

*Trabajo de Diploma
Ingeniería Industrial*

*Título: Mejora de la gestión de las mediciones en la
Empresa Termoeléctrica Cienfuegos*



Autor: Jesús Pérez García

*Tutor: MSc. Ing. Anibal Barrera García
MSc. Ing. Antonino Vega Siverio*

Cienfuegos, 2020

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 de las mediciones en el sistema presión instalado en la Planta de Tratamiento Químico del Agua. Para el cumplimiento del mismo se utilizan entrevistas, observaciones directas, revisión de documentos, así como técnicas estadísticas matemáticas propias de este tipo de estudio, como son los métodos determinísticos de estadística clásica (frecuentista), combinación de incertidumbres con el método Bayesiano de soluciones analíticas (Ley de propagación de la incertidumbre), entre otras.

Como resultados fundamentales se evalúa la incertidumbre de medición a partir de los elementos establecidos en la Guía GUM y la NC – Guía 1066:2015 en el sistema de medición objeto de análisis, así como se fundamentan a través de métodos estadísticos matemáticos los intervalos de calibración de los manómetros instalado en la Planta de Tratamiento Químico del Agua.

Palabras claves: Incertidumbre, mediciones, calibración, instrumentos.

Summary

SUMMARY

This research was carried out at the Cienfuegos Thermoelectric Company, with the fundamental objective of applying a procedure to improve the management of measurements in the pressure system installed in the Chemical Water Treatment Plant. For the fulfillment of the same, interviews, direct observations, document review, as well as mathematical statistical techniques typical of this type of study are used, such as the deterministic methods of classical (frequentist) statistics, combination of uncertainties with the Bayesian method of analytical solutions (Law of propagation of uncertainty), among others.

As fundamental results, the measurement uncertainty is evaluated from the elements established in the GUM Guide and the NC - Guide 1066: 2015 in the measurement system under analysis, as well as the calibration intervals are based on mathematical statistical methods of the manometers installed in the Chemical Water Treatment Plant.

Key words: Uncertainty, measurements, calibration, instruments.

Índice

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO.....	5
1.1. Generalidades sobre la metrología como ciencia de las mediciones	5
1.2. Gestión de las mediciones	8
1.2.1. Sistema de gestión de las mediciones	10
1.3. Análisis de los sistemas de medición	11
1.3.1 Evaluación de los sistemas de medición	11
1.4. Calidad de las mediciones.....	13
1.4.1 Incertidumbre de la medición	14
1.4.2 Selección de los intervalos de recalibración.....	16
1.5. Metodologías de mejoramiento de procesos	18
1.5.1. Seis Sigma como metodología de mejora de procesos.....	22
CAPÍTULO II: PROCEDIMIENTO PARA LA MEJORA DE PROCESOS EN LA GESTIÓN DE LAS MEDICIONES.....	25
2.1. Caracterización de la entidad objeto de estudio	25
2.2. Procedimiento para la mejora de la gestión de las mediciones.....	32
CAPÍTULO III: APLICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO PARA LA MEJORA DE LA GESTIÓN DE MEDICIÓN DEL SISTEMA DE PRESIÓN PARA LA PLANTA DE TRATAMIENTO QUÍMICO DE AGUA.....	44
3.1. Aplicación del procedimiento	44
CONCLUSIONES GENERALES	65
RECOMENDACIONES.....	66
BIBLIOGRAFÍA.....	67
ANEXOS	80

Introducción

INTRODUCCIÓN

Durante la década de los años ochenta se marca el comienzo de la era de la gestión de la calidad, período en que se transforma la gestión empresarial. Desde entonces han surgido multitudinarias metodologías basadas en técnicas estadísticas (Ruiz Torres, Ayala Cruz, Alomoto y Acero Chávez, 2015), el vínculo entre la metrología y la calidad es reforzado para la obtención de mediciones seguras, precisas y exactas.

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

Una buena infraestructura metrológica es fundamental para la industria, haciendo accesibles servicios tales como la calibración de instrumentos de medida, patrones y materiales de referencia, la formación y el asesoramiento, que permiten realizar medidas fiables, desarrollar nuevos productos y contribuir a la calidad de éstos, junto a la eficiencia de los procesos y la competitividad de las empresas.

La medición sistemática, con incertidumbre determinada, es una de las bases del control de calidad industrial, hasta el punto que, en las industrias más modernas, el coste de las mediciones supone del 10 % al 15 % de los costes de producción.

