



UNIVERSIDAD
DE CIENFUEGOS
CARLOS RAFAEL RODRÍGUEZ



CTE
CMC

Energía que da vida

TESIS PRESENTADA EN OPCIÓN AL TÍTULO
DE INGENIERO INDUSTRIAL

Título: Estudio de validez del resultado de las mediciones del ensayo viscosidad cinemática en petróleo y aceites lubricantes en la Empresa Termoeléctrica Cienfuegos.

Autora: Rosandra de Jesús Montalvo Lozano

Tutores: Msc.Ing. Aníbal Barrera García

Msc.Ing. Iliana Monzón Quintana

Curso 2022

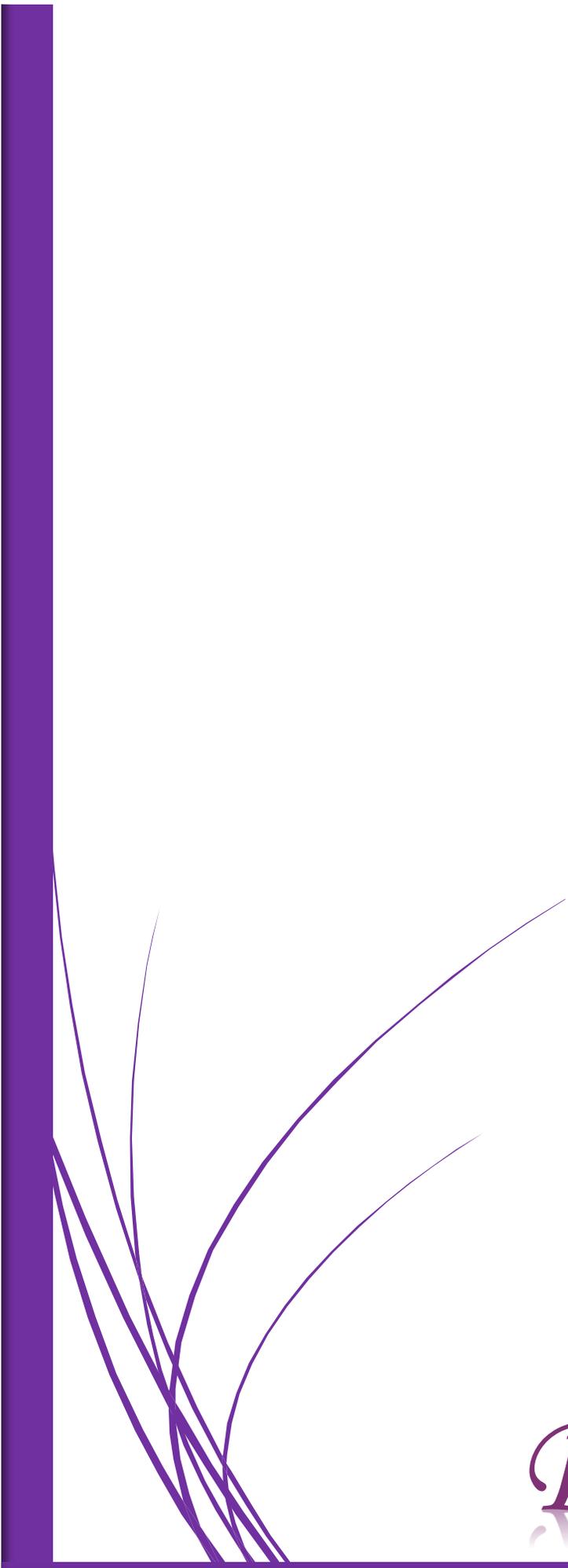


A decorative graphic in the bottom-left corner consisting of several thin, overlapping purple lines that curve upwards and to the right, resembling stylized grass or reeds. These lines are contained within a purple L-shaped border that frames the page.

Pensamiento

“Lo que no se define no se puede medir. Lo que no se mide no se puede mejorar. Lo que no se mejora, se degrada siempre”.

William Thomson Kelvin



Dedicatoria

*A mi mamá, por su amor y apoyo incondicional y por sentir y demostrarme
que mis victorias y sueños cumplidos son suyos también.*

*A mi papá por enseñarme a ser tenaz y fuerte, por cuidarme e iluminar mis
pasos desde el cielo.*

A mi familia por estar conmigo en las buenas y en las malas.

*A mis tutores Aníbal e Iliana por guiarme en cada etapa y poder contar
con ellos en todo momento, haciendo de esta una experiencia inolvidable.*





Agradecimientos

Agradecimientos

Muchas gracias a todas las personas que me ayudaron y contribuyeron de una forma u otra a que esto fuera posible.

A mi mamá por ser la mujer más fuerte que conozco, por ser mi soporte constante y mi puerto seguro cuando la marea de la vida me ha querido derribar, me faltan palabras y tiempo para agradecerte todo lo que me has brindado.

A mi papá por haberme amado tanto en el poco tiempo que estuvimos juntos, por ser mi fuente de fortaleza, deseando que estuvieras aquí y te sintieras orgulloso de mí.

A mi hermano Roby por estar siempre presente y regalarme la sobrina más bella y revoltosa del mundo.

A Pablo por acogerme como tu hija y estar siempre en las buenas y las malas a nuestro lado.

A Thai por poder contar con su lealtad y amistad incondicional desde siempre, por ser mi cómplice y por tantos recuerdos inolvidables.

A mis tíos Annia, Ramo, Rafael, Alberto, Pipo y Nilda, a mis abuelos Mima y Esteban y a todos mis primos por estar al pendiente de mi trayectoria, por apoyarme y exhortarme a ser mejor cada día.

A Julio por tratarme como a una hija y acogerme con los brazos abiertos, por darme el empuje y la confianza que necesitaba como profesional.

A Antonino por todos los conocimientos y experiencias de metrología brindados, por ayudarme a escoger y desarrollar el tema de tesis, pero en especial por tu amistad.

A Sandrita por su ayuda constante, por las risas y los buenos momentos compartidos, por ser la mejor compañera de oficina, por ser mi amiga.

A Alber por estar a mi lado durante gran parte de este recorrido y poder contar contigo siempre.

A Lissette, Islenia y Over por ser como son y hacer la jornada laboral más llevadera.

A Iliana por tenerme tanta paciencia y hacerme ver que puedo dar más, que puedo lograr lo que me proponga, por tu confianza y cariño como amiga, compañera de trabajo y tutora.

A Aníbal por ser un profesor sin igual e impartir las mejores clases, por hacer posible esta tesis, por ser el tutor que todos quisieran tener y en especial por brindarme tu ayuda y apoyo incondicional.

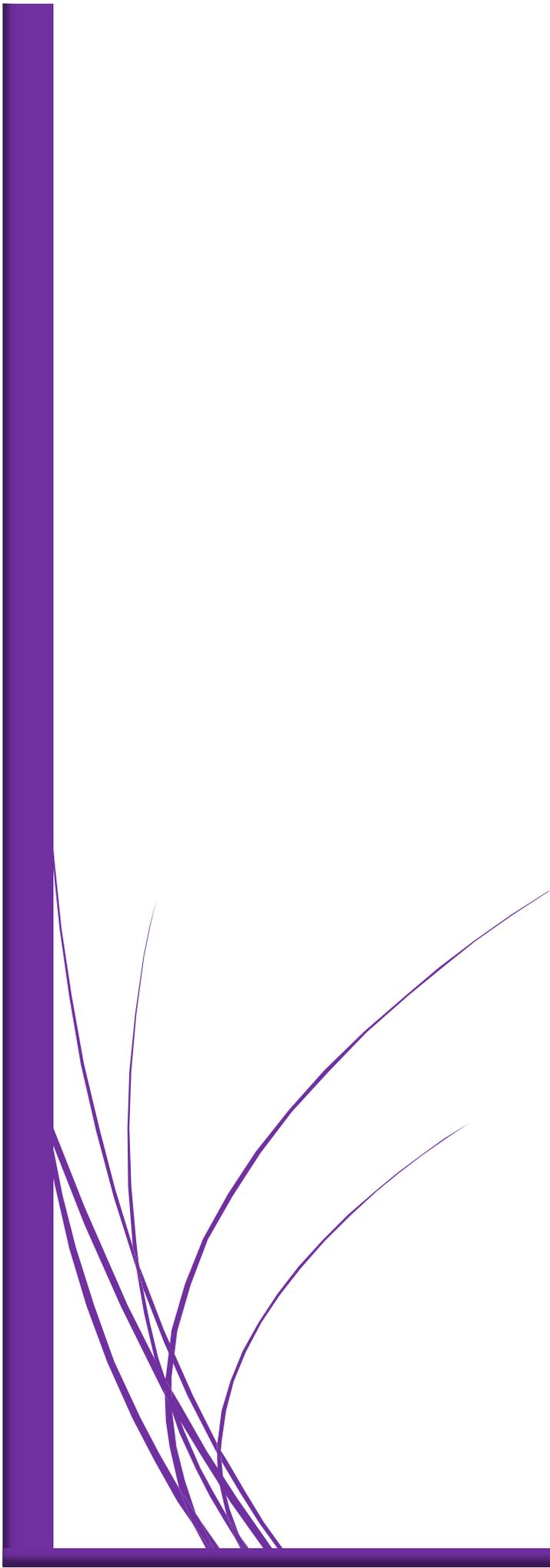
A Lion por impulsarme a perseguir mis sueños y dar lo mejor de mí, por tus ocurrencias que siempre me sacan una sonrisa y hacen más ameno mi día a día.

A Cristina, Dayaisy, Tony, Gilberto, Grisel, Yanersy y demás personas de la termo y de la refinería que posibilitaron el desarrollo de este estudio, que me apoyaron sin pensarlo dos veces.

A todos mis compañeros de aula por estos seis años inolvidables en los que tuve la dicha de conocerlos mejor y a todos los profesores que contribuyeron a nuestra formación como ingenieros, en especial a Luis Felipe y a Martell.

A Doris, Fidel, Emérita, Tania, Rafael, Dariel y demás compañeros de ATI Villa Clara por demostrarme que puedo contar con ustedes ahora y siempre.

A las personas que olvido mencionar, pero que siempre tendrán todo mi agradecimiento por formar parte de este proyecto y de mi vida.



Resumen

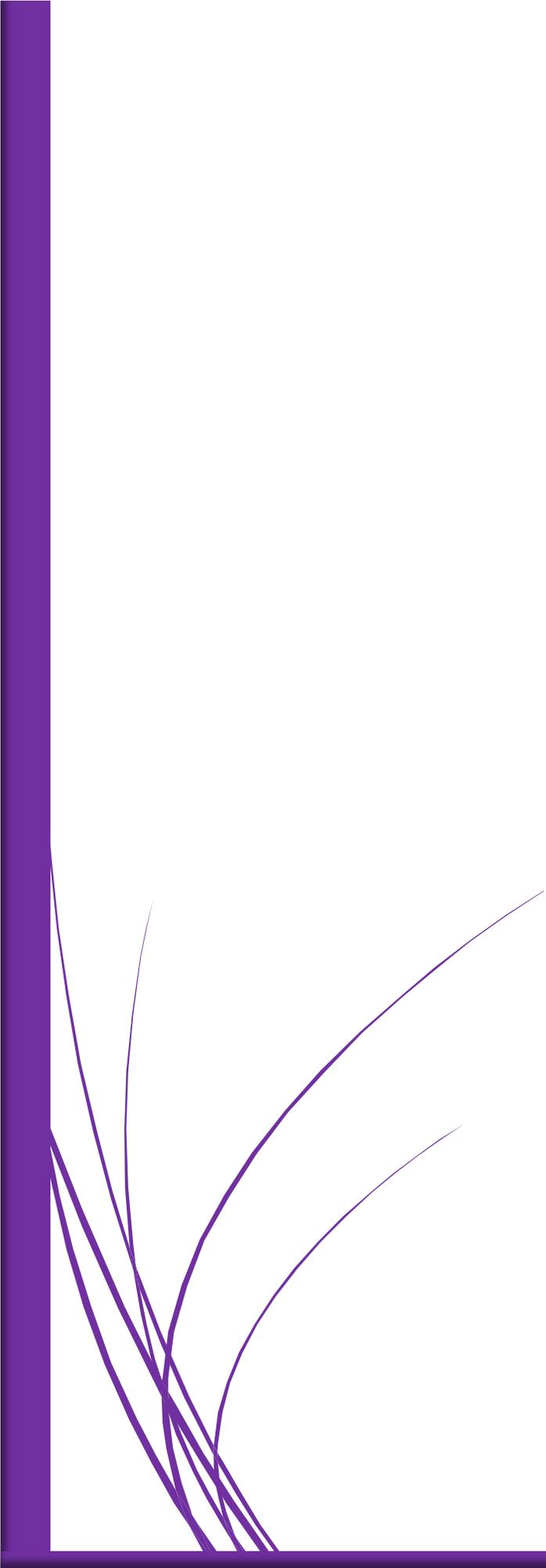
RESUMEN

La presente investigación se realizó en la Empresa Termoeléctrica Cienfuegos, con el objetivo fundamental de aplicar un procedimiento para la mejora de la gestión metrológica que permita la demostración de la validez de los resultados de las mediciones del ensayo de determinación de viscosidad cinemática en productos del petróleo y aceites lubricantes, perteneciente al proceso de Realizar Ensayos Químicos. Para el cumplimiento del mismo se utilizan herramientas relacionadas con la metodología Seis Sigma, entrevistas, observaciones directas, revisión de documentos, así como técnicas estadísticas matemáticas propias de este tipo de estudio, como son las pruebas de contrastes de hipótesis, el análisis de la reproducibilidad y repetibilidad, las diferencias críticas, entre otras.

Como resultados fundamentales se demuestra la validez y confiabilidad de los resultados de las mediciones de viscosidad, mediante la participación en programas de comparación intra e interlaboratorio, así como se obtienen a través de métodos estadísticos matemáticos los intervalos de calibración de los instrumentos instalados en los viscosímetros, a partir de los elementos establecidos en la NC OIML D10:2021 y en el manual metrológico UD IG-0014.

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: validez, confiabilidad, mediciones, instrumentos, Seis Sigma.

A decorative graphic in the bottom-left corner consisting of a thick purple L-shaped bar and several thin, curved purple lines that sweep upwards and to the right from the corner.

Summary

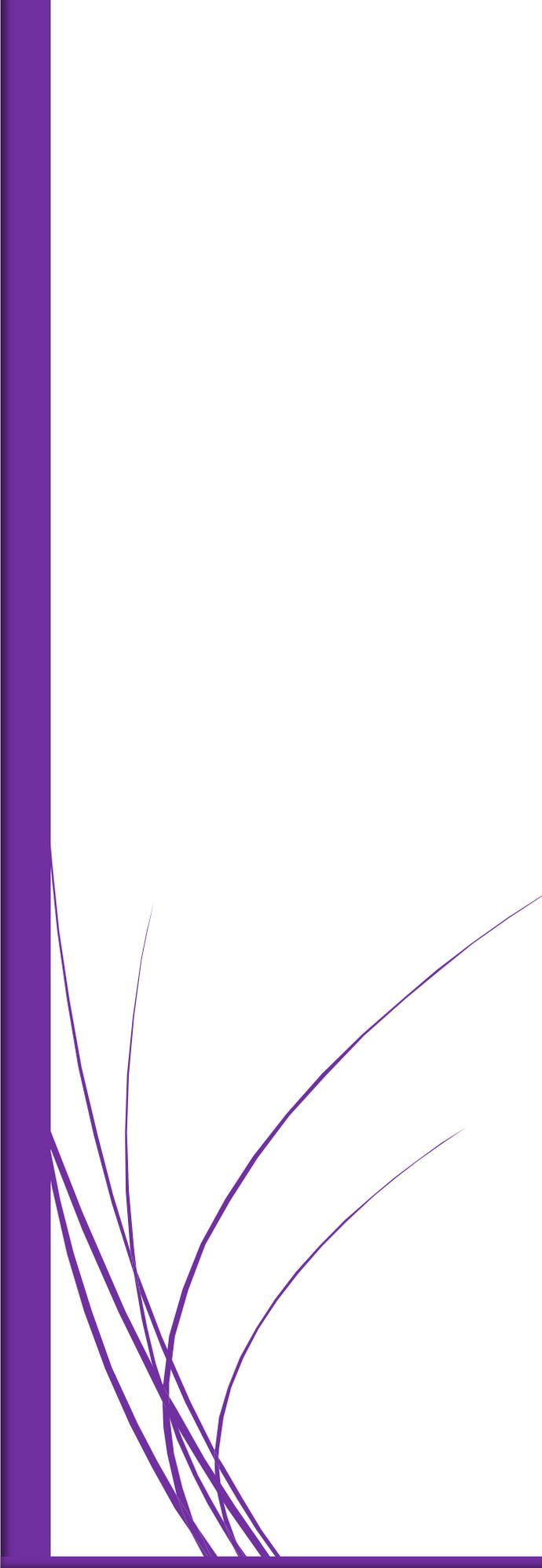
SUMMARY

The present investigation was carried out at the Cienfuegos Thermoelectric Company, with the fundamental objective of applying a procedure for the improvement of the metrological management, that allows the demonstration of the validity of the measurements results, in the laboratory test of kinematic Viscosity determination of Petroleum products and lubricating oils, that belongs to the process of Chemical Testing. To comply with it, tools related to the Six Sigma methodology are used, interviews, direct observations, document reviews, as well as mathematical statistical techniques typical of these studies, such as hypothesis contrast tests, reproducibility and repeatability analysis, critical differences, among others.

As fundamental results, the validity and reliability of the viscosity measurements results are demonstrated, through the participation in intra- and inter-laboratory comparison programs, as well as the calibration intervals of the instruments installed in the viscometers are obtained, based on the elements established in the NC OIML D10:2021 and in the metrological manual UD IG-0014.

Finally, the conclusions and recommendations that derive from the study and that allow defining an adequate follow-up path to give continuity to the theme developed in the research are presented.

Keywords: validity, reliability, measurements, instruments, Six Sigma.

A decorative graphic in the bottom-left corner consisting of a thick purple L-shaped bar and several thin, curved purple lines that appear to grow from the corner.

Índice

INDICE

INTRODUCCION.....	1
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO.....	5
1.1 Las normas de la familia ISO 9000 y la metrología.....	6
1.2 Generalidades sobre la metrología como ciencia de las mediciones.....	7
1.3 Gestión de las mediciones	9
1.4 Análisis de los sistemas de medición.....	11
1.4.1 Evaluación de los sistemas de medición	13
1.5 Calidad de las mediciones.....	15
1.5.1 Selección de los intervalos de recalibración	17
1.5.2 Trazabilidad de las mediciones al SI.....	19
1.6. Ensayos de laboratorio, calidad de sus mediciones.....	20
1.6.1. Comparaciones intralaboratorio e interlaboratorio.....	21
1.7. Servicio Nacional de Metrología (SENAMET).....	25
1.8. Seis Sigma como metodología de mejora de procesos	26
CAPÍTULO II: PROCEDIMIENTO PARA LA MEJORA DE PROCESOS EN LA GESTIÓN DE LAS MEDICIONES.....	30
2.1. Caracterización de la entidad objeto de estudio.....	30
2.2. Procedimiento para la mejora de la gestión de las mediciones	37
Etapa I: Definir	38
Etapa II: Medir.....	42
Etapa IV: Mejorar.....	48
Etapa V: Controlar	49
CAPÍTULO III: APLICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO PARA LA MEJORA DE LA GESTIÓN DE LAS MEDICIONES EN EL PROCESO DE REALIZAR ENSAYOS QUIMICOS.	51
Etapa I: Definir	51
Etapa II: Medir.....	62
Etapa III: Analizar	73
Etapa IV: Mejorar.....	74
CONCLUSIONES GENERALES	79
RECOMENDACIONES.....	80
BIBLIOGRAFIA.....	81
ANEXOS	94



Introducción

INTRODUCCION

En la actualidad, las nuevas tecnologías en el campo de la metrología buscan obtener mayor precisión y confiabilidad de las mediciones, siendo esencial para potenciar y apoyar la innovación tecnológica, el desarrollo industrial y de productos, la eficiencia de procesos y la competitividad empresarial. Esto solo es posible si se asientan las bases técnicas necesarias para el aseguramiento de la calidad de las mediciones; las que comprenden los métodos utilizados, el personal involucrado, la confirmación metroológica, la verificación y calibración de los instrumentos y su trazabilidad a patrones nacionales o internacionales y al Sistema Internacional de unidades, entre otros; coincidiendo con esto Reyes, Hernández y Hernández (2013); Bittencourt y Pinto (2020) y Squara et al. (2021).

Según el Vocabulario Internacional de Metrología (VIM), la trazabilidad metroológica se define como la propiedad de un resultado de medida relacionado con una referencia, mediante una cadena ininterrumpida y documentada de calibraciones. Permite garantizar la seguridad técnica y operacional de equipos e instalaciones, con la consiguiente calidad de productos y servicios (NC ISO 9001:2015). Asegura la validez de los resultados de las mediciones; la que se define como el grado en que un instrumento realmente mide la variable que pretende medir (Chaux, 2021) y confirma mediante evidencia objetiva, que se han cumplido los requisitos para la utilización o aplicación específica prevista (NC ISO/IEC 17025:2017).

En Cuba, el Instituto Nacional de Investigaciones Metroológicas (INIMET), es miembro del Servicio Nacional de Metrología (SENAMET) y encabeza la pirámide de trazabilidad en las mediciones del país; asegurando la misma a los patrones de referencia de los centros territoriales y laboratorios provinciales de metrología. Sin embargo, se presentan serias deficiencias, referidas a las gestiones con organizaciones prestadoras de servicios, laboratorios acreditados y entidades internacionales para garantizar el mantenimiento y el desarrollo de esta actividad. Esto se debe principalmente al insuficiente financiamiento para desarrollo metroológico y al bloqueo económico, comercial y financiero impuesto por los Estados Unidos a Cuba. Además, no se cuenta con patrones o materiales de referencia certificados necesarios para la calibración de los instrumentos de medición en todas las magnitudes; algunos presentan limitaciones en su alcance y en general existe envejecimiento de la base existente por sus años de explotación.

Debido a estas causas, existen numerosos instrumentos de medición, equipos multifunción de mediciones y ensayos, que no poseen trazabilidad metroológica demostrada en el país. Este es el caso de los vibrómetros, sonómetros, rotámetros, luxómetros, analizadores de gases, explosímetros, cámaras termográficas, cromatógrafos, maletas de protecciones, micrómetros exteriores, dinamómetros, viscosímetros, entre otros.

La actividad de metrología en la Empresa Termoeléctrica Cienfuegos, se gestiona mediante el proceso Controlar Equipos de Medición. En su Sistema de Gestión de las Mediciones (SGM) se encuentran identificados y controlados todas las magnitudes e instrumentos de medición existentes, los que son calibrados o verificados periódicamente de acuerdo a las necesidades específicas de los procesos en que se utilizan o las regulaciones vigentes en el país. Algunos no poseen trazabilidad metrológica en el país, adquiridos y distribuidos en su mayoría por la Unión Eléctrica (UNE) y están controlados por la Oficina Nacional de Normalización (ONN), con vistas a determinar e implementar medidas y recursos para asegurar su trazabilidad.

La utilización de estos instrumentos en los diferentes procesos y la posibilidad de obtener resultados de medición poco fiables, constituyen riesgos identificados, evaluados y gestionados en el Plan de Prevención de Riesgos de la empresa. Priorizándose las operaciones y los controles de confirmación metrológica a aquellos que, por sus características y funciones, rigen y determinan indicadores fundamentales que influyen en el proceso “Gestionar Energía Eléctrica”, a fin de garantizar la conformidad del equipo de medición con respecto a los requisitos correspondientes a su uso previsto.

Entre estos instrumentos se encuentran los viscosímetros de capilar de vidrio ubicados en el Laboratorio Químico Central, formando parte del proceso “Realizar Ensayos Químicos para el Control del Proceso” y que se utilizan para la determinación de viscosidad cinemática en productos del petróleo y derivados. Los resultados de estas mediciones sobresalen por su importancia a la hora de determinar el régimen de operación de las unidades de generación y sus equipos auxiliares; la caracterización de los combustible y lubricantes, las condiciones de almacenamiento y trasiego adecuadas; y para monitorear el estado de los equipos y ser proactivos en su mantenimiento, previendo averías y reduciendo los costos de piezas nuevas y el tiempo de reparaciones al mínimo.

Al no poseer trazabilidad de estas mediciones, pueden existir desviaciones no conocidas en los resultados que reporta el Laboratorio Central, ocasionar errores en la definición de parámetros operacionales que utilizan los valores de viscosidad en sus cálculos, con las consiguientes tomas de decisiones erradas y pérdidas económicas por daños a equipos.

Unido a lo anterior y con el objetivo de lograr mediciones confiables y seguras, la UNE ha orientado realizar estudios para determinar el intervalo óptimo de recalibración de los equipos de medición, desarrollar otras acciones y controles necesarios para garantizar la validez del resultado de las mediciones de los instrumentos que no poseen trazabilidad metrológica, mediante la aplicación de procedimientos de medida o métodos especificados, la participación en

programas de intercomparación, entre otras alternativas. 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 demostrar la validez de los resultados de las mediciones en el ensayo de Determinación de viscosidad cinemática en productos del petróleo y aceites lubricantes perteneciente al proceso de Realizar Ensayos Químicos en la Empresa Termoeléctrica Cienfuegos?

El **objetivo general** de la investigación es:

Aplicar un procedimiento para la mejora de la gestión metrológica que permita la demostración de la validez de los resultados de las mediciones del ensayo de determinación de viscosidad cinemática en productos del petróleo y aceites lubricantes, perteneciente al proceso de Realizar Ensayos Químicos en la Empresa Termoeléctrica Cienfuegos.

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

1. Determinar el período de calibración de los instrumentos que intervienen en el ensayo de Determinación de viscosidad cinemática en productos del petróleo y aceites lubricantes.
2. Realizar comparaciones intra e interlaboratorios en el ensayo de Determinación de viscosidad cinemática en productos del petróleo y aceites lubricantes.
3. Proponer acciones que facilite la mejora de la gestión de las mediciones en el ensayo analizado.

La **justificación de la investigación** está dada por la demostración de la validez de los resultados de las mediciones en el ensayo de determinación de viscosidad cinemática en productos del petróleo y aceites lubricantes, dado por: la descripción del sistema de gestión de las mediciones; determinación del período de calibración de los instrumentos utilizados en el ensayo seleccionado; realización de comparaciones intra e interlaboratorios; verificación de un grupo de requisitos de la legislación vigente actual (NC ISO 10012:2007 ; NC ISO/IEC 17025:2017; NC OIML D10:2021; Decreto Ley 8:2020 y Decreto 16:2020), además de poner a disposición un grupo de herramientas propias en la temática.

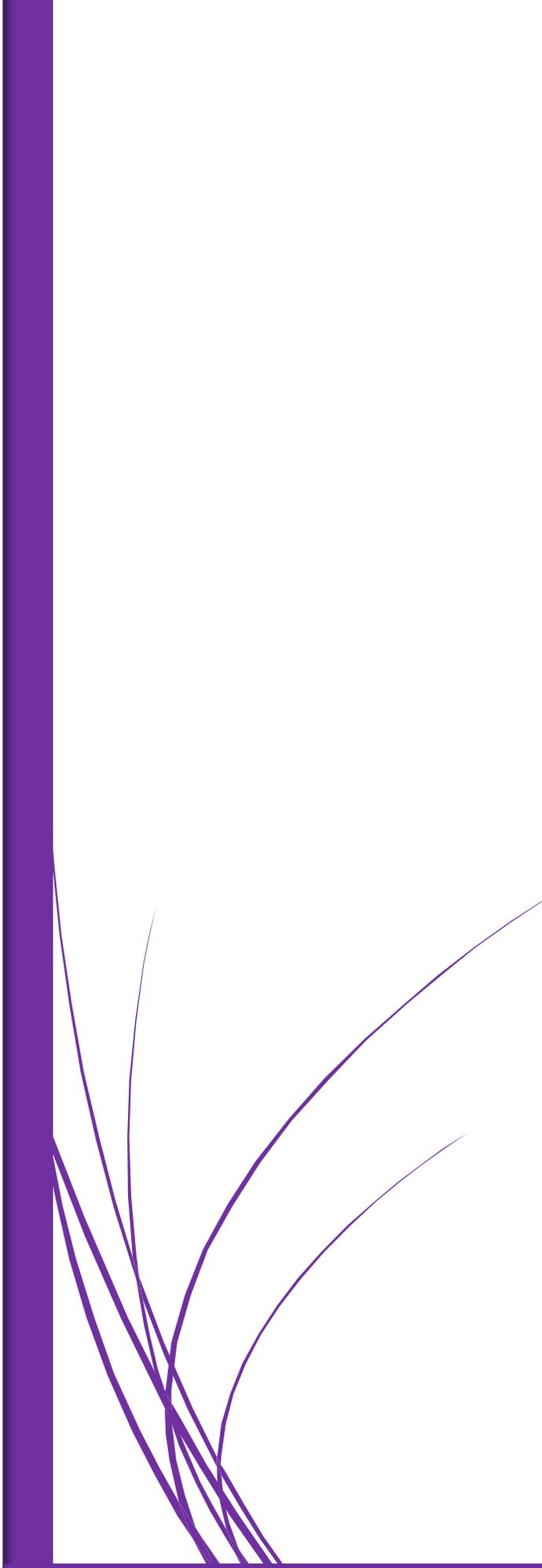
El trabajo queda estructurado de la siguiente forma:

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, teniendo

como soporte la literatura científica que aborda la problemática desde el punto de vista teórico-práctico.

En el capítulo II se realiza la caracterización de la Empresa Termoeléctrica Cienfuegos, y se expone un procedimiento de mejora de procesos aplicado a la gestión de las mediciones, diseñado por Hernández (2012) y Machado (2013) y modificado por Marín (2015); Román (2016); Querol Ja y Gutiérrez (2018), Vega (2019) y Pérez (2020), basado en la metodología Seis Sigma. Se tienen en cuenta criterios de diferentes autores y fuentes, tales como: Gutiérrez y de la Vara (2009); Reyes, et al. (2007); Guadalupe (2008); Arias (2007); ISO 13053: 2011; Gibbons et al. (2012); NC ISO 10012: 2007; NC ISO/IEC 17025: 2017; Pineda, Prada y Prieto (2013); Condorí et al. (2018); NC OIML D 10:2021, UD IG-0014; NC ISO/IEC 17043:2011 y NC ISO/IEC Guía 43-1:2000, entre otros.

En el capítulo III se presentan los resultados relacionados con la demostración de la validez de los resultados de las mediciones del ensayo de Determinación de viscosidad cinemática en productos del petróleo y aceites lubricantes, perteneciente al proceso Realizar Ensayos Químicos. Esta se realiza a partir de la aplicación del procedimiento para la mejora de la gestión de las mediciones, sobre la base de la determinación del intervalo óptimo de recalibración de los instrumentos que intervienen y la realización de estudios de comparaciones intra e interlaboratorios, así como la aplicación de un conjunto de elementos propios en la temática, trayendo como resultado el conocimiento de las principales debilidades en la materia y los aspectos a mejorar dentro del sistema.

A decorative graphic in the bottom-left corner consisting of a thick purple L-shaped bar and several thin, curved purple lines that sweep upwards and to the right from the corner.

Capítulo I

CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

En el presente capítulo se desarrolla el marco teórico que contiene los elementos fundamentales de la gestión metrológica, haciendo énfasis en las bases técnicas que garantizan la calidad, teniendo como soporte la literatura científica que aborda la problemática. En la figura 1.1 se muestra el hilo conductor del presente capítulo.

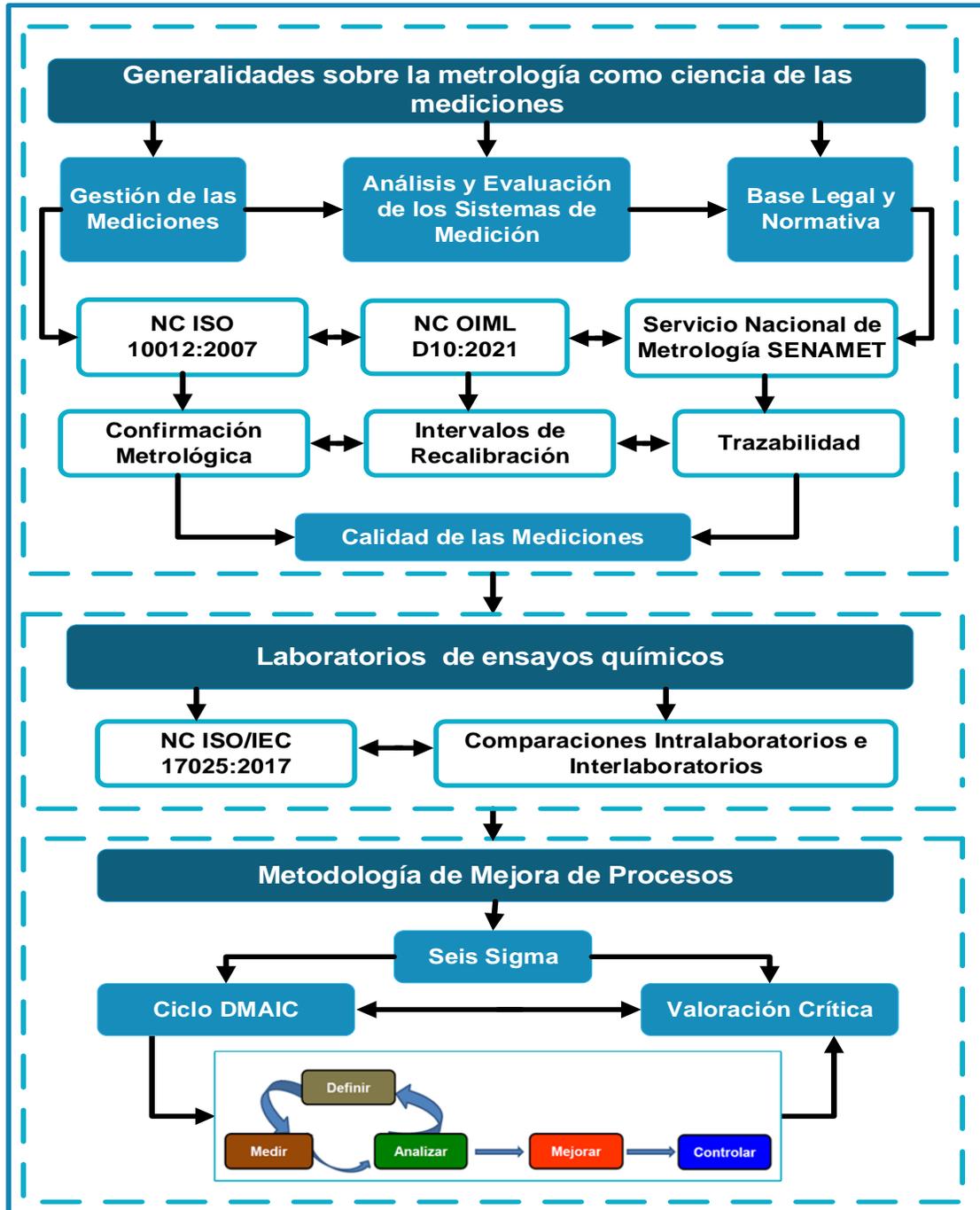


Figura 1.1 Hilo Conductor. Fuente: Elaboración propia.

1.1 Las normas de la familia ISO 9000 y la metrología

Las normas que conforman la serie o familia ISO 9000, como también se le conocen, han consolidado una plataforma y un lenguaje común para los sistemas de gestión de la calidad en cualquier tipo de organización mediante la definición de los requisitos en la ISO 9001, han dado un nivel de calidad basado en la confianza, respecto a la capacidad de una organización de proporcionar productos y servicios conformes, para facilitar el comercio mundial y contribuir al desarrollo económico y social (Croft, 2015).

La familia ISO 9000 exige determinar y proporcionar los recursos necesarios para asegurar la validez y fiabilidad de los resultados de la medición ejecutada, verificando la conformidad de los productos y servicios con los requisitos, brinda los elementos técnicos organizativos necesarios para alcanzarlo y para garantizar la trazabilidad de estas mediciones, siendo aplicable a cualquier organización, por lo que se puede decir que se encuentran indisolublemente ligadas a la metrología. En la NC ISO 9000:2015; se encuentran los conceptos fundamentales, principios y vocabulario establecidos. En la NC ISO 9001:2015; específicamente en el apartado 7.1.5.2; refiere la importancia de la trazabilidad de las mediciones; como un requisito para proporcionar confianza en la validez de los resultados de la medición relacionados con la conformidad del producto.

La norma que especifica los requerimientos genéricos y ofrece asesoramiento para la gestión de los procesos de medición y para la confirmación metrológica de los equipos de medición, es la NC ISO 10012:2007; una traducción oficial de la Norma Internacional ISO 10012:2003 *Measurement management systems – Requirements for measurement processes and measuring equipment*; adoptada por Cuba como norma nacional en 2007, la que se utiliza como herramienta de apoyo y demostración de conformidad con los requerimientos metrológicos.

Según la NC ISO 10012:2007, la confirmación metrológica es el conjunto de operaciones requeridas para asegurarse que el equipo de medición cumple con los requisitos previstos para su uso.

Para González y Reyes (2014) la metrología está unida a la calidad, esto se debe a que no hay calidad si no se realizan controles para determinar el cumplimiento de los requisitos y no hay control si no se realizan mediciones. Es importante que haya gestión de la calidad en las mediciones, de esta forma se garantiza que las mismas se realicen con las condiciones necesarias que permitan lograr su confiabilidad. En el siguiente epígrafe se tratan algunos elementos generales sobre la metrología como ciencia de las mediciones.

1.2 Generalidades sobre la metrología como ciencia de las mediciones

Según el Centro Español de Metrología e Instituto de la Ingeniería de España (2019), en un mundo cada vez más globalizado e interconectado, el funcionamiento y comportamiento de la sociedad actual depende de la fiabilidad de las mediciones que están presentes en el desarrollo de la ciencia y la tecnología, en la investigación, en la fabricación y el control de los procesos industriales, así como en la protección del medio ambiente y la gestión de la energía y los recursos naturales, donde el procedimiento de medir incluye el saber utilizar correctamente el instrumento, leer e interpretar los resultados.

La metrología, según la definición dada en la NC OIML V2-200:2020 “Vocabulario Internacional de Metrología. Conceptos fundamentales y generales, términos asociados (VIM)”, “*es la ciencia de las mediciones y sus aplicaciones*”. Proviene del griego: μέτρον (medida) y λόγος (tratado) y se ocupa de los aspectos teóricos y prácticos de las mediciones, unidades de medida y de los equipos utilizados para efectuarlas, cualquiera que sea su campo de aplicación, así como de su verificación y calibración periódica. Por su parte Brown (2021) la define como medida de medición, mientras López et. al. (2021) asume que es la ciencia de las mediciones, los métodos y los medios de medición, que garantizan la uniformidad y precisión requeridas en el arte de medir.

La autora de la presente investigación coincide con Báez (2012) en que los países en desarrollo como Cuba, tradicionalmente han desestimado la importancia de la ciencia y la tecnología de las mediciones como arma para lograr el desarrollo industrial, o no destinan los recursos suficientes para establecer bases metroológicas consistentes, lo que paulatinamente afecta a los ámbitos donde la metrología está presente.

La metrología está presente, prácticamente, en todas las actividades cotidianas (Reyes, 2019); Bittencourt y Pinto (2020) y (Bronw, 2021), al realizar mediciones en laboratorios y centros de estudios, en la actividad de organismos reguladores, en la industria militar, en la producción, los servicios y el comercio. Su aplicación abarca todos los campos de la ciencia y de la industria, desempeñando un papel relevante en la obtención de productos/servicios con calidad competitiva, 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.

Según el Centro Español de Metrología e Instituto de la Ingeniería de España (2019), tradicionalmente en función del campo de aplicación; la metrología se suele clasificar en tres categorías:

- Metrología Fundamental o Científica

- Metrología Aplicada o Industrial
- Metrología legal

En la siguiente figura se muestra la clasificación de la metrología, relacionado con su nivel tecnológico y el número de usuarios que afecta directamente.

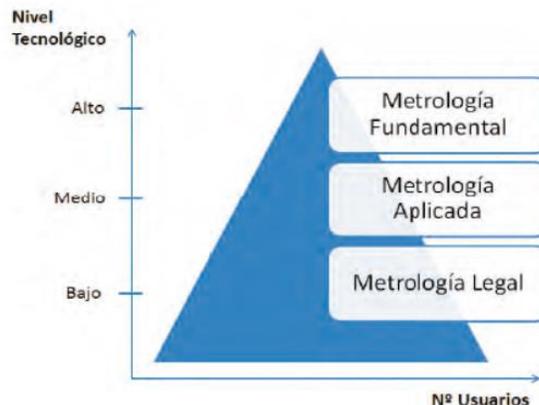


Figura 1.2: Clasificación de la metrología. Fuente: (Centro Español de Metrología e Instituto de la Ingeniería de España, 2019).

Según la institución mencionada anteriormente, la metrología legal, se enfoca en el aseguramiento de la exactitud de los instrumentos de medida, cuyos resultados puedan tener influencia sobre la transparencia de las transacciones comerciales, la salud o la seguridad y el medio ambiente. Dado su objetivo y campo de actuación, afecta a un gran número de usuarios y su nivel tecnológico es bajo.

En Cuba, la Disposición General (DG-01/2020) establece los instrumentos o sistemas de medición que están sujetos a Control Metrológico Legal según sus campos de aplicación, así como los periodos máximos permitidos entre verificaciones.

Por otro lado, la metrología aplicada o industrial requiere de un nivel tecnológico medio y afecta a un colectivo no tan amplio, que incluye normalmente organismos, procesos productivos en industrias y laboratorios que realizan ensayos y calibraciones en productos. Mientras que, la metrología fundamental o científica corresponde a una cantidad de usuarios limitada, usualmente institutos nacionales de metrología y organismos de investigación, mediante la aplicación de técnicas y principios que requieren un alto nivel tecnológico (Centro Español de Metrología e Instituto de la Ingeniería de España, 2019).

Según Reyes, Hernández y Hernández (2013) las mediciones son importantes para:

- Garantizar la optimización y calidad de los procesos tecnológicos.

- Principales fuentes de información sobre la eficiencia de los procesos tecnológicos.
- Constituyen la base sobre la que se fundamentan todas las transacciones comerciales.
- Desempeñan un papel decisivo en la salud y protección del medio ambiente.
- Coadyuvan a la obtención de las evidencias científicas válidas para la credibilidad de los resultados de la investigación científica.

La metrología es fundamental para apoyar el control de los productos que se fabrican y su impacto sobre el bienestar de la población. Es por ello que se hace necesario que el personal involucrado en procesos de medición de cualquier tipo esté debidamente capacitado para llevar a cabo sus actividades, con el objetivo de asegurar la calidad de los procesos de medición y su gestión (Báez, 2012).

1.3 Gestión de las mediciones

El diseño de sistemas de gestión para el campo de la metrología ha evolucionado. Por una parte, se han desarrollado pautas para la gestión global de los elementos que forman a una organización dedicada a la metrología, como es la norma internacional NC ISO/IEC 17025:2017 “Requisitos generales para la competencia de los Laboratorios de ensayo y de calibración” siendo una guía genérica de referencia para aquellos laboratorios que realizan actividades de ensayo y/o calibración y estableciendo los criterios para demostrar competencia técnica.

Por su parte la norma NC ISO 10012:2007 se encarga de especificar requisitos genéricos y proporcionar orientación para la gestión de los procesos de medición y para la confirmación metrológica del equipo de medición. Considerando el enfoque basado en procesos, en la figura 1.3 se representa el esquema de aplicación del sistema de gestión de las mediciones especificado en esta norma.

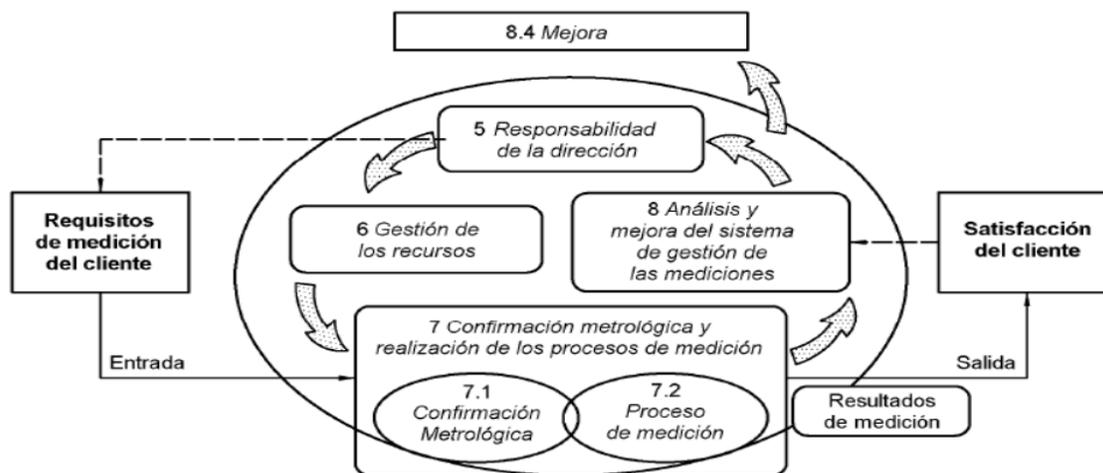


Figura 1.3. Modelo de sistema de gestión de las mediciones. Fuente: NC ISO 10012:2007.

