual

ANEXOS

Control Interno de calidad	Jefe de Grupo de calidad	Repitiendo el ensayo bajo las mismas condiciones y la misma muestra.	Para comprobar los resultados y la utilización del método de ensayo.	Laboratorio Químico	Permanente	Mensual
Implementación de las intercomparaciones de calidad según programa	Jefe de laboratorio	Se recibe la muestra, sin conocer resultados, con determinada cantidad de ensayos.	Para realizar todos los ensayos y colocar resultados en un sitio Web, de forma anónima	CUPET	1 vez por año	
				PDVSA	3 veces al año	

ANEXOS

Oportunidad de mejora: Adquirir los materiales de referencia certificados.						
Meta: Operar con materiales de referencia certificados						
Responsable: Jefe de laboratorio						
¿Qué?	¿Quién?	¿Cómo?	¿Por qué?	¿Dónde?	¿Cuándo?	¿Cuánto?
Diagnosticar las necesidades de las muestras de referencia certificadas (MRC)	Equipo de trabajo	Revisando el certificado de verificación del MRC, fecha de validez, vida útil y comparar resultados	Para evitar el uso de MRC vencidos, contaminados	Laboratorio Químico	Permanente	Según precio y ofertas del MRC
Estudios de precisión para crear muestras de referencias	Equipo de trabajo	Realizando varias corridas y utilizando un mismo método de ensayo	Para la calibración de los equipos	Laboratorio Químico	Cuando no existen MRC	30 días manipulación de muestras, análisis y obtención de los resultados
Contratar el servicio	Jefe de laboratorio	Llevar equipo o solicitar MRC	Para la calibración del equipo por tener duda de sus resultados o estar fuera de fecha el certificado de calibración	Empresa contratada	Cuando sea necesario	Según precio MRC, o oferta de servicio
Oportunidad de mejora: Exigir el cumplimiento de los requisitos de las ASTM D 4057:2009 y ASTM 4294						
Meta: Realizar los métodos de ensayo según los requisitos de las ASTM D 4057:2009 y ASTM 4294						

ANEXOS

Responsable: Jefe de laboratorio						
¿Qué?	¿Quién?	¿Cómo?	¿Por qué?	¿Dónde?	¿Cuándo?	¿Cuánto?
Presentación de los ensayos según requisitos de las ASTM	Jefe de laboratorio	Según lo establecido en las ASTM D 4057:2009 y ASTM 4294	Para que los analistas observen la forma de realizar el método de ensayo según lo establecido en las ASTM y luego puedan reproducirlo	Laboratorio químico	Marzo 2014	2 horas
Evaluar la reproducción del método	Jefe de laboratorio	A partir del cumplimiento de los requisitos establecidos en las ASTM	Para conocer si los analistas reproducen el método correctamente	Laboratorio químico	Abril 2014	30 minutos por analista

Anexo No.37

Plan de control para las oportunidades de mejoras

Gestionar la capacitación adecuada a las características del puesto analizado. Fuente: (Machado García, 2013)

Entradas	Actividad (acción de mejora)	Indicadores	Rangos de control	Medidas	Frecuencia	Responsables
DNC	Entrenamiento a los analistas acorde a la tecnología adquirida	% de personas entrenadas $\frac{\text{Cantidad de personas entrenadas}}{\text{Total de personas con necesidades de entrenamiento}} \times 100$	100 %	Identificando la necesidad de entrenamiento acorde a la tecnología y al desarrollo científico técnico	Anual	Jefe de laboratorio
	Capacitación a los analistas	% de personas capacitadas $\frac{\text{Cantidad de personas capacitadas}}{\text{Total de personas con necesidades de capacitación}} \times 100$	100 %	Para capacitarlos en los métodos de ensayo que sea necesario. Y para lograr que todos reproduzcan el método como lo establece la ASTM	Mensual	Jefe de laboratorio
Ensayos	Control Interno de calidad	% de control interno de calidad $\frac{\text{Cantidad de ensayos realizados}}{\text{Total planificados}} \times 100$	100 %	Repitiendo el ensayo bajo las mismas condiciones y la misma muestra	Trimestral	Jefe de laboratorio
Muestras	Realizar intercomparaciones	Intercomparaciones <i>Cantidad de intercomparaciones realizadas</i>	≥ 1 Bien < 1 Mal	Se recibe la muestra, sin conocer resultados, con determinada cantidad de ensayos en diferentes laboratorio	Según intereses de las partes	PDVSA