Las tecnologías de medición deben estar acorde con las características del proceso, permitiendo obtener niveles de incertidumbre adecuados. Cada sistema de medición debe incluir la estimación correspondiente de la incertidumbre, de acuerdo con la Guía ISO para estimación de la incertidumbre en las mediciones, siendo esta conocida como GUM.

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

En Cuba está vigente la norma NC ISO 10012: 2007 “Sistemas de gestión de las mediciones. Requisitos para los procesos de medición y los equipos de medición” que constituye un excelente instrumento para ayudar a solucionar los problemas metrológicos que se presentan en las empresas. Por otro lado se encuentra vigente la NC – Guía 1066: 2015 “Guía para la expresión

de incertidumbre de medición” cuyo objetivo es establecer un procedimiento para evaluar y expresar la incertidumbre en una medición o en sistemas de medición.

Las empresas cubanas a través del Perfeccionamiento Empresarial han buscado introducir procesos de cambio en las organizaciones. Bajo estas condiciones emerge la utilización de Sistemas de Gestión y el cumplimiento de normas y leyes nacionales e internacionales que lleven al desarrollo deseado.

En Cuba el Decreto Ley 183 de la Metrología del Consejo de Estado en su Artículo 27 plantea que los instrumentos de medición utilizados en las entidades del país, deben ser sometidos a la calibración periódica, de acuerdo a las necesidades específicas de los procesos o servicios en que se utilicen y por decisión de sus poseedores, siendo estos últimos quienes establecen la planificación.

La Termoeléctrica Cienfuegos es una organización que brinda el servicio de generación de electricidad al Sistema Electroenergético Nacional (SEN), consta de dos unidades de 158 MW de potencia, forma parte de la estructura de generación dentro del grupo de plantas térmicas. Cuenta con un sistema de gestión de la calidad basado en la NC ISO 9001: 2015 y certificado por la Oficina Nacional de Normalización (ONN). Dentro de este sistema se incluye el proceso de controlar equipos de medición, siendo indispensable el aseguramiento metrológico para su correcto funcionamiento.

El sistema de gestión de las mediciones de la empresa tiene bajo su control todo tipo de instrumentación y equipo 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 Unión Nacional Eléctrica (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 desconoce la incertidumbre asociada a los sistemas de mediciones, por tanto, no se tiene en cuenta en la toma de decisiones, incumpléndose con aspectos establecidos por la NC ISO 10012:2007.

Para generar la energía eléctrica, es necesario desde el punto de vista metrológico controlar las magnitudes físicas del proceso a través de instrumentos y sistemas de medición. En la organización existen numerosos sistemas de medición, uno de ellos es el de la magnitud presión, específicamente el instalado en la Planta de Tratamiento Químico del Agua, debido a que el mismo es vital para el funcionamiento de la planta, así como la repercusión de los resultados de la medición de esta magnitud en la toma de decisiones.

Se corre el riesgo que al intervenir diferentes instrumentos, procedimientos de trabajo y el factor humano, existan incongruencias entre el funcionamiento real del equipo y lo medido por los instrumentos, conllevando a la toma de decisiones erradas. Unido a lo anterior, la Unión Eléctrica ha solicitado a los especialistas en metrología de cada una de sus entidades que se realicen estudios para evaluar la incertidumbre de la medición en sus sistemas y determinar el período de calibración adecuado, para de esta forma lograr mediciones confiables y seguras. Lo anterior constituye la situación problemática que identifica la presente investigación.

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

Problema de Investigación

¿Cómo mejorar la gestión de las mediciones en el sistema presión de la Planta de Tratamiento Químico del Agua?

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

Aplicar un procedimiento para la mejora de la gestión de las mediciones en el sistema presión instalado en la Planta de Tratamiento Químico del Agua en la Empresa Termoeléctrica Cienfuegos.

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

1. Diagnosticar la gestión de las mediciones en la Empresa Termoeléctrica Cienfuegos
2. Determinar el período de calibración de los manómetros instalados en la Planta de Tratamiento Químico del Agua en la Empresa Termoeléctrica Cienfuegos.
3. Proponer acciones que facilite la mejora de la gestión de las mediciones en el sistema analizado.