Según Vega (2019) este sistema tiene dos estadios determinantes, como entrada y salida, estos son: el cliente, con los requisitos de medición de su proceso y la entrega de los resultados como satisfacción de su solicitud. 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 mismo establece cinco grupos de requisitos mínimos que son genéricos, y pretende que se apliquen por las organizaciones, los grupos se muestran a continuación:

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

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

Para González y Reyes (2014) el desconocimiento por parte de los directivos en las organizaciones, de las funciones que deben realizar las personas que atienden esta actividad y la necesidad de lograr la seguridad en las mediciones que se realizan durante los procesos productivos; se considera que resultan dificultades a resolver en un futuro no lejano, además de las continuas violaciones de la base legal que rige la gestión de las mediciones en todos los procesos en la empresa.

Barrera, Feitó y Cespón (2022) plantean que el sistema de gestión de las mediciones incluye todos los procesos donde se realizan mediciones; procesos de confirmación metrológica de los instrumentos de medición y los procesos de soporte necesarios, que son aquellos referentes a la asignación de responsabilidades, capacitación, competencia y formación del personal, la gestión y asignación de los recursos, auditorías, control de las no conformidades y la mejora continua, entre otros.

Un sistema eficaz de gestión de las mediciones, asegura que los equipos y los procesos de medición son implementados para obtener los resultados planificados y es importante para lograr los objetivos de calidad del producto y controlar el riesgo de obtener resultados 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.

Ruiz (2019) expresa que la parte metodológica de la gestión y gerenciamiento de la medición se ocupa de evaluar que los sistemas de medición son acordes a las características metrológicas establecidas, satisfacen los requisitos metrológicos determinados por el cliente y que son congruentes para el uso previsto. Siendo la norma NC ISO 10012:2007 un marco de referencia para los sistemas de gestión de las mediciones.

1.4 Análisis de los sistemas de medición.

El análisis de los sistemas de medición es una herramienta que se utiliza para garantizar la calidad de dicho sistema y productos de buena calidad (Saikaew, 2018) y (Adabavazeh y Nikbakht, 2020), la que permite controlar y predecir los resultados de un proceso, y ayuda a identificar y eliminar las causas de variaciones no controladas. Hernández (2014); Vega (2019) y la autora de la presente investigación coinciden en la necesidad de medir los resultados de los procesos para la toma de decisiones oportunas y adecuadas en una organización, así como el impacto de estas acciones, lo que depende en gran medida de la calidad de los datos de la medición.

La autora de la presente investigación considera que el levantamiento metrológico en una organización constituye el control primario e indispensable sobre los instrumentos y mediciones

requeridas, garantizando la veracidad de los datos recolectados, lo cual se complementa con la correcta disposición de estos en sus respectivas áreas o procesos, según los requisitos y características metrológicas necesarias, a fin de lograr la satisfacción de los clientes, tanto internos como externos.

Para Mittal, Tewari y Khanduja (2018) y Beylihan y Elevli (2022) el objetivo principal del análisis de sistemas de medición es determinar y eliminar la variación total entre los métodos de medición, así como cuantificar y disminuir el error estadístico, determinar si el sistema de medición permanece estable y propiciar la toma de decisiones oportunas y adecuadas (González y Poveda, 2014). Garantizar datos de medición precisos y un control continuo y oportuno de los equipos es un gran paso para mejorar la calidad (Adabavazeh y Nikbakht, 2020).

El análisis de los sistemas de medición se puede dividir en dos partes para su entendimiento: la correspondiente al quehacer metodológico de un laboratorio de mediciones y calibraciones y la que se encarga de las herramientas estadísticas para asegurar la calidad en los resultados de las mediciones. Siendo esta última la más utilizada en la industria, basándose principalmente en el estudio y control de la variabilidad de los sistemas de medición y su relación con los procesos de producción.

En la siguiente figura se muestran las posibles fuentes de variación observadas durante las mediciones.

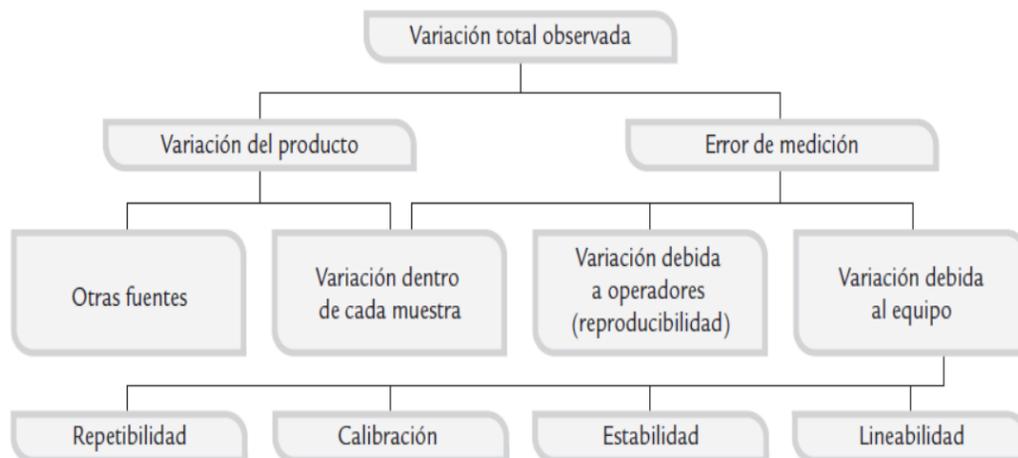


Figura 1.4. Fuentes de variabilidad en las mediciones. Fuente: Gutiérrez y De la Vara (2013).

Gutiérrez y de la Vara (2013) mencionan que la variabilidad total observada en un proceso se debe en parte, a la variabilidad inherente del producto (dada por la variación dentro de cada muestra y otras fuentes); y a la variabilidad de las mediciones (dada por los dispositivos de medición, los procedimientos, las condiciones ambientales, entre otras), o sea, la referida a la

fabricación o al sistema de medición (Soares et. al., 2022). Entre las principales fuentes de variabilidad que contribuyen al error en el proceso de medición se encuentran los operadores (reproducibilidad), la asociada a la muestra y la variación referida al equipo de medición, la que se divide a su vez en varios componentes como son, el estado de calibración, la estabilidad con el transcurso del tiempo, la variación que se observa bajo condiciones de repetibilidad (mediciones realizadas por mismo operador, de manera repetida a la misma pieza o producto utilizando el mismo instrumento), y la lineabilidad o exactitud a lo largo del rango de operación del instrumento.

El análisis de la variación de un sistema de medición y las fuentes que la afectan, permite la evaluación de dicho sistema. Tradicionalmente, en este proceso de evaluación solo se consideraban las características técnicas de los equipos de medición, sin embargo, en la actualidad se reconoce la necesidad de incluir en estas evaluaciones la determinación de la repetibilidad y reproducibilidad como propiedades de los sistemas de medición. En el siguiente epígrafe se ahonda sobre esta temática.

1.4.1 Evaluación de los sistemas de medición

Para evaluar este tipo de sistema se utilizan las “Pruebas de Reproducibilidad y Repetibilidad (R&R)” (Gutiérrez y de la Vara, 2009). Los estudios de repetibilidad y reproducibilidad (R&R) tratan de analizar la variación entre el método de medición y las distintas personas que pueden realizar estas mediciones. Es decir, trata de reducir la variabilidad de la medición de un proceso mediante el estudio de los posibles motivos de variabilidad en la misma, con ellos se consigue tener mayor exactitud de medición en el proceso, disminuyendo el gasto tanto de tiempo como de dinero (González y Poveda, 2014).

Gutiérrez y de la Vara (2013), Colín (2017), Centro Español de Metrología e Instituto de la Ingeniería de España (2019) y la autora de la presente investigación coinciden en que la repetibilidad refleja la variabilidad de mediciones sucesivas del mismo mensurando, efectuadas en las mismas condiciones de medida en su totalidad. Estas condiciones de repetibilidad comprenden el mismo procedimiento de medida, mismo instrumento de medición, mismo operario, misma pieza o producto a medir, en las mismas condiciones y lugar y ante la repetición de las mediciones durante un corto periodo de tiempo. Mientras que reproducibilidad de los resultados de las mediciones refleja la variabilidad de mediciones realizadas; del mismo mensurando; bajo diferentes condiciones de medida, las que deben ser especificadas. Estas condiciones pueden comprender el principio y método de medida, diferentes procedimientos, diferente observador o instrumento, lugar o tiempo entre mediciones.

Son muchos los autores que utilizan los estudios R&R para la evaluación de los sistemas de medición en diferentes procesos, entre ellos Sotomayor y Navarrete (2021); quienes realizan estudios de repetibilidad y reproducibilidad en las características mecánicas de la madera (mediciones de velocidad de onda) para explicar las interacciones entre los instrumentos, operadores y probetas; Loor (2021) busca asegurar la confianza y validez de los resultados emitidos en laboratorio de control de calidad de aceites y aditivos en los ensayos de viscosidad a 40°C y 100°C y TBN (Número Básico Total) mediante estudios R&R y Benítez et al. (2021) evalúan la precisión del método voltamperométrico en condiciones de repetibilidad y reproducibilidad. Por otro lado, García, Paredes y Casas (2022) aplican este tipo de estudios con el objetivo de identificar si existe consistencia entre las mediciones de los operadores y la variación entre ellos; para la mejora de la productividad del proceso en cuestión. Lozano et al. (2020) utilizan los estudios R&R para analizar los factores que están influyendo negativamente en la calidad del proceso de pruebas de limpieza de productos automotriz; así como proponen mejoras. Leal (2021) valida el método de medición que se tiene para la revisión de un producto en el proceso de manufactura de cajas de cartón para empaque y distribución; mediante un análisis R&R.

Otros autores aplican estos estudios, entre ellos: Barrera et al. (2017); Castellano (2017); López., et al., (2018); Mittal, Tewari y Khanduja (2018); Fortunio (2019); Barrera, et al. (2019); Romero (2019), Pinto, et al. (2020); Adabavazeh y Nikbakht (2020); Almonte (2020); Brito (2021); Damián (2021) y (Beylihan y Elevli, 2022) para analizar y evaluar la calidad en sistemas de medición en diversos procesos. Suárez (2020) reconoce la necesidad de incluir la determinación de la repetibilidad y reproducibilidad en las comparaciones interlaboratorios para identificar desviaciones en las mediciones de las entidades participantes y aplica este tipo de estudios en el ensayo de determinación del contenido de grasa en leche cruda. Escamilla, et al. (2020) realiza un análisis R&R cruzado; con el objetivo de determinar si las mediciones realizadas por un equipo de cuatro inspectores son precisas y confiables. Colín (2017) analiza y evalúa un sistema de medición; partiendo de la determinación de la variabilidad en las pruebas de arranque de grupos electrógenos; mediante la implementación de estudios R&R.

Como se aprecia en las investigaciones citadas anteriormente, los estudios R&R son aplicables a todos los procesos que cuenten con sistemas de medición, desde el sector de la salud, los procesos industriales y laboratorios de calibración y ensayos, constituyendo una poderosa herramienta para la evaluación de estos; permitiendo la identificación y reducción de la variabilidad que pueda existir y, por tanto, contribuyendo a la mejora y control de la calidad del mismo.

La norma ISO 13053: 2011 manifiesta que este tipo de estudio (R&R) 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.

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).

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

1.5 Calidad de las mediciones

Con la dinamización del comercio a nivel internacional, la metrología adquiere mayor importancia y se hace énfasis en la relación que existe entre ella y la calidad, entre las mediciones y el control de la calidad, la calibración, la acreditación de laboratorios, la trazabilidad y la certificación (Báez, 2012). Para Bahr et al. (2022) calidad de medición, significan la ausencia de error de medición y un alto grado de integridad de los datos a medir.

Una empresa debe lograr la calidad de sus mediciones para alcanzar la eficiencia, mediante la disposición de recursos estructurados y organizados que lo permitan, como equipos de medición confiables, métodos adecuados y personal capacitado para manipular, aplicar e interpretar resultados obtenidos.

La figura 1.5 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, coincidiendo con esto Reyes, Hernández y Hernández (2013); Bittencourt y Pinto (2020) y Squara et al. (2021).



Figura 1.5. Bases técnicas para garantizar la calidad de la medición. Fuente: (Reyes, Hernández y Hernández, 2013).

Para garantizar la calidad de las mediciones en cualquier proceso, se requiere del cuidado de una serie de aspectos de vital importancia, como son las condiciones ambientales, instalaciones adecuadas y la correcta selección y disposición del instrumento y los materiales de referencia; según el lugar dónde se mide. En cuanto a los recursos humanos; un personal capacitado, competente y de preferencia, con experiencia y habilidades demostradas, disminuye la incidencia del error de la medición asociado al factor humano; ejemplo: cumplimiento de la secuencia en la metodología para realizar un ensayo de laboratorio; correcta visualización e interpretación de los resultados, entre otros.

Otro factor determinante es la confirmación metrológica de los equipos de medición, que abarca tanto la verificación/calibración, ajuste, reparación, mantenimiento, sellado y protección del mismo; durante su manipulación y transportación, y demás medidas de salvaguarda, a fin de evitar deterioro, daño irreparable o ajustes no autorizados que puedan invalidar los resultados de la medición. Deben garantizarse mediciones trazables a patrones nacionales o internacionales, en la medida de lo posible, así como la expresión de los resultados obtenidos en unidades pertenecientes al Sistema Internacional (SI).

Squara et al. (2021) expresa que la medición siempre está afectada por algún grado de incertidumbre, la que influye en la caracterización de la calidad de los procesos, de ahí la importancia de su determinación (Kornblit, 2006). Esta es definida como un parámetro no negativo que caracteriza la dispersión de los valores atribuidos a un mensurando y consta generalmente de varios componentes, que pueden agruparse en dos tipos, según el modo en que estime su valor numérico (NC – Guía 1066: 2015):

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

Los dos tipos de evaluación se basan en distribuciones de probabilidad, y las componentes resultantes tanto de uno como del otro tipo de evaluación se cuantifican mediante varianzas o desviaciones típicas. Estos tipos de evaluaciones y estimaciones de la incertidumbre, en ocasiones es complejo, si se trata de sistemas de medición, debido a las técnicas estadísticas a utilizar, así como la cantidad de fuentes de variabilidad que intervengan.

La calidad de las mediciones está dada por la validez y la confiabilidad de los resultados obtenidos. Chaux (2021) define la validez como el grado en que un instrumento realmente mide la variable que pretende medir, confirmando mediante evidencia objetiva que se han cumplido los requisitos para la utilización o aplicación específica prevista (NC ISO/IEC 17025:2017). Mientras que la confiabilidad es el grado en que la aplicación repetida del instrumento de medición produce resultados coherentes y consistentes (Chaux, 2021).

De igual forma Chavarría y Cruz (2020) consideran que la calibración y las comprobaciones intermedias de los instrumentos son clave para el aseguramiento de la calidad y la validez de los resultados, donde la periodicidad debe ser controlada y establecida de manera precisa, evitando que sea subestimada o sobreestimada.

1.5.1 Selección de los intervalos de recalibración

Para Vega (2019) y Pérez (2020) el período de tiempo entre calibración del equipo de medición constituye otro elemento importante para evaluar la calidad de la medición, donde la adecuada selección de los intervalos de recalibración de los equipos o instrumentos de medición reduce el riesgo de que el instrumento no esté en conformidad con la especificación del proceso, así como mantiene al mínimo los costos de calibración.

Según Hernández (2020), los metrologos aportan los saberes necesarios para estudiar los intervalos óptimos de calibración de los sistemas de medición, a partir de la severidad y frecuencia de su uso; la estabilidad e incertidumbre de los resultados de las mediciones, entre otros criterios.

En el punto 7.1.2 de la NC ISO 10012:2007, se menciona que los métodos utilizados para determinar o cambiar los intervalos entre las confirmaciones metrológicas deben ser descritos en procedimientos documentados. Estos intervalos deben ser revisados y ajustados, cuando sea necesario, para asegurar la competencia con los requerimientos metrológicos especificados.

En Cuba el Decreto Ley 8/2020 “De Normalización, Metrología, Calidad y Acreditación”, en su artículo 69 plantea que los instrumentos y sistemas de medición no sujetos a verificación deben

ser sometidos a calibración, cuya periodicidad se establece por decisión de sus poseedores a través de los documentos que elaboren al efecto, de acuerdo con las necesidades específicas de los procesos o servicios en que se utilicen.

El Decreto 16/2020 “Reglamento de Normalización, Metrología, Calidad y Acreditación” en su Artículo 142.1 plantea que es responsabilidad de las entidades poseedoras de los instrumentos de medición garantizar la calibración de estos en los plazos establecidos, de acuerdo con las regulaciones que se disponen por los órganos de dirección de la rama y para ello tienen en cuenta las exigencias de la producción y los servicios. Mientras que el 142.2 plantea que los plazos para la presentación de los instrumentos de medición a la calibración son determinados por las entidades poseedoras, mediante la norma NC OIML D10 “Guía para la determinación de los intervalos de recalibración de los equipos de medición utilizados en laboratorios de ensayos”.

La NC OIML D 10: 2021 “Lineamientos para la determinación de intervalos de calibración de instrumentos de medición”, refiere que un aspecto importante para mantener la capacidad de un laboratorio de producir resultados de medición trazables y fiables, es la determinación del plazo máximo que se debe permitir entre calibraciones sucesivas (recalibraciones) de la referencia o patrón de trabajo y de los instrumentos de medición utilizados.

La norma mencionada considera que la decisión para las recalibraciones debe ser tomada teniendo en consideración factores como la recomendación del fabricante del instrumento, el uso esperado y la severidad del mismo, la influencia del medio ambiente, la incertidumbre requerida del instrumento, los errores máximos permisibles, ajuste de (o cambio en) un instrumento individual; influencia de la cantidad medida (ej. efecto de la alta temperatura en termopares), los datos agrupados o publicados sobre instrumentos iguales o similares, entre otros.

En la NC OIML D 10, se explican de forma teórica varios métodos para establecer los intervalos de recalibración para los equipos de medición. Ellos son:

- Método 1: ajuste automático o "escalera" (tiempo-calendario)
- Método 2: carta de control (tiempo-calendario)
- Método 3: tiempo "en uso"
- Método 4: chequeo en servicio, o ensayo "caja negra"
- Método 5: aproximación estadística

Ningún método es idealmente adecuado para la totalidad de los instrumentos disponibles, cada metrologo escoge el método que mayor se ajuste a sus condiciones y/o resultados que desea obtener (Vega, 2019).

Luego de analizar la comparación de los diferentes métodos (ver **Anexo No.1**) en cuanto a confiabilidad, esfuerzo de aplicación, carga de trabajo equilibrada, aplicabilidad con respecto a ítems particulares y disponibilidad de instrumentos; y siguiendo las recomendaciones dadas por Ramírez (2018); Vega (2019); Pérez (2020) y Chávez (2021), la autora selecciona el método carta de control (tiempo - calendario) para el desarrollo de la presente investigación, debido a que este fundamenta de forma cuantitativa a través de herramientas estadísticas matemáticas, el período de tiempo entre una y otra calibración.

Por otro lado, la NC ISO/IEC 17025:2017 en el punto 5.5.2 menciona que los equipos o instrumentos para ensayo, calibración y muestreo, deben ser capaces de alcanzar la exactitud requerida y deben cumplir con las especificaciones pertinentes para los ensayos y/o calibraciones relacionadas. Los programas de calibración deben ser establecidos para las magnitudes clave o valores de los instrumentos donde esas propiedades tengan un efecto significativo en los resultados del laboratorio, a través de procedimientos establecidos para la calibración del equipo (punto 5.6.1), garantizando la trazabilidad de los resultados de las mediciones.

1.5.2 Trazabilidad de las mediciones al SI.

Según el VIM el término trazabilidad se refiere a la propiedad del resultado de una medición o el valor de un patrón, por la que puede ser relacionado con los patrones de referencia, usualmente patrones nacionales o internacionales, a través de una cadena ininterrumpida de comparaciones, teniendo establecidas las incertidumbres (ver figura 1.6).



Figura 1.6. Ejemplo de Pirámide de Trazabilidad Metrológica en el Instituto Nacional de Metrología. Fuente: Villalobos et al. (2019).

La trazabilidad de las mediciones, lograda a través de patrones nacionales o internacionales, permite satisfacer los requerimientos legales de los órganos reguladores, así como la equidad del mercado y la confiabilidad en la prestación de servicios o ejecución de productos. Todo esto exige implícitamente mejorar continuamente la uniformidad y la exactitud de las mediciones.

La trazabilidad de los resultados de las mediciones al SI es uno de los elementos sustantivos de la confianza en el uso de un instrumento de medición (Reyes; Hernández y Hernández, 2009).

Los laboratorios de ensayo también deben establecer y mantener la trazabilidad metrológica de los resultados de sus mediciones por medio de una cadena ininterrumpida y documentada de calibraciones. En el punto 6.5.3 de la NC ISO/IEC 17025:2017 se especifica que cuando esto no sea técnicamente posible, se debe demostrar mediante una relación apropiada a valores certificados de materiales de referencia, procedimientos de medida, métodos especificados o normas de consenso que estén descritos claramente y sean aceptados, en el sentido de que proporcionen resultados de medición acordes a su uso previsto y asegurados mediante comparación adecuada. A continuación, se profundiza en otros factores que influyen directamente en la calidad de las mediciones en los ensayos de laboratorio.

1.6. Ensayos de laboratorio, calidad de sus mediciones.

Castellano (2017) expresa que el laboratorio de análisis ofrece a sus clientes un servicio que se traduce en información sobre la identidad química y la composición de los materiales analizados. Para ser útil al cliente esta información debe:

- Ser precisa y exacta.
- Ser entregada dentro de los tiempos requeridos por el cliente para tomar sus decisiones.
- Satisfacer las necesidades del cliente.

Para conocer y mantener la calidad de sus procesos es necesario poner en práctica un conjunto de técnicas y procedimientos para orientar, supervisar y controlar todas las etapas hasta la obtención de un producto de la calidad deseada (Castellano, 2017).

Para garantizar la calidad de las mediciones en los laboratorios de ensayo, se recomienda el uso de normas internacionales. Para esto, Cuba adopta la norma NC ISO/IEC 17025:2017 “Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración”, como se referencia en epígrafes anteriores. Esta norma indica que el laboratorio debe mejorar continuamente la eficacia de su sistema de gestión de las mediciones mediante el uso de la política de la calidad, los objetivos de la calidad, los resultados de las auditorías, el análisis de los datos, las acciones correctivas y preventivas y la revisión por la dirección.

Muchos factores determinan la exactitud y la confiabilidad de los ensayos o de las calibraciones realizadas por un laboratorio. Estos factores incluyen elementos provenientes (NC ISO/IEC 17025:2017):

- de los factores humanos

- de las instalaciones y condiciones ambientales
- de los métodos de ensayo y de calibración, y de la validación de los métodos
- de los equipos
- de la trazabilidad de las mediciones
- del muestreo
- de la manipulación de los ítems de ensayo y de calibración

Según la norma mencionada anteriormente, la influencia del factor humano sobre la calidad de las mediciones en un laboratorio de ensayo, está dado por la competencia de las personas que realizan ensayos y evalúan los resultados obtenidos, dígase formación adecuada, experiencia y habilidades demostradas. Mientras que otro de los factores a garantizar son las condiciones externas (iluminación, fuente de energía, condiciones ambientales) adecuadas, a fin de no invalidar los resultados de las mediciones o comprometer la calidad de los mismos.

La NC ISO/IEC 17025:2017 establece que el laboratorio debe usar métodos y procedimientos apropiados para todas las actividades dentro de su alcance. Estos incluyen el muestreo, manipulación, transporte, almacenamiento y preparación de los ítems a ensayar o a calibrar y, cuando corresponda, la evaluación de la incertidumbre de medición, y el uso de las técnicas estadísticas para el análisis de datos.

Mientras que el punto 7.2.2 de la NC ISO/IEC 17025:2017; referente a la validación de métodos, establece que el laboratorio debe validar los métodos no normalizados y los métodos desarrollados por el laboratorio, utilizando técnicas como la comparación de los resultados obtenidos con otros métodos validados y las comparaciones interlaboratorio. Por otro lado, para el aseguramiento de la validez de los resultados; el laboratorio debe registrar los datos resultantes, de manera que las tendencias sean detectables y cuando sea posible, se deben aplicar técnicas estadísticas para su revisión, así como el uso de comprobaciones intermedias en los equipos de medición; repetición del ensayo o calibración utilizando los mismos métodos o métodos diferentes, comparaciones intralaboratorios, entre otras (punto 7.7.1). En el siguiente epígrafe se tratan algunos elementos sobre el tema.

1.6.1. Comparaciones intralaboratorio e interlaboratorio.

El control y evaluación en los laboratorios, juegan un papel primordial para asegurar la calidad de las mediciones y la fiabilidad de sus resultados. Ternero (2017) concuerda con Herrador (2016) en que cuando estas actividades se realizan en el seno del laboratorio, por el propio personal, para la evaluación interna de la calidad se utiliza el término intralaboratorio, mientras que cuando

se habla de evaluación externa de la calidad, se refiere a la participación en ensayos o ejercicios colaborativos interlaboratorios, para comparar y armonizar los resultados. “*Todo ello se va a ver reflejado en un incremento en la fiabilidad en los resultados generados por el laboratorio y en la confianza de los clientes en el mismo*” (Herrador, 2016).

La NC ISO/IEC 17025:2017 referenciando a la norma ISO/IEC 17043:2010, define la comparación intralaboratorio como la organización, realización y evaluación de mediciones o ensayos sobre el mismo ítem o ítems similares, dentro del mismo laboratorio; diferenciándose de la comparación interlaboratorio, en que estas actividades son realizadas por dos o más laboratorios, de acuerdo con condiciones predeterminadas.

En el estudio “*Ensayos intralaboratorios: indicador para la evaluación del desempeño y aseguramiento de la calidad de los resultados de los ensayos*”, López, et al. (2013), plantea que los laboratorios deben monitorear la validez de los ensayos y registrar sus resultados, de forma tal que se puedan detectar tendencias, y aplicar técnicas estadísticas en su revisión, lo que se traduce en control estadístico de la calidad interna del laboratorio. En el estudio mencionado, se evalúa el control del proceso de ensayos físico-químico para la miel de abejas, en cuanto al desempeño de varios analistas en formación, comparando los resultados de las mediciones obtenidas con los de un analista de referencia.

Argota y Fernández (2012) realizan comparaciones para la evaluación de la precisión intralaboratorio para la determinación simultánea de ocho elementos en muestras geológicas aplicando la espectrometría de emisión atómica con plasma acoplado, utilizando pruebas de normalidad y tomando como criterios estadísticos; las medias y desviaciones estándar para la toma de decisiones sobre los tipos de errores que se evalúan.

Pineda, Prada y Prieto (2013) en su estudio “*Métodos estadísticos en la comparación de equipos de laboratorio*” proveen una herramienta de consulta práctica y de fácil comprensión para determinar si los resultados proporcionados por diferentes equipos de medida pueden ser considerados iguales o intercambiables desde un punto de vista estadístico, y por tanto, informados de forma independiente del método o analizador empleado.

Las intercomparaciones de instrumentos proporcionan ensayos independientes del rendimiento de los mismos y evalúan la compatibilidad de sus datos (Organización Meteorológica Mundial, Comisión de Instrumentos y Métodos de Observación, 2014).

Según la NC ISO/IEC 17043:2011 “Evaluación de la conformidad. Requisitos generales para los ensayos de aptitud”; las comparaciones interlaboratorios se utilizan ampliamente para varios propósitos y su uso va en aumentando. Estas se pueden utilizar por ejemplo para:

- evaluar el desempeño de los laboratorios para llevar a cabo ensayos o mediciones específicos y hacer el seguimiento del desempeño continuo de los laboratorios;
- identificar problemas en los laboratorios e iniciar acciones para la mejora que, por ejemplo, pueden estar relacionadas con procedimientos inadecuados de ensayo o medida, eficacia de la formación y supervisión del personal o la calibración de los equipos;
- establecer la eficacia y la comparabilidad de los métodos de ensayo o medida;
- proporcionar confianza adicional a los clientes de los laboratorios;
- identificar las diferencias entre laboratorios;
- instruir a los laboratorios participantes sobre la base de los resultados;
- validar las estimaciones de incertidumbre declaradas;

El objetivo principal de los ensayos de intercomparación de aptitud es dotar a los laboratorios de una herramienta de control de la calidad que les permite comparar sus resultados con otros, monitorizarlos a lo largo del tiempo, detectar tendencias y consideraciones preventivas o correctivas cuando sea necesario (NC ISO/IEC 17025:2017).

Las comparaciones interlaboratorios están siendo ampliamente utilizadas por los Institutos Nacionales de Metrología como uno de los procedimientos principales para la confirmación de la competencia técnica de los laboratorios (Hernández, et al., 2009).

Panunzio (2022) en el artículo “*Evaluación externa de la calidad del laboratorio clínico*” considera que las comparaciones interlaboratorios y ensayos de aptitud son herramientas valiosas en el proceso de mejora de la calidad de los servicios de un laboratorio clínico; basadas en el análisis apropiado e interpretación de los resultados obtenidos; proporcionando información sobre el nivel de rendimiento del laboratorio con respecto a otras entidades participantes. Refiere también que un sistema de gestión de la calidad eficaz debe incluir, además de un sistema de evaluación interna, la participación en este tipo de ejercicios comparativos para la evaluación externa del laboratorio.

Mientras que Gamonal (2022) en el estudio investigativo “*Aplicación de la norma NTP ISO/IEC 17025:2017 para acreditación del laboratorio de mecánica de suelos en la Empresa TCINGE S.A.C*”; asegura la validez de los resultados obtenidos en los ensayos de contenido de humedad, a partir de la participación en un programa de interlaboratorio, así como lleva a cabo una revisión

del control histórico interno y una evaluación técnica semestral, con el objetivo de dar confiabilidad en los resultados que emite el laboratorio.

Según Ternero (2017), otro tipo de ejercicio de interlaboratorio, a los que se hizo referencia anteriormente, lo constituyen los ensayos de aptitud, cuyo objetivo es evaluar el desempeño o funcionamiento del laboratorio, a través de su exactitud y precisión. La NC ISO/IEC 17043:2011 establece que los ensayos de aptitud consisten en la evaluación del desempeño de los participantes con respecto a criterios previamente establecidos mediante comparaciones. Los diferentes tipos de programas de ensayos de aptitud varían de acuerdo a las necesidades del sector en el que se usan, la naturaleza de los ítems de dicho ensayo, los métodos en uso y el número de participantes. Entre ellos se pueden encontrar los de comparación de mediciones o de participación secuencial, simultáneos, interpretativos, de revisión de muestra y de muestra compartida. La NC ISO/IEC Guía 43-1:2000 establece las principales directrices para el desarrollo y el funcionamiento de estos programas, referentes a la distribución de las muestras, la cantidad de laboratorios participantes, el reporte de resultados, entre otros.

En las actividades de participación secuencial, se hace circular sucesivamente el objeto de ensayo de un laboratorio participante al siguiente; los programas simultáneos; implican la distribución paralela a los laboratorios de ensayo participantes, de sub-muestras seleccionadas aleatoriamente de una fuente de material para ser ensayadas concurrentemente. Mientras que, los programas de ensayos de muestra dividida, implican la comparación de los datos producidos por pequeños grupos de laboratorios (a menudo sólo dos laboratorios) que están siendo evaluados como proveedores potenciales o proveedores de servicios de ensayo.

En el **Anexo No.2** se puede apreciar una tabla resumen comparativa entre los diferentes modelos de programas de ensayos de aptitud mencionados anteriormente.

Estas herramientas inciden por un lado en la capacidad de los laboratorios para la realización de un ensayo concreto obteniendo información externa con la que el laboratorio asegura, en la medida de lo posible, que la validación de su procedimiento y su estrategia de control interno de calidad son suficientemente eficaces y por tanto puede asegurar con cierto grado de confianza que no tiene un sesgo en sus resultados de rutina. Por otro lado, dicha participación incluye un alto potencial de mejora al obligar al laboratorio, ante resultados no satisfactorios, a poner a prueba su capacidad para detectar la posible fuente del error, que puede ser desde la cualificación inadecuada del personal, la validación incompleta del procedimiento de ensayo o un error puntual en el funcionamiento del equipo, entre otros (NC ISO/IEC Guía 43-1:2000).

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

1.7. Servicio Nacional de Metrología (SENAMET)

El SENAMET es la red de órganos metrológicos pertenecientes a la Oficina Nacional de Normalización (ONN) y los órganos metrológicos de organismos, empresas y otras entidades autorizadas a realizar tareas de metrología legal, que comprenden la verificación y aforo de instrumentos de medición, así como la ejecución de mediciones legales y la supervisión metrológica (inspección estatal).

Según el Decreto- Ley No. 8/2020, el Servicio Nacional de Metrología se integra por la autoridad nacional reguladora en metrología (ONN), el Instituto Nacional de Investigaciones en Metrología (INIMET), los institutos nacionales de metrología designados, aprobados por la ONN, las Oficinas Territoriales de Normalización (OTN), los laboratorios de metrología y ensayos de instrumentos y sistemas de medición, autorizados por la Oficina para ejecutar actividades de metrología legal y los órganos de supervisión metrológica.

El Servicio Nacional de Metrología ejecuta un conjunto de actividades organizativas, legales, técnicas, científicas y productivas que tienen como objetivo garantizar la exactitud requerida, confiabilidad y uniformidad de las mediciones, así como debe garantizar la trazabilidad de las mediciones que intervienen en los procesos de producción, investigación y servicios que se realizan en el país.

Entre las principales funciones que desempeña se encuentra mantener actualizado y controlar el uso de las unidades de medida; establecer y conservar los patrones nacionales de las unidades de medida legales; establecer la jerarquía de los instrumentos y sistemas de medición; disponer de la base de patrones requerida con trazabilidad al Sistema Internacional de Unidades, para garantizar la diseminación de las unidades de medida; dirigir, ejecutar y coordinar las investigaciones y actividades científicas para el desarrollo de la metrología; ejecutar el control metrológico legal y elaborar y mantener actualizadas las Normas Cubanas relacionadas con la metrología (Decreto- Ley No. 8/2020).

Como se ha analizado en los epígrafes anteriores, la gestión de las mediciones puede ser tratada como un proceso, ya que posee entradas y salidas definidas, se encuentra unida indisolublemente al sistema de gestión de la calidad de una organización, y se le puede aplicar metodologías de mejora.

Benavides y Masso (2019) y Aguirre et al. (2019) refieren que, a medida que se da el crecimiento empresarial, la globalización y los cambios en los mercados, las empresas se ven obligadas a enfrentar distintas modificaciones en toda su estructura y a desarrollar diferentes estrategias que permitan aumentar su competitividad; partiendo de las premisas de productividad y calidad como los principales objetivos a cumplir. Estas estrategias siguen los lineamientos de algunas metodologías cuya implementación mejora los resultados de los procesos, tanto operativos como administrativos, siendo Seis Sigma una de las más utilizadas a nivel internacional.

1.8. Seis Sigma como metodología de mejora de procesos

Seis Sigma es una metodología 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. Está atrayendo la atención de ganancias financieras obtenidas por algunas empresas con el desarrollo de proyectos de Seis Sigma (Sanders y Hild, 2000); (Hoerl, 2001); (Schroeder et al., 2007) y (Mergulhao y Martins, 2008); (Arthur, 2014) y (Duarte y Cruz, 2013), coincidiendo con estos criterios autores tales como (Reyes, 2002); (McCarty, 2004); (John, et al., 2008); (Daglioglu; Inal y Aksoy, 2009); (Gutiérrez, 2010); (Gremyr y Fouquet, 2012) y (Galvania y Carpinettib, 2013). Es una filosofía en la que las variables pueden ser controladas y se utilizan como un medio de gestión de la calidad destinada al cero error (Pyzdek, 2003); (Gygi; Williams y Gustafson, 2006); (Daglioglu; Inal y Aksoy, 2009); (ISO 13053: 2011) y (Ingelsson y Martensson, 2014). Esta metodología obliga a las personas a medir los procesos (Eckes, 2003); (Gygi; DeCarlo y Williams, 2005); (ISO 13053: 2011); (Galvania y Carpinettib, 2013); (Panat et al., 2014) y (Fernández, 2021).

Cada etapa requiere la aplicación de los métodos estadísticos y herramientas de gestión de la calidad (Schroeder et al., 2007); (Mergulhao y Martins, 2008) e (ISO 13053: 2011). Tiene tres áreas prioritarias de acción: satisfacción del cliente, reducción del tiempo de ciclo y disminución de los defectos (Gutiérrez, 2010) y (Fortunio, 2019).

Zaini y Saad (2019) plantean que la metodología Seis Sigma constituye una buena comprensión de la importancia de reducir las diferencias en un proceso, lo que puede ayudar a resolver múltiples problemas. Mediante el uso de herramientas estadísticas, el equipo de gestión es capaz de analizar procesos fluctuantes, permitiendo predecir las decisiones y acciones adecuadas a seguir. En la figura 1.7 se ilustra Seis Sigma como un enfoque para el mejoramiento de procesos, a través del análisis y la eliminación de cualquier fuente potencial de variabilidad, teniendo en cuenta la voz del cliente, el control estadístico, entre otros elementos.

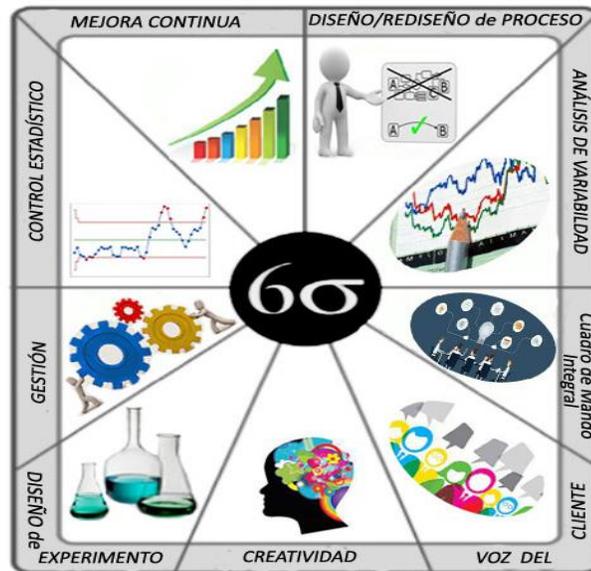


Figura 1.7: Métodos y herramientas de Seis Sigma. Fuente: Adaptación de (Pande et al., 2000) y (Zaini y Saad, 2019).

Esta metodología permite a las organizaciones aumentar sus ganancias a través de la eficiencia de los procesos mediante la mejora la calidad y la eliminación de fallos y errores. Estudios realizados en las empresas manufactureras y productivas instaladas en Brasil, Tailandia, Estados Unidos, Colombia, México, demuestran lo planteado anteriormente (Reyes, 2002); (Calia y Guerrini, 2005); (Pinto y Carvalho, 2006); (Fernández y Turrioni, 2007); (Andrietta y Miguel, 2007); (Lertwattanapongchai y Swierczek, 2014); (Restrepo, 2019); Sánchez Alzate (2018) y (Fortunio, 2019).

Esta metodología se basa en el ciclo iterativo definir, medir, analizar, mejorar, controlar (DMAIC) (ver figura 1.8) empleada para optimizar los procesos existentes (Gutiérrez, 2010) e (ISO 13053: 2011). El objetivo de DMAIC es elevar la calidad (John, et al., 2008).

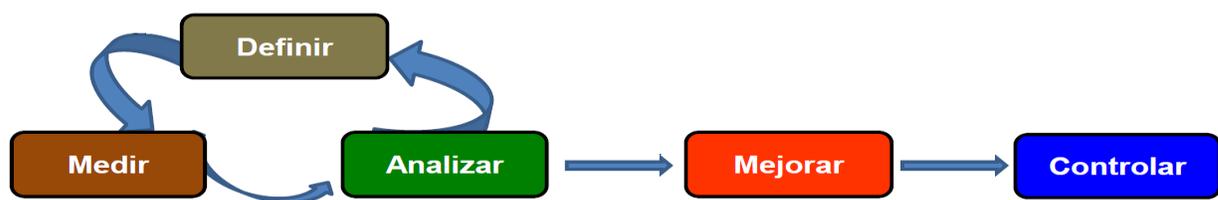


Figura 1.8. Secuencia Seis Sigma DMAIC. Fuente: ISO 13053: 2011.

Mientras que Galvania y Carpinettib (2013) definen once factores críticos para la implementación efectiva de un programa Seis Sigma, estando entre ellos: el cambio cultural; capacitación; capacidad para la gestión de proyectos, entre otros.

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

Gibbons, *et al.* (2012) opina que el ciclo Planificar-Hacer-Verificar-Actuar (PHVA) y la mejora DMAIC pueden ser estructurados para que se complementan entre sí; reforzando el marco proporcionado por DMAIC.

Barrera, Cambra y González (2017) y Malpartida *et al.* (2021) coinciden en que Seis Sigma proporciona a las empresas una herramienta orientada a mejorar la capacidad de sus procesos, aumentando el rendimiento y disminuyendo la variación, con el propósito de reducir los defectos y aumentar la calidad del producto. Traducido en un beneficio económico aumentando su productividad, disminuyendo costos, como mano de obra y costos de producción, al disminuir el desperdicio de material. Además, contribuye con el ambiente al elevar el uso eficiente de los recursos y reduce las pérdidas de energía.

García y Pareja (2021) realizan un estudio sobre las experiencias de la metodología Seis Sigma en un grupo de organizaciones en los últimos diez años, concluyendo que Seis Sigma, sigue siendo considerada un modelo exitoso que promueve la mejora continua y genera valor compartido, independientemente de su enfoque y estrategias de aplicación.

Seis Sigma tiene sus propias limitaciones (Aubyn Salkey, 2008) y (Durán, 2014):

- 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 este 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.
- Requiere de la capacitación de todos los niveles en una empresa.
- Se necesita un grado de preparación alto en herramientas estadísticas.

Barrera et al. (2018) expresan que, pese a que se identifican en la literatura consultada gran variedad de estudios relacionados con la calidad de las mediciones, son escasos los procedimientos que integren la metodología Seis Sigma a la metrología de forma sistemática, de manera que tomen en cuenta el enfoque a procesos y la mejora continua. Estos autores proponen el diseño y aplicación de un procedimiento para la evaluación de la calidad de las mediciones a partir del uso de dicha metodología en una empresa refinadora de petróleo cubana.

Barrera et al. (2017) describen un procedimiento para la evaluación de la calidad de las mediciones de flujo en una empresa refinadora de petróleo, específicamente en el proceso de recepción, almacenamiento, manipulación y entrega de gas licuado del petróleo. La propuesta garantiza la evaluación y mejora de la gestión de las mediciones, ajustando la metodología Seis Sigma al estudio de las características metrológicas del instrumento utilizado, demostrando la confiabilidad de sus mediciones y que la causa principal de la variabilidad en el proceso es el método de medición seleccionado.

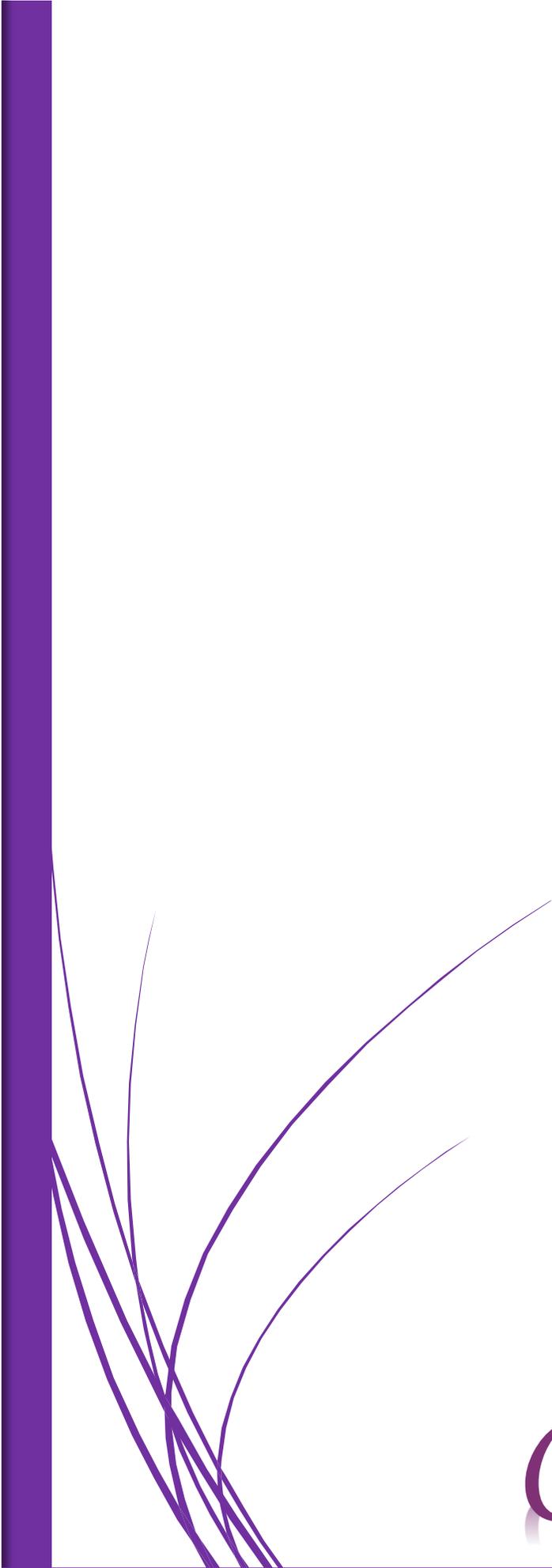
Barrera, Feitó y Cespón (2019) aplican un procedimiento basado en Seis Sigma para la evaluación de la incertidumbre de medición en el sistema de transferencia por ducto Refinería-Termoeléctrica Cienfuegos. Estos mismos autores en el año 2021 en su estudio "*Gestión de las mediciones basada en riesgos en empresas del sector de la energía*" implementan un procedimiento para la mejora de la gestión de las mediciones en una empresa refinadora de petróleo, que integra la evaluación sistemática del desempeño metrológico con un enfoque de riesgos, a partir de la utilización de la metodología Seis Sigma. Lo que permite obtener resultados favorables en el estudio y evidencia su factibilidad como instrumento metodológico para la mejora de la gestión de las mediciones en este tipo de organizaciones.