ANEXOS

Operar con materiales de referencia certificado. Fuente: (Machado García, 2013)

Entradas	Actividad (acción de mejora)	Indicadores	Rangos de control	Medidas	Frecuencia	Responsables
Ensayos	Adquirir las muestras de referencia certificadas (MRC)	% de adquisición de MRC $\frac{\text{Cantidad de MRC adquiridas}}{\text{Total necesarias}} \times 100$	100 %	A través de diferentes ofertas, servicios de ventas o firmas comercializadoras	Anual	Jefe de laboratorio
	Estudios de precisión para crear muestras de referencias	% de estudios de precisión $\frac{\text{Cantidad de estudios realizados}}{\text{Total necesarios}} \times 100$	100 %	Realizando varias corridas y utilizando un mismo método de ensayo	Trimestral	Jefe de laboratorio Jefe del departamento de control de la calidad
Plan de calibración	Contratar el servicio	% de servicios contratados $\frac{\text{Cantidad de servicios realizados}}{\text{Cantidad de servicios contratados}} \times 100$	100 %	Llevar equipo o solicitar MRC	Cuando sea necesario	Jefe de laboratorio

Exigir el cumplimiento de los requisitos de las ASTM D 4057 y ASTM 4294. Fuente: Elaboración propia

Entradas	Actividad (acción de mejora)	Indicadores	Rangos de control	Medidas	Frecuencia	Responsables
Requisitos de las ASTM	Presentación de los ensayos según requisitos de las ASTM	% de ensayos demostrados $\frac{\text{Cantidad de ensayos presentados}}{\text{Total planificado}} \times 100$	100 %	A partir de lo establecido en las ASTM D 4057:2009 y ASTM 4294	Anual	Jefe de laboratorio
	Evaluar la reproducción del método	% de analistas evaluados $\frac{\text{Cantidad de analistas evaluados}}{\text{Total de analistas}} \times 100$	100 %	A partir del cumplimiento de los requisitos establecidos en las ASTM	Anual	Jefe de laboratorio

Anexo No.38

Fichas para los indicadores del plan de control. Fuente: (Machado García. 2013). Fuente: Elaboración propia.

Nombre del indicador	% de personas entrenadas
Forma de cálculo	personas entrenadas / total de personas con necesidades de entrenamiento * 100
Unidades	%
Glosario	Consiste en la cantidad de personas que necesitan ser entrenadas con la nueva tecnología
Registro	UV-RH- P- 00-03 Procedimiento para la planificación ejecución y control de la capacitación de los recursos humanos Modelo de las DNC UV-RRHH-P-00-03-A1
Umbral del indicador	100%
Rango de gestión	100%

Nombre del indicador	% de servicios contratados
Forma de cálculo	servicios realizados / cantidad de servicios contratados * 100
Unidades	%
Glosario	Consiste en la cantidad de servicios realizados por otras organizaciones en la entidad.
Registro	RF-DT-IT-16-05 "Instrucción para la subcontratación de ensayos en el laboratorio RRF-DT-IT-16-06-01 Registro de laboratorios a subcontratar Expediente de los laboratorios subcontratos.
Umbral del indicador	100%

Rango de gestión	100 %
------------------	-------

Nombre del indicador	% de estudios de precisión
Forma de cálculo	estudios realizados / total de estudios necesarios * 100
Unidades	%
Glosario	Consiste en la cantidad de estudios de precisión realizados para obtener muestras de referencias
Registro	RF-DT-IT—16-07”Instrucción para la evaluación y expresión de la incertidumbre del resultado de la medición. Se registra en formato digital
Umbral del indicador	100%
Rango de gestión	100%

Nombre del indicador	% de adquisición de MRC
Forma de cálculo	MRC adquiridas / total necesarias * 100
Unidades	%
Glosario	Consiste en la cantidad de MRC adquiridas para poder comprobar la tecnología instalada
Registro	RF-DT-IT-16-02 “Instrucción para la manipulación y almacenamiento de materiales de referencia en el laboratorio” RRF-DT-IT-16-02-01 Registro de Materiales de referencia
Umbral del indicador	100%
Rango de gestión	100%

Nombre del indicador	Intercomparaciones
Forma de cálculo	intercomparaciones realizadas