Preguntas de investigación

- ¿Cuáles son los elementos desde el punto de vista metrológico con mayores deficiencias en la organización?
- ¿Cómo saber si las mediciones en el sistema analizado tienen o no calidad?
- ¿Cómo evaluar la incertidumbre en un sistema de medición?
- ¿Qué mejoras al sistema de gestión de las mediciones en el sistema seleccionado permitirán garantizar su calidad?

La **justificación de la investigación** está dada por los beneficios que se obtienen, entre los que se encuentran la descripción del sistema de gestión de las mediciones, evaluación de la incertidumbre de medida y determinación del período de calibración de los instrumentos en el sistema seleccionado, verificación de un grupo de requisitos de la legislación vigente actual (NC ISO 10012:2007), además de poner a disposición un grupo de herramientas propias en la temática.

El trabajo quedó estructurado de la siguiente forma:

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

En el capítulo II se realiza una caracterización de la Empresa Termoeléctrica Cienfuegos, así como se expone el procedimiento de mejora de procesos aplicado a la gestión de las mediciones, dado por Hernández Santana (2012) y Machado García (2013), así como las transformaciones sugeridas por Marín Rodríguez (2015); Román Acosta (2016); Querol Ja y Gutiérrez Puerto (2018) y Vega Siverio (2019).

En capítulo III se presentan los resultados relacionados con la aplicación del procedimiento para la mejora de la gestión de las mediciones en el sistema presión instalado en la Planta de Tratamiento Químico del Agua, sobre la base de la evaluación de la incertidumbre de medición y la determinación de los períodos de calibración de los manómetros utilizados, así como de un conjunto de elementos propios en la temática, trayendo como resultado el conocimiento de las principales debilidades en la materia y los elementos a mejorar dentro del sistema.

Capítulo 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.

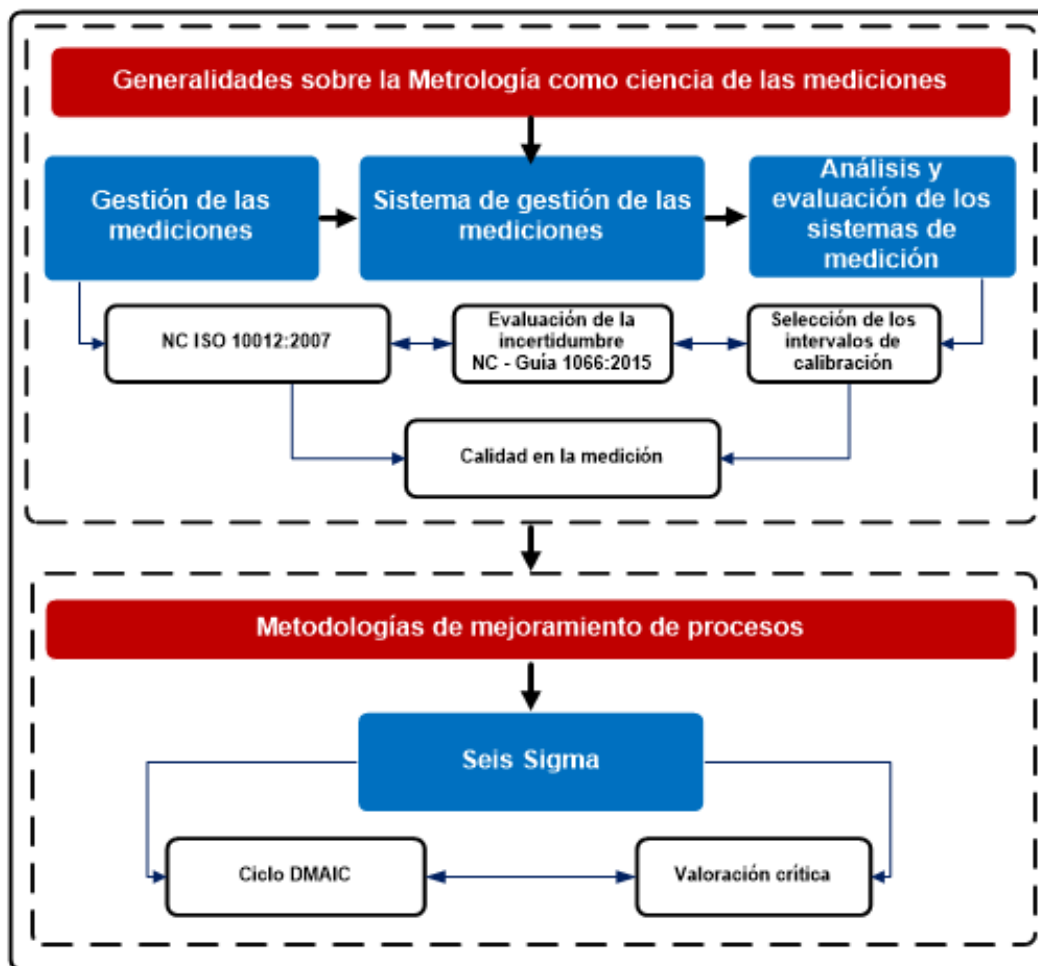


Figura 1.1. Hilo conductor. Fuente: Elaboración propia.