Es válido destacar que, en la búsqueda bibliográfica realizada en la investigación, se evidencian otros trabajos donde se utiliza la metodología mencionada aplicada a la gestión de las mediciones. Algunos estudios consultados por la autora de la actual investigación son: Hernández (2012); Machado (2013); Cambra (2014); Martínez (2014); Marín (2015); Román (2016); Vega (2019); Querol y Gutiérrez (2018); Machado (2018), Barrera, Cespón y Feitó (2019); Barrera, Cambra y González (2017) y Pérez (2020).

Lo anterior comentado se toma como experiencia, constituyendo la base que sustenta el desarrollo de la presente investigación.

Conclusiones parciales del capítulo

1. Las bases técnicas para garantizar la calidad de las mediciones comprenden los métodos utilizados; personal involucrado; confirmación metrológica; verificación y calibración de los instrumentos y trazabilidad a patrones nacionales o internacionales. Estas influyen directamente en el aseguramiento de la validez de los resultados, lo que resulta decisivo en la formulación de un sistema de gestión robusto y cimentado sobre la base de mediciones confiables. En la revisión bibliográfica realizada, destaca que existe poca experiencia relacionada con este aspecto en el país, donde una de las normas que la contempla es la NC ISO IEC 17025:2017.
2. El sistema de gestión de las mediciones incluye varios factores de vital importancia, como es la apropiada asignación de responsabilidades, la capacitación y formación del personal, en concordancia con las características inherentes y complejidad de los procesos de medición de las organizaciones. Esto permitirá conocer, controlar y minimizar el efecto de los resultados erróneos asociadas al factor humano, lo que se plantea como unas de las principales fuentes de variabilidad en las mediciones.
3. Para el desarrollo de la investigación se selecciona la metodología Seis Sigma, debido a que es más comprensiva una vez que se tienen claras las herramientas requeridas, contiene un acercamiento sistemático para encontrar soluciones a los problemas ocultos y controlar el desempeño de los resultados, se basa en técnicas estadísticas, obligando a la medición de los procesos. Su utilización en los sistemas de gestión de las mediciones puede aportarle robustez a la etapa de mejora, lo que constituye motivo de investigación.



Capítulo 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 Termoeléctrica Cienfuegos, así como se expone un procedimiento de mejora de procesos aplicado a la gestión de las mediciones, diseñado por Hernández (2012) y Machado (2013) y modificado por Marín (2015); Román (2016); Querol Ja y Gutiérrez (2018), Vega (2019) y Pérez (2020), basado en la metodología Seis Sigma. En este se utilizan criterios de diferentes autores, tales como: Gutiérrez y de la Vara (2009); Reyes, et al. (2007); Guadalupe (2008); Arias (2007); ISO 13053: 2011; Gibbons et al. (2012); NC ISO 10012: 2007; UD IG-0014; Pineda, Prada y Prieto (2013); Condorí et al. (2018); NC OIML D 10:2021; NC ISO/IEC 17043:2011 y NC ISO/IEC Guía 43-1:2000, entre otros.

2.1. Caracterización de la entidad objeto de estudio

La Empresa Termoeléctrica Cienfuegos, perteneciente a la Unión Eléctrica del Ministerio de Energía y Minas (MINEM) es creada bajo la Resolución No.78 del Ministro de la Industria Básica (MINBAS), aunque existe como unidad generadora desde el año 1953, con la entonces Termoeléctrica O’Bourke de la Compañía Cubana de Electricidad. En el año 1969 es creada la Central Termoeléctrica “Carlos Manuel de Céspedes”, con dos unidades de procedencia checa, ambas con capacidad de 30 MWh. En el año 1980, se concluye el proceso inversionista de las dos plantas de tecnología japonesas de 158 MWh cada una. Ya en el 2008 salen de servicio por baja técnica las dos plantas de tecnología checa, por tener un consumo específico alto, agravada por las malas condiciones técnicas. Luego se acomete una modernización a la Unidad No.4 (japonesa), donde se cambia toda la instrumentación de campo y se sustituyen las paredes de agua de la caldera.

La Central Termoeléctrica Cienfuegos tiene como objeto empresarial aprobado generar y suministrar energía eléctrica, entrando en vigor mediante la Resolución No.785 de fecha 26 de noviembre del 2013 emitida por el Ministerio de Economía y Planificación. En la actualidad cuenta con recursos humanos, medios e instalaciones que le permiten cumplimentar este objeto, con potencialidades necesarias para ampliar el alcance de sus acciones a nuevas actividades.

La empresa tiene como estrategia definida lograr la integración de todas sus divisiones estructurales hacia la identificación y satisfacción de los requisitos y expectativas de sus clientes, tanto internos como externos. Establece la dirección por objetivos como método participativo y herramienta principal para proponerse en cada período metas superiores que consoliden el nivel alcanzado, y a su vez, propicien el salto al siguiente. Para ello identifica y jerarquiza los valores

compartidos en la organización, potenciando su incorporación al sistema de dirección como motivación personal en el desarrollo deseado para el logro de la meta prevista.

Como soporte para la materialización de la estrategia integrada de la empresa se identifican las áreas de resultados claves: contabilidad, finanzas, contratación, innovación, técnica, capital humano, seguridad y salud, protección física y gestión ambiental, asegurándose que todo el personal disponga de la preparación, calificación y formación requerida, así como de los recursos necesarios para el logro del objetivo identificado. Dentro de la planeación estratégica de la entidad y para el logro de las funciones tiene definida la misión y visión que se presentan a continuación:

Misión: Generar y suministrar energía eléctrica al Sistema Eléctrico Nacional, para garantizar la satisfacción de los requerimientos y necesidades crecientes de nuestro cliente, con un alto nivel de profesionalidad y cultura en la gestión de seguridad y salud de sus trabajadores, garantizando el necesario equilibrio con el entorno y el medio ambiente.

Visión: Consolidar la entidad como la termoeléctrica más eficiente y eficaz en el ámbito nacional, alcanzando indicadores técnico-productivos de primer nivel mundial, manteniendo y priorizando la cultura en la gestión de seguridad, salud y medio ambiente, sobre sólidos valores y un alto sentido de pertenencia de los trabajadores, caracterizado, además, por una elevada gestión de los recursos humanos.

La Empresa Termoeléctrica Cienfuegos se encuentra conformada por la Dirección General, tres direcciones funcionales y cinco Unidades Empresariales de Base (UEB), dicha estructura se muestra en el organigrama de la organización (ver **Anexo No.3**). Estas se encargan de:

- **Dirección General:** Garantizar la generación de energía eléctrica de la Empresa Termoeléctrica Cienfuegos, manteniendo una estricta exigencia en el cumplimiento de los indicadores técnico – económicos, con una alta eficiencia, así como de las medidas y normativas que garanticen el mantenimiento de la disciplina tecnológica en la explotación de todos los equipos que componen las unidades de producción.
- **Dirección Administración Financiera:** Organizar, dirigir y controlar la actividad contable de la Central.
- **Dirección de Capital Humano:** Garantiza la aplicación y capacitación, organización del trabajo y los salarios, inducción del personal y atención al hombre, previstos en la legislación vigente y de conformidad con lo establecido por los organismos rectores, planificar, mantener y desarrollar los recursos del personal en la consecución de los objetivos estratégicos planteados en cada lugar.

- **UEB de Producción:** Dirigir, supervisar y controlar el trabajo de los Jefes de Turnos; del Especialista en Explotación de Centrales Eléctricas, del Grupo de Régimen, del Jefe de Taller Químico y la Brigada de Limpieza de Condensadores.
- **UEB Seguridad y Protección:** Organizar y controlar el Sistema de Seguridad y Protección Física y las medidas de Protección a la Seguridad Informática, Información Oficial, Sustancias Peligrosas y Protección Contra Incendios cumpliendo y haciendo cumplir el Sistema Integral que el MINEM concibe para objetivos considerados estratégicos.
- **UEB Servicio:** Garantizar la prestación de servicios de limpieza y áreas verdes, realizar servicios de construcción civil, así como representar a la empresa ante los servicios recibidos de alimentación y transporte de personal.
- **UEB Abastecimiento:** Garantizar el desarrollo y control integral de su actividad, la gestión y adquisición de piezas y materiales para mantenimiento, reparación, construcción y solución de averías en todas las áreas de la empresa.
- **UEB Mantenimiento:** Dirigir, supervisar y controlar la actividad de mantenimiento a equipos básicos y auxiliares de la Central Termoeléctrica, así como la planificación de recursos de todo tipo para estos mantenimientos y para el mantenimiento civil, misceláneas, actividad de protección anticorrosivas y lubricación, todo a través del trabajo de los Jefes de Taller por especialidades; los Jefes Grupo de Planificación e inspección del mantenimiento.

La plantilla general de la empresa es de 413 trabajadores, 324 son hombres y 89 son mujeres, estos se encuentran distribuidos por las diferentes áreas (ver tabla 2.1 y figura 2.1).

Tabla 2.1: Cantidad de trabajadores distribuidos por área. Fuente: Elaboración propia.

Área de Trabajo	Cantidad de Trabajadores
Dirección General	11
Dirección Técnica	23
Dirección de Administración Financiera	22
Dirección de Capital Humano	13
UEB Producción	127
UEB Mantenimiento	122
UEB Abastecimiento	44
UEB Seguridad y protección	20
UEB Servicios	31
Total	413

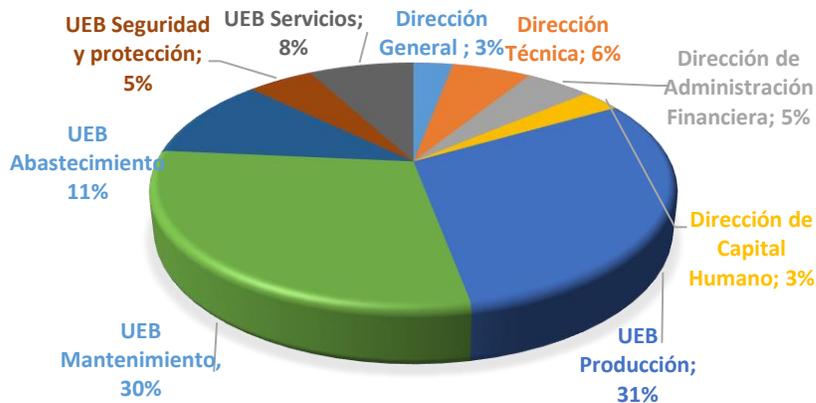


Figura 2.1: Porcentaje de trabajadores distribuidos por las diferentes áreas. Fuente: Elaboración propia.

En la tabla No. 2.2 se muestra la cantidad de trabajadores según el rango de edad y en la figura 2.2 la distribución según el porcentaje.

Tabla 2.2: Cantidad de trabajadores según el rango de edad. Fuente: Elaboración propia.

Rango de Edades	Cantidad de Trabajadores
Menos de 30 años	95
De 31 a 50	134
De 51 a 60	107
Más de 60	77
Total	413

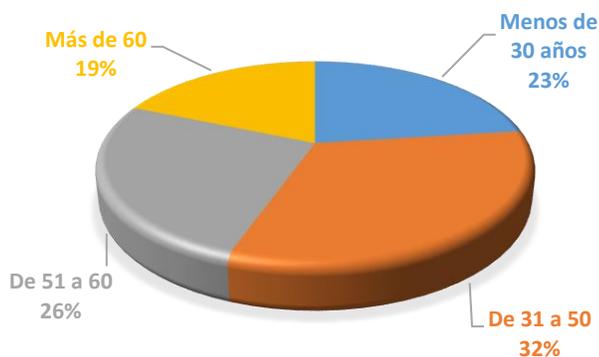


Figura 2. 2: Porcentaje de trabajadores según el rango de edad. Fuente: Elaboración propia.

Se evidencia que la mayor cantidad de personas oscilan en los rangos De 31 a 50 y De 51 a 60, por lo que la empresa tiene un nivel de envejecimiento alto, pero a su vez cuenta con una fuerza de trabajo con experiencia y alta profesionalidad.

Al cierre de septiembre del 2022 la empresa cuenta con 161 operarios, 217 técnicos, ningún administrativo, 9 cuadros y 26 vinculados al servicio (véase tabla 2.3). En la figura 2.1 se puede observar el porcentaje de trabajadores según la categoría ocupacional.

Tabla 2.3: Cantidad de trabajadores según la categoría ocupacional. Fuente: Elaboración propia.

Categoría Ocupacional	Cantidad de Trabajadores
Operarios	150
Técnicos	210
Administrativos	0
Servicios	44
Cuadros	9
Total	413

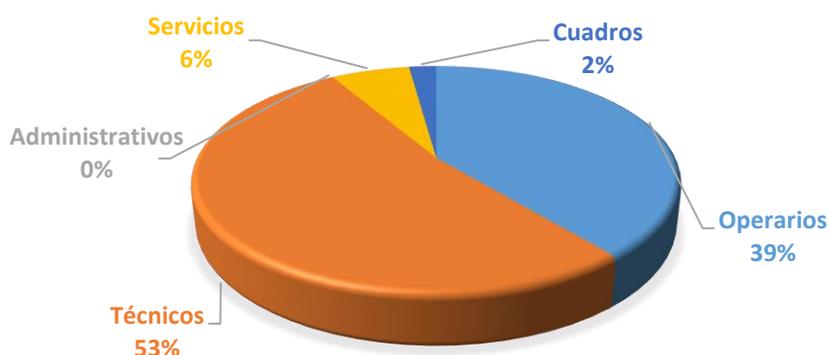


Figura 2.3: Porcentaje de trabajadores según su categoría ocupacional. Fuente: Elaboración propia.

En la tabla No.2.4 se muestra la cantidad de trabajadores por nivel de escolaridad que existe en la empresa y en la figura 2.4 su distribución en función del porcentaje.

Tabla 2.4: Cantidad de trabajadores por nivel de escolaridad. Fuente: Elaboración propia.

Nivel de Escolaridad	Cantidad de Trabajadores
Nivel Superior	116
Técnico Medio	125
Duodécimo grado	89
Noveno Grado	82
Sexto Grado	1
Menos de Sexto Grado	0
Total	413

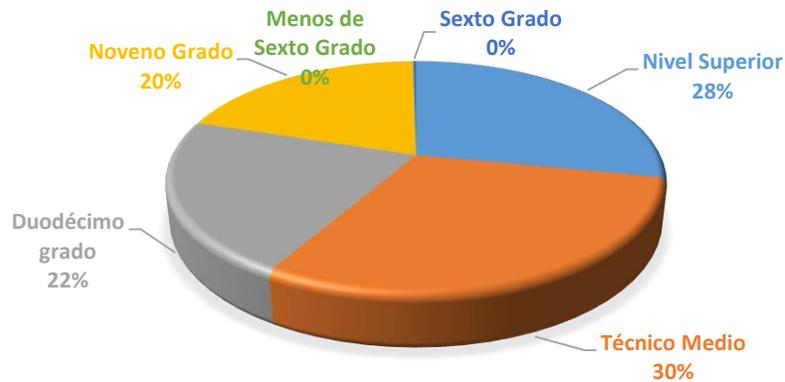


Figura No. 2.4: Porcentaje de trabajadores por nivel de escolaridad. Fuente: Elaboración propia.

La mayor cantidad de personas son Técnico Medio y de Nivel Superior, debido fundamentalmente al tipo de trabajo que se desarrolla en la misma, lo que evidencia la profesionalidad y preparación de los trabajadores.

Proveedores

- ENERGOIMPORT
- ETEP
- EMCE
- TRASVAL
- ONN
- Refinería Cienfuegos
- Acueducto
- Electroquímica de Sagua

Clientes

- UNE

Sistemas de gestión

Existe un sistema de gestión de la calidad diseñado y certificado sobre la base de la NC ISO 9001:2015, con alcance Generación de Energía Eléctrica y ampliado al proceso de Construcción Civil. En el mapa general de la organización se tienen identificados 34 procesos (ver **Anexo No.4**) donde se observa cómo se relacionan los diferentes procesos: Dirigir Organización y Gestionar

Mejoras y Cambios (Estratégicos), Generar Energía Eléctrica (Clave), y el resto son de Apoyo, siendo estos últimos vitales para el proceso productivo, debido a que son los encargados de mantener la disponibilidad de los equipos de explotación y de los recursos necesarios para garantizar la continuidad del proceso principal.

La entidad tiene implementado y certificado un Sistema de Gestión Ambiental basado en los requisitos de la NC ISO 14001: 2015. Cuenta con un Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo (SGSST) certificado por la norma cubana NC ISO 45001:2018, basado en un sistema satisfactorio de evaluación de riesgos, procedimientos de trabajos seguros, siendo la capacitación la base fundamental de los logros alcanzados.

En febrero del presente año 2022 se renuevan las certificaciones de los sistemas de gestión mencionados anteriormente. Se logra la certificación del Sistema de Gestión de la Energía, según la NC ISO 50001: 2019 “Sistemas de gestión de la energía-Requisitos con orientación para su uso”, posicionándose la Termoeléctrica como la primera empresa de la provincia y de la Unión Eléctrica (UNE) y del MINEM, así como una de las tres organizaciones a nivel nacional en obtener esta condición. Se recertifica el Sistema Integrado de Gestión (SIG) que satisface los requisitos establecidos en las normas 9001:2015, 14001:2015, 45001:2018 y 50001:2019.

En la actualidad, la empresa ostenta dos premios Nacional de Calidad otorgados en 2014 y 2019 por la ONN, por ser un referente para la industria nacional y consolidarse como empresa destacada por la calidad, a favor de un desarrollo sostenible; así como continúa trabajando en la mejora continua del sistema de gestión de calidad, haciéndose énfasis en la gestión de las mediciones, como uno de los subsistemas de mayor complejidad e importancia.

El sistema de gestión de las mediciones de la empresa tiene bajo su control todo tipo de instrumentación y equipos existente en cada proceso. Durante los últimos cinco años se han detectado irregularidades para cumplir con las calibraciones planificadas, influenciada por los desplazamientos constantes por parte de la UNE de los mantenimientos, pobre aseguramiento metrológico en el país, entre otros, lo que ha provocado medidas fuera de planes. Otro aspecto relevante a destacar es que se utilizan instrumentos que no tienen trazabilidad metrológica en el país, por lo que se corre el riesgo de obtener mediciones erradas en el proceso, incumplándose con aspectos establecidos por la NC ISO 10012:2007.

Debido a las condiciones de uso de los instrumentos, además de los aspectos planteados, así como las investigaciones precedentes, como las realizadas por Querol Ja y Gutiérrez (2018), Vega (2019) y Pérez (2020) se hace necesario continuar utilizando métodos que ayuden a re planificar los períodos de calibración a partir de la situación descrita, que permitan su conformidad con la especificación de uso, proporcionen seguridad de la validez de sus resultados y mejoren

la gestión de las mediciones en los sistemas involucrados en las diferentes aristas de la gestión empresarial, como aquellos que tratan el uso y consumo de la energía, los productos conformes, la seguridad industrial y del hombre, el impacto medio ambiental, entre otros.

Por esta razón se decide utilizar el procedimiento diseñado por Hernández (2012) y Machado (2013) con las transformaciones propuestas por Román (2016) y Vega (2019) para contribuir a la mejora de la gestión de las mediciones, siendo tratado dicho procedimiento en el siguiente apartado.

2.2. Procedimiento para la mejora de la gestión de las mediciones

Este procedimiento se encuentra fundamentado en la metodología Seis Sigma para el mejoramiento continuo de procesos. Dicho procedimiento es seleccionado por la autora de la actual investigación debido a que es una estrategia de mejora continua que permite 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 otros procesos de la organización mencionada. Los autores Hernández (2012); Machado (2013) y Román (2016) para su elaboración utilizan criterios de diferentes metodologías, dadas por disímiles autores, tales como: Gutiérrez y de la Vara (2009); Reyes, et al. (2007); Guadalupe (2008); Días et al. (2019); ISO 13053: 2011; Gibbons et al. (2012); NC ISO 10012: 2007, además se tienen en cuenta las transformaciones propuestas por Querol Ja y Gutiérrez (2018) y Vega (2019).

El procedimiento se organiza en cinco etapas básicas: Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar (ver figura 2.5), cada una de ellas con su correspondiente sistema de actividades y herramientas para su diseño y ejecución (ver **Anexo No.5**).

Antes de comenzar la investigación es necesario la creación o consolidación de un grupo de trabajo, el que debe estar formado por 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 y NC ISO/IEC 17025:2017, así como parte de los requisitos establecidos en la NC ISO 9001: 2015, NC ISO/IEC 17043:2011, NC ISO/IEC Guía 43-1:2000 e ISO 13053:2011, además de las técnicas de diagnóstico que se deben aplicar para conocer el estado del sistema de gestión de las mediciones. De ser necesario se realizará una capacitación en el tema.

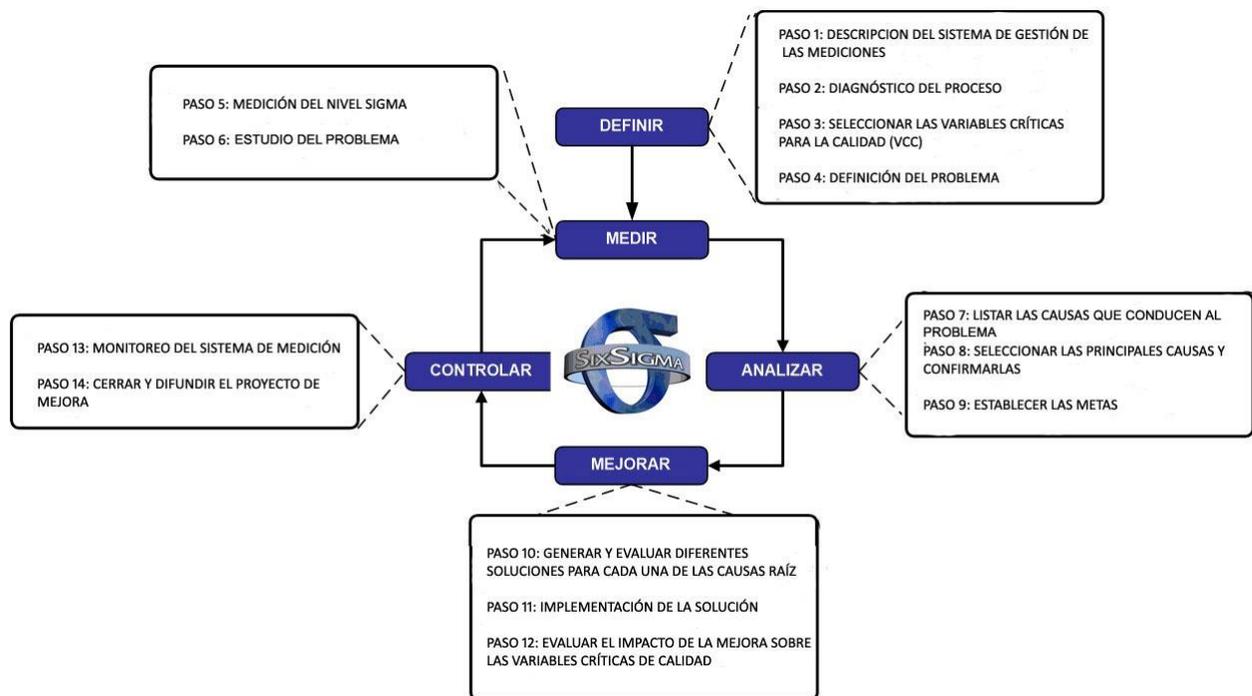


Figura 2.5. Procedimiento para la mejora de la gestión de las mediciones, a partir de la utilización de la metodología Seis Sigma. Fuente: (Hernández, 2012); (Machado, 2013), (Vega, 2019) y (Pérez, 2020).

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

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 que es esencial una presentación del proceso, detallando el mismo en términos de su contexto, alcance y requisitos.

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

Los siguientes pasos componen esta secuencia inicial:

Paso 1: Descripción del sistema de gestión de las mediciones

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

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

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

Paso 2: 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:

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

Por tanto se definen los aspectos a que irá dirigido el diagnóstico, fundamentalmente: requisitos legales aplicables, actividades de gestión, conocimiento del estado de la organización, sus procesos y actividades con respecto a la metrología, entre otras. A continuación se abordan criterios para realizar un diagnóstico en materia de gestión de las mediciones, dados por Reyes et al., (2008); Clemente et. al., (2016); Reyes (2019); López et al. (2021), así como el cumplimiento de los requisitos de la NC ISO 10012: 2007.

Requisitos legales aplicables en materia de gestión de las mediciones

Tomando como base los listados actualizados emitidos por la Oficina Nacional de Normalización (ONN), Servicio Nacional de Metrología (SENAMET), se deben identificar y ubicar los requisitos

legales aplicables. Se recomienda elaborar un listado de referencia con el número y título de las regulaciones aplicables en la empresa, además verificar la existencia o no de estas.

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

Se realiza teniendo en cuenta los elementos del Manual de Instrucción para la ejecución del diagnóstico metrológico, dado por Reyes et al., (2008), siendo utilizado en diversas organizaciones del sector empresarial del país. Este tiene como objetivo conocer el estado de la organización, sus procesos y actividades con respecto al conocimiento de la metrología y el cumplimiento de los requisitos de los documentos normativos legales, para de esta forma identificar fortalezas y debilidades.

Actividades de gestión

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

Se determina si se trabaja con enfoque a los clientes, tanto internos como externos, si cada uno de los elementos de los procesos tiene identificado a quién le entrega sus resultados y si están definidos los requisitos de dichos resultados.

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

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

- Responsabilidades de la dirección
- Gestión de los recursos
- Confirmación metrológica y realización de los procesos de medición
- Análisis y mejora del sistema de gestión de las mediciones

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.

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

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 3: Seleccionar las variables críticas para la calidad (VCC)

Para la selección de las variables críticas de calidad es fundamental preguntarse qué aspectos del producto final del proceso son importantes para los clientes y el correcto desempeño del sistema de gestión de las mediciones y por qué, además de considerar los resultados del diagnóstico realizado en el paso anterior. Se pueden utilizar otras posibles fuentes que publiquen respecto al tema, así como otras que casuísticamente puedan identificar y fundamentar los integrantes del equipo de trabajo de acuerdo con su conocimiento y su experiencia.

Una vez concluido este proceso, el grupo de expertos debe validar el listado de variables identificadas, mediante un proceso de valoración, utilizando una escala Likert, donde se determina el grado de influencia de cada variable en sobre el resultado final para los clientes y el correcto desempeño del sistema de gestión de las mediciones.

Finalmente se determinan estas variables a partir de lograr el consenso entre los expertos, el que se obtiene a partir del coeficiente W de Kendall mayor que 0,7 para que sea significativo. Para reducir ítems se verifica en la tabla de Rangos las variables que están muy por debajo de los demás, eliminando aquellas variables que tengan bajos rangos promedios.

Paso 4: Definición del problema

En esta paso se define el problema sobre el que se va a trabajar, a partir de lo detectado durante el diagnóstico. En ello es importante partir de la descripción del sistema de gestión de las mediciones y entender en qué consiste y la forma en que se desarrolla en la organización. Se debe conocer el estado del cumplimiento de los requisitos legales aplicables en la materia, así como las no conformidades en su gestión y su repercusión en las variables críticas de calidad.

Para ayudar a la formulación, se pueden tener en consideración las siguientes preguntas: ¿cuál es el problema? ¿qué tan grande es? ¿cómo se puede resolver? ¿cómo se puede mantener la resolución del problema con éxito para la mejora de la empresa?

Finalmente debe definirse de manera concreta y precisa el problema a resolver, lo que garantiza la correcta aplicación de las siguientes etapas del procedimiento.

Etapa II: Medir

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

Paso 5: Medición del nivel sigma

El propósito de las métricas en los proyectos Seis Sigma es el de permitir cuantificar el desempeño de un proceso. Esto permite comparaciones, análisis y penetrar dentro de las causas del desempeño que debe lograrse (ISO 31053:2011).

Dentro del sistema de gestión de las mediciones la mayor parte de las variables son de atributos, que en lugar de medirse en porcentajes de defectos, se miden en número de partes con defectos por cada millón de oportunidades (ppm), otra forma de medir las variables de atributo es por el número de defectos por millón de oportunidades (DPMO).

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

$$Y_{DPMO} = \frac{c}{n_{units} \times n_{CTQC}} \times 1\,000\,000 \tag{2.1}$$

donde:

c: Número de defectos (no conformidades)

n_{CTQC}: Número de características/unidad crítica para la calidad (requisitos plasmados en la NC ISO 10012:2007 u otro tipo de documento vigente de la legislación legal de la materia).

n_{units}: Número de unidades críticas examinadas (áreas que se auditan).

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

Tabla 2.5: Puntuaciones sigma. Fuente: ISO 53013-1:2011.

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

La puntuación sigma es utilizada para ordenar por rango la calidad o el desempeño de un proceso, siendo el valor sigma de 6 un nivel de desempeño de clase mundial, 3,4 DPMO, llevando la calidad hasta niveles cercanos a la perfección. La métrica 3 sigma significa que el proceso se encuentra dentro del 93,3% de las especificaciones (Gutiérrez y de la Vara, 2013), considerándose satisfactorio. Procesos que la puntuación sigma se encuentre por debajo de 3, se consideran poco adecuados o insatisfactorios.

Paso 6: Análisis del problema

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

- El aseguramiento de la veracidad de los resultados de las mediciones.
- En el establecimiento de las condiciones bases.
- En la ejecución de las mediciones tanto manualmente como de forma automatizada.

Además, en este paso es necesario definir los elementos que intervienen en la variabilidad del instrumento de medición que se utiliza en la actividad, estos componentes son:

- Calibración y verificación: Exactitud y linealidad del instrumento.
- Estabilidad: Cambio del instrumento con el transcurso del tiempo.
- Repetibilidad: Variación observada cuando un operador mide repetidamente el mismo objeto con el mismo instrumento.

Querol Ja y Gutiérrez (2018), Vega (2019) y Pérez (2020) manifiestan que una de las variables críticas para la calidad en una medición es la calibración y verificación de los instrumentos de medición, haciendo énfasis en lo relacionado a los períodos de tiempos entre una y otra calibración, los que deben estar fundamentados en procedimientos o métodos establecidos. En la NC OIML D 10:2021, se explican de forma teórica varios métodos para determinar dichos intervalos.

Para revisar los períodos de calibración se recomienda tener en cuenta los criterios expuestos por los autores referenciados en el capítulo anterior y seleccionar el método carta de control (tiempo- calendario), cuyo desarrollo se establece en la NC OIML D 10:2021 y en el procedimiento UD-IG 0014 de la UNE; debido a que este fundamenta de forma cuantitativa, a través de herramientas estadísticas matemáticas, el período de tiempo entre una y otra calibración. De manera resumida, este se basa en la selección de los mismos puntos de medición de cada certificado de calibración y el ploteo de los resultados contra el tiempo, a partir del cual se calculan

la dispersión y la deriva, siendo la segunda la deriva media en un intervalo de confirmación o, en el caso de instrumentos muy estables, en varios intervalos. A partir de estas cifras se puede calcular el intervalo óptimo. Para el desarrollo de este método es fundamental la recolección de la siguiente información:

- Seleccionar los posibles certificados de calibración que sirvan de fuente para el procesamiento. Deben ser la mayor cantidad posible, para garantizar que el resultado del estudio sea lo más acertado que se pueda.
- Es necesario contar con la historia del instrumento de medida de forma estandarizada, es decir que en los certificados (reportes, actas o documentos entregados) se tengan los resultados de las mediciones realizadas para los mismos puntos.
- Seleccionar los puntos coincidentes en todos los certificados, incluyendo siempre el final del rango, el punto donde se ha encontrado la mayor desviación entre los errores de las dos calibraciones, y el punto donde se ha encontrado el mayor error en la última calibración, o los puntos para los cuales realmente se utiliza.
- Si los resultados de las mediciones no vienen expresados en la misma forma (unidades, % o divisiones) es necesario realizar las conversiones.
- Es conveniente seleccionar certificados con las calibraciones realizadas en un mismo laboratorio y siempre que sea posible utilizar certificados emitidos por laboratorio acreditado.

Con el desarrollo de este método y el análisis de los resultados se logra alcanzar información concreta y de gran utilidad para la organización, en especial para el metrólogo.

Otras de las variables críticas para la calidad en una medición es la trazabilidad de los instrumentos a patrones nacionales, asegurando de esta manera mayor confiabilidad y validez de los resultados obtenidos. Cuando esto no es técnicamente posible, se debe demostrar mediante procedimientos de medida, métodos especificados o normas de consenso, utilizando técnicas estadísticas, comparaciones intra e interlaboratorio, repetibilidad y reproducibilidad del ensayo o calibración, entre otras.

Para el presente estudio se propone el uso de las comparaciones intra e interlaboratorio, siguiendo la secuencia de actividades que se muestra a continuación.

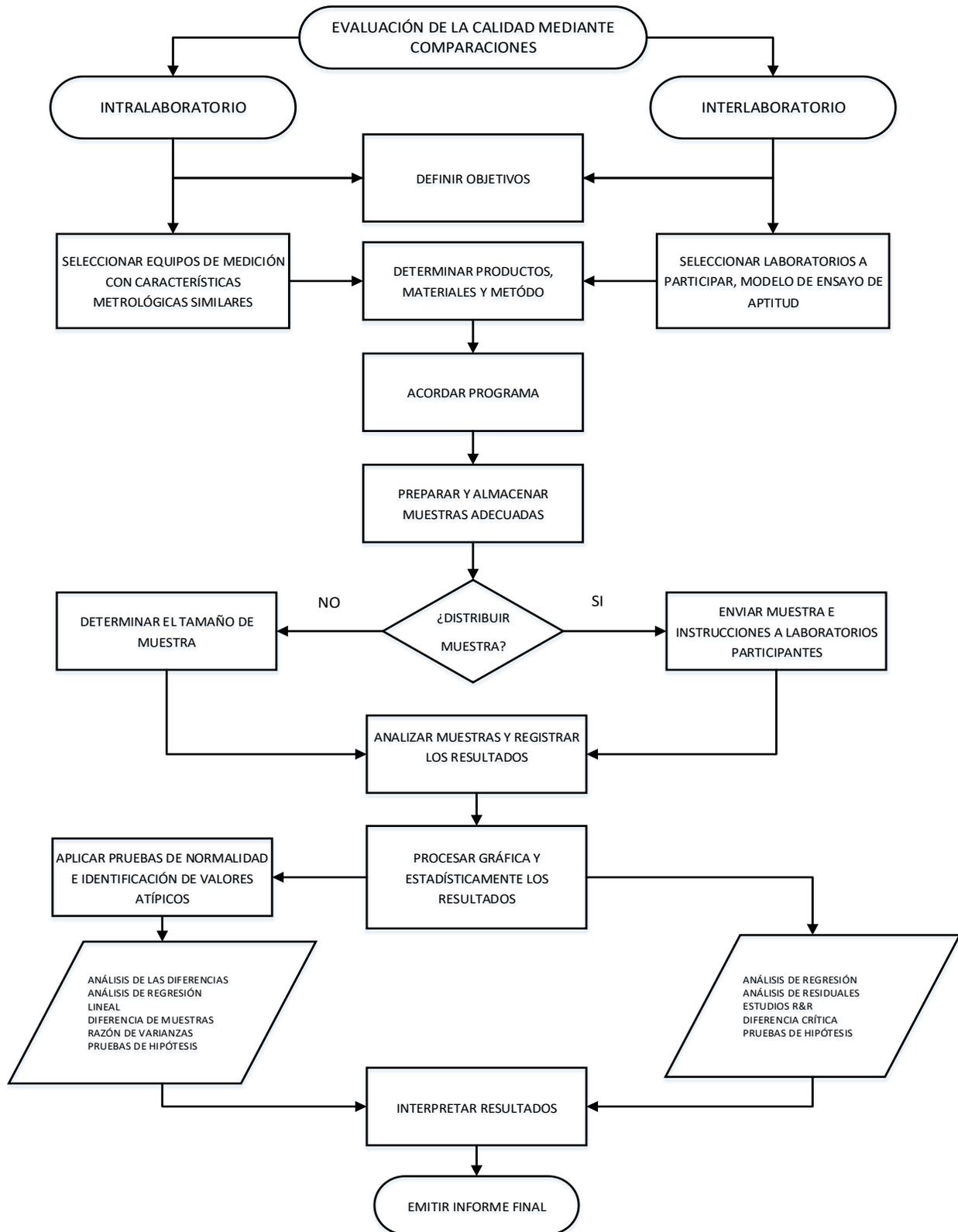


Figura 2.6 Secuencia de actividades para el desarrollo de comparaciones intra e interlaboratorio. Fuente: Elaboración propia.

Si bien existen multitud de técnicas estadísticas que pueden ser aplicadas para realizar una comparación entre los valores aportados por dos equipos o métodos diferentes, las más utilizadas y recomendadas son Pineda, Prada y Prieto (2013) y Condorí et al. (2018):

- Análisis de las diferencias
- Análisis de regresión lineal
- Diferencia de las muestras
- Razón de varianzas
- Pruebas de contraste de hipótesis

Estas técnicas permiten determinar si los resultados proporcionados por diferentes equipos de medición pueden ser considerados iguales o intercambiables desde un punto de vista estadístico, al no existir diferencias significativas entre sus mediciones.

Por otra parte, como se muestra en la figura anterior, entre los programas de intercomparación, se encuentran los ensayos de aptitud de muestra dividida (siendo este el modelo utilizado en la presente investigación), los que implican la comparación de los datos producidos por pequeños grupos de laboratorios (frecuentemente sólo dos) que están siendo evaluados como proveedores potenciales o proveedores de servicios de ensayo, donde normalmente se retiene una muestra adicional para que una tercera parte la ensaye. En caso que se requiera un arbitraje debido a una diferencia significativa entre los resultados producidos por los laboratorios involucrados (NC ISO/IEC 17043:2011).

Según NC ISO/IEC Guía 43-1:2000, los programas de ensayo de muestra dividida involucran que las muestras de un producto o de un material sean divididas en dos o más partes con cada laboratorio participante ensayando una parte de cada muestra. Bajo dichos programas, se puede considerar que uno de los laboratorios opera a un nivel metrológico más elevado (es decir, menor nivel de incertidumbre) debido al uso de métodos de referencia y equipos más avanzados, entre otros. Sus resultados son considerados como los valores de referencia en dichas intercomparaciones, puede actuar como laboratorio asesor o guía para los otros laboratorios que comparan los datos de la muestra dividida con él.

Se debe acordar y documentar un plan antes del inicio y finalización del programa de intercomparación, que incluya información como (NC ISO/IEC Guía 43-1:2000):

- Nombre y la dirección de los organismos participantes.
- Naturaleza y el propósito del programa de aptitud.
- Naturaleza del (de los) objeto(s) y el(los) ensayo(s) seleccionado(s).

- Descripción de la forma cómo se obtienen, procesan, verifican y transportan los objetos de ensayo.
- Fechas en que se espera iniciar y finalizar el programa de aptitud, incluida la (s) fecha (s) para que los participantes lleven a cabo el ensayo;
- Información sobre métodos o procedimientos que los participantes puedan necesitar para realizar los ensayos o mediciones (comúnmente sus procedimientos de rutina).
- Resumen del análisis estadístico a ser usado, incluido la determinación del valor o valores asignados y cualquier técnica de detección de valores atípicos.
- Fundamento de las técnicas de evaluación del desempeño.
- Conclusiones basadas en el resultado de los ensayos de aptitud.

Etapas III: Analizar

Esta etapa examina los datos recolectados y resultados obtenidos en la etapa de medición, con el objetivo de generar una lista de prioridades de las fuentes de variación. Su propósito es analizar e identificar las brechas existentes entre la situación actual del proceso y las metas, en aras de comprender las raíces de la variación, y priorizar las oportunidades de mejora.

Paso 7: Listar las causas del problema

En las etapas anteriores queda determinado el estado del proceso en cuanto a las variables críticas de calidad definidas, 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 8: Seleccionar las principales causas y confirmarlas

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

Paso 9: Establecer las metas

Tomando en cuenta la situación para las variables críticas de calidad, se deben establecer metas para éstas, es decir, los resultados que se desean alcanzar (ver tabla 2.6). Dichas metas deben balancear el que sean ambiciosas pero alcanzables.

Tabla 2.6: Metas del proyecto. Fuente: Elaboración propia.

Variables	Situación actual	Meta
VCC ₁		
VCC ₂		
VCC _n		

Etapa IV: Mejorar

En esta etapa se está listo para que se propongan, implementen y evalúen las soluciones que atiendan las causas raíces detectadas que permitan alcanzar las metas propuestas. 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 10: 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 11: Implementación de la solución

Para implementar la solución es importante elaborar un plan en el que se especifiquen las diferentes tareas, su descripción (en qué consiste, cómo se va a hacer, dónde se va a implementar), las fechas para cada 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 12: Evaluar el impacto de la mejora sobre las variables críticas de calidad

Para evaluar el impacto se debe comparar el estado del proceso antes y después de las acciones tomadas. Este tipo de estudio obedece a una búsqueda permanente del mejoramiento continuo de un proceso. Por tanto, deben medirse una vez más las variables críticas de calidad y verificar las metas alcanzadas con las propuestas, así como el nivel de sigmas del proceso luego de concluidas dichas mejoras, para determinar los posibles cambios. Si los resultados no son satisfactorios, entonces se debe revisar el por qué de esta consecuencia y con esa base revisar lo hecho nuevamente.

Etapa V: Controlar

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

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

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

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

Paso 13: Monitoreo del sistema de medición

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

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

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

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

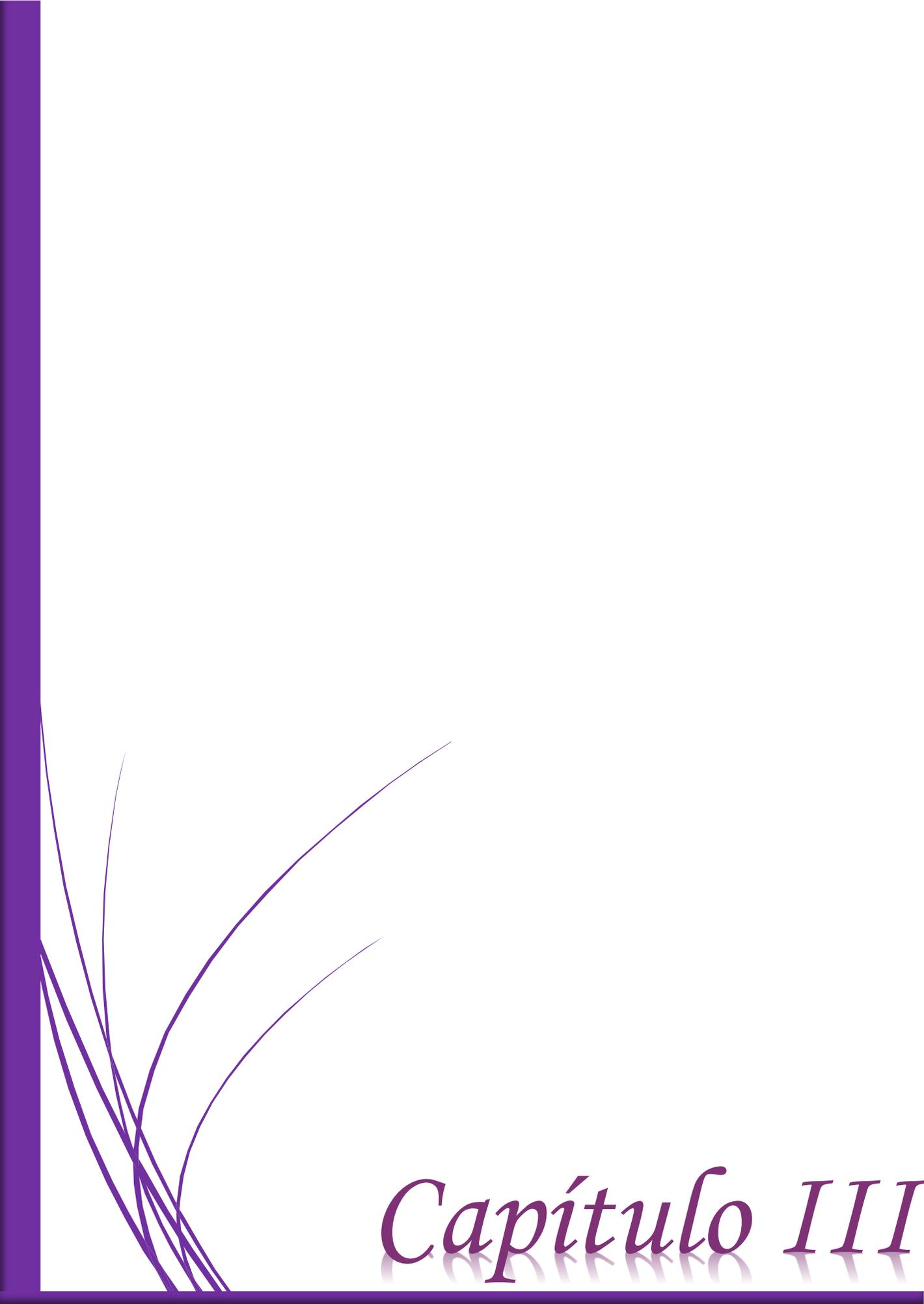
Paso 14: Cerrar y difundir el proyecto de mejora

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

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

Conclusiones parciales del capítulo

1. Para la mejora de procesos en la gestión de las mediciones es necesario considerar: gestión de los recursos, confirmación metrológica, metodologías o controles de evaluación de calidad 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 o resultado final.
2. El desarrollo de comparaciones intra e interlaboratorios confirma la obtención de resultados técnicos satisfactorios en ensayos o mediciones específicas, o alerta sobre la existencia de problemas potenciales dentro del laboratorio, permitiendo de esta forma la identificación de oportunidades de mejora y la aplicación de acciones correctivas eficaces. Convirtiéndose en una herramienta muy utilizada para el aseguramiento de la confiabilidad, calidad y validez de los resultados en las organizaciones.
3. El procedimiento general propuesto por Hernández (2012) y Machado (2013) para la mejora de la gestión de las mediciones y modificado por Marín (2015); Román (2016); Querol Ja y Gutiérrez (2018), Vega (2019) y Pérez (2020), está fundamentado en la metodología Seis Sigma, siendo flexible para toda organización durante la integración y el mejoramiento continuo de la gestión de sus procesos. El mismo facilita el proceso de ajuste de las acciones planificadas a través del análisis de los resultados del funcionamiento del sistema de medición. En este se incluye el diagnóstico inicial, así como un grupo de criterios planteados por diferentes autores, tales como: Gutiérrez y de la Vara (2009); Reyes, et al. (2007); ISO 13053: 2011; Gibbons et al. (2012); NC ISO 10012: 2007; UD IG-0014; Pineda, Prada y Prieto (2013); Condorí et al. (2018); Días et al. (2019); NC OIML D 10:2021; NC ISO/IEC 17043:2011 y NC ISO/IEC Guía 43-1:2000.