Unidades	#
Glosario	Consiste en la cantidad de intercomparaciones realizadas en el periodo que se realiza la investigación
Registro	RF-DT-IT-16-06 Instrucción para la validación de métodos y equipos de ensayos en el laboratorio Registro: Expediente de validación de métodos de ensayos
Umbral del indicador	≥ 1
Rango de gestión	≥ 1

Nombre del indicador	% de control interno de calidad
Forma de cálculo	# de ensayos realizados / # total planificados * 100
Unidades	%
Glosario	Consiste en la cantidad de ensayos realizados para comprobar el estado de los equipos
Registro	RF-DT-IT-16-01 "Instrucción para el aseguramiento de la calidad de los resultados, emitidos en el laboratorio" RRF-DT-IT-16-01-01 "Registro de control interno" RRF-DT-IT-16-01-02 "Plan anual de control interno"
Umbral del indicador	100%
Rango de gestión	100%

Nombre del indicador	% de personas capacitadas
Forma de cálculo	personas capacitadas / total de personas con necesidades de capacitación * 100
Unidades	%
Glosario	Consiste en la cantidad de personas que necesitan ser capacitadas con la nueva tecnología
Registro	UV-RRHH-P-00-03 -A6 "Acta de participación y

	conformación para las acciones de capacitación”
Umbral del indicador	100%
Rango de gestión	100%

Nombre del indicador	% de ensayos demostrados
Forma de cálculo	ensayos demostrados / total de ensayos planificados * 100
Unidades	%
Glosario	Consiste en la demostración de la realización de los ensayos
Registro	RRF- DT- IT 16-01-01 Registro de control Interno
Umbral del indicador	100%
Rango de gestión	0-100%

Nombre del indicador	% de analistas evaluados
Forma de cálculo	de analistas evaluados / total de analistas *100
Unidades	%
Glosario	Consiste en la cantidad de analistas que necesitan ser evaluados
Registro	RRF- DT- IT 16-01-02 Plan anual de control interno
Umbral del indicador	100%
Rango de gestión	0-100%

Anexo No.39

Calculo de los indicadores del Plan de Control. Fuente: Elaboración propia

Nombre del indicador	Cantidad	Resultado	Registro
% de personas entrenadas	36	100%	UV-RH- P- 00-03 Procedimiento para la planificación ejecución y control de la capacitación de los recursos humanos Modelo de las DNC UV-RRHH-P-00-03-A1
% de personas capacitadas	36	100%	UV-RRHH-P-00-03 -A6 "Acta de participación y conformación para las acciones de capacitación"
% controles internos de calidad	70	100%	RF-DT-IT-16-01 "Instrucción para el aseguramiento de la calidad de los resultados, emitidos en el laboratorio" RRF-DT-IT-16-01-01 "Registro de control interno" RRF-DT-IT-16-01-02 "Plan anual de control interno"
Cantidad de Intercomparaciones	4	Bien	RF-DT-IT-16-06 Instrucción para la validación de métodos y equipos de ensayos en el laboratorio Registro: Expediente de validación de métodos de ensayos
% de ensayos demostrados	16	100%	RRF- DT- IT 16-01-01 Registro de control Interno
% de adquisición de MRC	-	-	RF-DT-IT-16-02 "Instrucción para la manipulación y almacenamiento de materiales de referencia en el laboratorio" RRF-DT-IT-16-02-01 Registro de Materiales de referencia
% de estudios de precisión	2	100%	RF-DT-IT—16-07"Instrucción para la evaluación y expresión de la



			incertidumbre del resultado de la medición. Se registra en formato digital
% de servicios realizados por concepto de contratación	25	100%	RF-DT-IT-16-05 "Instrucción para la subcontratación de ensayos en el laboratorio RRF-DT-IT-16-06-01 Registro de laboratorios a subcontratar Expediente de los laboratorios subcontratos.
% de analistas evaluados	36	100%	RRF- DT- IT 16-01-02 Plan anual de control interno

Anexo No.40

Resultados del estudio de reproducibilidad y repetibilidad de % azufre a salida de planta luego de implementadas las medidas. Fuente: Elaboración propia

Tabla 1: Resultados del ensayo % azufre en planta luego de implementadas las mejoras. Fuente: Elaboración propia