Capítulo III

CAPÍTULO III: APLICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO PARA LA MEJORA DE LA GESTIÓN DE LAS MEDICIONES EN EL PROCESO DE REALIZAR ENSAYOS QUÍMICOS.

En este capítulo se presentan los resultados de la aplicación del procedimiento para la mejora de la gestión de las mediciones en el proceso Realizar Ensayos Químicos, específicamente en el ensayo de viscosidad cinemática en el Laboratorio Químico Central de la Empresa Termoeléctrica Cienfuegos. Este estudio se fundamenta sobre la base de la determinación del intervalo óptimo de recalibración de los instrumentos que intervienen en este y la evaluación de la calidad interna y externa del laboratorio para dicho ensayo mediante ejercicios de comparación de mediciones. Se analizan un conjunto de elementos propios en la temática, trayendo como resultado el conocimiento de las principales debilidades y los aspectos a mejorar dentro del sistema.

3.1. Aplicación del procedimiento

La aplicación del procedimiento se realiza siguiendo en orden los pasos propuestos en el capítulo anterior dados por Hernández (2012) y Machado (2013) y modificado por Marín (2015); Román (2016); Querol Ja y Gutiérrez (2018), Vega (2019) y Pérez (2020). Este ha sido aplicado en la Empresa Termoeléctrica Cienfuegos por Vega (2019) y Pérez (2020), en el sistema de bombas de agua de alimentar y sistema de presión de la Planta de Tratamiento Químico del Agua (PTQA) respectivamente. La autora de la presente investigación considera el criterio de los autores antes mencionados, quienes recomiendan generalizar el estudio a otros sistemas de medición de la empresa objeto de estudio.

Para comenzar la investigación se crea el grupo de trabajo compuesto por especialistas, tecnólogos, directores, entre otros. A medida que transcurre la investigación se hace necesario la incorporación de otros miembros como, por ejemplo: especialistas y técnicos en la actividad industrial, trabajadores de experiencia, siendo en total once miembros.

Etapa I: Definir

Para tener una visión y definición clara del problema es esencial realizar un análisis del proceso en su contexto, alcance y requisitos y considerar los resultados de la evaluación de la eficacia del sistema de gestión de las mediciones que incluye las distintas actividades relacionadas con la metrología, en función de minimizar los riesgos de mediciones incorrectas, reducir las incertidumbres, garantizar la trazabilidad, patrones y materiales de referencia, tener certeza y credibilidad en los resultados de las mediciones tecnológicas y económicas.

Paso 1: Descripción del sistema de gestión de las mediciones

La Empresa Termoeléctrica Cienfuegos, cuenta con un Sistema de Gestión de la Calidad diseñado y certificado por la ONN, basado en el cumplimiento de los requisitos de la norma NC ISO 9001:2015, reforzado con la aplicación de la norma NC ISO 10012: 2007, como la base fundamental para el diseño del Sistema de Gestión de las Mediciones en la entidad objeto de estudio. Ambas normas coinciden en que se deben determinar y proporcionar los recursos necesarios para asegurarse de la validez, fiabilidad y trazabilidad de los resultados de las mediciones, así como la importancia de los aspectos relacionados con el análisis y mejora de este tipo de sistema.

El sistema de gestión de las mediciones incluye todos los procesos donde se realizan mediciones; procesos de confirmación metrológica de los instrumentos o equipos 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. En la Empresa Termoeléctrica Cienfuegos el proceso encargado de dar respuesta a los requisitos metrológicos se denomina: Controlar equipos de medición, el que se encuentra subordinado a la Dirección Técnica, mostrándose en el **Anexo No.6** el diagrama de flujo correspondiente, especificando cada una de las operaciones que ocurren y su secuencia.

Este funciona a través de los procesos internos, tanto estratégicos como de apoyo, en interrelación directa con aquellos que realizan mediciones. A continuación, se resumen los subprocesos y procesos que tienen mayor interacción con el sistema de gestión de las mediciones y resultan vitales para el logro del objeto social de la empresa:

- Realizar servicios eléctricos de mantenimiento.
- Realizar servicios automáticos de mantenimiento.
- Tratar químicamente el agua.
- Realizar Ensayos Químicos
- Operar planta.
- Medir y monitorear productos y procesos de generación.
- Gestionar Diagnóstico Integral basado en la Condición.
- Controlar portadores energéticos.

Hoy la Empresa Termoeléctrica Cienfuegos cuenta con un total de 4223 instrumentos aproximadamente, distribuidos por los diferentes procesos que existen en la organización, en las magnitudes de: Presión, Temperatura, Flujo, Volumen, Masa, Nivel, Físico-Químico, Electricidad, Radio, Tiempo, Longitud, Ángulo, Vibraciones, velocidad, entre otras. Estos se encuentran

debidamente identificados, según el número de serie único que poseen o que se les asigna y mediante un sello específico que representa el servicio realizado al Instrumento de Medición; respaldado por el Certificado al efecto. De igual forma, son controlados a través de una base de datos, donde se recogen sus principales características metrológicas, así como otras especificaciones, como son: número de serie, ubicación, fabricante, rango, unidad de medida, fechas de certificación, responsable, estado de uso y otros. Para esto también se cuenta con el software corporativo SIGMET proporcionado por la UNE, aunque este ha demostrado rigidez ante las modificaciones de los planes de calibración que caracterizan a este tipo de organizaciones, que se encuentran subordinadas a las disposiciones de la UNE con respecto al cumplimiento de los mantenimientos a las unidades generadoras.

Cada instrumento que llega a la empresa es registrado, inspeccionado, calibrado o verificado, según proceda e incluido en el plan anual de verificación/calibración, garantizándose su aseguramiento metrológico en la medida de lo posible. Existe gran cantidad de estos instrumentos que no poseen trazabilidad metrológica en el país, principalmente en mediciones físico químicas, medioambientales, de diagnóstico integral y de control del proceso, entre los que se pueden citar: detectores de gases, explosímetros, sonómetros, vibrómetros, viscosímetros, tacómetros, luxómetros, entre otros. Estos están bajo un inventario controlado por la UNE y su utilización constituye un riesgo identificado y gestionado en la empresa.

Por otra parte, los recursos financieros destinados a esta actividad se gestionan a partir de las demandas o necesidades de cada área, de los trabajos de calibración y/o verificación para el año, inversiones, adquisición de instrumentos, entre otros. Estas solicitudes de servicios, gestionadas por el especialista en metrología, deben estar amparadas en relaciones contractuales vigentes con los distintos proveedores, los que son seleccionados atendiendo a criterios como: calidad, precio, forma de pago, disponibilidad, puntualidad del servicio, ubicación, prestación in situ, accesibilidad, comunicación y capacitación de su personal. Entre los principales suministradores se encuentran:

- Unidad Territorial de Normalización Cienfuegos (UTN Cienfuegos).
- Empresa de Tecnología de la Información y la Automática, Unidad Empresarial de Base (ATI Villa Clara).
- Empresa Militar Industrial (EMI) Comandante Ernesto Che Guevara.

La instrumentación utilizada es la que por diseño se especifica en los planos de los fabricantes y dan cumplimiento a los requisitos correspondientes a su uso previsto; donde la tecnología existente en la organización es mayoritariamente japonesa, aunque se han ido acoplado a ella otras del continente europeo y asiático. En la medida en que se dan los avances tecnológicos y

se sustituye en lo posible, el SENAMET se ha ido deteriorando, lo que repercute en la confirmación metrológica, que se adapta a las circunstancias: inexistencia de laboratorios acreditados que calibren, verifiquen o reparen, falta de personal especializado, escasez u obsolescencia de patrones, reactivos y materiales de referencia certificados, entre otros. Las medidas de confirmación adoptadas por la organización, ante la difícil situación que afronta el aseguramiento metrológico en el país son:

- Ajuste de los planes, en consonancia con la disponibilidad de personal y transporte. Siempre y cuando no se afecte la credibilidad de las mediciones.
- Colaboración con terceros para la adquisición y recuperación de instrumentación.
- Realización de intracomparaciones entre equipos de medición similares.
- Uso de material de referencia cuidadosamente caracterizado.
- Implantación del uso de sellos de protección contra ajustes no autorizados, que puedan invalidar el resultado de las mediciones y otras.

Dentro el sistema de gestión de las mediciones se cuenta con un grupo de instrucciones y procedimientos que garantizan el correcto funcionamiento de la actividad, las que se muestran en la tabla 3.1.

Tabla 3.1 Documentación del sistema de gestión de las mediciones en la Empresa Termoeléctrica Cienfuegos. Fuente: Elaboración propia.

Código	Denominación
TC-MP 0004	Control metrológico a equipos de medición
MM-ETE	Manual de Metrología
UD-IG 0014	Instrucción General de Metrología (UNE)
MGE-ETE	Manual de Gestión Empresarial.
TC-GQ 0002, 0012, 0015	Procedimientos Obligatorios de Calidad.

Asimismo, la organización cuenta con personal competente y de experiencia, los que reciben capacitaciones internas y externas, participan en cursos de certificación, simposios, eventos a nivel de base, provincial, nacional e internacional. Estas se planifican en correspondencia con sus necesidades y las competencias que deben desarrollar, según el puesto de trabajo que ocupan. Entre las instituciones más mencionadas se encuentra el Centro Nacional para la Certificación Industrial (CNCI).

El seguimiento al sistema de gestión de las mediciones se realiza mediante la revisión del cumplimiento de un grupo de indicadores, con una frecuencia trimestral y la evaluación anual de los proveedores. En el **Anexo No.7** se expone la ficha correspondiente al proceso analizado.

Paso 2: 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, teniendo en cuenta los criterios dados por Reyes et al., (2008); Clemente et. al., (2016); Reyes, (2019); López et al., 2021, así como el cumplimiento de los requisitos de la NC ISO 10012: 2007, estructurados en:

- Requisitos legales aplicables en materia de gestión de las mediciones
- Conocimiento del estado de la organización, sus procesos y actividades con respecto a la metrología.
- Actividades de gestión.

De forma general el objetivo de este paso es conocer el estado de la organización, sus procesos y actividades con respecto al conocimiento de la metrología y el cumplimiento de los requisitos de los documentos normativos legales, para de esta forma identificar fortalezas y debilidades. A continuación, se muestra el resultado obtenido para cada uno de los aspectos mencionados.

Requisitos legales aplicables 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.8**.

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

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

A partir de entrevistas realizadas, se comprueba que los directivos y trabajadores involucrados en las mediciones conocen sobre la metrología, sus términos y definiciones, los instrumentos de medición y su utilización, así como las principales necesidades y obligaciones metrológicas de la organización. En todos los procesos están identificados los instrumentos de medición por un código, el que se encuentra en correspondencia con su ubicación y sus funciones. De forma general se encuentran definidos los períodos de calibración y de verificación de los instrumentos

que integran los procesos de medición, según lo establecido en el Decreto Ley No.8 de 2020 y en la Disposición General DG-01:2020 “Instrumentos de medición sujetos a Control Metrológico Legal según los campos de aplicación donde serán utilizados.” Se trabaja por un plan de calibración y verificación, cuyo cumplimiento constituye el principal indicador de eficiencia analizado en el proceso Controlar Equipos de Medición. Se realizan inspecciones en las unidades y talleres, al igual que se controlan los reportes de averías, con la utilización del software SGESTMAN, lo que permite la actualización del inventario de instrumentos y el estado real de la instrumentación en la empresa.

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.
- Revisión de cumplimiento de DG 01/2020.
- Registro de no conformidades.
- Revisiones por la dirección al proceso.

Cuestionario de cumplimiento de la NC ISO 10012: 2007

Se realiza la evaluación de la implementación de la NC ISO 10012: 2007, siendo llenada de conjunto con el especialista en metrología y el equipo de trabajo, donde evalúan el cumplimiento de cada requisito (ver **Anexo No.9**). El resultado global es de un 98% aproximadamente, por lo que se puede afirmar que el Sistema de Gestión de las Mediciones está implementado. En la figura 3.1 se representan los resultados obtenidos.

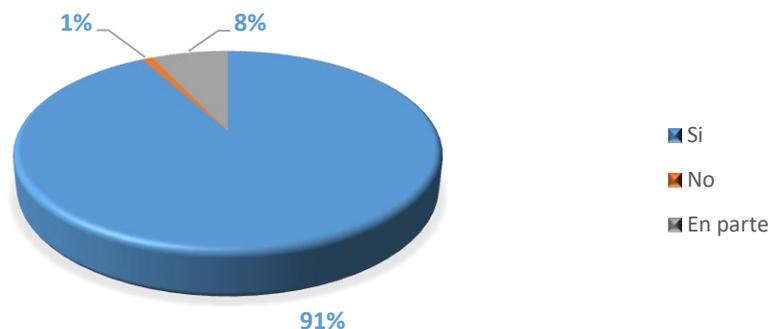


Figura 3.1. Representación del porcentaje de implementación de la NC ISO 10012: 2007.

Fuente: Elaboración propia.

Del análisis de la figura anterior se evidencia que se incumple el 1% de estos requisitos y el 8% en parte, sosteniéndose el resultado obtenido por Vega (2019) y Pérez (2020), estos se encuentran relacionados con:

- No todos los resultados de las mediciones son trazables al Sistema Internacional de Unidades.
- No están definidos y documentados los requisitos para los instrumentos de medición y servicios externos.
- No se estima la incertidumbre en procesos fundamentales de medición antes de la confirmación y de la validación del proceso.
- No están documentadas las fuentes conocidas de variabilidad de la medición para determinados procesos.
- Insuficiente planificación para la mejora continua y su seguimiento.
- No siempre se utilizan patrones de consenso.

Se realiza una revisión del registro de No Conformidades, así como informes de auditorías (internas y externas) correspondientes a los últimos cinco años. A partir de este análisis se evidencian que no existen declaradas No Conformidades. A su vez se lleva a cabo la revisión del cumplimiento de las regulaciones del DG 01/2020, donde se comprueba la aplicación del plan de verificación.

Revisión por la dirección

La revisión se realiza de forma trimestral, de acuerdo a lo establecido en el sistema de gestión empresarial. Durante el período analizado los resultados alcanzados son satisfactorios, los indicadores utilizados para medir el desempeño del proceso obtienen la máxima puntuación, aunque existen situaciones que pueden afectar el sistema de gestión de las mediciones, tanto a corto como a largo plazo, siendo estas:

- Utilización de instrumentos de medición sin trazabilidad en el país, sin Certificados de Calibración/Verificación de Laboratorios acreditados y reconocidos por la ONN y el INIMET.
- Llegada y utilización de nuevos instrumentos de medición sin aviso para gestionar su inclusión en Planes de Calibración/Verificación.
- Utilización de unidades de medida que no pertenecen al Sistema Internacional de Unidades.

- Déficit de instrumentos, cristalería, reactivos y materiales de referencia.
- Dificultades para la Calibración de Patrones Eléctricos y de Presión.
- No se encuentra fundamentado el período entre calibraciones a partir de métodos estadísticos matemáticos, para la totalidad de instrumentos.
- Reajustes de los planes de calibración por no ejecución de los mantenimientos planificados a las unidades.
- Dificultades en disponibilidad de medios de transporte para la calibración de instrumentos en laboratorios de otras provincias.

Como resultado del diagnóstico aplicado se evidencia la necesidad de realizar estudios que permitan mejorar la calidad de las mediciones, con un enfoque al tratamiento de las deficiencias detectadas.

A partir de los resultados obtenidos se procede a actualizar el listado de fortalezas y debilidades elaborado por Vega (2019) y Pérez (2020) del proceso de Controlar Equipos de Medición en la Empresa Termoeléctrica Cienfuegos. Los resultados que se obtienen se observan en el **Anexo No.10**.

Paso 3: Seleccionar las variables críticas para la calidad (VCC)

Para la identificación y selección de las variables críticas de calidad que tienen mayor influencia en el sistema de gestión de las mediciones en la empresa objeto de análisis, se toma como referencia el análisis bibliográfico; los resultados del diagnóstico antes realizado considerando las debilidades identificadas, además se realiza una tormenta de ideas con el equipo de expertos conformado para la investigación.

El listado de las cinco (5) variables se muestra en el **Anexo No.11** y el equipo de trabajo emite sus valoraciones. Estas valoraciones se someten a la prueba de concordancia W de Kendall procesado en el programa estadístico SPSS versión 22.0 con el objetivo de buscar un consenso. También se analiza la tabla de rangos promedios y de frecuencias para reducir factores. Con un valor de W de Kendall igual a 0.776 como se muestra en el **Anexo No.12**, quedan definidas las dos (2) variables, las que se muestran a continuación:

- Verificación y Calibración
- Trazabilidad de las mediciones

Estas variables formarán parte del proyecto de mejora a implementar en la organización.

Paso 4: Definición del problema

Para generar la energía eléctrica y mantener indicadores de eficiencia en la organización, es necesario realizar mediciones confiables. Desde el punto de vista metrológico se debe controlar las variables que puedan incidir en la calidad de las mediciones. Todos los instrumentos y sistemas involucrados son de vital importancia, aunque se hace énfasis y se le presta especial atención a aquellos que influyen directamente en la operación y control de procesos críticos para el funcionamiento de las unidades de generación, el control energético y medioambiental, la mayoría relacionados con mediciones físico químicas.

A continuación, se mencionan los principales procesos en los que se encuentran estos equipos y sistemas de medición:

- Tratar Químicamente el Agua.
- Operar Planta.
- Realizar Ensayos Químicos.
- Gestionar Sistema Medioambiental.
- Controlar Portadores Energéticos

Para la selección del sistema a mejorar se tienen en cuenta los criterios dados por (Vega, 2019) y Pérez (2020), además de otros propuestos por la autora de la presente investigación:

- Estado de la confirmación metrológica
- Impacto de las mediciones en la toma de decisiones
- Impacto en el proceso tecnológico
- Impacto en el medio ambiente y la eficiencia energética

A partir de los criterios anteriores, se realiza una tormenta de ideas y se aplican técnicas de reducción de listado, decidiéndose por consenso seleccionar el proceso Realizar Ensayos Químicos, y dentro de este, el ensayo de Determinación de viscosidad cinemática en productos del petróleo, debido a que el mismo es de vital importancia en la caracterización de los combustibles y aceites lubricantes para la operación de las unidades y equipos, así como la repercusión de los resultados de la medición de esta magnitud en la toma de decisiones.

Análisis del sistema de medición en el proceso Realizar Ensayos Químicos.

El proceso Realizar Ensayos Químicos (Ver **Anexo No.13**) perteneciente a la UEB Producción, se desarrolla en el Laboratorio Central fundamentalmente y tiene como objetivo evaluar la calidad

del combustible, aceite y agua; además de realizar ensayos para el control del régimen químico del proceso tecnológico y el medio ambiente. Sus principales actividades incluyen la solicitud y compra de bienes y servicios; la planificación de los ensayos; su ejecución y el control del cumplimiento de la frecuencia de análisis, la que puede ser diaria, semanal, decenal, mensual y cuatrimestral, en dependencia del tipo de muestra. Además del procesamiento de las mediciones e informe de los resultados a la UEB Producción y a las Unidades. El personal encargado de ejecutar los ensayos asciende a 6 personas, capacitadas y entrenadas sobre la base histórica de un proceder de trabajo eficiente y bien estructurado, mostrándose el organigrama correspondiente en el Anexo No.14.

Este proceso presenta clientes internos que se retroalimentan de los resultados de los ensayos del laboratorio para tomar decisiones, como son:

- Planta de Tratamiento Químico de Agua.
- Régimen Químico de Calderas.
- Lubricación.
- Grupo de Régimen de las Unidades Generadoras.
- Grupo de Seguridad y Salud del trabajo (Medio ambiente).

El Laboratorio desarrolla sus actividades en las esferas técnico y administrativas, siguiendo las instrucciones y procedimientos de control de calidad internos que posee y tomando como guía las directrices establecidas en la norma NC ISO/IEC 17025:2017. Su implementación y acreditación por la Oficina Nacional de Acreditación de la República de Cuba (ONARC) no ha sido posible debido a la existencia de requisitos que se incumplen; específicamente los relativos a los recursos, como son las instalaciones y el equipamiento (instrumentos de medición modernos, patrones de medición, materiales de referencia, reactivos) y que se requieren para el correcto desempeño del laboratorio. En el **Anexo No.15** se observa la ficha del proceso de gestión de la calidad del mismo.

Posee equipos e instrumentos requeridos para la prestación de sus servicios, entre los que se encuentran termómetros, densímetros, conductímetros, pH metros, viscosímetros, espectrofotómetros, entre otros; utilizados para la realización de 37 ensayos sobre el petróleo y sus derivados, aguas de la planta de tratamiento, aguas y vapores del régimen químico de calderas y líquidos residuales para el control del vertimiento a la bahía. En el **Anexo No.16** se aprecia un resumen de los análisis que se realizan según el tipo de muestra.

Ensayo de determinación de viscosidad cinemática

El ensayo de determinación de viscosidad cinemática en productos del petróleo y aceites lubricantes, sobresale por su importancia a la hora de identificar y fijar indicadores fundamentales que influyen en la razón de ser de la empresa, la generación de electricidad. Este determina el régimen de operación de las unidades de generación y sus equipos auxiliares, así como permiten la caracterización del combustible y lubricantes, las condiciones de almacenamiento y trasiego adecuadas para los mismos.

La viscosidad del aceite de lubricación en equipos varía ante la dilución del combustible, la degradación térmica, la oxidación de aditivos, el hollín, el agua y otros contaminantes. Por lo tanto, su monitoreo proporciona la oportunidad de ser proactivos con su mantenimiento, previendo averías, reduciendo los costos de piezas nuevas y las horas de trabajo dedicadas a las reparaciones.

El Laboratorio Central, cuenta con dos viscosímetros de tipo capilar marca Setavis Kinematic (Ver **Anexo No.17**), para realizar las mediciones de viscosidad expresadas en mm^2/s (cSt). El ensayo se ejecuta según lo establecido en procedimientos propios, así como en la norma NC ASTM D 445:2021 "Industria del petróleo-método de ensayo estándar para viscosidad cinemática de líquidos transparentes y opacos (y cálculo de la viscosidad dinámica)"; con una frecuencia diaria (a 50 °C) y decenal (50°C y 80°C), midiendo el tiempo que demora en fluir un volumen de líquido, por gravedad, a través de un capilar de vidrio insertado en un baño de aceite, cuya temperatura es controlada por un indicador digital y una termo resistencia de tipo Pt 100. Estos instrumentos: los cronómetros y termómetros digitales asociados a cada equipo de medición, son calibrados periódicamente; mientras que los viscosímetros no poseen trazabilidad en el país, la empresa no cuenta con material de referencia y los certificados de calibración dados por el fabricante perdieron su vigencia en 2014. En el año 2017 se logra la validación de las mediciones de viscosidad mediante el uso de material de referencia certificado proporcionado por la UNE.

Esta situación está identificada como uno de los riesgos a gestionar dentro de la organización y constituye un señalamiento realizado a nivel de UNE y en auditorías externas, por lo que se necesitan otras acciones y controles para garantizar la confiabilidad de los resultados obtenidos.

Como control interno de la calidad de los ensayos que realiza el laboratorio se aplican criterios de repetibilidad y reproducibilidad en las mediciones de viscosidad que se efectúan, al igual que se participa anualmente en ensayos de aptitud o ensayos de intercomparación en esta magnitud para productos oscuros del petróleo, convocados por el Centro de Investigaciones del Petróleo (CEINPET), donde se han obtenido resultados satisfactorios. Sin embargo, la frecuencia de estos

ensayos de aptitud y la demora en la entrega del informe final, hace que sea necesario un control de calidad más riguroso.

Por tanto, el problema se define como:

Los viscosímetros del proceso Realizar Ensayos Químicos no poseen trazabilidad demostrada a patrones nacionales, a su vez la periodicidad de la calibración de los instrumentos que se utilizan para las mediciones indirectas de temperatura y tiempo, no está fundamentada mediante métodos estadísticos-matemáticos, sino que se basan solamente en el criterio de especialistas. Lo antes expuesto representa deficiencias en la calidad de las mediciones del ensayo de determinación de viscosidad cinemática, las que pueden influir negativamente en los resultados que reporta el Laboratorio Central, ocasionar errores en la definición de parámetros operacionales con las consiguientes afectaciones al desempeño energético y pérdidas económicas por daño a equipos.

Etapa II: Medir

En esta etapa se realiza la medición de las variables críticas de calidad definidas, con el objetivo de evaluar la calidad de las mediciones, específicamente lo relacionado con la fundamentación de los períodos de tiempo entre calibraciones y las comparaciones de mediciones, en el ensayo de Determinación de viscosidad cinemática en productos del petróleo y aceites lubricantes.

Paso 5: Medición del nivel sigma

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

- Verificación y/o calibración de instrumentos: Cantidad de instrumentos que se encuentran verificados y/o calibrados en la organización.
- Trazabilidad de las mediciones: Cantidad de equipos de medición en uso que sean trazables a patrones nacionales o internacionales.
- Calidad de las mediciones: Porcentaje de variación debido a reproducibilidad (variabilidad o error de las mediciones sobre el mismo objeto con un instrumento bajo condiciones cambiantes (diferentes operadores)) y repetibilidad (variación o error de las mediciones sucesivas sobre el mismo objeto con un instrumento bajo las mismas condiciones (un operador)) (R&R) en los ensayos de laboratorio químico por encima del 30%.

Luego se hace necesario elaborar un plan para determinar el nivel sigma del sistema de gestión de las mediciones (ver **Anexo No. 18**).

A partir de las variables descritas se puede estimar el nivel sigma del sistema, se parte de las no conformidades, señalamientos, debilidades y deficiencias detectadas en auditorías internas y

externas, asociadas a las variables críticas de calidad en los 17 procesos relacionados con la actividad metrológica (ver **Anexo No.19**). Para medir el nivel de sigmas, se determina el Defecto por Millón de Oportunidades (DPMO), para ello se realiza el siguiente análisis.

Tabla 3.3: Información primaria para el cálculo del nivel sigma del proceso durante el año 2022. Fuente: Elaboración propia.

Variables	Cantidad de no conformidades, deficiencias, debilidades asociadas (c)	Requisitos asociados en la legislación (n _{CTQC})	Procesos examinados (n _{units})
Calibración	5	24	17
Verificación	1	12	7
Trazabilidad de las mediciones	4	10	11
Calidad de las mediciones	4	20	1
Total	14	66	17

Las no conformidades, deficiencias y debilidades externas e internas, cantidad de instrumentos verificados y/o calibrados, así como su trazabilidad son tomados por miembros asignados del equipo directamente de:

- Informes de auditorías internas y externas
- Certificados de calibración y/o verificación
- Revisiones por la dirección
- Informes técnicos mensuales y trimestrales
- Informes de otras acciones de control

La determinación del Defecto por Millón de Oportunidades (DPMO) se realiza según la fórmula 2.1 del capítulo II de la presente investigación, obteniendo el siguiente resultado:

$$Y_{DPMO} = \frac{c}{n_{units} \times n_{CTQC}} \times 1000000 = 12477.71$$

Con este valor se busca su puntuación sigma en la tabla 2.5 del capítulo anterior, siendo de 3,4354, lo que significa que la calidad es poco satisfactoria.

Paso 6: Estudio del problema

Determinación del intervalo óptimo de calibración:

Para determinar el intervalo de calibración de los instrumentos instalados en los viscosímetros del Laboratorio Central, se utiliza el Método Carta de Control (Tiempo Calendario), que se establece en la NC OIML D 10:2021 y en el procedimiento UD-IG 0014 de la UNE. A continuación, se muestra la secuencia de pasos a desarrollar:

- Seleccionar el error de indicación (Ei) y los puntos coincidentes en todos los certificados. Se considera el punto donde se ha encontrado la mayor desviación, el mayor error en la última calibración, y los puntos para los que realmente se utiliza.

- Determinar el error máximo permisible (EMP) según la expresión para los instrumentos de medida de indicación digital, teniendo en cuenta las especificaciones del fabricante:

$$EMP = \pm(\% \text{ Lectura} + n \text{ dígitos} \times \text{Resolución}) \quad (3.1)$$

- Expandir el error encontrado en cada punto, sumándole el valor de incertidumbre asociada a la calibración.

$$Ec = \pm E \pm U \quad (3.2)$$

Donde:

Ec: Error expandido

E: Error en cada punto

U: Incertidumbre

- Determinar la Tolerancia para cada punto como:

$$T = EMP - Ec_2 \quad (3.3)$$

Donde:

T: Tolerancia

EMP: Error máximo permisible

Ec₂: Error encontrado en la última calibración

- Calcular la desviación existente en cada punto, que se analiza como:

$$Ds = Ec_1 - Ec_2 \quad (3.4)$$

Donde:

Ds: Desviación

Ec₁: Error encontrado en la calibración anterior

Ec₂: Error encontrado en la última calibración

- Determinar la deriva por meses, mediante la siguiente expresión:

$$D = \frac{Ds}{t_2 - t_1} \quad (3.5)$$

Donde:

D: Deriva

Ds: Desviación

t₂: Año en que se realiza la primera calibración.

t₁: Año en que se realiza la última calibración.

- Determinar el intervalo de calibración (Tc) en meses para cada punto como:

$$Tc = \frac{T}{D} \quad (3.6)$$

- Seleccionar el menor Tc como intervalo de calibración óptimo para dicho instrumento.

A continuación, se muestra el resultado de la aplicación de este método a los instrumentos de medición instalados en los viscosímetros, cuyas principales características se relacionan en la tabla 3.4.

Tabla 3.4 Características de los instrumentos instalados en los viscosímetros. Fuente: Elaboración propia.

Instrumento	Tipo	Modelo	No. de Serie	Rango	Resolución
Termómetro	Indicador digital	STANHOPE SETA	41430	0°C a 100 °C	0.01
Termómetro	Indicador digital	STANHOPE SETA	7673	0°C a 150 °C	0.01
Cronómetro	Indicador digital	SETA TIME	MB411430	0s a 0.999s	0.01
Cronómetro	Indicador digital	SETA TIME	MB7673	0s a 0.999s	0.01

La selección de la mayor cantidad de certificados que sirven de fuente para el procesamiento, garantiza que el resultado del estudio sea lo más acertado posible. En el caso de los indicadores digitales de temperatura, se cuenta con los certificados emitidos desde 2018 hasta el presente año, lo que permite un análisis profundo de su comportamiento y estabilidad en el tiempo. Mientras que los cronómetros digitales son calibrados en el año 2020 y 2021.

En el **Anexo No. 20** se muestran los gráficos de dispersión trazados a partir de la información recopilada sobre los indicadores de temperatura. En estos se observa la relación de los errores de indicación en los puntos de medición de 50°C y 80°C con respecto al transcurso del tiempo, mediante una línea de tendencia polinómica de orden 2. El coeficiente de determinación es mayor que 0.8, lo que indica un ajuste adecuado de los datos y una mayor fiabilidad del estudio. De igual forma se aprecia que el error va aumentando con el paso del tiempo, lo que es muy común en este tipo de instrumentos; así como se identifica un patrón de comportamiento atípico en las mediciones realizadas en el año 2021 para ambos instrumentos. Esto puede estar dado por la incidencia del factor humano, el equipo patrón utilizado u otras fuentes de variabilidad.

Basado en el análisis anterior, la autora de la presente investigación decide no utilizar los resultados obtenidos en el año 2021 y seleccionar los certificados de los años 2020 y 2022 para el desarrollo del método Tiempo Calendario, ya que estos representan el estado real de los instrumentos en uso. En la tabla 3.5 se muestra un ejemplo de la aplicación del método.

Tabla 3.5 Determinación del período de calibración para el indicador de Temperatura modelo APEM-3011, con número de serie 7673. Fuente: Elaboración propia.

Instrumento	Magnitud	No.de serie	Marca/Modelo	Intervalo de Medida	Viscosímetro No. de Serie	EMP
Indicador digital	Temperatura	7673	STANHOPE SETA APEM-3011	0°C a 150°C	1023877	1.80
Resultados de las dos últimas calibraciones						
Punto de medición	Fecha penúltima		2020	Fecha última		2022
	Error de indicación	U(X) con K=2	Ec1=±Error ±U conK=2	Error de indicación	U(X) con K=2	Ec2=±Error±U conK=2
0.00	0.00	0.18	0.18	0.00	0.10	0.10
40.00	0.10	0.18	0.28	-0.30	0.10	-0.20
50.00	0.09	0.18	0.27	-0.05	0.10	0.05
80.00	-0.04	0.18	0.14	-0.09	0.10	0.01
100.00	-0.09	0.18	0.09	-0.20	0.10	-0.10
150.00	0.10	0.18	0.28	-0.10	0.10	0.00
	Tolerancia T=EMP-Ec2	Desviación Ds=Ec1-Ec2	Deriva D=Ds/(t2-t1)*12	Intervalo de calibración (meses) Tc=T/D		
	1.70	0.08	0.01	255.00		

2.00	0.48	0.04	50.00	50
1.75	0.22	0.02	95.45	
1.79	0.13	0.01	165.23	
1.90	0.19	0.02	0.00	
1.80	0.28	0.02	77.14	

El resultado de la aplicación del método antes descrito para el resto de los instrumentos se muestra en el **Anexo No.21**. En la tabla 3.6 se observa un resumen de los intervalos de recalibración óptimos obtenidos.

Tabla 3.6 Intervalos de recalibración obtenidos para los instrumentos seleccionados.

Fuente: Elaboración propia.

Instrumentos	No. Serie	Tiempo obtenido (meses)
Termómetro digital	7673	50
Termómetro digital	41430	55
Cronómetro digital	MB7673	44
Cronómetro digital	MB411430	30

De la tabla anterior se demuestra matemáticamente el intervalo de tiempo entre calibraciones para los diferentes instrumentos asociados a los viscosímetros, lo que debe ser tenido en cuenta en la organización para la elaboración de los planes de calibración.

Evaluación de la calidad en el laboratorio.

Para el llevar a cabo la evaluación del desempeño y la calidad del Laboratorio Central de la Empresa Termoeléctrica Cienfuegos, se recomienda desarrollar la secuencia de actividades representada en la Figura 2.6 del capítulo anterior para la comparación de mediciones inter e intralaboratorio respectivamente.

Comparación de mediciones intralaboratorio.

Para la realización del estudio se cumple con el Programa de Comparación de Mediciones Intralaboratorios de Ensayos de Viscosidad del Laboratorio Central (ver **Anexo No.22**). A continuación, se describe el contenido del mismo.

El objetivo del presente estudio es proporcionar una herramienta de consulta práctica y de fácil comprensión para determinar si los resultados reportados por los diferentes equipos de medida pueden ser considerados iguales o intercambiables desde un punto de vista estadístico. De igual forma el análisis de los mismos posibilita la selección de un equipo “patrón”, a tomar como referencia en otros estudios. Para aquellos instrumentos que no poseen trazabilidad metrológica,

esta alternativa constituye una forma de validar la confiabilidad de los resultados que se obtienen, si se demuestran que no existen diferencias estadísticamente significativas entre sus mediciones.

Luego de definir el objetivo del estudio, se procede a seleccionar los equipos de medición con características metrológicas similares como son los viscosímetros de capilar de vidrio Setavis Kinematic Viscosimeter, que se utilizan en el Laboratorio Central de la Empresa Termoeléctrica Cienfuegos. También se elige el producto a ensayar (aceite lubricante Reductor 680) y los materiales requeridos (envases adecuados y solvente tolueno al 99% para limpieza del viscosímetro). Con respecto a los métodos a emplear se mantienen los de uso rutinario (NC ASTM D 445:2021 y TC-OQ 0103).

El programa de intracomparación se acuerda con el Director de la UEB Producción y el Jefe de Laboratorio, quienes autorizan los recursos y coordinan las acciones necesarias para el desarrollo satisfactorio del estudio. Entre las principales actividades a realizar se encuentran la homogenización de la muestra antes de ser dividida en dos partes idénticas, el control de las condiciones medioambientales del laboratorio y el almacenaje adecuado del ítem.

La autora de la presente investigación emplea el software Statgraphics Centurion XV para la determinación del número de réplicas (tamaño de la muestra), la que se basa en el establecimiento de los parámetros de estudio a partir de datos históricos y en los criterios planteados por Fuentelsaz (2004) y Quevedo (2011) para la comparación de medias (ver **Anexo No.23**). Este permite comprobar si los datos siguen una distribución normal o no (Estadístico W de Shapiro-Wilk), así como identificar los valores aberrantes (*outliers*) que puedan estar presentes y excedan los límites de aceptación (Prueba de Grubbs y Prueba de Dixon). Dichas pruebas se observan en los **Anexos No.24 y No.25**.

En la tabla 3.7 se muestran los resultados de las mediciones de viscosidad a 40°C obtenidas por el analista en condiciones de repetibilidad.

Tabla 3.7 Resultados de las mediciones de viscosidad cinemática de aceite lubricante Reductor 680 a 40°C. Fuente: Elaboración propia.

Temperatura	25 °C	Método	NC ASTM D 445:2021 TC-OQ 0103	
Humedad relativa	75%			
Instrumentos de Medición	Viscosímetro 1 No. de serie 1023877 Capilar No. 1959 Constante 2.601		Viscosímetro 2 No. de serie R650 Capilar No. 1956 Constante 2.682	
Mediciones	Tiempo de flujo (s)	Viscosidad cinemática (mm²/s)	Tiempo de flujo (s)	Viscosidad cinemática (mm²/s)

1	250.75	652.201	241.89	648.749
2	251.38	653.839	241.96	648.937
3	246.99	642.421	242.11	649.339
4	250.46	651.446	242.43	650.197
5	249.47	648.871	242.27	649.768
6	246.38	640.834	242.30	649.849
7	250.10	650.510	242.45	650.251
8	249.75	649.6	242.66	650.814
9	250.18	650.718	242.32	649.902
10	249.79	649.704	242.70	650.921
11	251.03	652.952	241.47	647.623
12	248.02	645.1	242.22	649.634

Para el análisis estadístico de los resultados de las mediciones de viscosidad a 40°C se aplican contrastes de hipótesis que permiten conocer si existen diferencias significativas entre los dos grupos analizados, mediante la comparación de medias (Prueba t Student) y de desviaciones estándar (F de Snedecor). En el **Anexo No.26** se presenta el desarrollo de dichas pruebas estadísticas.

En el informe final del Programa de Comparación de Mediciones Intralaboratorios de Ensayos de Viscosidad en el Laboratorio Central de la Empresa Termoeléctrica (ver **Anexo No.27**), se concluye que no existen diferencias estadísticamente significativas entre las medias de las mediciones de los viscosímetros seleccionados, con un 95% de confianza, lo que permite validar los resultados obtenidos y su confiabilidad. Mientras que la comparación de las desviaciones estándar evidencia que existe mayor variabilidad entre las mediciones del Viscosímetro 1, por lo que es recomendable seleccionar el Viscosímetro 2 como “patrón” o instrumento de referencia en otros estudios. Por tanto, la calidad interna del Laboratorio Central para las mediciones de viscosidad en los ensayos ejecutados, puede evaluarse de satisfactoria, en cuanto a la validez de los resultados obtenidos.

Comparación de mediciones interlaboratorios.

Para la realización del estudio se cumple con el Programa de Comparación de Mediciones Interlaboratorios de Ensayos de Viscosidad del Laboratorio Central (ver **Anexo No.28**).

El objetivo del estudio es identificar la existencia o no de diferencias significativas entre las medias generales reportadas por los laboratorios, a partir de la evaluación de la aceptabilidad de los resultados, tomando como criterio la precisión del método de ensayo especificado, a partir de la comparación y verificación del acuerdo de dos grupos de mediciones obtenidas en condiciones de reproducibilidad y repetibilidad. Permitiendo la validación de la confiabilidad y el aseguramiento de la calidad de las mediciones.

El programa de comparación interlaboratorios se acuerda entre el Laboratorio Central de la Empresa Termoeléctrica Cienfuegos y el Laboratorio Central de Ensayos Físico Químicos de la Refinería Cienfuegos S.A para el ensayo determinación de viscosidad cinemática y bajo las premisas siguientes:

- Realizar un programa experimental de intercomparación empleando el modelo de ensayo de muestra dividida.
- Definir ensayos a realizar (Determinación de viscosidad cinemática en productos del petróleo a 50 °C y aceites lubricantes a 40 °C).
- Determinar productos a ensayar (combustible crudo Merey y aceite lubricante Reductor 460).
- Definir materiales necesarios (solvente tolueno al 99%, nafta pesada y alcohol isopropílico para la limpieza de los capilares, envases adecuados para muestras, entre otros).
- Definir métodos de ensayo (NC ASTM D 445:2021 y NC ASTM D 88:2021).
- Especificar requisitos para la realización del ensayo (condiciones medioambientales, equipos de medición, analistas, homogeneidad y estabilidad de las muestras, rango de medida, acondicionamiento, entre otros).
- Suministrar instrucciones precisas y adecuadas para la correcta realización del programa. (ver **Anexo No. 29**).
- Planificar las actividades y fechas de entrega.

Luego de acordar los principales aspectos del programa, se toman las diferentes muestras, se homogenizan y se separan en porciones iguales para su distribución a los laboratorios participantes. Debe asegurarse que la transportación se realice en las mejores condiciones, para de esta forma evitar la degradación o cambio que puedan afectar a las características del ítem a ensayar. Los resultados de las mediciones se reflejan en el modelo de reporte (ver **Anexo No. 30**), el que debe ser debidamente rellenado y enviado a la empresa solicitante para su procesamiento.

Para este programa se considera que el laboratorio de la refinería opera a un nivel metrológico más elevado (es decir, menor nivel de incertidumbre y error) debido al uso de métodos de referencia, equipos más avanzados y calibración periódica de sus viscosímetros con material de referencia certificado. Sus resultados son utilizados como los valores de referencia en caso de ser necesario.

En el **Anexo No. 31** se muestran los informes de ensayo proporcionados por el Laboratorio Central de la Refinería Cienfuegos S.A para cada réplica del ensayo ejecutado.

En la tabla 3.8 se aprecian los resultados obtenidos por los laboratorios participantes.

Tabla 3.8 Resultados obtenidos por los laboratorios de la Empresa Termoeléctrica Cienfuegos (No. 1) y Refinería Cienfuegos S.A (No.2). Fuente: Elaboración propia.

Determinación	Resultados (mm ² /s)	
	Laboratorio No.1	Laboratorio No.2
Viscosidad de petróleo a 50 °C	193.6	195
	195.6	193
	198.5	194
Viscosidad de aceite lubricante a 40 °C	427.173	429.394
	427.77	429.399
	427.844	429.394

Para el procesamiento estadístico y debido a que participan solo dos laboratorios en el estudio de intercomparación, se decide aplicar el estadígrafo para la evaluación de la aceptabilidad de los resultados (diferencias críticas), con el objetivo de comparar y verificar el acuerdo de dos grupos de mediciones obtenidas en condiciones de reproducibilidad y repetibilidad.