Operario	Muestra	Mediciones									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	1	0,194	0,189	0,2	0,197	0,198	0,195	0,196	0,199	0,195	0,199
A	2	0,194	0,189	0,2	0,197	0,198	0,195	0,196	0,198	0,195	0,199
B	1	0,194	0,19	0,2	0,197	0,198	0,195	0,196	0,198	0,195	0,199
B	2	0,194	0,189	0,2	0,197	0,198	0,195	0,196	0,198	0,195	0,199
C	1	0,194	0,189	0,2	0,197	0,198	0,195	0,196	0,198	0,194	0,199
C	2	0,194	0,189	0,2	0,198	0,198	0,195	0,196	0,198	0,195	0,199
D	1	0,194	0,189	0,2	0,197	0,198	0,196	0,196	0,198	0,194	0,198
D	2	0,194	0,189	0,2	0,197	0,198	0,195	0,196	0,198	0,194	0,199

Estos resultados son procesados con el software Minitab 15, obteniendo lo siguiente.

Tabla 2: R&R del sistema de medición. Fuente: Elaboración propia

Fuente	VarComp	%Contribución (de VarComp)	Desv.Est (DE)	Var. de estudio (6 * SD)	%Var. de estudio (%SV)
R&R del sistema de medición total	0,0000001	0,94	0,0003035	0,0018212	9,68
Repetibilidad	0,0000001	0,76	0,0002739	0,0016432	8,73
Reproducibilidad	0,0000000	0,17	0,0001309	0,0007853	4,17
Analistas	0,0000000	0,00	0,0000000	0,0000000	0,00
Analistas*Muestras	0,0000000	0,17	0,0001309	0,0007853	4,17

Parte a parte	0,0000097	99,06	0,0031224	0,0187345	99,53
Variación total	0,0000098	100,00	0,0031371	0,0188229	100,00
Número de categorías distintas = 14					

En este tipo de estudio el porcentaje de variación total debido a R&R debe ser relativamente pequeño. En este caso, el valor es igual a 9,68%, por tanto el sistema de medición es considerado aceptable.

El número de categorías distintas (nc) que pueden ser distinguidas confiablemente por el sistema de medición analizado en este estudio, es igual a 14.

De la varianza total 4,17% es debida a diferencias entre analistas (reproducibilidad) en tanto que 8,73% es debida al instrumento (repetibilidad), corroborándose de forma gráfica en la figura siguiente.