Tomando como criterio la precisión del método de ensayo para viscosímetros del tipo capilar de vidrio, se aplica la fórmula de las Diferencias Críticas (ISO 5725-6:94, Apartado 5.3.2.2) y (Valdés y Alfonso, 2020):

$$CD_{0.95} = \sqrt{R^2 - r^2(1 - 1/2n_1 - 1/2n_2)} \tag{3.7}$$

Donde:

CD_{0.95}: Diferencia crítica para el 95% de confianza

R: Reproducibilidad

r: Repetibilidad

n₁: Número de réplicas del ensayo efectuadas por el Laboratorio No.1.

n_2 : Número de réplicas del ensayo efectuadas por el Laboratorio No.2.

Si la diferencia entre las medias de los resultados es menor que la denominada “diferencia crítica”, se puede afirmar que los resultados finales reportados por ambos laboratorios concuerdan y están trabajando en condiciones de reproducibilidad del método de ensayo para este tipo de instrumentos.

En el **Anexo No. 32** se determinan las diferencias críticas para la verificación del acuerdo de dos grupos de mediciones, basadas en la aceptabilidad de resultados y tomando como criterio la precisión del método empleado. En la tabla 3.9 se exponen los resultados y la comparación estadística entre los laboratorios.

Tabla 3.9 Resultados de la comparación estadística de la aceptabilidad de los resultados en la determinación de viscosidad cinemática. Fuente: Elaboración propia.

Ensayos	\bar{X}_1	\bar{X}_2	$\bar{X}_1 - \bar{X}_2$	$CD_{0.95}$
Viscosidad de petróleo a 50 °C	195.9	194	1.9	5.97
Viscosidad de aceite lubricante a 40 °C	427.596	429.396	-1.8	4.20

Los laboratorios laboran acorde a las condiciones de reproducibilidad del método, ya que la diferencia de los pares de resultados para cada ensayo es inferior a la diferencia crítica establecida, por tanto, existe acuerdo entre los resultados reportados con un 95% de confianza.

De igual forma, para la comparación de dos grupos de mediciones en dos laboratorios bajo condiciones de repetibilidad, donde se obtenga una media aritmética de \bar{Y}_1 para un grupo de n_1 resultados de ensayos y de \bar{Y}_2 para un segundo grupo de n_2 resultados, se aplica la fórmula de las Diferencias Críticas (ISO 5725-6:94, Apartado 4.2.2):

$$CD_{0.95} = \sqrt{(2.8S_R)^2 - (2.8S_r)^2 \left(1 - \frac{1}{2n_1} - \frac{1}{2n_2}\right)} \tag{3.8}$$

donde:

$CD_{0.95}$: Diferencia crítica para el 95% de confianza

S_R : Varianza de reproducibilidad

S_r : Varianza de repetibilidad

n_1 : Número de réplicas del ensayo efectuadas por el Laboratorio No.1.

n_2 : Número de réplicas del ensayo efectuadas por el Laboratorio No.2.

Si la diferencia entre las medias excede el límite correspondiente dado por el estadígrafo de las diferencias críticas, se debe sospechar de dicha diferencia y por ende dudar de las mediciones que hayan resultado en esta diferencia.

En el **Anexo No. 33** se determinan las diferencias críticas para la comparación de dos grupos de mediciones. En la tabla 3.10 se exponen los resultados y la comparación estadística entre los laboratorios.

Tabla 3.10 Resultados de la comparación estadística de dos grupos de mediciones de viscosidad cinemática entre dos laboratorios. Fuente: Elaboración propia.

Ensayos	\bar{Y}_1	\bar{Y}_2	$\bar{Y}_1 - \bar{Y}_2$	CD _{0.95}
Viscosidad de petróleo a 50 °C	195.9	194	1.9	2.08
Viscosidad de aceite lubricante a 40 °C	427.596	429.396	-1.8	2.39

La diferencia entre las medias reportadas por los laboratorios participantes para cada ensayo es inferior a la diferencia crítica establecida, por tanto, se puede afirmar que los resultados obtenidos en condiciones de repetibilidad, son confiables y concuerdan entre sí.

En el **Anexo No. 34** se muestra el modelo para la emisión del informe final correspondiente al Programa de Comparación de Mediciones Interlaboratorios de Ensayos de Viscosidad realizado. En este se concluye, con un 95% de confianza, que ambos laboratorios laboran en condiciones de reproducibilidad y repetibilidad, obteniendo mediciones confiables y que concuerdan entre sí. Esto se traduce en el desempeño satisfactorio y la calidad externa de los laboratorios participantes, referente a la validación de sus resultados.

Etapas III: Analizar

Paso 7 y 8: 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 los problemas detectados. El diagrama de causa-efecto que se muestra en el **Anexo No.35**, es actualizado en una sesión de tormenta de ideas de conjunto con el equipo de mejora, manteniéndose la mayoría de las causas identificadas por Vega (2019) y Pérez (2020), al haber existido pocos cambios durante el período comprendido entre las investigaciones mencionadas y la actual.

Planteamiento de las hipótesis y verificación de las causas más probables: El equipo de mejora revisa las causas posibles y selecciona y verifica las más probables mediante una votación basada en la experiencia. Este análisis se muestra en el **Anexo No.36**.

Paso 9: Establecer las metas.

Tomando en cuenta la situación para las variables crítica de calidad objeto de análisis se plantean en la tabla 3.11 las siguientes metas:

VCC	Situación actual	Meta
Calibración y verificación	Los viscosímetros no poseen trazabilidad metrológica, por lo que se desconoce si los resultados que reporta son válidos y confiables.	Implementar los periodos de recalibración mediante métodos matemáticos estadísticos.
Trazabilidad metrológica	Los viscosímetros no poseen trazabilidad metrológica, por lo que se desconoce si los resultados que reporta son válidos y confiables.	Implementar acciones relacionadas con la participación en programas intra e interlaboratorios que permitan demostrar la validez y la confiabilidad de los resultados de viscosidad.

Etapa IV: Mejorar

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

Paso 10: Generar y evaluar diferentes soluciones para cada una de las causas raíces

Con el fin de priorizar las oportunidades de mejora definidas en el paso anterior, se emplea el método Delphi (ver **Anexo No.37**), donde se ordenan descendentemente, siendo el valor 10 el de máxima prioridad. Este resultado se muestra en la Figura 3.2 mediante un gráfico de barras, señalando en color rojo las de mayor rango promedio.

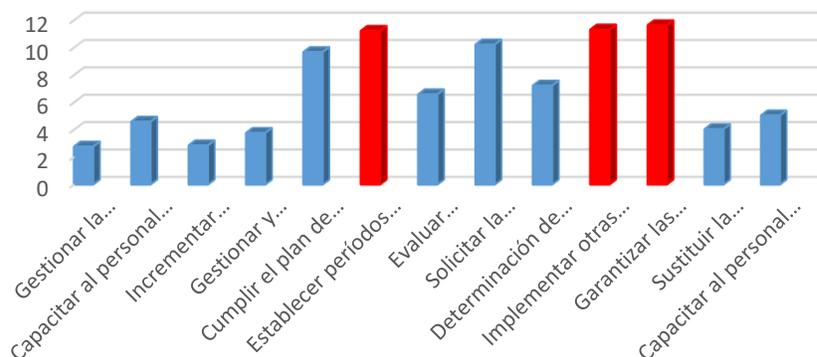


Figura 3.2: Rangos promedios para las oportunidades de mejora. Fuente: Elaboración propia.

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

- Establecer los períodos entre las calibraciones fundamentado a partir de métodos estadísticos – matemáticos. Garantizar la confiabilidad de las mediciones. Posible ahorro de presupuesto.
- Garantizar las condiciones y requisitos para la calidad de la medición en el ensayo de Determinación de viscosidad cinemática en productos del petróleo y aceites lubricantes.
- Implementar acciones y controles como el uso de métodos especificados y procedimientos de medida, la participación en programas de intra e inter comparación, entre otros.

Paso 11: Implementación de la solución

Para realizar la implementación de las soluciones se diseñan los planes de acción correspondientes, haciendo uso de la técnica de las 5W2H (qué, quién, cómo, por qué, dónde, cuándo y cuánto). Dicho plan se encuentra en el **Anexo No.38**, donde se refleja en qué consiste la propuesta, dónde se implementan, la forma en qué se va a realizar, las fechas para cada una, las personas responsables, entre otros.

Paso 12: Evaluar el impacto de la mejora sobre las variables críticas de calidad

Para la evaluación de la solución se debe comparar el intervalo de calibración antes y después del estudio realizado y los beneficios que trae consigo participar en programas de comparación intra e interlaboratorios. En la siguiente tabla 3.12 se muestra dicha comparación.

Tabla 3.12 Comparación de Intervalos de recalibración. Fuente: Elaboración propia.

Instrumentos	No. Serie	Tiempo obtenido (meses)	Tiempo Según Certificados (meses)
Termómetro digital	7673	50	12
Termómetro digital	41430	55	12
Cronómetro digital	MB7673	44	12
Cronómetro digital	MB411430	30	12

Como se puede observar el intervalo entre calibraciones vigente es inferior al propuesto mediante la utilización del Método Tiempo Calendario, por lo que la empresa incurre en mayores gastos para la contratación de estos servicios y la garantía de la logística asociada a los mismos.

A continuación, en la tabla 3.13, se observa el análisis económico referente a la ejecución de los servicios de calibración con una proyección para los próximos 5 años, teniendo en cuenta una

periodicidad anual y bianual (según el método). Para ello se consideran los costos de transportación de los técnicos hacia las instalaciones de la Empresa Termoeléctrica Cienfuegos y se desprecian los relacionados con la alimentación, materiales gastables, entre otros.

Tabla 3.13 Análisis económico de la contratación de servicios metrológicos para los instrumentos seleccionados. Fuente: Elaboración propia.

Aspectos	Indicador Digital de Temperatura	Cronómetro Digital
Proveedor de servicios	ATI Villa Clara	OTN Villa Clara
Cantidad de instrumentos	2	2
Costo por Calibración in Situ	\$548.34	\$442.49
Costo por Puesta en Marcha	\$182.78	-
Costo por Arrendamiento Total del Taxi (ida y retorno x2)	\$7200	\$7200
Costo Total del Servicio	\$8662.24	\$8084.98
Gasto Calibración anual (2023-2027) Sin aplicar Método	\$43311.2	\$40424.9
Gasto Calibración bianual (2024 y 2026) Según Método	\$17324.48	\$16169.96
Ahorro por servicio	\$25986.72	\$24254.04
Ahorro Total		\$50240.76

Se recomienda extender el intervalo de calibración a dos años y repetir la aplicación de este método con el objetivo de analizar la estabilidad de los instrumentos en el tiempo. Los resultados de este estudio deben ser tenidos en cuenta para la elaboración de los próximos planes de calibración en la organización.

Los programas de intra e intercomparación realizados permitieron la validación de los resultados obtenidos por instrumentos que no poseen trazabilidad metrológica, como una medida de la confiabilidad de las mediciones de viscosidad y un aseguramiento de la calidad interna y externa de los laboratorios participantes. Se recomienda elaborar un procedimiento para el desarrollo de este tipo de estudios en la Empresa Termoeléctrica Cienfuegos, a partir de lo expuesto en la presente investigación, así como su implementación de forma anual, lo que contribuirá a la mejora de la calidad en el Laboratorio Central de dicha entidad.

Etapa V: Controlar

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

Paso 13: Monitoreo del sistema de medición

Para realizar dicho monitoreo se recomienda repetir el análisis del comportamiento y estabilidad de los termómetros y cronómetros digitales, a partir de gráficos de dispersión y la revisión de los certificados de calibración.

De igual forma, se deben garantizar las condiciones necesarias para el establecimiento y el cumplimiento de los períodos de calibración determinados mediante métodos matemáticos estadísticos, así como la participación en programas de comparación intra e interlaboratorios para el aseguramiento de la validez y la confiabilidad del resultado de las mediciones. Se recomienda además el seguimiento de su implementación mediante la revisión de registros del Sistema de Gestión de la Calidad de la empresa e informes emitidos.

Paso 14: Cerrar y difundir el proyecto de mejora.

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

Finalmente se realiza una recopilación de todos los documentos utilizados en la investigación, donde se refleja el trabajo realizado, quedando redactado un documento final, para ser consultado por el personal interesado.

Se refleja en el mismo los principales logros alcanzados, entre los que sobresalen:

- Demostración de los intervalos de tiempo entre calibraciones para los diferentes instrumentos instalados en los viscosímetros del Laboratorio Central, a partir de métodos estadísticos – matemáticos, estableciéndose una periodicidad óptima de dos años. Esto representa una mayor calidad y precisión de las mediciones y un menor gasto presupuestal de la actividad.
- Validación de la confiabilidad de las mediciones de viscosidad cinemática al participar en estudios de comparación intra e interlaboratorios, mediante la identificación de la inexistencia de diferencias significativas entre las medias y desviaciones estándar reportadas por instrumentos similares y la aplicación de criterios para la valoración de la aceptabilidad, concordancia y confiabilidad de los resultados obtenidos por diferentes laboratorios en el ensayo seleccionado.

Conclusiones parciales del capítulo

1. Las deficiencias identificadas en la gestión metrológica recaen en la necesidad de continuar realizando estudios que permitan evaluar y mejorar la calidad de las mediciones, haciendo énfasis en la determinación de los intervalos óptimos de recalibración de los

instrumentos que intervienen en los diferentes procesos y la demostración de la validez y confiabilidad de los resultados obtenidos.

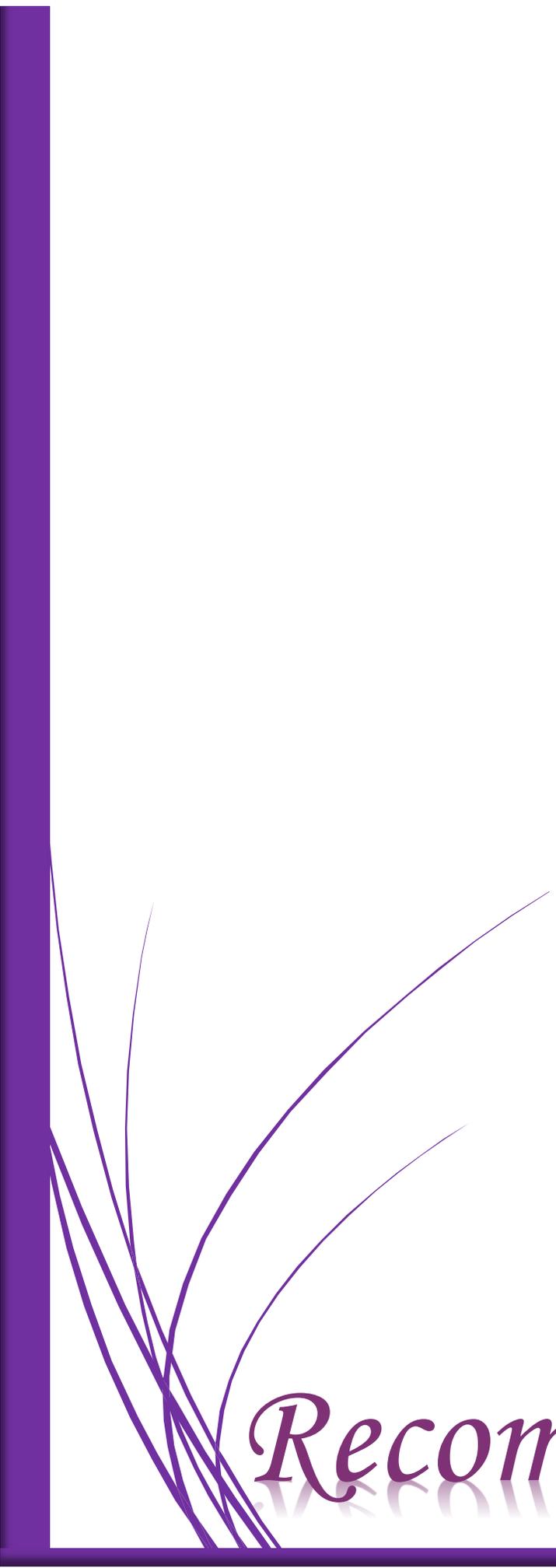
2. Con la utilización del Método Tiempo Calendario se determinó el periodo óptimo entre calibraciones para los instrumentos instalados en los viscosímetros del Laboratorio Central, cuyo resultado debe ser tenido en cuenta en la organización para la elaboración del plan de calibración del año 2023.
3. Se realizó un estudio de comparación intra e interlaboratorio, donde se identificó la inexistencia de diferencias estadísticamente significativas entre los resultados de los viscosímetros ubicados en el Laboratorio Central de la Empresa Termoeléctrica Cienfuegos. De igual forma se verificó la concordancia y la confiabilidad de las mediciones reportadas entre el laboratorio mencionado y el de la Refinería Cienfuegos S.A. en el ensayo de viscosidad cinemática de petróleo, permitiendo la validación de las mediciones y el aseguramiento de la calidad interna y externa.



Conclusiones

CONCLUSIONES GENERALES

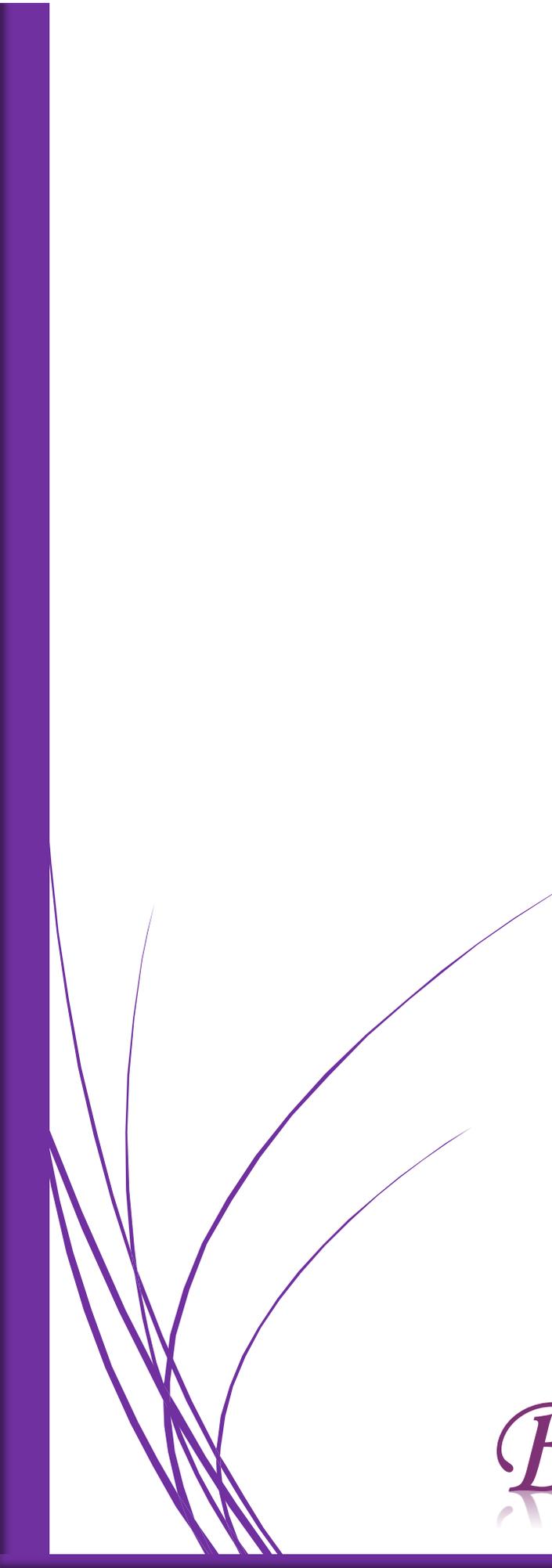
1. Se aplicó el procedimiento propuesto por Hernández (2012) y Machado (2013) y modificado por Marín (2015); Román (2016); Querol Ja y Gutiérrez (2018), Vega (2019) y Pérez (2020), el que posibilitó la mejora de la calidad y la gestión de las mediciones, tomando como base la integración de requisitos establecidos en la NC ISO 10012: 2007, NC ISO/IEC 17025:2017, así como criterios de un grupo de autores que trabajan la temática y resoluciones vigentes relativas a la metrología.
2. Se ejecutó el diagnóstico en materia de gestión de las mediciones, determinándose las principales deficiencias, sobresaliendo las relacionadas con la necesidad de realizar estudios que permitan evaluar y mejorar la calidad de las mediciones, haciendo énfasis en la determinación de los intervalos óptimos de recalibración de los instrumentos que intervienen en los diferentes procesos y la demostración de la validez y confiabilidad de los resultados reportados por instrumentos que no poseen trazabilidad metrológica en el país.
3. Se determinó que el periodo óptimo entre calibraciones es de dos años para los indicadores de temperatura y cronómetros digitales instalados en los viscosímetros del Laboratorio Central, a partir de la utilización del Método Tiempo Calendario, proporcionando confiabilidad en las mediciones y un ahorro de \$50240.76 para la actividad de metrología en los próximos cinco años. Dicho resultado debe ser tenido en cuenta en la organización para la elaboración del plan de calibración del año 2023.
4. Se realizó un estudio de comparación intra e interlaboratorio, donde se identificó la inexistencia de diferencias estadísticamente significativas entre las mediciones de viscosidad de dos instrumentos con características metrológicas similares. Se verificó la concordancia y aceptabilidad de los datos reportados por los laboratorios centrales de la Empresa Termoeléctrica Cienfuegos y de la Refinería Cienfuegos S.A., contribuyendo a la demostración de la validez y la confiabilidad de los resultados emitidos y el aseguramiento de la calidad interna y externa en los ensayos ejecutados.
5. Se propusieron un grupo de acciones encaminadas al tratamiento de las deficiencias detectadas durante el estudio, las que tributan a la mejora de la calidad de las mediciones en el ensayo de Determinación de viscosidad cinemática en productos del petróleo y aceites lubricantes en la Empresa Termoeléctrica Cienfuegos.



Recomendaciones

RECOMENDACIONES

- Generalizar el estudio a otros procesos y equipos de medición de la Empresa Termoeléctrica Cienfuegos.
- Elaborar un procedimiento para el desarrollo de estudios comparativos intra e interlaboratorios en la Empresa Termoeléctrica Cienfuegos.
- 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.

A decorative graphic in the bottom-left corner consisting of a thick purple L-shaped line and several thin, curved purple lines that resemble grass or reeds.

Bibliografía

BIBLIOGRAFÍA

- Adabavazeh, N., & Nikbakht, M. (2020). Welding and inspection Industry Measurement System Analysis. *Journal of Environmental Friendly Materials*, 4(1), 43-46.
- Aguirre Chate, R. C., Camacho Osoreo, J. M., Cjahuá Taco, J. D., Valdez Valderrama, M. G., & Claudia Sabrina, Z. R. (2019). *Herramientas y metodologías para la gestión de procesos en las organizaciones de Latinoamérica*: Una revisión sistemática de la literatura científica en los últimos diez años, 2008—2018 (Tesis de grado). Universidad Privada del Norte.
- Almonte Quiñones, J. (2020). *Guía formalizada de mantenimiento y calibración de equipos de medición para reducción de fallos en el campo* (Tesis de maestría). Universidad CETYS.
- Andrietta, J. M., & Miguel, P. A. C. (2007). Aplicação do programa Seis Sigma no Brasil: Resultados de um levantamento tipo survey exploratório-descritivo e perspectivas para pesquisas futuras. *Gestão & Produção*, 14(2), 203-219.
- Antony, J. (2006). Six sigma for service processes. *Business Process Management Journal*, 12, 234-248.
- 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.
- Arthur, J. (2014). Lean Six Sigma: A Fresh Approach to Achieving Quality Management. *Quality Management Journal*, 21(3).
- Aubyn Salkey, M. (2008). *Procedimiento para la mejora de procesos, haciendo uso de las técnicas Lean Six Sigma, en el proceso de préstamos hipotecarios de Jamaica National Building Society*. (Tesis de maestría). Universidad Privada del Norte.
- Baez Montesino, R. (2012). *Diseño del Sistema de Gestión de las Mediciones para los Procesos de Fabricación del CBQ* (Tesis de maestría). Universidad Central «Marta Abreu» de Las Villas.
- Bähr, S., Haas, G. C., Keusch, F., Kreuter, F., & Trappmann, M. (2022). Missing data and other measurement quality issues in mobile geolocation sensor data. *Social Science Computer Review*, 40(1), 212-235.
- Barrera García, A., Cambra Díaz, A., & González González, J. A. (2017). Implementación de la metodología Seis Sigma en la Gestión de las Mediciones. *Universidad y Sociedad*, 9(2), 8-17.
- Barrera García, A., Cespón Castro, R., & Feitó Cespón, M. (2019). Evaluación de la incertidumbre de medición en el sistema de transferencia por ducto Refinería-Termoeléctrica Cienfuegos. *Revista Universidad y Sociedad*, 11(1), 107-115.

- Barrera García, A., Feitó Cespón, M., & Cespón Castro, R. (2022). Índices para evaluar el desempeño metrológico basado en riesgos en empresas del sector de la energía. *Visión de futuro*, 26(1), 38-60.
- Barrera García, A., Hernández Ocampo, R., Machado García, F., & Hernández Santana, M. (2018). Mejora en la gestión de las mediciones en una empresa refinadora de petróleo. *Revista Cubana de Ingeniería.*, IX (1), 75-85.
- Barrera García, A., Hernández Santana, M., Botana Beltrán, L. O., Martínez Hernández, T., & Carrasco Padrón, O. O. (2017). Verificación de las características metrológicas de un contador de flujo Coriolis utilizado en transferencia fiscal. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, XVIII (4), 433-444.
- Benavides, A., & Masso Alzate, J. A. (2019). *Caracterización del grado de implementación de metodologías de mejora de calidad y productividad en empresas manufactureras de la ciudad de Cali*.
- Benítez Fernández, D., Vilasó Cadre, J. E., Arada Pérez, M. de los Á., Arce Castro, J., & Rodríguez de la Rosa, H. (2021). Método voltamperométrico para el análisis de cadmio en aguas residuales. *Revista Cubana Química*, 33(3), 415-436.
- Beylihan, E., & Elevi, S. (2022a). Fuzzy Measurement System Analysis Approach: A Case Study. *International Journal of Engineering Research and Development*, 14(1), 176-185.
- Bittencourt, J. C., & Pinto, F. R. (2020). *The importance of metrology for quality control in a metal stopper factory in the City of Manaus, AM*.
- Brito Sierra, Y. P. (2021). *Reducción y optimización del tiempo empleado para el análisis del porcentaje de sólidos en resinas ureicas y/o melamínicas empleando un refractómetro* (Tesis de grado). Universidad de Antioquia.
- Brown C., R. J. (2021). Measuring measurement – What is metrology and why does it matter? *Measurement*, 168. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2020.108408>
- Calia, R. C., & Guerrini, F. M. (2005). Projeto Seis Sigma para a implementação de software de programação. *Produção*, 15(3), 322-333.
- Cambra Díaz, A. (2014). *Mejora de la gestión de las mediciones en el proceso de Hidrofinación del Diesel en la Unidad de Negocios Refinería de Cienfuegos*. (Tesis de grado). Universidad Carlos Rafael Rodríguez.
- Castellanos Hernández, A. (2017). *Aseguramiento de la calidad de los resultados emitidos en el Laboratorio Central de Ensayos Físico-Químicos del petróleo y sus derivados de la Unidad de Negocio Refinería Cienfuegos* (Tesis de grado). Universidad Carlos Rafael Rodríguez.

- Centro Español de Metrología & Instituto de la Ingeniería de España. (2019). *La metrología también existe* (1ra ed.). Centro Español de Metrología.
- Chavarría Mendoza, A. A., & Cruz Lara, C. del S. (2020). *Aseguramiento de la validez de los resultados en el Laboratorio de Control de Calidad y Monitoreo (LCM) del Laboratorio de Física de Radiaciones y Metrología (LAF-RAM) en el tercer y cuarto trimestre del año 2020*. (Tesis de grado). Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua.
- Chávez Rivera, M. E. (2021). *Cálculo de intervalos de tiempos de calibración de balanzas para disminuir los costos de producción en la empresa Farmex.* (Tesis de grado). Universidad Proveda del Norte.
- Chaux, A. (2021). *Cómo validar un instrumento de medición*. <https://alcideschaux.com/c%C3%B3mo-validar-un-instrumento-de-medici%C3%B3n-32e8a20e626>.
- Clemente, F., Papi, M., Pontecorvi, L., & Menichetti, A. (2016). Evaluation of indices for the measurement of quality in health systems. *International Journal of Metrology and Quality Engineering*, 7(4), 405.
- Colín Villeda, I. (2017). *Análisis y evaluación de un sistema de medición por medio de un estudio R & R* (Tesis de grado). Universidad Nacional Autónoma de México.
- Comisión de Instrumentos y Métodos de Observación. *Decimosexta reunión San Petersburgo. Informe final abreviado con resoluciones y recomendaciones*. (2014).
- Condorí Flores, L., Caiconte Gastón, L., Guanuco Marcelo, J., Díaz Maximiliano, J., & Reynaga, R. (2018). *Estadística Experimental de Comparación en medición de resistencias*. I Jornadas de Estadística Aplicada.
- Croft, N. H. (2015). ISO 9001:2015 y más allá. Preparación de las normas de gestión de la calidad para los próximos 25 años. *AENOR: Revista de la normalización y la certificación*, 276, 52-55.
- Cuba. Oficina Nacional de Normalización (2000). *NC ISO/IEC Guía 43-1: 2000 (Publicada por la ISO, 1997) ensayos de aptitud por comparaciones interlaboratorios – parte 1: Desarrollo y funcionamiento de programas de ensayos de aptitud*. Oficina Nacional de Normalización.
- Cuba. Oficina Nacional de Normalización (2007). *NC ISO 10012:2007 Sistemas de gestión de las mediciones-Requisitos para los procesos de medición y los equipos de medición* (1ra Edición). ONN.
- Cuba. Oficina Nacional de Normalización (2011). *NC ISO/IEC 17043:2011 Evaluación de la conformidad—Requisitos generales para los ensayos de aptitud [ISO/IEC 17043:2010 (traducción certificada), idt J*. Oficina Nacional de Normalización.

- Cuba. Oficina Nacional de Normalización (2015). NC 1066:2015 Guía para la expresión de incertidumbre de medición. Oficina Nacional de Normalización
- Cuba. Oficina Nacional de Normalización (2015). NC ISO 9000:2015 Sistemas de Gestión de la Calidad-Fundamentos y Vocabulario. (3ra edición). Oficina Nacional de Normalización.
- Cuba. Oficina Nacional de Normalización (2015). NC ISO 9001:2015 Sistemas de gestión de la calidad-Requisitos (5ta Edición). ONN.
- Cuba. Oficina Nacional de Normalización (2017). NC ISO/IEC 17025:2017 Requisitos generales para la competencia de los Laboratorios de ensayo y de calibración [ISO/IEC 17025: 2017, (Traducción certificada), IDT] (3ra Edición). Oficina Nacional de Normalización.
- Cuba. Oficina Nacional de Normalización (2020). NC OIML V2:2020 Vocabulario Internacional de Metrología-Conceptos fundamentales y generales y términos asociados (VIM) (3ra Edición). Oficina Nacional de Normalización.
- Cuba. Oficina Nacional de Normalización (2020). Disposición General DG 01/2020 Instrumentos de medición sujetos a Control Metrológico Legal según los campos de aplicación donde serán utilizados. Oficina Nacional de Normalización. Servicio Nacional de Metrología.
- Cuba. Oficina Nacional de Normalización (2021). NC ASTM D445:2021 Industria del petróleo-Método de ensayo estándar para viscosidad cinemática de líquidos transparentes y opacos (y cálculo de la viscosidad dinámica) (ASTM D445: 2019 idt). Oficina Nacional de Normalización.
- Cuba. Oficina Nacional de Normalización (2021). NC OIML D 10: 2021 "Lineamientos para la determinación de intervalos de calibración de instrumentos de medición". Oficina Nacional de Normalización.
- Dağlioğlu, G., İnal, T., & Aksoy, K. (2009). Altı Sigma Nedir? *ARŞİV*, 18, 132-139.
- Damián Vallejo, A. A. (2021). *Validación de método analítico para el ensayo de inflamabilidad en componentes de carrocería de buses bajo la normativa de ISO 3795* (Tesis de grado). Universidad Politécnica Salesiana.
- Decreto 16/2020 "Reglamento de Normalización, Metrología, Calidad y Acreditación".
- Decreto Ley 8/2020 "De Normalización, Metrología, Calidad y Acreditación".
- Dias, R., Arrojo, C. D., Nastta, H. A., Herlein, M. E., Álvarez Martini, C. A., Scaramutti, J. C., & Danessa, F. (2019). *Implementación de un sistema de calidad según norma ISO/IEC 17025 en un laboratorio de ensayos eléctricos del ámbito universitario*. 5º Jornadas ITE - 2019 - Facultad de Ingeniería - UNLP.

- Duarte, S., & Cruz Machado, V. (2013). Modelling lean and green: A review from business models. *International Journal of Lean Six Sigma*, 4(3), 228-250.
- Durán Pérez, S. I. (2014). *Propuesta de mejora a un sistema de calidad a través de six sigma. caso de estudio: planta Pret.* (Tesis de grado). Universidad Autónoma de Mexico.
- Eckes, G. (2003). *Six Sigma For Everyone*. United State of American: John Wiley & Sons, Inc.
- Escamilla López, M., Tejeda Castrejón, J. F., Yáñez Brambila, R., Mejías Brito, J., Meza Jiménez, J., Macedo Velázquez, A. R., & Ochoa Suárez, M. M. (2020). Repetibilidad y Reproducibilidad en las Mediciones del Espesor de Tubos de Acero para Ferroaducto. *Conciencia Tecnológica*, 59.
- Fernandes, M. M., & Turrioni, J. B. (2007). Seleção de projetos Seis Sigma: Aplicação em uma indústria do setor automobilístico. *Produção*, 17(3), 579-591.
- Fernández Heredia, Á., & Argota Coello, H. (2012). Evaluación de la precisión intralaboratorio para la determinación simultánea de ocho elementos en muestras geológicas aplicando la espectrometría de emisión atómica con plasma acoplado. *Revista Cubana de Química*, XXIV (3), 224-230.
- Fernández Vásquez, L. (2021). *Aplicación de la metodología Six sigma para mejorar la calidad en el proceso de ordeño en una asociación ganadera* (Tesis de grado). Universidad César Vallejo.
- Fortunio Cortez, R. (2019). *Aplicación de metodología six sigma hasta fase de mejora para la reducción de variación de espesor en la producción de láminas de vinil en empresa de autopartes.* (Tesis de maestría). Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.
- Fuentelsaz Gallego, C. (2004). Cálculo del tamaño de la muestra. *Matronas Profesión*, 5(18).
- Galvania, L. R., & Carpinettib, L. C. (2013a). Análise comparativa da aplicação do programa Seis Sigma em processos de manufatura e serviços. *Produção*, 23(4), 695-704.
- Galvania, L. R., & Carpinettib, L. C. (2013b). Análise comparativa da aplicação do programa Seis Sigma em processos de manufatura e serviços. *Produção*, 23(4), 695-704.
- Gamonal Requez, J. E. (2022). *Aplicación de la Norma NTP– ISO/IEC 17025:2017 para la acreditación del laboratorio de Mecánica de Suelos en la empresa TCINGE S.A.C.* (Tesis de grado). Universidad Peruana Unión.
- García González, R., José Antonio, P. C., & Casas Domínguez, G. E. (2022). Mejora de la productividad de la industria del sombrero en la región de Tehuacán aplicando DMAIC- Six Sigma. *Red Internacional de Investigadores en Competitividad*.

- García Ramos, K. E., & Pareja Huacausi, J. M. (2021). *Análisis de experiencias de la metodología six sigma en las organizaciones en los últimos diez años*. Una revisión de la literatura.
- 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, 315-338.
- González Camps, A., & Reyes Ponce, Y. (2014). *Sistema de gestión de las mediciones para los laboratorios farmacéuticos NOVATEC. Memorias del 9no Simposio Internacional "Metrología 2014"*.
- González Vargas, D. P., & Poveda Gómez, L. P. (2014). *Estudios de repetibilidad y reproducibilidad en los procesos productivos y de inspección de INDUMIL Fábrica Santa Bárbara* (Tesis de grado). Universidad Peruana Unión.
- 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. Escuela Superior Politécnica del Litoral*.
- Gutiérrez Pérez, M. (2010). *Riesgo e integridad de ductos de transporte de hidrocarburos. Ingeniería Civil*.
- Gutiérrez Puerto, Y., & Querol Ja, V. I. (2018). *Mejora de la gestión de las mediciones en el sistema de medición de bombas de agua de alimentar en la Empresa Termoeléctrica Cienfuegos. (Tesis de Grado) Universidad Carlos Rafael Rodríguez., Cienfuegos*.
- Gutiérrez Pulido, H., & De la Vara Salazar, R. (2009). *Análisis y diseño de experimentos* (2da Edición).
- Gutiérrez Pulido, H., & De la Vara Salazar, R. (2013). *Control Estadístico de la Calidad y Seis Sigma* (3ra Edición). Editorial Educación.
- 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.
- Hernández Apaceiro, M., Franco Fernández, C. J. I., Maury Toledo, A., & Wallace, T. (2009). Informe de la intercomparación bilateral en la magnitud de volumen: INIMET-BSJ. *Boletín Científico Técnico INIMET*, 1, 13-20.

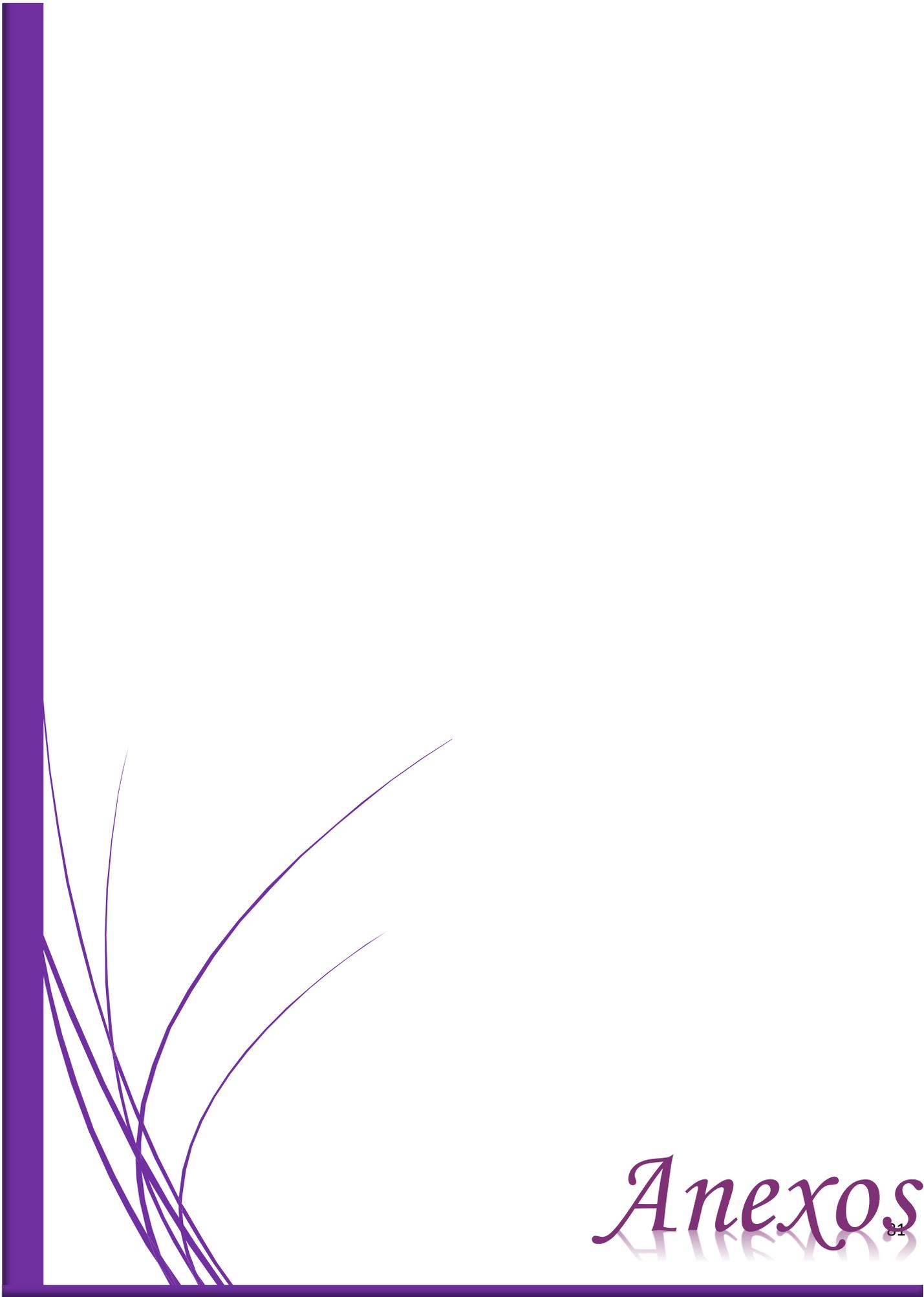
- Hernández Leonard, A. R. (2020). Metrología cubana frente a la COVID-19. *Normalización*, 2, 12-15.
- Hernández Santana, M. (2012). *Procedimiento para la mejora del sistema de gestión de las mediciones, utilizando técnicas Seis Sigma en el proceso de tratamiento del Turbo combustible Jet A1, en la Unidad de Negocios Refinería de Cienfuegos*. (Tesis de maestría). Universidad Carlos Rafael Rodríguez.
- Herrador, M. A. (2016). *La calidad del resultado analítico*. 1ª ed. Sevilla: Academia Iberoamericana de Farmacia.
- Hoerl, R. W. (2001). *Six sigma black belts: What do they need to know?* *Journal of Quality Technology*, 33 (4), 391-406.
- Ingelsson, P., & Martensson, A. (2014). Measuring the importance and practices of Lean values. , 26 (5), 463-474. *The TQM Journal*, 26(5), 463-474.
- International Organization for Standardization. (2011) *ISO 13053: 2011 Quantitative methods in process improvement—Six Sigma*.
- International Organization for Standardization (1994) *ISO 5725: 94. Exactitud de los métodos de resultados de medición. Parte 6. Uso en la práctica de los valores de exactitud*.
- John, A., Merán, R., Roenpage, O., & Staudter, S. (2008). *Six Sigma + Lean Toolset*. Germany: Library of Congress.
- Kornblit, F. (2006). *Todo en su medida: ¿Qué es metrología?* Recuperado de Fecha de consulta: 10 de mayo de 2010. <http://www.inti.gov.ar/sabercomo/sc36/inti2.php>
- Leal Escobedo, L. D., Rodríguez Picón, L. A., & Pérez Olguín, I. J. C. (2021). *Mejora del Desempeño de un Proceso de Manufactura de Cajas de Cartón para Empaque y Distribución*. Academia Journal.
- Lertwattanapongchai, S., & Swierczek, F. W. (2014). Assessing the change process of Lean Six Sigma: A case analysis. *International Journal of Lean Six Sigma*, 5(4).
- Loor Díaz, D. E. (2021). *Control estadístico en la calibración de equipos de un laboratorio de lubricantes*. (Tesis de maestría). Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- López Berta, M., Rodríguez Castro, G., Díaz Mena, D., & Gómez Jiménez., M. (2013). Ensayos intralaboratorios: Indicador para la evaluación del desempeño y aseguramiento de la calidad de los resultados de los ensayos. *Revista Apiciencia*, 15(2), 67-76.
- López Calvajjar, G., Mazaira Rodríguez, Z., Alonso Hernández, I., & Cabrera, H. R. (2018). Análisis de la calidad de las mediciones en el proceso de laboratorio. *Revista Espacios*, 39(6), 18.

- López González, E., Pérez de Armas, M., Cabrera Macías, Y., López Cabrera, E., Escoriza Martínez, T., & Galvéz González, A. M. (2021). Consideraciones acerca del desempeño metrológico en unidades de salud. *Medisur*, 19(1), 142-156.
- Lozano Huizar, K. I., Rodríguez Picón, L. A., Méndez González, L. C., & Pérez Olguín, I. J. C. (2020). Implementación de mejoras en el proceso de pruebas de limpieza de producto automotriz. *Revista Mundo Fesc*, 10(19), 7-19.
- 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 Carlos Rafael Rodríguez.
- Malpartida Gutiérrez, J. N., Olmos Saldivar, D., Quiñones Chumacero, S. M., García Curo, G., & Diaz Dumont, J. R. (2021). *Estrategia de mejora de procesos Six Sigma aplicado a la industria textil*.
- Marín Rodríguez, M. A. (2015). *Evaluación de la incertidumbre de medición en los sistemas de medición fiscal y transferencia de custodia en la Unidad de Negocio Refinería de Cienfuegos* (Tesis de grado). Universidad Carlos Rafael Rodríguez.
- Martínez Hernández, T. (2014). *Mejora de la gestión de las mediciones en el proceso de recepción, manipulación y entrega de gas licuado del petróleo en la Unidad de Negocio Refinería*. (Tesis de Grado). Universidad Carlos Rafael Rodríguez., Cienfuegos.
- McCarty, T., Bremer, M., Daniels, L., & Gupta, P. (2004). *The Six Sigma Black Belt Handbook*. Motorola University.
- Meléndez, A. M., Miranda, D. A., & Méndez, S. C. (2020). Limpieza de electrodos y reproducibilidad de medidas de impedancia eléctrica en células HeLa en solución acuosa. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas Físicas y Naturales*, 44(170), 257-268.
- Mergulhão, R. C., & Martins, A. (2008). Relação entre sistemas de medição de desempenho e projetos Seis Sigma: Estudo de caso múltiplo. *Produção*, 18(2), 342-358.
- Mittal, K., Tewari, P., & Khanduja, D. (2018a). On the fuzzy evaluation of measurement system analysis in a manufacturing and process industry environment: A comparative study. *Management Science Letters*, 8(4), 201-2016.
- Mittal, K., Tewari, P., & Khanduja, D. (2018b). On the fuzzy evaluation of measurement system analysis in a manufacturing and process industry environment: A comparative study. , 8(4), 201-216. *Management Science Letters*, 8(4), 201-216.

- Panat, R., Dimitrova, V., Selvamuniandy, T. S., Ishiko, K., & Sun, D. (2014). The application of Lean Six Sigma to the configuration control in Intel's manufacturing R&D environment. *International Journal of Lean Six Sigma*, 5(4).
- Panunzio R, A. P. (2022). Evaluación externa de la calidad del laboratorio clínico. *Enfermería Investiga, Investigación, Vinculación, Docencia y Gestión*, 7(2).
- Pérez García, J. (2020). *Mejora de la gestión de las mediciones en la Empresa Termoeléctrica Cienfuegos* (Tesis de grado). Universidad Carlos Rafael Rodríguez.
- Pineda Tenor, D., Prada de Medio, E., & Prieto Menchero, S. (2013). *Métodos Estadísticos en la Comparación de Equipos de Laboratorio*. Comité de Calidad, Gestión, Seguridad y Evidencia. Asociación Española de Biopatología Médica AEBM.
- 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.
- Pyzdek, T. (2003). *The six sigma handbook. United States of America*. Editorial McGraw-Hill.
- Quevedo Ricardi, F. (2011). Pruebas de hipótesis para comparar dos muestras. *Medwave.*, XI (10).
- Ramírez Celestino, C. (2018). *Aseguramiento metrológico de una planta embotelladora* (Tesis de grado). Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz.
- Restrepo Castillo, J. A. (2019). *Propuesta de mejoramiento del sistema productivo en carnes frías Rieti utilizando metodología lean six sigma*.
- Reyes Aguilar, P. (2002a). Manufactura delgada (Lean) y Seis Sigma en empresas mexicanas: Experiencias y reflexiones. *Revista Contaduría y Administración*, 205, 51-69.
- Reyes Aguilar, P. (2002b). Manufactura delgada (Lean) y Seis Sigma en empresas mexicanas: Experiencias y reflexiones. *Revista Contaduría y Administración*, 205, 51-69.
- Reyes Ponce, Y. (2019a). Creación de una base documental para pensar y hacer metrología. *Revista cubana de administración pública y empresarial*, 3(3), 292-300.
- Reyes Ponce, Y. (2019b). Creación de una base documental para pensar y hacer metrología. *Revista cubana de administración pública y empresarial*, 3(3), 292-300.
- Reyes Ponce, Y., & Hernández Leonard, A. R. (2014). Instituto Nacional de Investigaciones en Metrología: Cincuenta años de aseguramiento a la economía cubana. *Normalización*, 1, 6-13.
- Reyes Ponce, Y., Hernández Leonard, A. R., & Hernández Ruíz, A. D. (2009). *Acercamiento a la metrología* (2da Edición). Editorial Científico-Técnica.

- Reyes Ponce, Y., Hernández Leonard, A. R., & Hernández Ruíz, A. D. (2013). *Metrología para la Vida* (2da Edición). Editorial Científico-Técnica.
- Romero Diazgranados., A. Antonio. (2019). *Desarrollo e implementación de metodología de medición y evaluación para manómetros diferenciales de presión, mediante el uso de técnicas estadísticas univariadas* (Tesis de Especialidad). Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz.
- Ruiz Romero, J. de J. (2019). *Gestión y Gerenciamiento de un sistema de medición de flujo de hidrocarburos líquidos*. (Tesis de maestría). Universidad de Villahermosa.
- Saikaew, C. (2018). An implementation of measurement system analysis for assessment of machine and part variations in turning operation. *Measurement*, 118, 246-252.
- Sanders, D., & Hild, C. R. (2000). Common myths about Six Sigma. *Quality Engineering*, 13(2), 269-276.
- Schroeder, R., Linderman, K., Liedtke, C., & Choo, A. S. (2007). Six sigma: Definition and underlying theory. *Journal of Operations Management*.
- Soares, W. d. O. S., Peruchi, R. S., Silva, R. A., & Rotella Junior, P. (2022). Gage R&R studies in measurement system analysis: A systematic literature review. *Quality Engineering*, 1-22.
- Sotomayor Castellanos, J. R., & Navarrete Padilla, R. (2021). Estudios de repetibilidad y reproducibilidad de métodos no destructivos en maderas angiospermas. *Ciencia Nicolaita*, 82, 91-103.
- Squara, P., Scheeren, T. W. L., Aya, H. D., Bakker, J., Cecconi, M., Einav, S., & Van Der Horst, I. C. (2021). Metrology part 2: Procedures for the validation of major measurement quality criteria and measuring instrument properties. *Journal of clinical monitoring and computing*, 35(1), 27-37.
- Suárez Algarín, C. A. (2020). *Determinación de la repetibilidad y reproducibilidad del método ISO 9622 para la determinación del contenido de grasa en leche cruda en un interlaboratorio, bajo los lineamientos de la norma NTC 3529-2*. (Tesis de grado). Universidad Libertadores.
- Ternero Piña, J. (2017). *Ejercicios Interlaboratorios*. (Tesis de grado). Universidad de Sevilla.
- UD IG-0014 *Instrucción general. Indicaciones directivas para el aseguramiento metrológico en la Unión Eléctrica*.
- Valdés Cruz, M. L., & Alfonso Cárdenas, G. (2020). *Estudios Interlaboratorios. Informe final del procesamiento de resultados y entrega de informe de petróleo combustible mediano (fuel oil)*. Centro de Investigación del Petróleo CEINPET.

- Vega Siverio, A. (2019). *Mejora de la gestión de las mediciones en el sistema de medición de bombas de agua de alimentar* (Tesis de maestría). Universidad Carlos Rafael Rodríguez.
- Villalobos Hevia, N. J., Valdivia Medina, R. Y., Pedro Valdés, S. C., Hernández Leonard, A. R., Navarro González, M. J., Inchaurtieta Ramos, R. I., Álvarez Álvarez, M. Á., La Rosa Yero, N., Buzón González, F. J., & Frometa Planche, I. (2019). Trazabilidad Metrológica del Instituto Nacional de Investigaciones en Metrología. Proyección como Instituto Nacional de Metrología de la República de Cuba. *Boletín Científico Técnico INIMET*, 1(2), 5-16.
- Viña Rodríguez, L., Rodríguez Hernández, A. G., Hernández Apaulaz, R., Solozabal Armstrong, J., Martín Abreu, V., & Gómez Peña, T. (20113). *Calidad de ensayos y calidad de procesos en la biotecnología. La Habana: Memorias del 8vo Simposio «Calidad 2013»*.
- Zaini, Z., & Saad, A. (2019). Business Process Reengineering as the Current Best Methodology for Improving the Business Process. *Journal of ICT in Education (JICTIE)*, 6, 66-85.



Anexos

ANEXOS

Anexo No.1

Comparación de métodos que revisan los intervalos de calibración. Fuente: NC OIML D
10:2021.

	Método 1 “escalera”	Método 2 Gráficos de Control	Método 3 Tiempo “en uso”	Método 4 “Caja negra”	Método 5 Otros enfoques estadísticos
Confiabilidad	medio	alto	medio	alto	medio
Esfuerzo de aplicación	bajo	alto	medio	bajo	
Carga de trabajo equilibrada	medio	medio	malo	medio	malo
Aplicabilidad con respecto a ítems particulares	medio	bajo	alto	alto	bajo
Disponibilidad de los instrumentos	medio	medio	medio	alto	medio

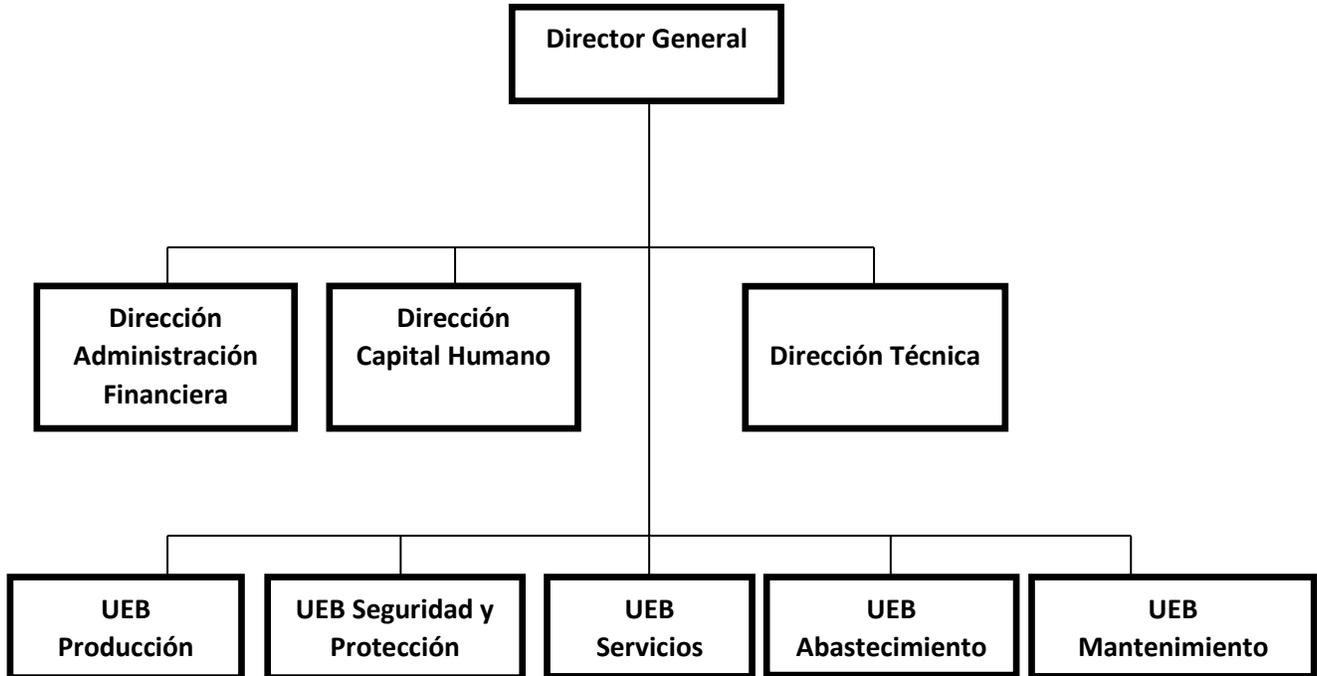
Anexo No.2

Ejemplos de tipos comunes de ensayos de aptitud. Fuente: NC ISO/IEC 17043: 2011.

Modelo 1 Secuencial	Modelo 2 Simultáneo	Modelo 3 Interpretativo	Modelo 4 Revisión de muestra	Modelo 5 Muestra compartida
Produce/facilita ítems de ensayos y artefactos	Produce/facilita ítems de ensayo	Produce ítems de ensayo. Elabora cuestionario o caso de estudio	Determina los ítems de ensayo a recibir del participante	Los participantes acuerdan sobre los analitos y tipos de muestras que se van a comparar
Determina los valores asignados y su incertidumbre	Determina los valores asignados y la gama aceptable de resultados	Distribuye cuestionario, caso de estudio o ítem de ensayo a los participantes	Distribuye las especificaciones a los participantes	El o los participantes dividen la o las muestras apropiadas y las envían a otros
Distribuye al primer participante	Distribuye los ítems de ensayo a los participantes	Recibe resultados e interpretaciones de los participantes	Recibe los ítems de ensayo de los participantes	Los participantes comparten los resultados o los envían a un coordinador
Hace que el participante devuelva el ítem o lo envíe al siguiente participante	Recibe de los participantes resultados e información sobre el método	Determina los criterios de aceptación para las respuestas e interpretaciones	Determina los criterios de aceptación para las respuestas	Los resultados de este estudio y de otros previos se comparan mediante gráficos o de otra manera
Revisa la aceptabilidad de los resultados de los participantes y de la incertidumbre	Compara los resultados de los participantes y la información del método con el rango aceptable	Compara los resultados y las interpretaciones de los participantes con los criterios	Compara los ítems de ensayo de los participantes con los criterios	Compara con criterios preestablecidos o analiza si hay necesidad de acción
Emite informes y comentarios con fines de asesoramiento/educativos	Emite informes y comentarios con fines de asesoramiento/educativos	Emite informes y comentarios con fines de asesoramiento/educativos	Emite Informes y comentarios con fines de asesoramiento /educativos	Emite informes y registros con conclusiones o acciones acordadas, incluyendo datos y gráficos

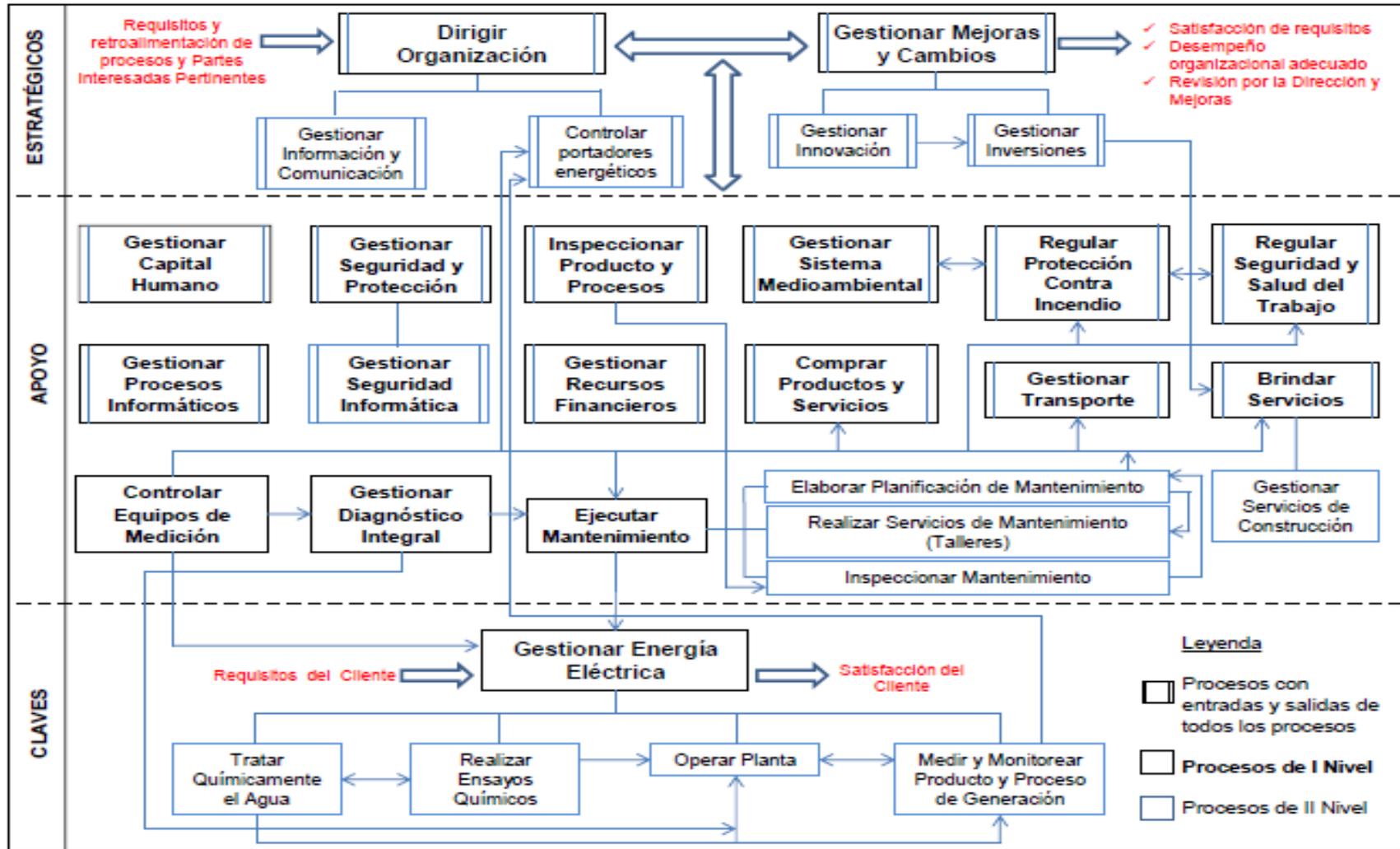
Anexo No.3

Organigrama de la Empresa Termoeléctrica Cienfuegos. Fuente: Empresa Termoeléctrica Cienfuegos.



Anexo No.4.

Mapa General de Procesos. Fuente: Empresa Termoeléctrica Cienfuegos



Anexo No.5

Aspectos básicos del procedimiento para la mejora de procesos en la gestión de las mediciones. Fuente: (Hernández Santana, 2012); (Machado García, 2013) y (Vega Siverio 2019).

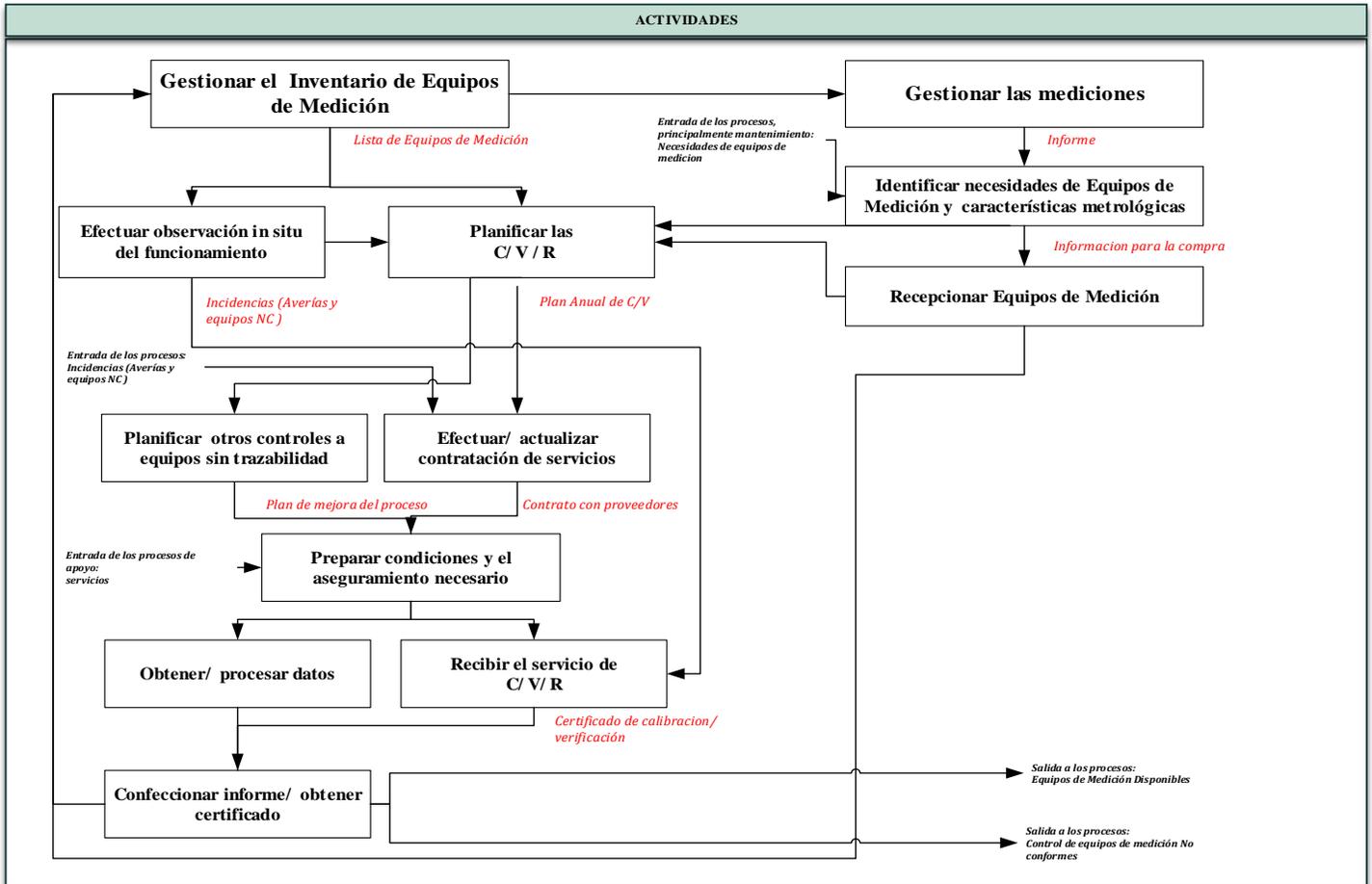
Etapas	Actividad	Herramientas
Definir	Descripción general del problema	Documentación descriptiva del sistema de gestión de las mediciones, reuniones participativas, trabajo de grupo
	Mapeo de proceso	Reuniones participativas, documentación de proceso, Mapeo de procesos
	Diagnóstico del proceso	Análisis de los requisitos legales aplicables en la materia, documentación relativa al sistema de gestión de las mediciones, informes de auditorías, no conformidades
	Seleccionar las variables críticas para la calidad	Método Delphi, Técnica UTI, Selección pondera
	Delimitar y definir el problema	Trabajo en grupos
Medir	Verificar que puedan medirse en forma consistente las variables críticas de calidad	Trabajo en grupo
	Estudio del problema	Trabajo en grupos Método Carta de Control (Tiempo-Calendario) Modelo de ensayo de aptitud de Muestra Compartida Análisis de las diferencias Análisis de regresión lineal Diferencia de muestras Razón de varianzas Estudios R&R Diferencias Críticas
	Establecer las metas para las variables críticas de calidad	Trabajo en grupo
Analizar	Listar las causas del problema	Diagrama causa – efecto
	Seleccionar las principales causas y confirmarlas	Trabajo en equipo Votación
Mejorar	Generar y evaluar diferentes soluciones para cada una de las causas raíces	Trabajo en grupos, Tormenta de ideas Técnica UTI
	Implementación de la solución	5W y 2H
	Evaluar el impacto de la mejora sobre las variables críticas de calidad	Técnicas estadísticas Análisis costo – beneficios
Controlar	Monitoreo del sistema de medición	Documentación del proceso, Cartas de Control
	Cerrar y difundir el proyecto de mejora	Reuniones participativas

Anexo No. 6

Mapa de Proceso Controlar Equipos de Medición. Fuente: Empresa Termoeléctrica Cienfuegos.

Página 5 de 7

DETALLE de ACTIVIDADES / ENTRADAS Y SALIDAS *



Anexo No. 7

Ficha del proceso Controlar Equipos de Medición. Fuente: Empresa Termoeléctrica Cienfuegos

	MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS UNIÓN ELÉCTRICA CARPETA DE PROCESO	Código: ETE-2422 Revisión: 05 Pág.: 1 de: 4
---	---	--

DENOMINACIÓN DEL PROCESO: Controlar Equipos de Medición		
	Nombre y Apellidos / Cargo / Organización	Firma
Preparado	Rosandra Montalvo Lozano / Esp. en Metrología / ETE Cfgos.	
Acordado	Lissett Fdez. Feitó/ Esp. Calidad / ETE Cfgos.	
	Islenia Caro González/ Esp. Calidad / ETE Cfgos.	
	Denis Escalona Tilllet / Dtor. UEB Producción / ETE Cfgos.	
	Yunior Estrada Zambrano / Dtor. UEB Mantenimiento / ETE Cfgos.	
Aprobado	Juan Bravo Nuñez / Director Técnico / ETE Cfgos.	

Copia Controlada:31/

Fecha de Emisión: 10/08/2018



**MINISTERIO DE ENERÍA Y MINAS
UNIÓN ELÉCTRICA
CARPETA DE PROCESO**

Código: ETE-2422
Revisión: 05
Pág.: 2 de: 4

Objetivo del Proceso:

Mantener en condiciones de "apto" todos los medios de medición.

Responsable: Especialista de Metrología (área de NMCC)

Descripción del Proceso:

Este proceso consiste en Gestionar la Calibración y/o Verificación, y el Mantenimiento de todos los Equipos de Medición, así como Almacenamiento, Manipulación y Adquisición de nuevos medios.

Procesos Suministradores	Procesos Clientes
1. Dirigir Organización. 2. Gestionar Recursos Humanos. 3. Gestionar Informática. 4. Comprar Productos y Servicios. 5. Gestionar Recursos Financieros. 6. Establecer Comunicación Empresarial. 7. Regular Seguridad y Protección. 8. Gestionar Medio Ambiente. 9. Regular Protección contra Incendios. 10. Regular Seg. Salud y Med. Amb. Laboral. 11. Brindar Servicios. 12. Gestionar Mejora y Cambios.	1. Dirigir Organización. 2. Gestionar Recursos Humanos. 3. Gestionar Informática. 4. Comprar Productos y Servicios. 5. Gestionar Recursos Financieros. 6. Establecer Comunicación Empresarial. 7. Evaluar Mantenimiento. 8. Realizar Servicios de Maquinado, Lubricación, Eléctrica, Mecánica y Automática de Mto. 9. Tratar Químicamente el Agua. 10. Operar Planta. 11. Medir y Monitorear Prods. y Procesos de Generación 12. Regular Seguridad Informática. 13. Gestionar Innovación. 14. Gestionar Mejora y Cambios. 15. Controlar Portadores Energéticos. 16. Gestionar Transporte.

Criterios de Aceptación

1. Que exista el sello amarillo de apto y/o con el certificado de calibración o verificación adjunto y todo dentro de las fechas autorizadas del tiempo de verificación o calibración.

REGISTROS

- 1.- Sistema Integrado de Gestión Metrológico Corporativo (SIGMEC).
- 2.- Control de inventario de los instrumentos y equipos de medición.
- 3.- Plan de Verificación
- 4.- Plan de Calibración.
- 5.- Certificado de la Verificación.
- 6.- Certificado de Calibración.
- 7.- Certificado de Aforo (OTN)
- 8.- TC-GQ 0002.A.3 Lista de Control de Documentos y Registros

Diagrama del Proceso: Ver anexo ETE-2422 del Mapa Gestionar ETE Cienfuegos



MEDICIÓN DE LA EFICACIA

No	Indicadores de Eficacia	Período de Evaluación:			
		1er Trim.	2do Trim.	3er Trim.	4to Trim.
1	Controlar el Cumplimiento del Plan de Calibración en el mes, según el Plan elaborado al respecto. (90-100% = 5; 80-89% = 4; 71-79% = 3; <70% = 2)				
2	Controlar el Cumplimiento de la Verificación según el Plan Anual elaborado al respecto. (90-100% = 5; 80-89% = 4; 71-79% = 3; <70% = 2)				
3	Cumplir con Evaluación de Proveedores Anualmente. (90-100% = 5; 80-89% = 4; 71-79% = 3; <70% = 2)				
Evaluación Promedio Total					
Evaluación Anual					
Eficacia del Proceso (≥4)		Si		No	
Trim	Evaluado por:	Cargo		Fecha	Firma
1	Rosandra Montalvo Lozano	Especialista en Metrología			
2	Rosandra Montalvo Lozano	Especialista en Metrología			
3	Rosandra Montalvo Lozano	Especialista en Metrología			
4	Rosandra Montalvo Lozano	Especialista en Metrología			
Trim	Evaluado por:	Cargo		Fecha	Firma
1	Juan Bravo Nuñez	Director Técnico			
2	Juan Bravo Nuñez	Director Técnico			
3	Juan Bravo Nuñez	Director Técnico			
4	Juan Bravo Nuñez	Director Técnico			

Documentos de Referencia

Código	Denominación	Edición
UT-MM 0001	Manual Metrológico UNE.	Vigente
DL - 8/2020	Decreto Ley 8 sobre Metrología.	Vigente
D-16	Decreto 16 Reglamento de Normalización, Metrología, Calidad y Acredi	Vigente
UD-IG 0014	Instrucción General de Metrología	Vigente
NC-ISO 10012:2007	ISO 10012: Sistemas de Gestión de las Mediciones — Requisitos para los Procesos de Medición y los Equipos de Medición.	Vigente
DG - 01/2020	Disposiciones Generales	Vigente
DG - 05	Disposiciones para la Metrología	Vigente
TC-MP 0004	Control metrológico a equipos de medición.	Vigente
MM-ETE	Manual de Metrología.	Vigente
MGE - ETE	Manual de Gestión Empresarial.	Vigente
TC-GQ 0002, 0012 y 0015	Procedimientos Obligatorios de Calidad.	Vigente

Anexo No. 8

Relación de documentos legales. Fuente: Elaboración propia.

Código	Título
Decreto Ley 8/2020	De Normalización, Metrología, Calidad y Acreditación.
Decreto 16/2020	Reglamento de Normalización, Metrología, Calidad y Acreditación
DG-01/2020	Instrumentos de medición sujetos a Control Metrológico Legal según los campos de aplicación donde serán utilizados.
DG-02/2020	Sistema legal de unidades de medida de la República de Cuba
NC ISO 10012: 2007	Sistemas de gestión de las mediciones - Requisitos para los procesos de medición y los equipos de medición
NC ISO 9001:2015	Sistemas de gestión de la calidad -Requisitos

Anexo No.9

Resultado de la evaluación de la implementación de la NC ISO 10012:2007. Fuente:

Elaboración propia.

Punto	Requisitos	Si (4)	No (2)	E/P(3)	Puntuación
4.	REQUISITOS GENERALES				
4.1.1	¿Tienen identificados los riesgos en los Procesos del SGM y las consecuencias de incumplir con los requisitos Metrológicos?	X			4
4.1.2	¿Tiene la organización definidos el alcance y extensión del sistema de gestión de las mediciones teniendo en cuenta los riesgos?	X			4
4.1.3	¿Tiene la organización definidos los procesos y los equipos de medición sujetos a confirmación metrológica?	X			4
5.	RESPONSABILIDADES DE LA DIRECCIÓN	Si	No	E/P	Puntuación
5.1	Función Metrológica				
5.1.1	¿Está definida la función metrológica?	X			4
5.1.2	¿La alta dirección dispone de los recursos (humanos, financieros, etc.) necesarios para establecer y mantener la función metrológica?	X			4
5.2	ENFOQUE AL CLIENTE	Si	No	E/P	Puntuación
5.2.1	¿Asegura la dirección de la función metrológica que los requisitos de medición del cliente están determinados y convertidos en requisitos metrológicos?	X			4
5.2.2	¿Asegura la dirección de la función metrológica que el sistema de gestión cumple con los requisitos metrológicos de los clientes?	X			4
5.2.3	¿Puede la dirección de la función metrológica demostrar el cumplimiento de los requisitos especificados por el cliente? (5.2)	X			4
5.3	OBJETIVOS DE LA CALIDAD	Si	No	E/P	Puntuación
5.3.1	¿La dirección de la función metrológica tiene definidos y establecidos objetivos de la calidad referidos al SGM	X			4
5.4	REVISIÓN POR LA DIRECCIÓN	Si	No	E/P	Puntuación
5.4.1	¿La alta dirección de la organización revisa sistemáticamente el SGM a intervalos planificados?	X			4
5.4.2	¿Se dispone de los recursos necesarios para estas revisiones?	X			4
5.4.3	¿Se utilizan los resultados de las revisiones por la dirección para modificar y/o mejorar el SGM?	X			4
5.4.4	¿Se registran las revisiones y las acciones tomadas?	X			4
6.	GESTIÓN DE LOS RECURSOS	Si	No	E/P	Puntuación
6.1	RECURSOS HUMANO				
6.1.1	¿Están definidas y documentadas las responsabilidades de todo el personal involucrado en el SGM?	X			4

6.1.2	¿Existen las evidencias documentad de que el personal es apto para las tareas que desempeña en el SGM?	X			4
6.1.3	¿Están identificadas y registradas necesidades de formación del personal?	X			4
6.1.4	¿Existen registros que evidencien las actividades de formación del personal?	X			4
6.1.5	¿El personal en formación es supervisado? ¿Hay evidencias de ello?	X			4
6.2	RECURSOS DE INFORMACIÓN	Si	No	E/P	Puntuación
6.2.1	PROCEDIMIENTOS				
6.2.1.1	¿Existen un Manual ó Procedimiento general para la Metrología ó SGM de la entidad, incluyendo los procedimientos técnicos?	X			4
6.2.1.2	¿Está definida la autorización para aprobar los procedimientos nuevos o los cambios en los procedimientos? ¿Están controlados?	X			4
6.2.1.2	¿Están vigentes y disponibles los procedimientos?	X			4
6.2.2	SOFTWARE	Si	No	E/P	Puntuación
6.2.2.1	¿El software utilizado en los procesos de medición está documentado, validado y controlado?	X			4
6.2.3	REGISTROS	Si	No	E/P	Puntuación
6.2.3.1	¿Están asegurados la identificación, el almacenamiento la protección, recuperación, tiempo de retención y disposición de los registros del SGM?	X			4
6.2.4	IDENTIFICACION	Si	No	E/P	Puntuación
6.2.4.1	¿Existe una identificación del estado de confirmación del instrumento de medición?	X			4
6.2.4.2	¿Están identificados para su distinción los instrumentos de medición?	X			4
6.3	RECURSOS MATERIALES	Si	No	E/P	Puntuación
6.3.1	EQUIPOS DE MEDICIÓN				
6.3.1.1	¿Están todos los equipos de medición calibrados según el periodo establecido?	X			4
6.3.1.2	¿Se utilizan los instrumentos de medición en un ambiente controlado que aseguren resultados válidos?	X			4
6.3.1.3	¿Existe un procedimiento para incorporar y/o retirar un equipo del SGM?	X			4
6.3.1.4	¿Están documentadas las condiciones ambientales requeridas para el funcionamiento eficiente de los procesos cubiertos por el SGM?	X			4
6.3.2	MEDIO AMBIENTE	Si	No	E/P	Puntuación
6.3.2.1	¿Se da seguimiento y se registran las condiciones ambientales que afectan las mediciones?	X			4
6.3.2.2	¿Se aplican las correcciones a los resultados de las mediciones debido a las magnitudes de influencia?	X			4
6.4	PROVEEDORES EXTERNOS	Si	No	E/P	Puntuación
6.4.1	¿Están definidos y documentados los requisitos para los productos y servicios externos?			X	3

6.4.2	¿Se seleccionan y evalúan los proveedores externos en base a los requisitos anteriores?	X			4
6.4.3	¿Existen registros del seguimiento y la evaluación de los proveedores externos?	X			4
7	CONFIRMACIÓN METROLÓGICA Y REALIZACIÓN DE LOS PROCESOS DE MEDICIÓN	Si	No	E/P	Puntuación
7.1	CONFIRMACIÓN METROLÓGICA				
7.1.1	¿Son apropiadas las características metroológicas del instrumento de medición para el uso previsto?	X			4
7.1.2	INTERVALOS DE CONFIRMACIÓN METROLÓGICA	Si	No	E/P	Puntuación
7.1.2.1	¿Está documentado el método para determinar o modificar los intervalos de confirmación metroológica?	X			4
7.1.2.2	¿Se revisan y ajustan los intervalos cuando se necesita?	X			4
7.1.2.3	¿Se revisa el intervalo del equipo de medición reparado, ajustado o modificado?	X			4
7.1.3	CONTROL DE LOS AJUSTE	Si	No	E/P	Puntuación
7.1.3.1	¿Se sellan los medios y dispositivos de ajuste del equipo confirmado para prevenir y detectar violaciones?	X			4
7.1.3.2	¿Están documentadas las acciones a tomar ante daños, rotura o pérdidas de los sellos contra ajustes?	X			4
7.1.4	REGISTROS DEL PROCESO DE CONFIRMACIÓN METROLÓGICA	Si	No	E/P	Puntuación
7.1.4.1	¿Están disponibles los registros del proceso de confirmación, fechados y aprobados por la persona autorizada?	X			4
7.1.4.2	¿Se informa en los registros del proceso de confirmación si el equipo de medición cumple con los requisitos metroológicos especificados?	X			4
7.1.4.3	<ul style="list-style-type: none"> • ¿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 	X			4

	<ul style="list-style-type: none"> • 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	Si	No	E/P	Puntuación
7.2.2	DISEÑO DEL PROCESO DE MEDICIÓN				
7.2.2.1	¿Están Identificados los Procesos de Medición?	X			4
7.2.2.2	¿Están los requisitos metrológicos determinados en base a: <ul style="list-style-type: none"> • Los requisitos de los clientes • Los requisitos de la organización • Requisitos legales y reglamentarios 	X			4
7.2.2.3	¿Están los procesos de medición diseñados debidamente documentados, validados si es apropiado y de ser necesario acordado con el cliente?	X			4
7.2.2.4	¿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: <ul style="list-style-type: none"> • Los efectos de los operadores • Los equipos • Las condiciones ambientales • Las magnitudes de influencia • Los métodos 	X			4
7.2.3	REALIZACIÓN DEL PROCESO DE MEDICIÓN	Si	No	E/P	Puntuación
7.2.3.1	¿Para cada proceso de medición se controla: <ul style="list-style-type: none"> • El uso de equipo confirmado • La aplicación de procedimientos validados • La disponibilidad de los recursos de información • El mantenimiento de las condiciones ambientales • El uso de personal competente • La transmisión correcta de los resultados 	X			4
7.3	INCERTIDUMBRE DE LA MEDICIÓN Y TRAZABILIDAD	Si	No	E/P	Puntuación
7.3.1	INCERTIDUMBRE DE LA MEDICIÓN				
7.3.1.1	¿Ha sido estimada la incertidumbre en cada proceso de medición antes de la confirmación y de la validación del proceso?			X	3
	¿Están documentadas todas las fuentes conocidas de variabilidad de la medición?			X	3

7.3.2	TRAZABILIDAD	Si	No	E/P	Puntuación
7.3.2.1	¿Son trazables al SI todos los resultados de las mediciones?		X		2
7.3.2.2	¿Se utilizan patrones de consenso?			X	3
8	ANÁLISIS Y MEJORA DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE LAS MEDICIONES	Si	No	E/P	Puntuación
8.2	AUDITORIA Y SEGUIMIENTO				
8.2.1	¿Están Planificadas las auditorías al SGM?	X			4
8.2.2	¿Están especificados los métodos para obtener y utilizar la información relacionada con la satisfacción del cliente?	X			4
8.2.3	AUDITORIA DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE LAS MEDICIONES	Si	No	E/P	Puntuación
8.2.3.1	¿Se comunican los resultados de las auditorías a las partes interesadas?	X			4
8.2.3.2	¿Se registran los resultados de las auditorías y los cambios en el SGM?	X			4
8.2.4	Seguimiento del sistema de gestión de las mediciones	X			4
8.2.4.1	¿Existe un procedimiento para la realización del seguimiento al SGM?	X			4
8.2.4.2	¿Incluye dicho procedimiento los métodos, técnicas estadísticas y la extensión de su uso?	X			4
8.2.4.3	¿Están documentados los resultados de los seguimientos?	X			4
8.3	Control de las no conformidades	Si	No	E/P	Puntuación
8.3.2	Proceso de medición no conforme				
8.3.2.1	¿Se identifican adecuadamente los procesos de medición que se conoce o sospecha que aportan resultados de medición incorrectos?	X			4
8.3.2.2	¿Está documentado el proceso a seguir por el usuario de un proceso identificado como no conforme?	X			4
8.3.2.3	¿Son de nuevo validados los procesos de medición modificados debido a una no conformidad?	X			4
8.3.3	Equipo de medición no conforme	Si	No	E/P	Puntuación
8.3.3.1	¿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?	X			4
8.3.3.2	¿En los casos anteriores se verifica la no conformidad y se emite el informe?	X			4
8.3.3.3	¿Se toman las medidas para evitar la reintegración del equipo no conforme?	X			4
8.3.3.4	¿Se identifica el equipo no conforme que una vez reparado y/o ajustado no recupera sus	X			4

	características Metrológicas y se destina a otro uso?				
8.3.3.5	¿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?	X			4
8.4	MEJORA	Si	No	E/P	Puntuación
	¿Existe una planificación para la mejora continua?			X	3
	¿Se revisan e identifican las oportunidades de mejora?	X			4
8.4.2	ACCION CORRECTIVA	Si	No	E/P	Puntuación
8.4.2.1	¿Están documentadas las acciones para identificar las causas y eliminar las discrepancias cuando un elemento del SGM no cumple los requisitos especificados (acciones preventivas)?	X			4
8.4.2.2	¿Son verificadas las correcciones y los resultados de las acciones correctivas antes de utilizar de nuevo el proceso de medición?	X			4
8.4.2.3	¿Están documentados los criterios para tomar las acciones correctivas?	X			4
8.4.3	ACCIONES PREVENTIVAS	Si	No	E/P	Puntuación
8.4.3.1	Existe un procedimiento documentado para determinar la no conformidades potenciales y	X			4
8.4.3.2	Es evaluada la necesidad de acción preventiva para prevenir la ocurrencia de no conformidades	X			4
8.4.3.3	¿Están documentadas las acciones preventivas?	X			4

EVALUACIÓN:

Fórmula para calcular el (%) de implementación del SGM:

$$\% = \frac{4(P4)+3(P3)+2(P2)}{P4+P3+P2} \times 25$$

Donde:

% de implementación

P4: cantidad de puntos evaluados con 4 puntos

P3: cantidad de puntos evaluados con 3 puntos

P2: cantidad de puntos evaluados con 2 puntos

$$\% = \frac{4(P4)+3(P3)+2(P2)}{P4+P3+P2} \times 25$$

Interpretación:

Si el resultado global es de 90-100 % el SGM está implementado.

Si es de 80-89 % el SGM está parcialmente implementado.

Si es menor de 79 % el SGM no está implementado.

Invaldante: En el caso de resultados por debajo del 60 % de los acápite 4; 5.2; 5.3; 5.4; 6.2.1; 6.2.4; 6.3.1; 7.1.3 y 7.3.2 se considera que el SGM no está implementado, aunque una valoración adversa de los acápite 4 y 5.4 invalida totalmente.

Requisito	%
Requisito 4	100
Requisito 5	100
Requisito 6	98.8
Requisito 7	93.05
Requisito 8	98.95
Total	98.16

Anexo No.10

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

Fortalezas:

- Disponibilidad de laboratorios acreditados en el país para la prestación de servicios de calibración de instrumentos de medición en magnitudes que predominan en la empresa.
- Existencia de una base de datos y un Software metrológico (SIGMET) para el control de los equipos de medición.
- Se cuenta con personal competente y altamente calificado para el control metrológico y la ejecución de mediciones.
- Efectiva gestión de las relaciones con proveedores para servicios y colaboración.
- Certificación del sistema de gestión de calidad basado en la NC ISO 9001: 2015.
- Implantación de Sistema de Gestión de las Mediciones según NC ISO 10012:2007 en un 98%.
- Elevada cultura metrológica por parte de directivos y trabajadores.
- Existencia de un presupuesto que se planifica anualmente para garantizar la confirmación metrológica.
- Se cuenta con instrumentación de tecnología de punta en parte de los procesos.
- Se tienen identificados y se gestionan los riesgos asociados a la actividad metrológica.

Debilidades

- No están definidos y documentados los requisitos para algunos productos y servicios externos.
- No se estimada la incertidumbre en cada proceso de medición antes de la confirmación y de la validación del proceso.
- No están documentadas todas las fuentes conocidas de variabilidad de la medición.
- No todos los resultados de las mediciones son trazables al SI.
- No siempre se utilizan patrones de consenso.
- Utilización de nuevos instrumentos de medición sin trazabilidad demostrada ni Certificados de Calibración/Verificación de Laboratorios acreditados y reconocidos por la ONN y el INIMET.
- Llegada y utilización de nuevos Instrumentos de medición sin aviso para gestionar su inclusión en Planes de Calibración/Verificación.
- Déficit de instrumentos, cristalería, reactivos y materiales de referencia.

- Dificultades para la Calibración de Patrones Eléctricos y de Presión.
- No se encuentra fundamentado el período entre calibraciones a partir de métodos estadísticos matemáticos, para la totalidad de instrumentos.
- Reajustes de los planes de calibración por no ejecución de los mantenimientos planificados a las unidades.
- No existencia de medios de embalaje adecuados para mover los Instrumentos fuera de la Empresa cuando son llevados a Reparar/Calibrar/Verificar.
- Dificultades en disponibilidad de medios de transporte para la calibración de instrumentos en laboratorios de otras provincias.

Anexo No.11

Cuestionario para obtener las variables críticas de calidad que tienen mayor influencia en la mejora del sistema de gestión de las mediciones de la Empresa Termoeléctrica Cienfuegos. Fuente: Elaboración propia.

Las variables a tener en cuenta en su valoración se muestran a continuación y usted debe asignar un valor entre el 1 y el 5 para indicar la influencia de cada variable en la mejora del sistema de gestión de las mediciones de la Empresa Termoeléctrica Cienfuegos. Debe conocer que:

- 1- La variable no influye.
- 2- La variable influye poco.
- 3- La variable influye en alguna medida.
- 4- La variable influye mucho.
- 5- La variable influye en gran medida.