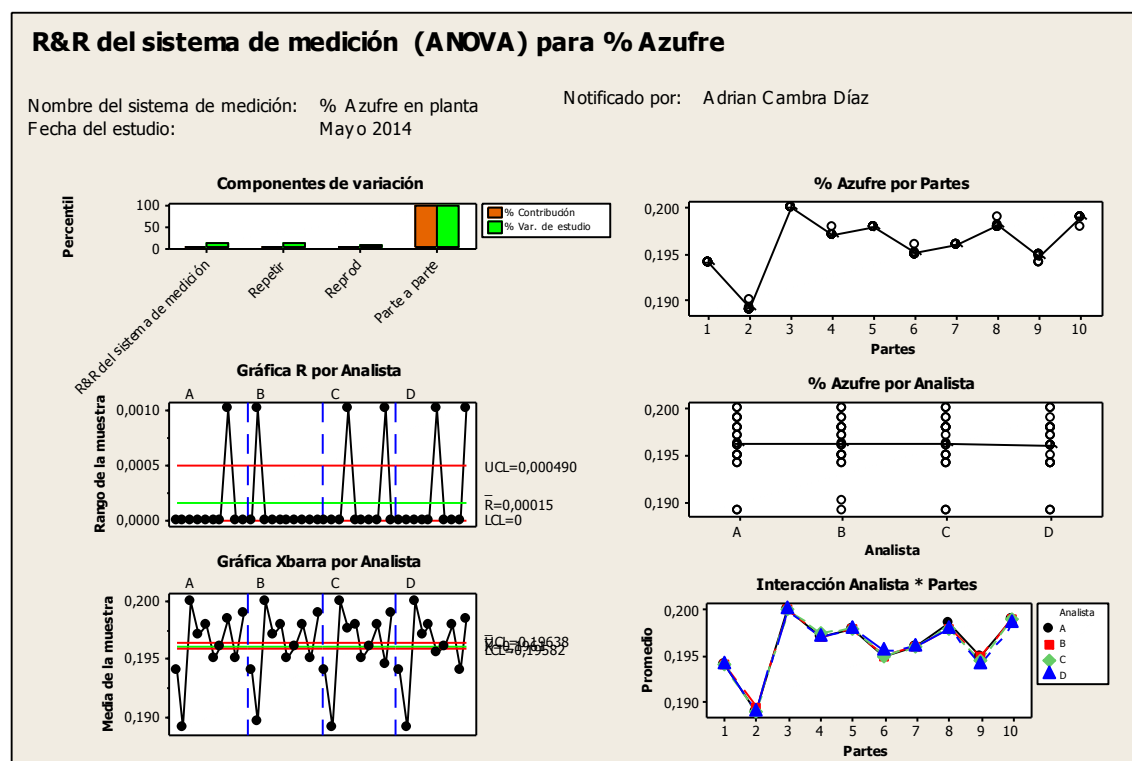


Figura 1: R&R del sistema de medición (ANOVA) para la acidez en tanque terminado (TK 1060) luego de implementar las mejoras. Fuente: Salida del Software Minitab 15

En el gráfico X-barra se observa que todos los puntos están situados fuera de los límites de control, lo cual refuerza la idea de que el sistema de medición es aceptable. En el diagrama de barras se observa que la mayor parte de la variación se encuentra en la columna parte a parte, lo que implica



que el estudio es capaz de detectar variaciones. En cuanto al gráfico Mediciones por Analistas se puede decir que no existen diferencias en las mediciones realizadas entre ellos, evidenciándose en la línea que es prácticamente horizontal. Con respecto al gráfico Interacción Analistas * Muestras se observa una homogeneidad para medir por parte de los analistas. Esto corrobora el análisis realizado anteriormente. Por tanto, este sistema de medición es considerado aceptable.



Anexo No.41

Validación del modelo estadístico para el % azufre en tanque terminado. Fuente: Elaboración propia

El primer supuesto considerado es el de normalidad, el cual se analiza a partir del sesgo y la curtosis estandarizada, oscilando estos entre -2 y 2 para que los residuos sigan distribución normal, cumpliéndose este supuesto para los datos analizado. (Correa & Burgos, 2007) plantea que este supuesto siempre se cumple para ensayos de laboratorio.

El segundo supuesto considerado es la independencia de los errores. A continuación se presenta el gráfico de los residuales obtenidos con el programa estadístico Statgraphics Centurión.

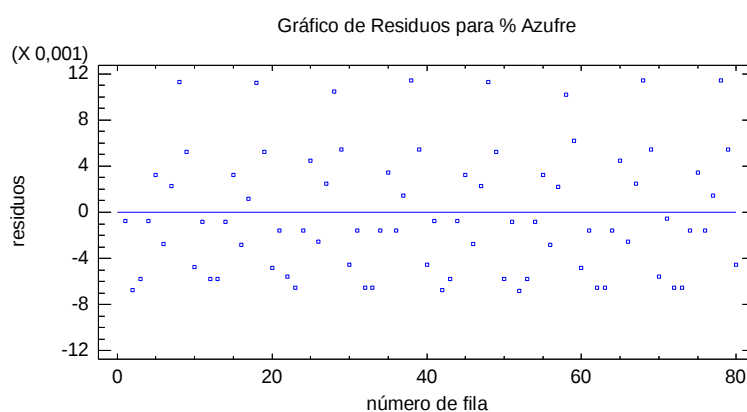


Figura 1. Gráfica de residuales vs observaciones para el estudio. Fuente: Salida del software Statgraphics Centurión.

En la figura anterior se observa una nube de puntos que no tienen una tendencia definida, los residuos se encuentran distribuidos en forma aleatoria, esto indica independencia de los residuos y por tanto independencia en las observaciones.

El tercer supuesto es el de igualdad de varianza. A continuación se muestra el dato arrojado por el Statgraphics para la prueba de Bartlett.

Tabla 1: Verificación de Varianza

Prueba	Bartlett test	Valor-P
de Bartlett	1,00061	0,997464

Con esta prueba se busca comprobar la siguiente hipótesis:

$$H_0: \sigma_1 = \sigma_2 = \dots = \sigma_4$$

$$H_1: \text{algún } \sigma_i \dots \neq \sigma_j \quad \text{con } i, j = 1, 2, \dots, 4$$

El estadístico mostrado en esta tabla evalúa la hipótesis de que la desviación estándar del % de Azufre medido dentro de cada uno de los 4 niveles (analistas) es la misma. Puesto que el valor-P es mayor o igual que 0,05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones estándar, con un nivel del 95,0% de confianza. Por lo tanto si $0,05 < 0,99$, entonces se acepta la hipótesis nula, es decir, se cumple el supuesto de igualdad de varianza.