Variables	1	2	3	4	5
Verificación y calibración					
Estado de la conformidad metrológica de los instrumentos de medición					
Estado de los patrones de medición, tanto internos como externos					
Trazabilidad de las mediciones					
Recursos Humanos					

Anexo No.12

Estadístico de prueba W de Kendall y rangos promedios para la obtención de las variables críticas de calidad de mayor influencia en la Empresa Termoeléctrica

Cienfuegos. Fuente: SPSS v.22.

Estadísticos de prueba

N	11
W de Kendall ^a	.776
Chi-cuadrado	42.679
gl	5
Sig. asintótica	.000

a. Coeficiente de concordancia de Kendall

W de Kendall = 0,776 Se considera aceptable por lo que existe concordancia entre los expertos.

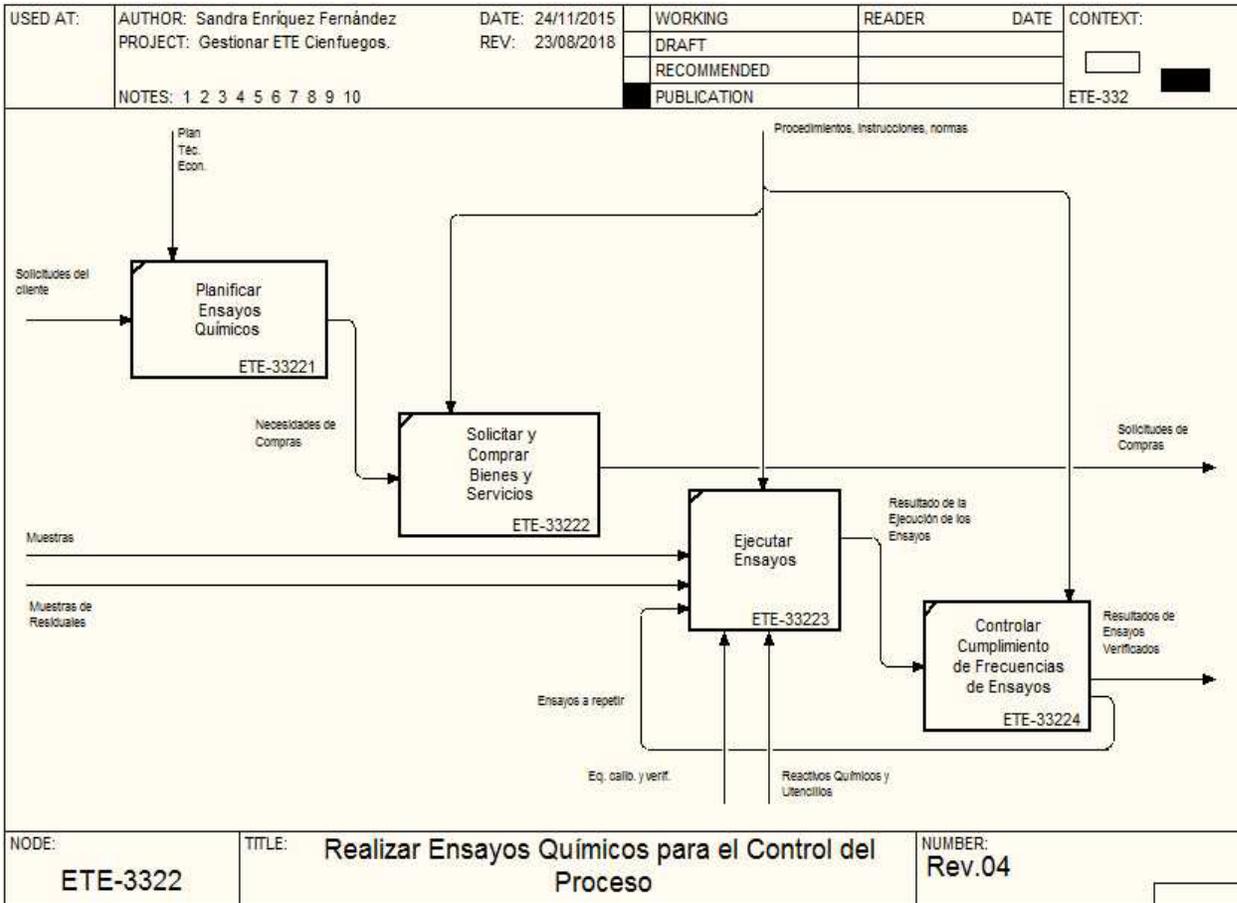
Rangos

	Rango promedio
Verificación y Calibración	4.91
Estado de la conformidad metrológica de los instrumentos de medición	2.64
Estado de los patrones de medición, tanto internos como externos	2.00
Trazabilidad de las mediciones	4.95
Recursos Humanos	1.82

Las variables que tienen menores rangos promedios son: Estado de la conformidad metrológica de los instrumentos de medición, estado de los patrones de medición, tanto internos como externos y recursos humanos.

Anexo No. 13

Mapa de proceso Realizar Ensayos Químicos. Fuente: Empresa Termoeléctrica Cienfuegos



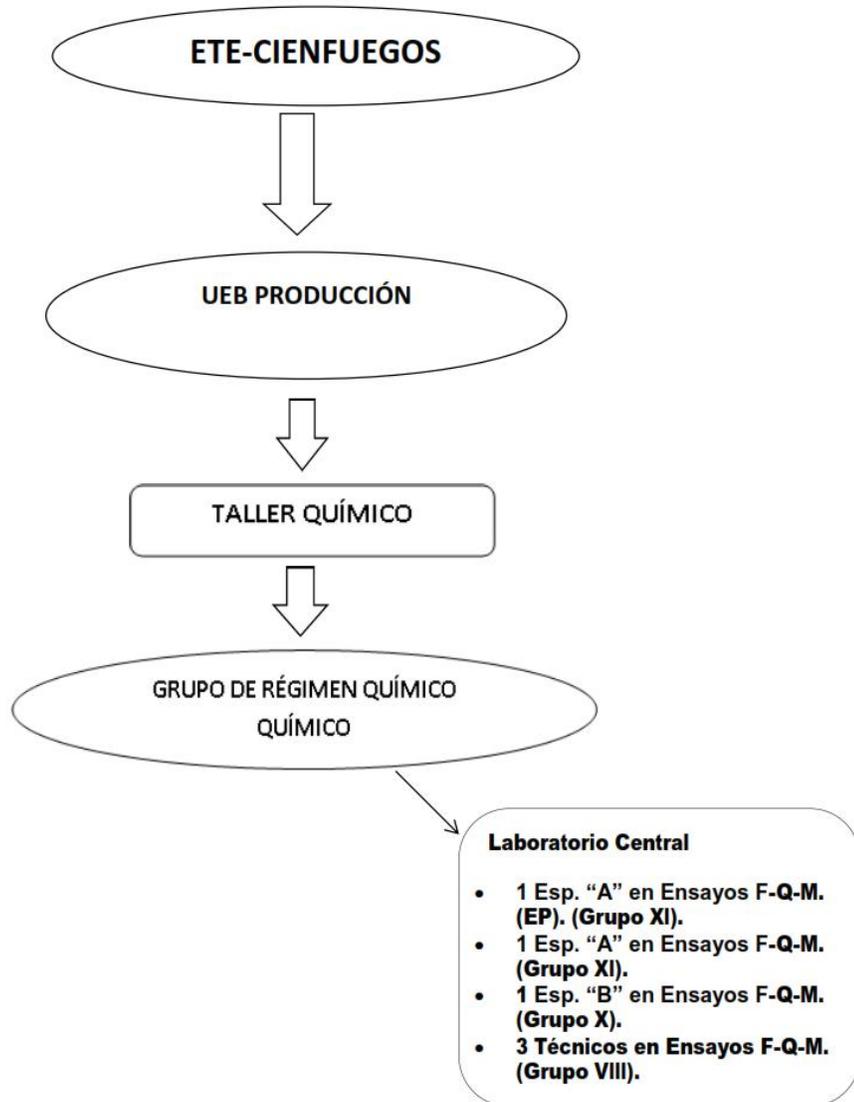
NODE:
ETE-3322

TITLE: **Realizar Ensayos Químicos para el Control del Proceso**

NUMBER:
Rev.04

Anexo No. 14

Organigrama del Laboratorio Central. Fuente: Empresa Termoelectrica Cienfuegos.



Anexo No. 15

Ficha del proceso Realizar Ensayos Químicos. Fuente: Empresa Termoeléctrica Cienfuegos

	MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS UNIÓN ELÉCTRICA CARPETA DE PROCESO	Código: ETE-3322 Revisión: 01 Pág.: 1 de: 4
---	--	---

DENOMINACIÓN DEL PROCESO: Realizar Ensayos Químicos para el Control del Proceso.		
	Nombre y Apellidos / Cargo / Organización	Firma
Preparado	Osvaldo Pérez Álvarez / Esp. 'A' en Ensayos F, Q y M (EP) / ETE Cfgos.	
Acordado	M ^a . Cristina Pérez R. / Esp. 'A' en Ensayos F-Q-M / ETE Cfgos.	
	Osdeny Chaviano G. / Esp. "B" en Ensayos F-Q-M / ETE Cfgos.	
	Sandra Enríquez Fdez. / Esp. Calidad / ETE Cfgos.	
	Lissett Fdez. Feitó / Esp. Calidad / ETE Cfgos.	
Aprobado	José Manuel Iglesias L. / J' Taller Químico / ETE Cfgos.	

**Objetivo del Proceso:**

Evaluar la calidad del combustible, aceite, agua y realizar ensayos para el control del Régimen Químico y el Medio Ambiente.

Responsable: Jefe del Taller Químico.

Descripción del Proceso:

El proceso consta de 4 subprocesos que van desde la planificación de los ensayos químicos, la solicitud y compra de bienes y servicios, la ejecución de los ensayos hasta el control del cumplimiento de la frecuencia de análisis.

Procesos Suministradores:

1. Dirigir Organización.
2. Establecer Comunicación Empresarial
3. Gestionar Recursos Humanos.
4. Gestionar Informática.
6. Comprar Productos y Servicios.
7. Gestionar Recursos Financieros.
8. Regular Seguridad y Salud en el Trabajo.
9. Regular Seguridad y Protección.
10. Gestionar Medio Ambiente.
11. Regular Protección contra Incendios.
12. Brindar Servicios.
13. Gestionar Mejora y Cambios.
14. Controlar Equipos de Medición.
15. Tratar Químicamente el Agua.
16. Operar Planta.

Procesos Clientes:

1. Dirigir Organización.
2. Establecer Comunicación Empresarial
3. Gestionar Recursos Humanos.
4. Gestionar Informática.
6. Comprar Productos y Servicios.
7. Gestionar Recursos Financieros.
8. Regular Seguridad Informática.
9. Regular Seguridad y Protección.
10. Gestionar Medio Ambiente.
11. Regular Protección contra Incendios.
12. Brindar Servicios.
13. Gestionar Mejora y Cambios.
14. Regular Seguridad y Salud en el Trabajo.
15. Operar Planta.
16. Tratar Químicamente el Agua.
17. Realizar Servicios de Lubricación de Mto.

Criterios de Aceptación:

- 1- Analizar los parámetros Químicos de Explotación a partir de la realización de la Frecuencia de Análisis.
- 2-Cumplir y analizar el monitoreo de los vertimientos de residuales según el Gráfico de Control Analítico.

Registros:

- 1- TC-OQ 0120.A4 Agua Cruda Entrada a la Central.
- 2- TC-OQ 0125.A2 Agua de Alimentar.
- 3- TC-OQ 0125.A3 Condensado.
- 4- TC-OQ 0132.A3 Tanques de Agua Desmineralizada.
- 5- TC -ON 0004.A1-5 Registro de cálculo para la determinación del contenido de agua por destilación.
- 6- TC-ON 0004.A1-2 Registro de cálculo para la determinación de viscosidad cinemática en productos del petróleo.
- 7- TC-ON 0004.A1-1 Registro de cálculo para la determinación de Gravedad Específica en productos del petróleo.
- 8- TC-ON 0004.A1-7 Registro de cálculo para la determinación del valor calórico por cálculo.
- 9- TC-ON 0004.A1-12 Registro de cálculo para la determinación del valor calórico por Equipo.
- 10- TC-ON 0004.A5 Frecuencia de Análisis.
- 11- TC-ON 0004.A5-5 Gráfico de Control Analítico.
- 12- TC-OQ 0113.A2 Residuales Oleosos.
- 13- Registro de Agua de Mar
- 14-REQ-01 Registro Primario para Analizar los parámetros Químicos de Explotación.
- 15-REQ-02 Registro Primario para analizar el monitoreo de los vertimientos de residuales según el gráfico de control analítico.
- 16- TC-GQ 0002.A5 Control de Documentos Legales y Reglamentarios.
- 17- TC-GQ 0002.A3 Lista de Control de Documentos y Registros.

Diagrama del Proceso: Ver anexo ETE-3322 del Mapa Gestionar ETE Cienfuegos.



MEDICION DE LA EFICACIA.

No	Indicadores de Eficacia	Periodo de Evaluación:			
		1er Trim.	2do Trim.	3er Trim.	4to Trim.
1	Analizar los parámetros Químicos de Explotación a partir de la realización de la Frecuencia de Análisis para no afectar los indicadores de producción. $\geq 95\%$ = 5; entre 85 % y 94% = 4; entre el 70 % y 84 % = 3 y $< 70\%$ = 2.				
2	Cumplir y analizar el monitoreo de los vertimientos de residuales según el Gráfico de Control Analítico. $\geq 90\%$ = 5; entre 80 % y 89% = 4; entre el 88 % y 70 % = 3 y $< 70\%$ = 2.				
Evaluación Promedio Total					
Evaluación Anual					
Eficacia del Proceso (≥ 4)		Si		No	

Trim	Evaluated por:	Cargo	Fecha	Firma
1	Oswaldo Pérez Álvarez	Esp. Químico		
2	Oswaldo Pérez Álvarez	Esp. Químico		
3	Oswaldo Pérez Álvarez	Esp. Químico		
4	Oswaldo Pérez Álvarez	Esp. Químico		
Trim	Aprobado por:	Cargo	Fecha	Firma
1	José Manuel Iglesias L.	J' Taller Químico		
2	José Manuel Iglesias L.	J' Taller Químico		
3	José Manuel Iglesias L.	J' Taller Químico		
4	José Manuel Iglesias L.	J' Taller Químico		

Documentos de Referencia

Código	Denominación	Edición
TC-OQ 0509	Identificación, Toma de Muestras y recepción.	Vigente
TC-OQ 0122	Determinación de Cloruros en Aguas.	Vigente
TC-OQ 0130	Determinación de Hierro en Aguas Industriales.	Vigente
TC-OQ 0134	Determinación de Sílice en Aguas Industriales.	Vigente
TC-OQ 0135	Determinación de Turbiedad en Aguas Industriales.	Vigente
TC-OQ 0125	Determinación de Amoniaco en Aguas Industriales.	Vigente
TC-OQ 0127	Determinación de Cobre en Aguas Industriales.	Vigente
TC-OQ 0133	Determinación de Oxígeno disuelto en Aguas Industriales.	Vigente
TC-PS 0009	Seguridad y Salud del Trabajo para los laboratorios Químicos.	Vigente
TC-OQ 0101	Determinación del Contenido de Agua en Productos del Petróleo.	Vigente
TC-OQ 0102	Determinación de la Gravedad Específica en productos del Petróleo.	Vigente
TC-OQ 0103	Determinación de Viscosidad Cinemática en Productos del Petróleo.	Vigente
TC-OQ 0178	Determinación del Valor Calórico del Combustible a través del Calorímetro IKA C 5000.	Vigente
UD-IG MA 04	Comunicación y Captación de la Información del Sistema de Gestión Ambiental.	Vigente
TC-OQ 0104	Determinación del Contenido de Azufre en Petróleo	Vigente
TC-OQ 0105	Determinación del Contenido de Cenizas en Petróleo.	Vigente
TC-OQ 0113	Determinación del Contenido de Aceites y Grasas en Residuales Oleosos.	Vigente
TC-OQ 0137	Determinación de Materia Sedimentable en Residuales.	Vigente
TC-ON 0007	Servicio al Cliente, revisión de los Pedidos y tratamiento a las Quejas.	Vigente
TC-ON 0004	Tratamiento a los Ítems de Ensayos.	Vigente
TC-OQ 0132	Determinación de pH en Aguas.	Vigente
TC-GQ 0002, 0012 y 0015	Procedimientos Obligatorios de Calidad.	Vigente
MGE-ETE	Manual de Gestión Empresarial.	Vigente



MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS
UNIÓN ELÉCTRICA
CARPETA DE PROCESO

Código: ETE-3322
Revisión: 01
Pág.: 4 de: 4

Generalidades: Para la integración de los indicadores de eficacia con las normas del Sistema de Gestión se tiene que en su totalidad todos forman parte de los indicadores del sistema de pago de Capital Humano. El indicador 1 está relacionado con el Medio Ambiente y con el Sistema de Gestión de la Energía. El indicador 2 está relacionado con el Medio Ambiente.

Partes interesadas: Trabajadores, directivos, MINEM, UNE, CITMA, INEL Habana, ATI Villa Clara, OTN

Riesgos: Son abordados a través del Plan de Prevención por la Resolución 60/2011.

Oportunidades: Son tratadas a través del plan de acción para abordar las necesidades de la organización o la del cliente.

Anexo No. 16

Ensayos químicos del Laboratorio Central. Fuente: Elaboración Propia.

Tipo de muestra	Ensayos que se realizan	Objetivos	Normas y procedimientos
Aguas de la Planta de tratamiento de Agua	Determinaciones de Cloruros, Sílice, Turbiedad, Alcalinidad, Dureza, pH, Conductividad, Materia orgánica, CO2, entre otros	Caracterizar el agua cruda que entra al proceso, controlar las aguas intermedias de las diferentes etapas del proceso de tratamiento (Agua de Cationes, Aniones, Descarbonatador y Lechos mezclados) y controlar químicamente el agua desmineralizada producida por dicha planta(Tanques de agua desmineralizada) y que va a ser utilizada en las calderas para generar vapor.	TC-OQ 0122, NC ISO 9297:2009, TC-OQ 0134, TC-OQ 0135, TC-OQ 0121. NC ISO 9963-1:2010, NC ISO 9963-2:2011,TC-OQ 0120, TC-OQ 0132, TC-OQ 0141, TC-OQ 0187.
Aguas y vapores del Régimen químico	Determinaciones de Amoniac, Oxígeno disuelto, Sílice , pH y Conductividad entre otros..	Garantizar un control del régimen químico para que este se mantenga estable y en los parámetros adecuados para obtener un vapor de calidad sin que ocurran daños a las calderas como son: incrustaciones, corrosión, deposiciones, etc	TC-OQ 0125, TC-OQ 0133, TC-OQ 0140, TC-OQ 0134, TC-OQ 0132, TC-OQ 0187
Petróleo	Determinaciones de viscosidad cinemática, densidad, contenido de agua, valor calórico, Cenizas, Asfaltenos, Carbón conradson, Hidrógeno, Carbono y Temperatura de Inflamación.	Caracterizar el combustible a consumir para determinar la temperatura a quemar, garantizar condiciones de almacenamiento adecuadas y contribuir con estos datos al Cálculo del Consumo específico por el Grupo de Régimen.	NC ASTM D 445:2021, TC-OQ 0103, NC ASRM D 1298:2020, TC-OQ 0101, TC-OQ 0111, NC ASTM D 93:2019, TC-OQ 0110.
Aceites lubricantes	Determinaciones de Viscosidad, densidad, contenido de agua, No. de demulsificación , No. de neutralización y Temperatura de Inflamación	Caracterizar los aceites lubricantes que serán utilizados en toda la planta y controlar la calidad de los mismos en su explotación para garantizar que cumplan su función de forma correcta.	NC ASTM D 445:2021, TC-OQ 0103, NC ASRM D 1298:2020, NC ASTM D 93:2019, TC-OQ 0110.

Residuales Líquidos (Residuales de PTQA, Aguas oleosas, Aguas de enfriamiento del canal de entrada y salida)	Temperatura, pH, Conductividad y Contenido de Aceites y grasas	Caracterizar los residuales oleosos para monitorear los vertimientos y que estos cumplan con las normas de vertimiento según la NC 521:2007	TC-OQ 0132, TC-OQ 0187, TC-OQ 0113.
Incrustaciones, sedimentos, etc	Caracterización completa	Esto se realiza en los mantenimientos con la revisión del domo, condensador ,etc	

Anexo No. 17

Viscosímetros de capilar de vidrio Setavis Kinematic. Fuente: Empresa Termoeléctrica Cienfuegos.



Anexo No. 18

**Plan para el estudio del nivel sigma en la Empresa Termoeléctrica Cienfuegos. Fuente:
Elaboración propia.**

Variables	Tipo de estándar de desempeño	LIE	LSE	Forma de recolectar los datos
Calibración	Mayor es mejor	-	100%	Colectar los datos de los planes de calibración, certificados de calibración, informes técnicos mensuales e informes trimestrales de cumplimiento de plan de calibración.
Verificación	Mayor es mejor	-	100%	Colectar los datos de los planes de verificación, certificados de verificación, informes técnicos mensuales e informes trimestrales de cumplimiento de plan de verificación.
Trazabilidad de las mediciones	Mayor es mejor	-	100 %	Colectar los datos de los certificados de verificación y/o calibración, del Plan de Inversiones, Modelo de la ONN Tabla 1. Relación de instrumentos de medición sin trazabilidad metrológica.
Calidad de las mediciones	Menor es mejor (lo ideal es que tienda a 0, es decir, a menor porcentaje de variabilidad de las mediciones, mayor calidad)	0	30%	Colectar datos de resultados de estudios R&R a ensayos de laboratorio químico, controles internos de calidad y estudios estadísticos

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

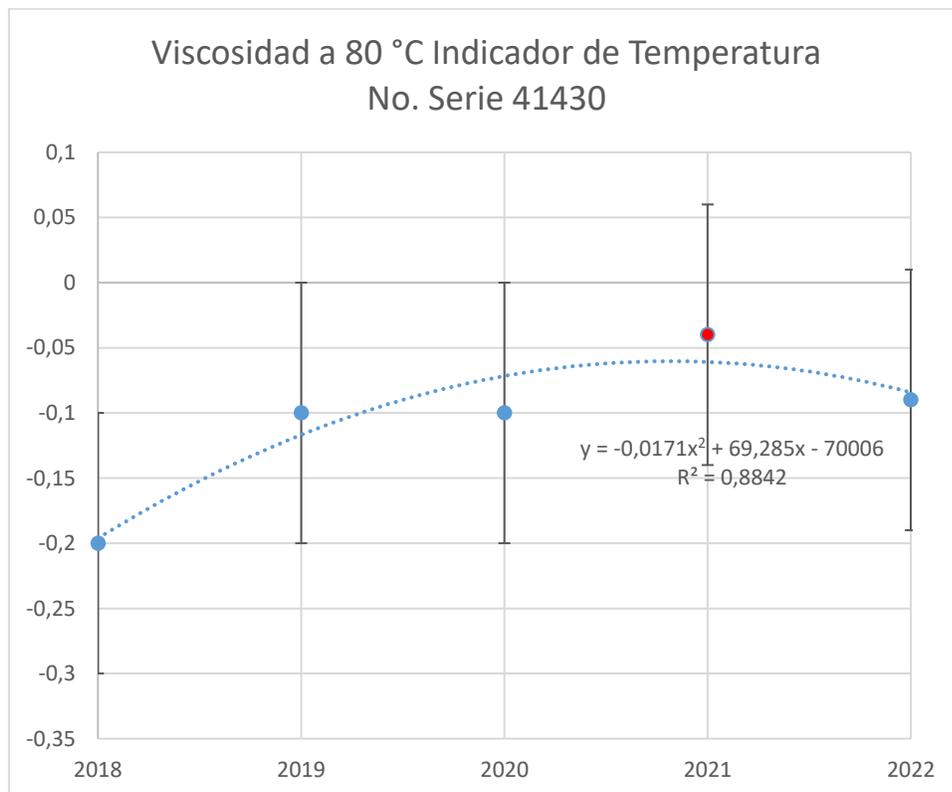
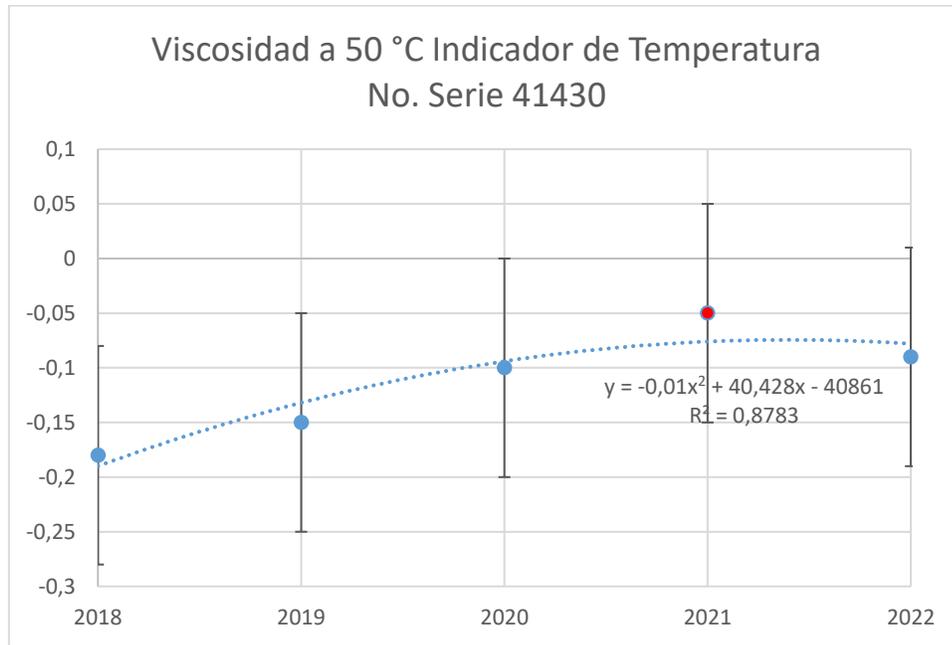
Anexo No. 19

Principales procesos relacionados con la actividad metrológica. Fuente: Elaboración propia.

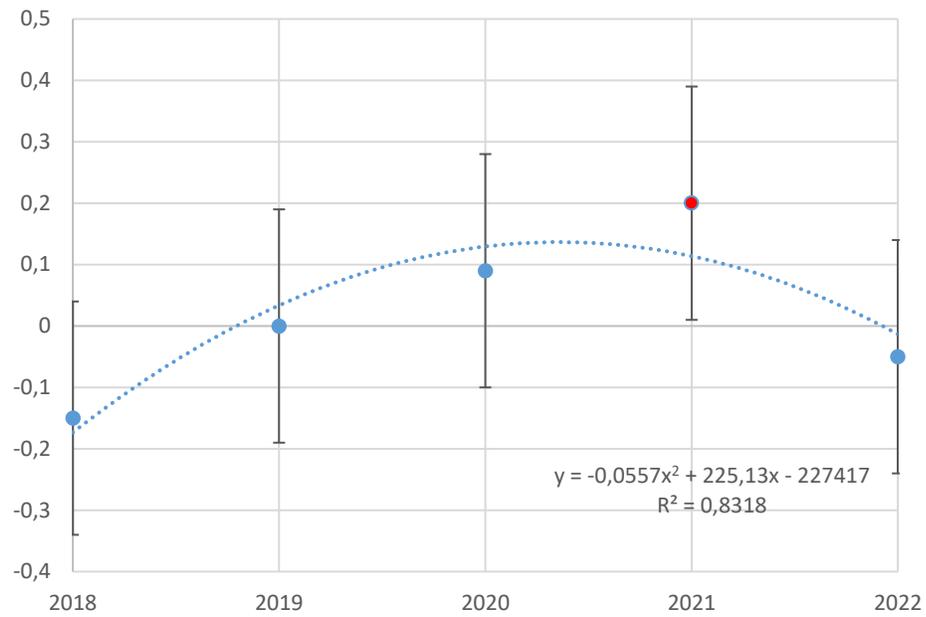
- ETE-15 Controlar Portadores Energéticos.
- ETE-2422 Controlar Equipos de Medición.
- ETE-24232 Realizar Servicios de Maquinado.
- ETE-24233-1 Realizar Servicios Eléctricos de Mantenimiento.
- ETE-24233-2 Realizar Servicios Automáticos de Mantenimiento.
- ETE-24233-3 Realizar Servicios Mecánicos de Mantenimiento.
- ETE-24233-4 Realizar Servicios de Lubricación.
- ETE-242341 Inspeccionar Mantenimiento.
- ETE-242342 Gestionar Diagnóstico Integral basado en la Condición.
- ETE-2622 Gestionar Sistema Medioambiental.
- ETE-2623 Gestionar Protección Contra Incendios (PCI).
- ETE-2624 Regular Seguridad y Salud del Trabajo.
- ETE-3 Generar Energía Eléctrica.
- ETE-3321 Tratar Químicamente el Agua.
- ETE-3322 Realizar Ensayos Químicos.
- ETE-333 Operar Planta.
- ETE-334 Medir y Monitorear Producto y Procesos de Generación.

Anexo No. 20

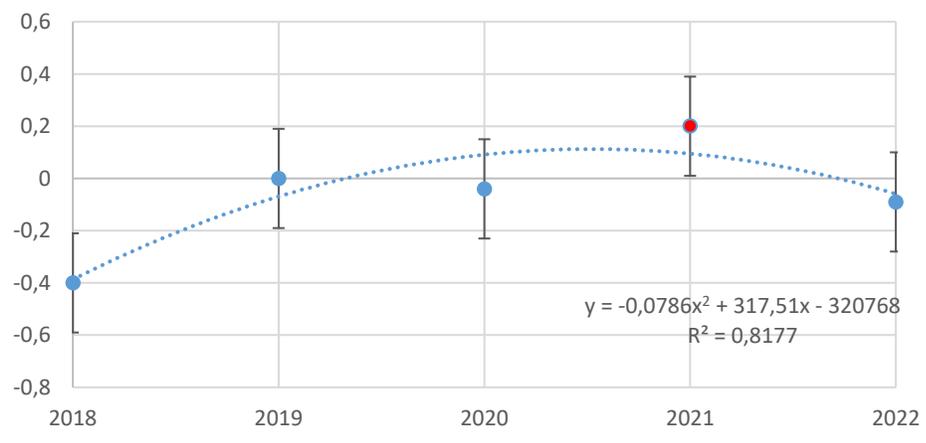
Gráficos de dispersión para los indicadores de temperatura instalados en los viscosímetros. Fuente: Elaboración propia.



Viscosidad a 50 °C Indicador de Temperatura
No. Serie 7673



Viscosidad a 80 °C Indicador de Temperatura
No. Serie 7673



Anexo No.21

Determinación del período de calibración para los instrumentos instalados en los viscosímetros. Fuente: Elaboración propia.

Instrumento	Magnitud	No. de serie	Marca/Modelo	Intervalo de Medida	No. de Serie Viscosímetro	EMP
Indicador digital	Temperatura	41430	STANHOPE SETA APEM-3011	0°C a 100°C	R650	1.30
Resultados de las dos últimas calibraciones						
Punto de medición	Fecha penúltima		2020	Fecha última		2022
	Error de indicación	U(X) con K=2	Ec1=±Error ±U con K=2	Error de indicación	U(X) con K=2	Ec2=±Error ±U con K=2
0.00	0.00	0.18	0.18	-0.02	0.10	0.08
40.00	0.18	0.18	0.36	0.00	0.10	0.10
50.00	-0.05	0.18	0.13	-0.09	0.10	0.01
80.00	-0.04	0.18	0.14	-0.09	0.10	0.01
100.00	-0.10	0.18	0.08	-0.10	0.10	0.00
	Tolerancia T=EMP-Ec2	Desviación Ds=Ec1-Ec2	Deriva D=Ds /((t2-t1)*12)	Intervalo de calibración (meses) Tc=T/D		
	1.22	0.10	0.01	146.40	55	
	1.20	0.26	0.02	55.38		
	1.29	0.12	0.01	129.00		
	1.29	0.13	0.01	119.08		
	1.30	0.08	0.01	195.00		

Instrumento	Magnitud	No. de serie	Modelo	Intervalo de Medida	No. de Serie Viscosímetro	EMP
Cronómetro digital	Tiempo	MB411430	SETA TIME	0s a 999.99s	R650	10.00
Resultados de las dos últimas calibraciones						
	Fecha penúltima		2020	Fecha última		2022
Punto de medición	Error de indicación	U(X) con K=2	Ec1=±Error ±U con K=2	Error de indicación	U(X) con K=2	Ec2=±Error ±U con K=2
0.00	-1.00	0.40	-0.60	0.00	0.37	0.37
250.00	-2.00	0.40	-1.60	-4.00	0.37	-3.63
500.00	-2.00	0.40	-1.60	0.00	0.37	0.37
750.00	2.00	0.40	2.40	-3.00	0.37	-2.63
999.99	1.00	0.40	1.40	-2.00	0.37	-1.63
	Tolerancia $T=EMP-Ec2$	Desviación $Ds=Ec1-Ec2$	Deriva $D=Ds / (t2-t1)*12$	Intervalo de calibración (meses) $Tc=T/D$		
	9.63	-0.97	0.08	119.13	30	
	13.63	2.03	0.17	80.57		
	9.63	-1.97	0.16	58.66		
	12.63	5.03	0.42	30.13		
	11.63	3.03	0.25	46.06		

Instrumento	Magnitud	No. de serie	Modelo	Intervalo de Medida	Viscosímetro No. de Serie	EMP
Cronómetro digital	Tiempo	MB7673	SETA TIME	0s a 999.99s	1023877	10.00
Resultados de las dos últimas calibraciones						
Punto de medición	Fecha penúltima		2020	Fecha última		2021
	Error de indicación	U(X) con K=2	Ec1=±Error ±U con K=2	Error de indicación	U(X) con K=2	Ec2=±Error ±U con K=2
0.00	-1.00	0.45	-0.55	0.00	0.35	0.35
250.00	-3.00	0.45	-2.55	-2.00	0.35	-1.65
500.00	-3.00	0.45	-2.55	-2.00	0.35	-1.65
750.00	-4.00	0.45	-3.55	-1.00	0.35	-0.65
999.99	-4.00	0.45	-3.55	-2.00	0.35	-1.65
	Tolerancia $T=EMP-Ec2$	Desviación $Ds=Ec1-Ec2$	Deriva $D=Ds/(t2-t1)*12$	Intervalo de calibración (meses) $Tc=T/D$		
	9.65	-0.90	0.08	128.67	44	
	11.65	-0.90	0.08	155.33		
	11.65	-0.90	0.08	155.33		
	10.65	-2.90	0.24	44.07		
	11.65	-1.90	0.16	73.58		

Anexo No.22

Programa de Comparación de Mediciones Intralaboratorios de Ensayos de Viscosidad Cinemática del Laboratorio Central de la Empresa Termoeléctrica Cienfuegos. Fuente: Elaboración propia.

	Comparación de Mediciones Intralaboratorios de Ensayos de Viscosidad del Laboratorio Central de la Empresa Termoeléctrica Cienfuegos		
<input checked="" type="checkbox"/> Programa <input type="checkbox"/> Informe Final			
TIPO DE PROGRAMA Y DATOS			
Estudio experimental de intracomparaciones de mediciones entre dos instrumentos similares			
UBICACIÓN Laboratorio Central Empresa Termoeléctrica Cienfuegos		DIRECCIÓN O' Bourke N. 914, Zona Industrial N. 1, Cienfuegos	
JEFE DE LABORATORIO Ing. María Cristina Pérez Romo			
ANALISTA Dayaisy Miranda Martínez			
PLAN DEL PROGRAMA			
FECHA DE ENTREGA DE MUESTRA		FECHA DE DESARROLLO	
11/10/2022		DESDE: 11/10/2022	HASTA: 18/10/2022
OBJETIVOS Determinar si los resultados proporcionados por diferentes equipos de medida pueden ser considerados iguales o intercambiables desde un punto de vista estadístico al identificar la existencia o no de diferencias significativas entre sus mediciones. Seleccionar un equipo "patrón", a tomar como referencia en otros estudios.			
ENSAYOS A REALIZAR Determinación de viscosidad cinemática de aceite lubricante a 40°C			
METODO DE ENSAYO <ul style="list-style-type: none"> • NC ISO ASTM D445:2021 "Industria del petróleo-método de ensayo estándar para viscosidad cinemática de líquidos transparentes y opacos (y cálculo de la viscosidad dinámica)" • TC-OQ 0103 Determinación de viscosidad cinemática en productos del petróleo. 			
TIPO DE MUESTRA Aceite lubricante Reductor 680			
EQUIPOS DE MEDICION			
Viscosímetro No.1 Viscosímetro capilar de vidrio Setavis Kinematic Viscosimeter, Modelo 6354-3, No. de Serie 1023877, MB 7673		Viscosímetro No.2 Viscosímetro capilar de vidrio Setavis Kinematic Viscosimeter, Modelo 83541-3, No. de Serie R650, MB 411430	
Capilar No. 1959	Rango 600 mm ² /s a 1200 mm ² /s	Capilar No. 1956	Rango 600 mm ² /s a 1200 mm ² /s
MATERIALES Se deben asegurar envases apropiados para evitar la degradación o cambio que puedan afectar a las características del ítem, solvente tolueno al 99% para la limpieza del viscosímetro y el almacenamiento adecuado en caso de ser necesario.			
RESUMEN DEL ANÁLISIS ESTADÍSTICO Determinación del tamaño de la muestra Prueba de normalidad (Estadístico W de Shapiro-Wilk) Prueba de identificación de valores atípicos (Prueba de Grubbs y Prueba de Dixon) Prueba de comparación de medias (Prueba t Student) Prueba de comparación de desviaciones estándar (Prueba F de Snedecor)			
OBSERVACIONES			
FIRMA DEL JEFE DE LABORATORIO		FIRMA DEL ANALISTA	
			

Anexo No.23

Determinación del tamaño de muestra para comparación intralaboratorio. Fuente: Statgraphics Centurion XV.

Parámetro a estimar: diferencia entre dos medias

Potencia deseada: 80.0% para la diferencia = 0.0 versus diferencia = 2.5

Tipo de alternativa: no igual

Riesgo alfa: 5.0%

Sigma: 2.0 (por estimar)

El tamaño de muestra requerido es de **12 observaciones** para la muestra 1 y **12 observaciones** para la muestra 2.

Este procedimiento determina el tamaño de muestra requerido para comparar las medias de dos poblaciones. Asumiendo que las desviaciones estándar sean igual a 2.0 por datos históricos, se requieren 12 observaciones en la primera muestra y de 12 en la segunda, para tener un 80.0% de probabilidad de rechazar la hipótesis de que $\mu_1 - \mu_2 = 0.0$ cuando la verdadera $\mu_1 - \mu_2 = 2.5$.

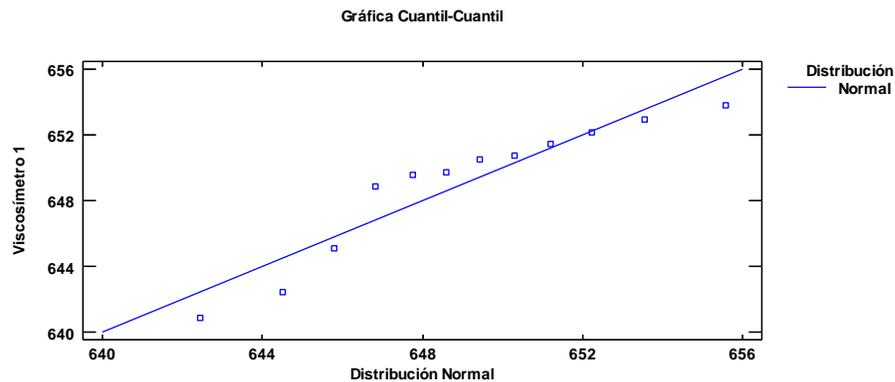
Anexo No.24

Pruebas de normalidad para las mediciones de los Viscosímetros 1 y 2. Fuente: Statgraphics Centurion XV.

Pruebas de Normalidad para Viscosímetro 1

<i>Prueba</i>	<i>Estadístico</i>	<i>Valor-P</i>
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0.882775	0.0908646

Esta ventana muestra los resultados de diversas pruebas realizadas para determinar si las mediciones realizadas por el Viscosímetro 1 pueden modelarse adecuadamente con una distribución normal. La prueba de Shapiro-Wilk está basada en la comparación de los cuantiles de la distribución normal ajustada a los datos. Debido a que el valor-P más pequeño de las pruebas realizadas es mayor ó igual a 0.05, no se puede rechazar la idea de que las mediciones del Viscosímetro 1 provienen de una distribución normal con 95% de confianza.

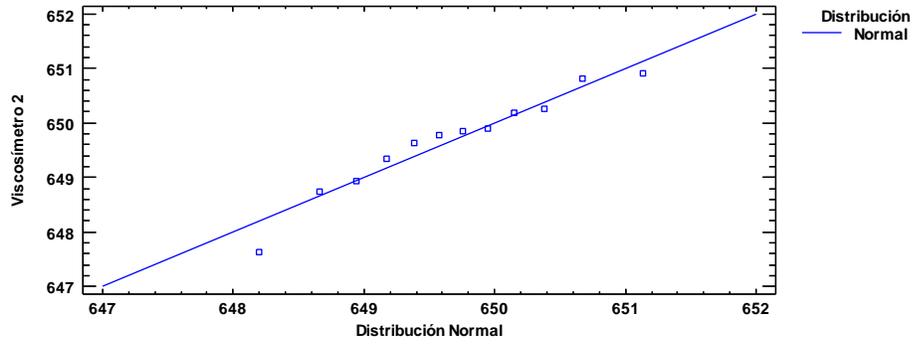


Pruebas de Normalidad para Viscosímetro 2

<i>Prueba</i>	<i>Estadístico</i>	<i>Valor-P</i>
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0.946879	0.549185

Esta ventana muestra los resultados de diversas pruebas realizadas para determinar si las mediciones realizadas por el Viscosímetro 2 pueden modelarse adecuadamente con una distribución normal. La prueba de Shapiro-Wilk está basada en la comparación de los cuantiles de la distribución normal ajustada a los datos. Debido a que el valor-P más pequeño de las pruebas realizadas es mayor ó igual a 0.05, no se puede rechazar la idea de que las mediciones del Viscosímetro 2 provienen de una distribución normal con 95% de confianza.

Gráfica Cuantil-Cuantil



Anexo No.25

Identificación de valores aberrantes o atípicos en las mediciones de los Viscosímetros 1 y 2. Fuente: Statgraphics Centurion XV.

Identificación de Valores Atípicos - Viscosímetro 2

Datos/Variable: Viscosímetro 1

12 valores con rango desde 640.834 a 653.839

Número de valores actualmente excluidos: 0

Estimados de Localización

Media muestral	649.016
Mediana muestral	650.107
Media recortada	649.67

Recorte: 15.0%

Estimados de Escala

Desviación estándar muestral	4.11804
DAM/0.6745	2.54485
Sbi	3.77293

Intervalos de confianza del 95.0% para la media

	<i>Límite Inferior</i>	<i>Límite Superior</i>
Estándar	646.4	651.633

Valores Ordenados

		<i>Valores Estudentizados</i>	<i>Valores Estudentizados</i>	<i>Modificados</i>
<i>Fila</i>	<i>Valor</i>	<i>Sin Supresión</i>	<i>Con Supresión</i>	<i>Valor-Z DAM</i>
6	640.834	-1.98695	-2.64948	-3.64383
3	642.421	-1.60157	-1.92921	-3.02022
12	645.1	-0.951018	-1.03678	-1.9675
5	648.871	-0.0352918	-0.0367108	-0.485687
8	649.6	0.141734	0.14757	-0.199226
...				
9	650.718	0.413222	0.433495	0.240093
4	651.446	0.590005	0.624564	0.526161
1	652.201	0.773345	0.829359	0.822839
11	652.952	0.955713	1.04241	1.11794
2	653.839	1.17111	1.3105	1.46649

Prueba de Grubbs' (asume normalidad)

Estadístico de prueba = 1.98695

Valor-P = 0.354369

Prueba de Dixon (asume normalidad)

	<i>Estadístico</i>	<i>Prueba al 5%</i>	<i>Prueba al 1%</i>
1 aberrante por derecha	0.0776844	No sig.	No sig.
1 aberrante por izquierda	0.130962	No sig.	No sig.
2 aberrantes por derecha	0.143458	No sig.	No sig.

2 aberrantes por izquierda	0.352038	No sig.	No sig.
1 aberrante en cada lado	0.12203	No sig.	No sig.

Este análisis identifica y trata posibles valores aberrantes en muestras de poblaciones normales. La parte superior de la página muestra los estimados comunes de la media y la desviación estándar, junto con estimados diseñados para ser resistentes a observaciones aberrantes. Por ejemplo, para los 12 valores de Viscosímetro 1, la media y sigma son 649.016 y 4.11804, respectivamente.

La tabla en la mitad de la salida muestra los valores más pequeños y los más grandes de Viscosímetro 1. Los valores Estudentizados miden a cuántas desviaciones estándar se encuentra cada valor de la media muestral de 649.016. El valor más extremo se encuentra en la fila 6, el cual es 1.98695 desviaciones estándar de la media. Puesto que el valor-P para la prueba de Grubb es mayor o igual que 0.05, ese valor no es un aberrante significativo con un nivel de significancia del 5.0%, asumiendo que todos los demás valores siguen una distribución normal. Se muestran calificaciones similares al calcular las estadísticas muestrales después de eliminar cada punto, uno a la vez, al igual que cuando la media y la desviación estándar están basadas en la desviación absoluta de la mediana (DAM). Valores de las calificaciones modificadas mayores que 3.5 en valor absoluto, de las cuales hay 1, bien podrían ser observaciones aberrantes. También se realizó la prueba de Dixon. En este caso, indica que no hay aberrantes significativos.

Identificación de Valores Atípicos - Viscosímetro 2

Datos/Variable: Viscosímetro 2

12 valores con rango desde 647.623 a 650.921

Número de valores actualmente excluidos: 0

Estimados de Localización

Media muestral	649.665
Mediana muestral	649.809
Media recortada	649.737

Recorte: 15.0%

Estimados de Escala

Desviación estd. muestral	0.918043
DAM/0.6745	0.676056
Sbi	0.854299

Intervalos de confianza del 95.0% para la media

	<i>Límite Inferior</i>	<i>Límite Superior</i>
Estándar	649.082	650.249

Valores Ordenados

		Valores Estudentizados	Valores Estudentizados	Modificados
Fila	Valor	Sin Supresión	Con Supresión	Valor-Z DAM
11	647.623	-2.22466	-3.2428	-3.23272
1	648.749	-0.998138	-1.09364	-1.56718
2	648.937	-0.793354	-0.852227	-1.28909
3	649.339	-0.355466	-0.372074	-0.694469
12	649.634	-0.0341306	-0.0355027	-0.258115
...				
9	649.902	0.257795	0.269031	0.138302
4	650.197	0.579131	0.612653	0.574656
7	650.251	0.637951	0.67737	0.654531
8	650.814	1.25121	1.41599	1.4873
10	650.921	1.36776	1.5764	1.64557

Prueba de Grubbs' (asume normalidad)

Estadístico de prueba = 2.22466

Valor-P = 0.133921

Prueba de Dixon (asume normalidad)

	Estadístico	Prueba al 5%	Prueba al 1%
1 aberrante por derecha	0.0492634	No sig.	No sig.
1 aberrante por izquierda	0.352867	No sig.	No sig.
2 aberrantes por derecha	0.308471	No sig.	No sig.
2 aberrantes por izquierda	0.411783	No sig.	No sig.
1 aberrante en cada lado	0.341419	No sig.	No sig.

Este análisis identifica y trata posibles valores aberrantes en muestras de poblaciones normales. La parte superior de la página muestra los estimados comunes de la media y la desviación estándar, junto con estimados diseñados para ser resistentes a observaciones aberrantes. Por ejemplo, para los 12 valores de Viscosímetro 2, la media y sigma son 649.665 y 0.918043, respectivamente.

El valor más extremo se encuentra en la fila 11, el cual es 2.22466 desviaciones estándar de la media. Puesto que el valor-P para la prueba de Grubb es mayor o igual que 0.05, ese valor no es un aberrante significativo con un nivel de significancia del 5.0%, asumiendo que todos los demás valores siguen una distribución normal. Se muestran calificaciones similares al calcular las estadísticas muestrales después de eliminar cada punto, uno a la vez, al igual que cuando la media y la desviación estándar están basadas en la desviación absoluta de la mediana (DAM). Valores de las calificaciones modificadas mayores que 3.5 en valor absoluto, de las cuales hay 0, bien podrían ser observaciones aberrantes. También se realizó la prueba de Dixon. En este caso, indica que no hay aberrantes significativos.

Anexo No.26

Comparación de dos muestras. Mediciones Viscosímetros 1 y 2. Fuente: Statgraphics Centurion XV.

Comparación de Medias

Intervalos de confianza del 95.0% para la media de Viscosímetro 1: 649.016 +/- 2.61649 [646.4, 651.633].

Intervalos de confianza del 95.0% para la media de Viscosímetro 2: 649.665 +/- 0.583298 [649.082, 650.249].

Intervalos de confianza del 95.0% intervalo de confianza para la diferencia de medias sin suponer varianzas iguales: -0.649 +/- 2.6515 [-3.3005, 2.0025].

Prueba t para comparar medias

Hipótesis nula: $\mu_1 = \mu_2$

Hipótesis Alt.: $\mu_1 \neq \mu_2$

Sin suponer varianzas iguales: $t = -0.532859$ valor-P = 0.603787

No se rechaza la hipótesis nula para $\alpha = 0.05$.

Se realiza una prueba-t para comparar las medias de las dos muestras. También se construye los intervalos, ó cotas, de confianza para cada media y para la diferencia entre las medias. De interés particular es el intervalo de confianza para la diferencia entre las medias, el cual se extiende desde -3.3005 hasta 2.0025. Puesto que el intervalo contiene el valor de 0, no hay diferencia significativa entre las medias de las dos muestras de datos, con un nivel de confianza del 95.0%.

Comparación de Desviaciones Estándar

	Viscosímetro 1	Viscosímetro 2
Desviación Estándar	4.11804	0.918043
Varianza	16.9583	0.842803
Gl	11	11

Intervalos de confianza del 95.0%

Desviación Estándar de Viscosímetro 1: [3.07913]

Desviación Estándar de Viscosímetro 2: [0.686437]

Prueba-F para comparar Desviaciones Estándar

Hipótesis Nula: $\sigma_1 = \sigma_2$

Hipótesis Alternativa: $\sigma_1 > \sigma_2$

$F = 20.1213$ valor-P = 0.0000103745

Se rechaza la hipótesis nula para $\alpha = 0.05$

Se realiza una prueba-F para comparar las varianzas de las dos muestras que provengan de distribuciones normales. También construye intervalos ó cotas de confianza para cada desviación estándar. En este caso, la prueba se ha construido es unilateral para determinar si el cociente de las desviaciones estándar es igual a 1.0 versus la hipótesis alternativa de que el cociente es mayor que 1.0. Puesto que el valor-P calculado es menor que 0.05, se puede rechazar la hipótesis nula en favor de la alterna. Lo que indica que se presenta una mayor variabilidad en las mediciones que realiza el viscosímetro 1 y se recomienda seleccionar el viscosímetro 2 como referencia en otros estudios.

Anexo No.27

Informe Final del Programa de Comparación de Mediciones Intralaboratorios de Ensayos de Viscosidad del Laboratorio Central de la Empresa Termoeléctrica Cienfuegos. Fuente: Elaboración propia.

	Comparación de Mediciones Intralaboratorios de Ensayos de Viscosidad del Laboratorio Central de la Empresa Termoeléctrica Cienfuegos		
<input type="checkbox"/> Programa <input checked="" type="checkbox"/> Informe Final (anverso)			
Tipo de Programa			
Estudio experimental de mediciones para intracomparaciones entre dos instrumentos similares			
UBICACIÓN Laboratorio Central Empresa Termoeléctrica Cienfuegos		DIRECCIÓN O' Bourke N. 914, Zona Industrial N. 1, Cienfuegos	
JEFE DE LABORATORIO María Cristina Pérez Romo			
ANALISTA Dayaisy Miranda Martínez			
PLAN DEL PROGRAMA			
FECHA DE ENTREGA DE MUESTRA		FECHA DE DESARROLLO	
11/10/2022		DESDE: 11/10/2022	HASTA: 18/10/2022
OBJETIVOS			
Determinar si los resultados proporcionados por diferentes equipos de medida pueden ser considerados iguales o intercambiables desde un punto de vista estadístico al identificar la existencia o no de diferencias significativas entre sus mediciones. Seleccionar un equipo "patrón", a tomar como referencia en otros estudios.			
ENSAYOS A REALIZAR			
Determinación de viscosidad cinemática de aceite lubricante a 40°C.			
METODO DE ENSAYO			
<ul style="list-style-type: none"> • NC ISO ASTM D445:2021 "Industria del petróleo-método de ensayo estándar para viscosidad cinemática de líquidos transparentes y opacos (y cálculo de la viscosidad dinámica)". • TC-OQ 0103 Determinación de viscosidad cinemática en productos del petróleo. 			
TIPO DE MUESTRA			
Aceite lubricante de Tipo Reductor 680			
EQUIPOS DE MEDICIÓN			
Viscosímetro No.1 Viscosímetro capilar de vidrio Setavis Kinematic Viscosimeter Modelo 6354-3 No. de Serie R650		Viscosímetro No.2 Viscosímetro capilar de vidrio Setavis Kinematic Viscosimeter Modelo 83541-3 No. de Serie 1023877	
Capilar No.1959	Rango 600 mm ² /s a 1200 mm ² /s	Capilar No.1956	Rango 600 mm ² /s a 1200 mm ² /s
MATERIALES			
Se deben asegurar envases apropiados para evitar la degradación o cambio que puedan afectar a las características del ítem, solvente tolueno al 99% para la limpieza del viscosímetro y el almacenamiento adecuado en caso de ser necesario. Garantizar solvente tolueno al 99%, nafta pesada y alcohol isopropílico para la limpieza de los capilares.			
RESUMEN DEL ANÁLISIS ESTADÍSTICO			
Determinación del tamaño de la muestra			
Prueba de normalidad (Estadístico W de Shapiro-Wilk)			
Prueba de identificación de valores atípicos (Prueba de Grubbs y Prueba de Dixon)			
Prueba de comparación de medias (Prueba t Student)			
Prueba de comparación de desviaciones estándar (Prueba F de Snedecor)			



Comparación de Mediciones Intralaboratorios de Ensayos de Viscosidad del Laboratorio Central de la Empresa Termoeléctrica Cienfuegos

Programa Informe Final (reverso)

OBSERVACIONES

ANEXOS

Determinación del tamaño de muestra para comparación intralaboratorio.
Identificación de valores aberrantes o atípicos en las mediciones de los Viscosímetros 1 y 2.
Pruebas de normalidad para las mediciones de los Viscosímetros 1 y 2
Comparación de dos muestras. Mediciones Viscosímetros 1 y 2.

CONCLUSIONES

No existen diferencias estadísticamente significativas entre las medias de las mediciones de los viscosímetros seleccionados, con un 95% de confianza, lo que permite validar los resultados obtenidos y su confiabilidad. Mientras que la comparación de las desviaciones estándar evidencia que existe una mayor variabilidad en las mediciones del Viscosímetro 1, por lo que es recomendable seleccionar el Viscosímetro 2 como "patrón" o instrumento de referencia en otros estudios. Por tanto, la calidad interna del Laboratorio Central de la Empresa Termoeléctrica Cienfuegos para las mediciones de viscosidad en el ensayo llevado a cabo, puede evaluarse de satisfactoria, en cuanto a la validez de los resultados obtenidos, siendo este un requisito de la NC ISO 17025:2017.

FIRMA DEL JEFE DE LABORATORIO

FIRMA DEL ANALISTA

Anexo No. 28

Programa de Comparación de Mediciones Interlaboratorios de Ensayos de Viscosidad del Laboratorio Central de la Empresa Termoeléctrica Cienfuegos. Fuente: Elaboración propia.

		Comparación de Mediciones Interlaboratorios de Ensayos de Viscosidad del Laboratorio Central de la Empresa Termoeléctrica Cienfuegos	
<input checked="" type="checkbox"/> Programa <input type="checkbox"/> Informe Final			
TIPO DE PROGRAMA Y DATOS			
<ul style="list-style-type: none"> Estudio experimental de intercomparaciones Modelo de muestra dividida 			
Laboratorio No. 1 Empresa Termoeléctrica Cienfuegos		Dirección O' Bourke N. 914, Zona Industrial N. 1, Cienfuegos	
Correos Electrónicos mariac@ctecmc.une.cu rosandra@ctecmc.une.cu		Teléfono 43521014 Extensiones 2268 y 2317	
Representante Ing. María Cristina Pérez Romo		Cargo Esp. Principal Jefe de Laboratorio Químico Central	
Laboratorio No. 2 Refinería Cienfuegos S.A.		Dirección Finca Carolina, Cienfuegos	
Correos Electrónicos mmonzon@refcfg.cu		Teléfono 43543140	
Representante María Grisel Monzón Lima		Cargo Jefe de Laboratorio Químico Central	
PLAN DEL PROGRAMA			
FECHA DE ENTREGA DE MUESTRA		FECHA DE DESARROLLO	
31/10/2022		DESDE: 31/10/2022	HASTA: 04/11/2022
OBJETIVOS			
Evaluar la aceptabilidad de los resultados, tomando como criterio la precisión del método de ensayo especificado, a partir de la comparación y verificación del acuerdo de dos grupos de mediciones obtenidas en condiciones de reproducibilidad y repetibilidad.			
ENSAYOS A REALIZAR			
Determinación de viscosidad cinemática de petróleo a 50 °C. Determinación de viscosidad cinemática de aceite lubricante a 40 °C.			
MÉTODO DE ENSAYO			
NC ASTM D445:2021 "Industria del petróleo-método de ensayo estándar para viscosidad cinemática de líquidos transparentes y opacos (y cálculo de la viscosidad dinámica)" NC ASTM D 88:2021 "Industria del Petróleo- Método de ensayo estándar para viscosidad Saybolt".			
TIPO DE MUESTRA			
Combustible Crudo Merey y Aceite lubricante Reductor 460.			
EQUIPOS DE MEDICION			
Laboratorio No.1		Laboratorio No.2	
Viscosímetro capilar de vidrio Setavis Kinematic Viscosimeter Modelo 83541-3 (aceite lubricante)	Viscosímetro capilar de vidrio Setavis Kinematic Viscosimeter Modelo 6354-3 (petróleo)	Viscosímetro capilar de vidrio Cannon Modelo CT-1000 (aceite lubricante)	Viscosímetro Saybolt Koehler Modelo K21420 (petróleo)
MATERIALES Y TRANSPORTE			
Se deben asegurar envases apropiados que no reaccionen o contaminen el ítem, que el transporte se realice en las mejores condiciones posibles para evitar la degradación o cambio que puedan afectar a las características del ítem y el almacenamiento adecuado en caso de ser necesario. Garantizar solvente tolueno al 99%, nafta pesada y alcohol isopropílico para la limpieza de los capilares.			
RESUMEN DEL ANÁLISIS ESTADÍSTICO			
Determinación de Diferencias críticas para la comparación y la verificación del acuerdo de dos grupos de mediciones de dos laboratorios, tomando como criterio la aceptabilidad de los resultados basada en la precisión del método, en condiciones de reproducibilidad y repetibilidad.			
OBSERVACIONES			
FIRMA DEL REPRESENTANTE LABORATORIO NO. 1 		FIRMA DEL REPRESENTANTE LABORATORIO NO. 2 	

Anexo No. 29

Instrucciones para la realización del ensayo objeto de estudio. Fuente: Elaboración propia.

- Homogeneizar las muestras antes de tomar las porciones para efectuar los ensayos.
- Ejecutar los ensayos utilizando la versión de cada una de las normas referida en el formato de reporte.
- Realizar tres réplicas por cada ensayo.
- Entregar los resultados por ensayo en las fechas acordadas, los que deben tener el número de cifras significativas que se establece por la norma de ensayo y estar expresados en mm^2/s .
- Evitar reportar resultados fuera del intervalo o rango de trabajo.
- Reportar el equipo (automático o manual y modelo) donde se realizó las determinaciones.

Anexo No. 30

Reporte de ensayo de determinación de viscosidad cinemática. Fuente: Elaboración propia.

Laboratorio No.1	Empresa Termoeléctrica Cienfuegos
Responsable	María Cristina Pérez Romo
Teléfono	43521014 extensión 2268
Correo electrónico	mariac@ctecmc.une.cu
Método empleado	NC ASTM D445:2021
Equipo de medición	Viscosímetros capilar de vidrio Setavis Kinematic
Fecha de reporte	03/11/2022

Determinación	Método empleado	Resultado (mm ² /s)
Viscosidad cinemática de petróleo a 50 °C	NC ASTM D445:2021	193.6
		195.6
		198.5
Viscosidad cinemática de aceite lubricante a 40 °C	NC ASTM D445:2021	427.173
		427.77
		427.844

Laboratorio No.2	Refinería Cienfuegos S.A
Responsable	María Grisel Monzón Lima
Teléfono	43543140
Correo electrónico	mmonzon@refcfg.cu
Método empleado	NC D88:2021 y NC ASTM D445:2021
Equipos de medición	Viscosímetro Saybolt y viscosímetro de capilar de vidrio
Fecha de reporte	11/02/2022

Determinación	Método empleado	Resultado (mm ² /s)
Viscosidad cinemática de petróleo a 50 °C	NC D88:2021	195
		193
		194
Viscosidad cinemática de aceite lubricante a 40 °C	NC ASTM D445:2021	429.394
		429.399
		429.394

Anexo No.31

Ejemplo de Informes de ensayo de determinación de viscosidad cinemática de petróleo a 50 °C. Fuente: Laboratorio Central de la Refinería Cienfuegos S.A.

 Refinería Cienfuegos S.A. Gerencia Calidad. Laboratorio Central Finca Carolina, Cienfuegos, Cuba. CP: 55100 Teléfonos:+(53) 43 543140. E mail: mmonzon@refcfg.cu						
INFORME DE ENSAYO						
NÚMERO DE REGISTRO	IE-016165/22					
TIPO DE PRODUCTO	EN-PETRÓLEO CRUDO MEREY 16					
ORIGEN	EMPRESA COMERCIALIZADORA DE CIENFUEGOS					
No. LOTE	1					
CONTACTO DE CLIENTE (Dirección/ Teléfono /Correo)	Finca Carolina, Refinería, Cienfuegos / 43547224 / despachadores@eccfg.cupet.cu					
FECHA DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA	2022-11-02 11:53 AM					
FECHA DE EJECUCIÓN DE LOS ENSAYOS	2022-11-02 11:58 AM					
FECHA DE EMISIÓN DEL INFORME DE ENSAYO	2022-11-02 12:58 PM					
OBSERVACIÓN	(E-000595/22) Termoeléctrica Carlos Manuel de Céspedes réplica # 1					
No	MUESTRA	DETERMINACIÓN	UNIDAD	MÉTODO	INCERTIDUMBRE U	RESULTADO
1	E-000595/22	Viscosidad Cinemática a 50 °C	mm ² /s	ASTM D88		195.0
INFORMACIÓN ADICIONAL:						
U ± Incertidumbre Expandida con 95% de Confianza (K=2)  YANERSY ACOSTA CHONGO AUTORIZADO: JEFE DE BRIGADA NOMBRE Y FIRMA GERENCIA CALIDAD LABORATORIO CENTRAL						
Nota Aclaratoria: Los resultados corresponden íntegramente a la muestra ensayada como se recibió del cliente. No se permite la reproducción del INFORME DE ENSAYO sin la autorización del Laboratorio Central de la Refinería Cienfuegos S.A.						

 Refinería Cienfuegos S.A. Gerencia Calidad. Laboratorio Central Finca Carolina, Cienfuegos, Cuba. CP: 55100 Teléfonos:+(53) 43 543140. E mail: mmonzon@refcfg.cu						
INFORME DE ENSAYO						
NÚMERO DE REGISTRO	IE-016166/22					
TIPO DE PRODUCTO	EN-PETRÓLEO CRUDO MEREY 16					
ORIGEN	EMPRESA COMERCIALIZADORA DE CIENFUEGOS					
No. LOTE	1					
CONTACTO DE CLIENTE (Dirección/ Teléfono /Correo)	Finca Carolina, Refinería, Cienfuegos / 43547224 / despachadores@eccfg.cupet.cu					
FECHA DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA	2022-11-02 11:53 AM					
FECHA DE EJECUCIÓN DE LOS ENSAYOS	2022-11-02 11:59 AM					
FECHA DE EMISIÓN DEL INFORME DE ENSAYO	2022-11-02 12:59 PM					
OBSERVACIÓN	(E-000596/22) Termoeléctrica Carlos Manuel de Céspedes réplica # 2					
No	MUESTRA	DETERMINACIÓN	UNIDAD	MÉTODO	INCERTIDUMBRE U	RESULTADO
1	E-000596/22	Viscosidad Cinemática a 50 °C	mm ² /s	ASTM D88		193.0
INFORMACIÓN ADICIONAL:						
U ± Incertidumbre Expandida con 95% de Confianza (K=2)  YANERSY ACOSTA CHONGO AUTORIZADO: JEFE DE BRIGADA NOMBRE Y FIRMA GERENCIA CALIDAD LABORATORIO CENTRAL						
Nota Aclaratoria: Los resultados corresponden íntegramente a la muestra ensayada como se recibió del cliente. No se permite la reproducción del INFORME DE ENSAYO sin la autorización del Laboratorio Central de la Refinería Cienfuegos S.A.						



Refinería Cienfuegos S.A. Gerencia Calidad, Laboratorio Central
Finca Carolina, Cienfuegos, Cuba, CP: 55100
Teléfonos:+(53) 43 543140. E mail: mmonzon@refcfg.cu

INFORME DE ENSAYO

NÚMERO DE REGISTRO	IE-016167/22
TIPO DE PRODUCTO	EN-PETRÓLEO CRUDO MEREY 16
ORIGEN	EMPRESA COMERCIALIZADORA DE CIENFUEGOS
No. LOTE	1
CONTACTO DE CLIENTE (Dirección/ Teléfono /Correo)	Finca Carolina, Refinería, Cienfuegos / 43547224 / despachadores@eccfg.cupet.cu
FECHA DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA	2022-11-02 11:54 AM
FECHA DE EJECUCIÓN DE LOS ENSAYOS	2022-11-02 11:59 AM
FECHA DE EMISIÓN DEL INFORME DE ENSAYO	2022-11-02 01:00 PM
OBSERVACIÓN	(E-000597/22) Termoeléctrica Carlos Manuel de Céspedes réplica # 3

No	MUESTRA	DETERMINACIÓN	UNIDAD	MÉTODO	INCERTIDUMBRE U	RESULTADO
1	E-000597/22	Viscosidad Cinemática a 50 °C	mm ² /s	ASTM D88		194.0

INFORMACIÓN ADICIONAL:

$U \pm$ Incertidumbre Expandida con 95% de Confianza (K=2)


AUTORIZADO POR EL JEFE DE BRIGADA
NOMBRE Y FIRMA

Nota Aclaratoria: Los resultados corresponden íntegramente a la muestra ensayada como se recibió del cliente. No se permite la reproducción del INFORME DE ENSAYO sin la autorización del Laboratorio Central de la Refinería Cienfuegos S.A.

Anexo No.32

Determinación de diferencias críticas para la verificación del acuerdo de dos grupos de mediciones. Fuente: Elaboración propia.

Para el ensayo de determinación de viscosidad cinemática de productos del petróleo a 50 °C, se tienen en cuenta los criterios para la comparación de resultados en cuanto a reproducibilidad y repetibilidad en petróleos residuales a 50 °C, donde X representa el promedio de los datos analizados (NC ASTM D445:2021):

Criterio de reproducibilidad: 0.08461X

Criterio de repetibilidad: 0.07885X

Calculando:

Reproducibilidad

$$R=0.08461 \times 194.95$$

$$R=16.494$$

Repetibilidad

$$r=0.07885 \times 194.95$$

$$r=15.371$$

Sustituyendo:

$$CD_{0.95} = \sqrt{R^2 - r^2(1 - 1/2n_1 - 1/2n_2)}$$

$$CD_{0.95} = \sqrt{16.494^2 - 15.371^2 \left(1 - \frac{1}{2 \times 3} - \frac{1}{2 \times 3}\right)}$$

$$CD_{0.95} = \sqrt{271.92 - 236.23}$$

$$CD_{0.95} = \sqrt{35.69}$$

$$CD_{0.95} = 5.97$$

Para el ensayo de determinación de viscosidad cinemática de aceites lubricantes a 40 °C, se tienen en cuenta los criterios para la comparación de resultados en cuanto a reproducibilidad y repetibilidad en aceites formulados a 40 °C, donde X representa el promedio de los datos analizados (NC ASTM D445:2021):

Criterio de reproducibilidad: 0.0074X

Criterio de repetibilidad: 0.0122X

Calculando:

Reproducibilidad

$$R=0.0122 \times 428.4957$$

$$R=5.2276$$

Repetibilidad

$$r=0.0074 \times 428.4957$$

$$r=3.1708$$

Sustituyendo:

$$CD_{0.95} = \sqrt{R^2 - r^2(1 - 1/2n_1 - 1/2n_2)}$$

$$CD_{0.95} = \sqrt{5.2276^2 - 3.1708^2 \left(1 - \frac{1}{2 \times 3} - \frac{1}{2 \times 3}\right)}$$

$$CD_{0.95} = \sqrt{27.3278 - 10.0539}$$

$$CD_{0.95} = \sqrt{17.2739}$$

$$CD_{0.95} = 4.20$$

Anexo No.33

Determinación de diferencias críticas para la comparación estadística de dos grupos de mediciones de viscosidad cinemática en dos laboratorios. Fuente: Elaboración propia.

Se tienen en cuenta los criterios dados por Looor (2021) para la determinación de:

S_r (Varianza de repetibilidad), como el promedio de las Varianzas de repetibilidad de cada laboratorio.

S_R (Varianza de reproducibilidad) como resultado de:

$$S_R = S_L + S_r$$

Donde:

$S_L = S - \frac{S_r}{n}$ donde S representa la varianza de los promedios.

Calculando:

$$S_r = 0.045$$

$$S_R = 0.84$$

Ensayo de determinación de viscosidad cinemática de productos del petróleo a 50 °C

$$CD_{0.95} = \sqrt{(2.8S_R)^2 - (2.8S_r)^2 \left(1 - \frac{1}{2n_1} - \frac{1}{2n_2}\right)}$$

$$CD_{0.95} = \sqrt{6.919^2 - 6.597^2 \left(1 - \frac{1}{2 \times 3} - \frac{1}{2 \times 3}\right)}$$

$$CD_{0.95} = \sqrt{47.873 - 43.518}$$

$$CD_{0.95} = \sqrt{4.352}$$

$$CD_{0.95} = 2.086$$

Ensayo de determinación de viscosidad cinemática de aceites lubricantes a 40 °C

$$CD_{0.95} = \sqrt{(2.8S_R)^2 - (2.8S_r)^2 \left(1 - \frac{1}{2n_1} - \frac{1}{2n_2}\right)}$$

$$CD_{0.95} = \sqrt{2.352^2 - 0.126^2 \left(1 - \frac{1}{2 \times 3} - \frac{1}{2 \times 3}\right)}$$

$$CD_{0.95} = \sqrt{5.532 - 0.016}$$

$$CD_{0.95} = \sqrt{5.516}$$

$$CD_{0.95} = 2.349$$

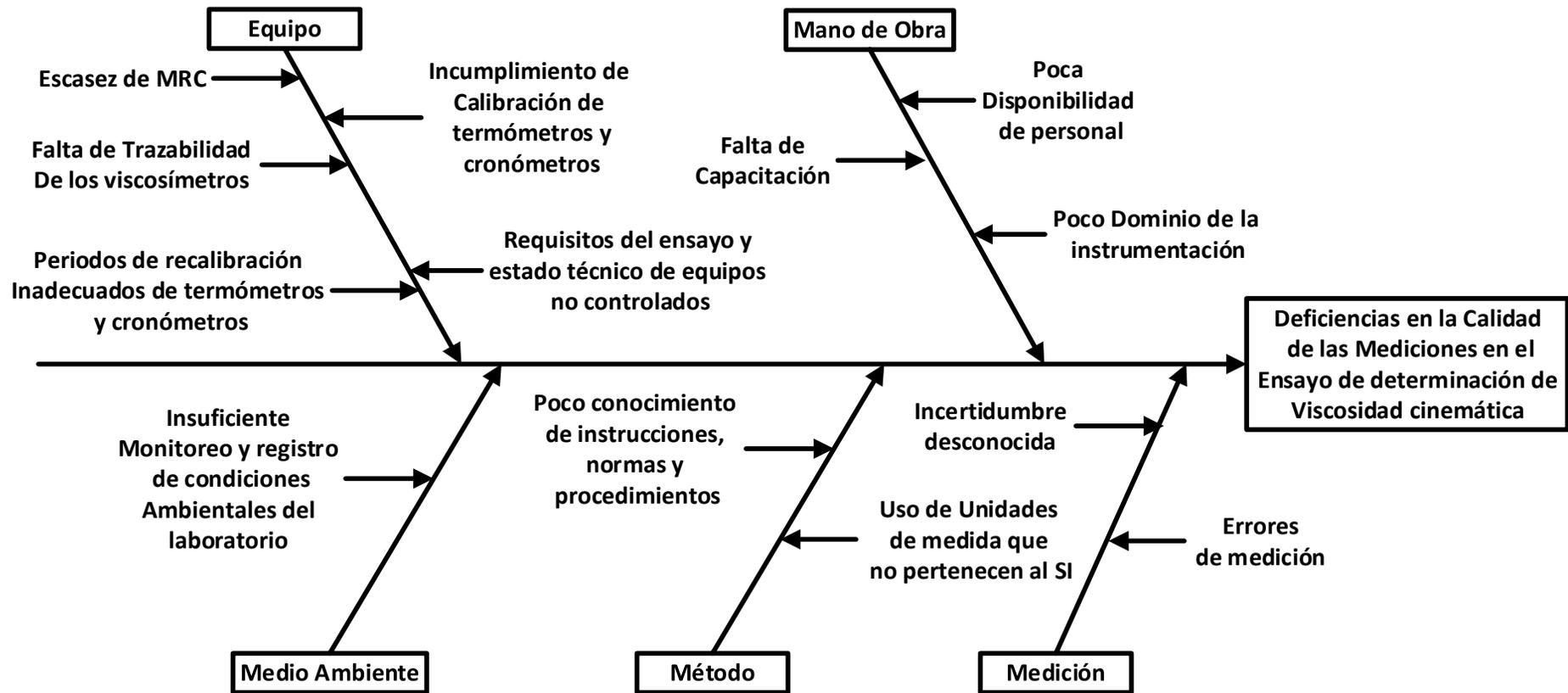
Anexo No.34

Informe Final del Programa de Comparación de Mediciones Interlaboratorios. Fuente: Elaboración propia.

	<p style="text-align: center;">Comparación de Mediciones Interlaboratorios de Ensayos de Viscosidad del Laboratorio Central de la Empresa Termoeléctrica Cienfuegos</p> <p style="text-align: center;"><input checked="" type="checkbox"/> Programa <input type="checkbox"/> Informe Final</p>
TIPO DE PROGRAMA Y DATOS	
<ul style="list-style-type: none"> • Estudio experimental de intercomparaciones • Modelo de muestra dividida 	
Laboratorio No. 1 Empresa Termoeléctrica Cienfuegos	Dirección O' Bourke N. 914, Zona Industrial N. 1, Cienfuegos
Correos Electrónicos mariac@ctecmc.une.cu rosandra@ctecmc.une.cu	Teléfono 43521014 Extensiones 2268 y 2317
Representante Ing. María Cristina Pérez Romo	Cargo Esp. Principal Jefe de Laboratorio Químico Central
Laboratorio No. 2 Refinería Cienfuegos S.A.	Dirección Finca Carolina, Cienfuegos
Correos Electrónicos mmonzon@refcfg.cu	Teléfono 43543140
Representante María Grisel Monzón Lima	Cargo Jefe de Laboratorio Químico Central
PLAN DEL PROGRAMA	
FECHA DE ENTREGA DE MUESTRA	FECHA DE DESARROLLO
31/10/2022	DESDE: 31/10/2022 HASTA: 04/11/2022
OBJETIVOS	
Evaluar la aceptabilidad de los resultados, tomando como criterio la precisión del método de ensayo especificado, a partir de la comparación y verificación del acuerdo de dos grupos de mediciones obtenidas en condiciones de reproducibilidad y repetibilidad.	
ENSAYOS A REALIZAR	
Determinación de viscosidad cinemática de petróleo a 40 °C. Determinación de viscosidad cinemática de aceite lubricante a 40 °C.	
MÉTODO DE ENSAYO	
NC ASTM D445:2021 "Industria del petróleo-método de ensayo estándar para viscosidad cinemática de líquidos transparentes y opacos (y cálculo de la viscosidad dinámica)" NC ASTM D 88:2021 "Industria del Petróleo- Método de ensayo estándar para viscosidad Saybolt".	
TIPO DE MUESTRA	
Combustible Crudo Merey y Aceite lubricante Reductor 460.	
EQUIPOS DE MEDICION	
Laboratorio No.1	Laboratorio No.2
Viscosímetro capilar de vidrio Setavis Kinematic Viscosímetro Modelo 83541-3 (aceite lubricante)	Viscosímetro capilar de vidrio Setavis Kinematic Viscosímetro Modelo 6354-3
Viscosímetro capilar de vidrio Cannon Modelo CT-1000 (aceite lubricante)	Viscosímetro Saybolt Koehler Modelo K21420 (petróleo)
MATERIALES Y TRANSPORTE	
Se deben asegurar envases apropiados que no reaccionen o contaminen el ítem, que el transporte se realice en las mejores condiciones posibles para evitar la degradación o cambio que puedan afectar a las características del ítem y el almacenamiento adecuado en caso de ser necesario.	
RESUMEN DEL ANÁLISIS ESTADÍSTICO	
Determinación de Diferencias críticas para la comparación y la verificación del acuerdo de dos grupos de mediciones de dos laboratorios, tomando como criterio la aceptabilidad de los resultados basada en la precisión del método, en condiciones de reproducibilidad y repetibilidad.	

Anexo No.35

Diagrama Causa-Efecto para las deficiencias en la calidad de las mediciones en el ensayo de determinación de viscosidad cinemática en productos del petróleo y aceites lubricantes. Fuente: Elaboración propia.



Anexo No.36

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

Causas probables (hipótesis)	Verificación de las causas	Oportunidades de mejora
Insuficiente monitoreo y registro de condiciones ambientales del laboratorio	Mediante la revisión de los procedimientos, registros de mediciones y la certificación de los instrumentos que controlan los parámetros medio ambientales	Gestionar la calibración de estos instrumentos. Capacitar a los trabajadores del laboratorio.
Poco dominio de la instrumentación	Mediante los registros de las mediciones y evaluaciones prácticas al personal	Capacitar al personal necesario
Poca Disponibilidad de personal	Diagnosticar el personal para que pueda asumir trabajos de calibración en conjunto con los especialistas	Incrementar personal adecuado para responder a la demanda
Falta de capacitación	Mediante las DNC, comprobar las necesidades de capacitación del personal involucrado	Gestionar y capacitar al personal involucrado en las acciones relacionadas con las mediciones
Incumplimiento de calibración de termómetros y cronómetros	Mediante la revisión y seguimiento del plan de calibración. Existencia del certificado que acredite que el instrumento se encuentre apto para el uso.	Cumplir el plan de calibración. Gestionar los servicios con antelación suficiente. Garantizar la confiabilidad de las mediciones de temperatura y tiempo.
Períodos de recalibración inadecuados de termómetros y cronómetros	Revisión de la disposición sobre periodicidad de recalibración y de documentos normativos y regulatorios relacionados. Cumplimientos de los planes según normas y existencia de certificados.	Establecer períodos entre las calibraciones fundamentado a partir de métodos estadísticos – matemáticos Garantizar la confiabilidad de las mediciones Posible ahorro de presupuesto.
Incertidumbre de medición desconocida	Revisión de por qué no se ha evaluado la incertidumbre en el ensayo objeto de estudio, mediante el método GUM o el expuesto en la NC – Guía 1066:2015.	Evaluar incertidumbre de medición en ensayo, contribuyendo a la mejora de la calidad en las mediciones.
Escasez de MRC	Verificar que estén identificadas las necesidades de MRC para mediciones de viscosidad y las gestiones para adquirirlo.	Solicitar la adquisición de MRC para mediciones de viscosidad. Conocer cambios en las condiciones de trazabilidad de viscosidad actuales.

Requisitos del ensayo y estado técnico de equipos no controlados	Mediante la revisión de la documentación técnica, certificados de calibración e inventario total de instrumentos.	Determinación de los requisitos técnicos en el ensayo de viscosidad. Actualización del inventario total de instrumentos
Falta de trazabilidad de los viscosímetros	Revisión de documentación técnica, expedientes de instrumentos sin trazabilidad e inventario total de instrumentos.	Implementar otras acciones y controles como el uso de métodos especificados y procedimientos de medida, la participación en programas de intra e inter comparación, entre otros.
Errores en la medición	Mediante los registros de las mediciones por turnos de trabajo, balances mensuales.	Garantizar las condiciones y requisitos para la calidad de la medición
Uso de unidades de medidas que no pertenecen al SI	Identificación de instrumentos en el sistema de medición analizado, que no cumplen con el Sistema Internacional de Unidades (SI)	Sustituir la instrumentación que no cumpla con el SI. Capacitar a los trabajadores en la conversión de unidades
Poco conocimiento de las instrucciones, normas y procedimientos	Mediante los registros, evaluaciones y auditorías al área encargada.	Capacitar al personal en la actualización de instrucciones, normas y procedimientos, así como en sus responsabilidades.

Anexo No.37

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

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

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

Hipótesis:

H₀: no hay comunidad de preferencia entre los expertos.

H₁: existe comunidad de preferencia entre los expertos.

Región Crítica: λ^2 calculada \geq λ^2 tabulada

Si se cumple la región crítica se rechaza H₀, existiendo comunidad de preferencia entre los expertos, con lo que se cumple en la presente investigación. En este caso λ^2 calculada=105.261 y λ^2 tabulada= 18,307. El procesamiento de los resultados se efectúa mediante el paquete de programa SPSS versión 22. Los resultados muestran que la región crítica se cumple, por tanto, se llega a la conclusión de que los resultados obtenidos en este procesamiento son confiables y existe comunidad de preferencia entre los expertos.

Estadísticos descriptivos

	N	Media	D. Estándar	Mínimo	Máximo
Gestionar la calibración de estos instrumentos.	11	4.18	1.250	2	6
Capacitar a los trabajadores del laboratorio.	11	5.18	.982	4	7
Capacitar al personal necesario.	11	4.00	1.414	2	5
Incrementar personal adecuado para responder a la demanda.	11	4.82	1.079	3	6
Gestionar y capacitar al personal involucrado en las acciones relacionadas con las mediciones.	11	8.00	1.342	6	10
Cumplir el plan de calibración. Gestionar los servicios con antelación suficiente. Garantizar la confiabilidad de las mediciones de temperatura y tiempo.	11	9.00	1.265	6	10
Establecer períodos entre las calibraciones fundamentado a partir de métodos estadísticos – matemáticos. Garantizar la confiabilidad de las mediciones. Posible ahorro de presupuesto.	11				

Evaluar incertidumbre de medición en los principales sistemas, contribuyendo a la mejora de la calidad en las mediciones.	11	6.09	.701	5	7
Solicitar la adquisición de MRC para mediciones de viscosidad. Conocer cambios en las condiciones de trazabilidad de viscosidad actuales.	11	8.36	1.120	7	10
Determinación de los requisitos técnicos en el ensayo de viscosidad. Actualización del inventario total de instrumentos.	11	6.55	1.128	5	8
Implementar otras acciones y controles como el uso de métodos especificados y procedimientos de medida, la participación en programas de intra e inter comparación, entre otros.	11	9.09	.944	8	10
Garantizar las condiciones y requisitos para la calidad de la medición.	11	9.45	.934	7	10
Sustituir la instrumentación que no cumpla con el SI. Capacitar a los trabajadores en la conversión de unidades	11	4.91	1.221	3	7
Capacitar al personal en la actualización de instrucciones, normas y procedimientos, así como en sus responsabilidades.	11	5.45	.522	5	6

Rangos

	Rango promedio
Gestionar la calibración de estos instrumentos. Capacitar a los trabajadores del laboratorio.	2.77
Capacitar al personal necesario	4.59
Incrementar personal adecuado para responder a la demanda	2.86
Gestionar y capacitar al personal involucrado en las acciones relacionadas con las mediciones	3.77
Cumplir el plan de calibración. Gestionar los servicios con antelación suficiente. Garantizar la confiabilidad de las mediciones de temperatura y tiempo	9.68
Establecer períodos entre las calibraciones fundamentado a partir de métodos estadísticos – matemáticos. Garantizar la confiabilidad de las mediciones. Posible ahorro de presupuesto.	11.23
Evaluar incertidumbre de medición en los principales sistemas, contribuyendo a la mejora de la calidad en las mediciones.	6.59
Solicitar la adquisición de MRC para mediciones de viscosidad. Conocer cambios en las condiciones de trazabilidad de viscosidad actuales.	10.23
Determinación de los requisitos técnicos en el ensayo de viscosidad. Actualización del inventario total de instrumentos.	7.23

Implementar otras acciones y controles como el uso de métodos especificados y procedimientos de medida, la participación en programas de intra e inter comparación, entre otros.	11.32
Garantizar las condiciones y requisitos para la calidad de la medición	11.64
Sustituir la instrumentación que no cumpla con el SI. Capacitar a los trabajadores en la conversión de unidades	4.05
Capacitar al personal en la actualización de instrucciones, normas y procedimientos, así como en sus responsabilidades.	5.05

Estadísticos de prueba

N	11
W de Kendall ^a	.797
Chi-cuadrado	105.261
gl	12
Sig. asintótica	.000

a. Coeficiente de concordancia de Kendall

Anexo No.38

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

Oportunidad de mejora: Implementar los períodos de tiempo entre calibraciones obtenidos a partir del Método Tiempo Calendario						
Meta: Realizar las calibraciones en los periodos de tiempos obtenidos						
Responsable: Especialista en Metrología						
¿Qué?	¿Quién?	¿Cómo?	¿Por qué?	¿Dónde?	¿Cuándo?	¿Cuánto?
Reestructurar los planes de calibración	Especialista en Metrología	Evaluando los resultados obtenidos con el Método Tiempo Calendario	Para garantizar la calidad de las mediciones	En el ensayo de determinación de viscosidad cinemática en productos del petróleo y aceites lubricantes	Diciembre 2022	2 días
Revisión de contratos con ATI VC y OTN VC	Especialista en Metrología	Revisando los acuerdos entre las partes según las regulaciones establecidas	Para llegar a un acuerdo entre las partes y protegerse legalmente	En ambas partes	Enero 2023	1 mes
Revisión de la disposición sobre periodicidad de recalibración	Especialista en Metrología	Actualizando los intervalos según magnitud y tipos de instrumentos	Para organizar los periodos de calibración	En el ensayo de determinación de viscosidad cinemática en productos del petróleo y aceites lubricantes	Diciembre 2022	1 mes
Mostrar a la UNE los resultados del estudio	Especialista en Metrología	Mostrando la evidencia del estudio realizado	Para que conozcan y validen los resultados del estudio	UNE	Enero 2023	1 día

Oportunidad de mejora: Garantizar las condiciones y requisitos para la calidad de la medición en el ensayo de Determinación de viscosidad cinemática en productos del petróleo y aceites lubricantes.						
Meta: Minimizar los errores en la medición						
Responsable: Especialista en Metrología						
¿Qué?	¿Quién?	¿Cómo?	¿Por qué?	¿Dónde?	¿Cuándo?	¿Cuánto?
Dominio de la instrumentación y método de medición	Personal involucrado con las mediciones	Con el uso de la documentación técnica y capacitación	Para realizar una óptima medición	En el ensayo de Determinación de viscosidad cinemática en productos del petróleo y aceites lubricantes.	Según plan de capacitación	-
Calibración y verificación de cronómetros y termómetros	Oficina Nacional de Normalización, OTN VC y ATI VC	Según procedimientos, disposiciones y normas establecidas	Para garantizar calidad y validez de la medición como reconocimiento legal	Instrumentos instalados en los viscosímetros	Bianual	Según tarifa vigente
Solicitar la adquisición de Patrones Certificados y MRC.	Empresa Termoeléctrica y UNE	Mediante la solicitud de necesidad de patrones y MRC por procesos y sistemas de medición	Para garantizar calidad de la medición y asegurar la trazabilidad metrológica	En el ensayo de Determinación de viscosidad cinemática en productos del petróleo y aceites lubricantes y demás procesos y sistemas de medición	Enero 2023	2 meses
Conocer cambios en las condiciones de trazabilidad actuales	Especialista en metrología	Mantener comunicación con proveedores y organismos superiores y ONN	Garantizar la trazabilidad metrológica	En equipos sin trazabilidad	Anual	-

Oportunidad de mejora: Implementar acciones y controles como la participación en programas de intra e inter comparación y otros.

Meta: Demostrar la validez y la confiabilidad de los resultados de las mediciones.

Responsable: Especialista en Metrología

¿Qué?	¿Quién?	¿Cómo?	¿Por qué?	¿Dónde?	¿Cuándo?	¿Cuánto?
Garantizar condiciones para realizar estudios de intra e intercomparación	Especialista en Metrología y Especialistas involucrados por procesos	Identificando instrumentos de medición con características metrológicas similares y terceros que posean estos instrumentos.	Para planificar y materializar los estudios de intra e intercomparación	En el ensayo de Determinación de viscosidad cinemática en productos del petróleo y aceites lubricantes y otros.	Primer trimestre 2023	3 meses
Realizar estudios de intra e intercomparación	Especialista en Metrología y Especialistas involucrados por procesos	Garantizando las condiciones necesarias para el desarrollo del estudio	Para demostrar la validez y la confiabilidad de los resultados de las mediciones	En el ensayo de Determinación de viscosidad cinemática en productos del petróleo y aceites lubricantes y otros.	Segundo trimestre 2023	6 meses
Implementar otras acciones como	Especialista en Metrología	Estudios R&r Mediante el uso de métodos especificados y procedimientos de medida.	Para demostrar la validez y la confiabilidad de los resultados de las mediciones	Procesos y sistemas de medición de la empresa	Segundo trimestre 2023	6 meses