Análisis de los resultados

La tabla de análisis de varianza y el planteamiento de pruebas de hipótesis actúan como una buena herramienta para la toma de decisiones acerca de la significancia del efecto del factor (destreza de los analistas) sobre la variable respuesta.

La prueba de hipótesis planteada dentro del estudio es:

H_0 : No hay diferencias significativas en la variabilidad existente entre los analistas

H_1 : Hay diferencias significativas en la variabilidad existente entre los analistas

La tabla 2 muestra los resultados obtenidos del análisis de varianza mediante el Statgraphics para el modelo unifactorial de efectos aleatorios. De la tabla anterior, se evidencia que es notable la elevada variabilidad entre tratamientos. Una variabilidad tan grande se puede deber a diferencias en el desempeño de cada uno de los operarios, causadas posiblemente por la falta de un programa de capacitación adecuado, una supervisión ineficiente del proceso de medición, entre otras.

Tabla 2: ANOVA para el % de azufre medido en planta por los analistas

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0,0000010375	3	3,45833E-7	0,01	0,9983
Intra grupos	0,00226285	76	0,0000297743		
Total (Corr.)	0,00226389	79			

Puesto que el valor-P es menor que 0,05, no existe una diferencia significativa en la variabilidad de las mediciones entre los analistas, con un nivel del 95,0% de confianza. Por lo tanto si $0,05 < 0,99$, entonces se acepta la hipótesis nula.

El uso de gráficos facilita el análisis de la información y la interpretación de los resultados. El diagrama de caja y bigote describe al mismo tiempo varias características importantes de un conjunto de datos, tales como el centro, la dispersión, la desviación de la simetría y la identificación de observaciones que se alejan de manera poco usual del resto de los datos. Los diagramas de caja y bigotes son muy útiles al hacer comparaciones gráficas entre niveles del factor por ejemplo, ya que tienen gran impacto visual y son fáciles de comprender (ver figura 2).

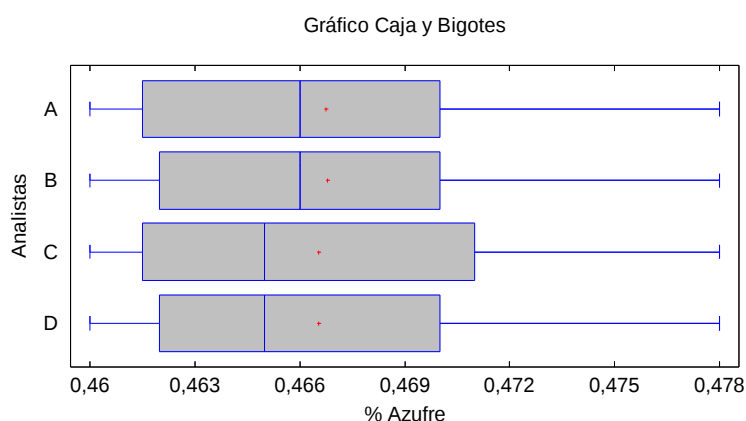


Figura 2: Diagrama caja y bigote comparativo. Fuente: Salida del software Statgraphics Centurión

Este diagrama revela que no existe variabilidad entre los analistas, ya que tanto la longitud de la caja como la del bigote son similares, además la distribución del % azufre es bastante simétrica con respecto al valor central y el valor de las medias es prácticamente el mismo.

Anexo No.42

Tabla ANOVA para el % de Azufre medido en planta por los analistas. Fuente: Statgraphics Centurion.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0,0000010375	3	3,45833E-7	0,01	0,9983
Intra grupos	0,00226285	76	0,0000297743		
Total (Corr.)	0,00226389	79			

Puesto que el valor-P es menor que 0,05, no existe una diferencia significativa en la variabilidad de las mediciones entre los analistas, con un nivel del 95,0% de confianza. Por lo tanto si $0,05 < 0,99$, entonces se acepta la hipótesis nula