1.1. Generalidades sobre la metrología como ciencia de las mediciones

La palabra metrología proviene del griego μέτρον (medida) y λόγος, (tratado), y se define como la ciencia de las mediciones, e incluye todos los aspectos teóricos y prácticos relacionados con las mediciones, independientemente de la incertidumbre y de la rama de la ciencia o la tecnología donde ellas ocurran. Es definida en la NC ISO 9000:2015 como el conjunto de operaciones que tienen como objetivo determinar el valor de una magnitud, mientras que Benítez, Uresti y González (2015) delimita como la ciencia de las mediciones englobando los medios para obtenerlas mediante la calibración de los equipos. Luego de analizar las definiciones anteriores el autor de la presente

investigación coincide con el criterio expuesto en la NC ISO 9000:2015, debido a que incluye mayor cantidad de elementos, ya que introduce en el concepto el conjunto de operaciones.

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

La metrología está presente, prácticamente, en todas las actividades de la vida, de aquí que su impacto, cuando esta se realiza de manera confiable, comparable y segura, tenga una repercusión directa en el desarrollo económico, político y social de un país; tan es así que en diversas situaciones se tiende a medir el desarrollo de estos a partir del desarrollo que tengan en la metrología (Reyes Ponce; Álvarez Vasallo y Hernández Leonard, 2011).

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

La metrología es una sola, pero algunos autores, entre los que se encuentra Johnston, Presidente de la Organización Internacional de Metrología Legal, promueven la identificación de tres ramas fundamentales, en dependencia de su campo de aplicación: Metrología Científica; Calibración y trazabilidad (Metrología Industrial) y Metrología Legal (ver Reyes Ponce; Hernández Leonard y Hernández Ruíz, 2013).

Por otra parte, la comunidad científica relacionada con las mediciones analíticas está promoviendo también la identificación de la Metrología Química como una rama independiente, la que ha alcanzado un notable desarrollo en Brasil (Vega Siveiro, 2019).

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

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

Para Llamosa y Villareal (2011) el papel de la metrología se hace realmente relevante cuando el proceso de medición es vital en algún tipo de transacción comercial, en aplicaciones militares, en aplicaciones en el campo de la salud, en la producción de medicinas o de alimentos, en la realización de pruebas para construcciones de ingeniería civil, en la realización de diagnósticos para descubrir la causa de algún problema eléctrico, en la realización de trabajos destinados al alcance del uso racional de la energía, en el monitoreo rutinario de los sistemas electromecánicos, mecánicos y electrónicos, en la verificación de límites de contaminantes del ambiente o valores de niveles de radiación, en el monitoreo permanente de las diversas magnitudes físicas que intervienen en los procesos de producción, y muy especialmente, en la realización de pruebas de calidad. Sin la metrología, sería imposible verificar la calidad de los productos o de los procesos, definida en la normativa internacional. Dicho de otra manera, la metrología y la normalización son vitales para el aseguramiento de la calidad (Vega Siveiro, 2019).

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

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

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

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

La metrología requiere de personal idóneo y competente para atender su demanda, de tal manera que la formación en las diferentes ramas del conocimiento debe incluir fundamentos básicos de la metrología, para asegurar de una u otra manera mediante su personal, procedimientos de medición específicos, buenas técnicas de calibración experimental y trazabilidad instrumental, para la

generación de certificaciones y así poder cumplir con la calidad requerida por el cliente, lo que genera beneficios para los productores.

Vega Siveiro, (2019) comenta que Reyes Ponce; Hernández Leonard y Hernández Ruíz (2013) en su libro “Metrología para la Vida” expresan que aún en las mejores condiciones, si el profesional no ha adquirido una formación integral que le permita incorporar el conocimiento metrológico en el desarrollo de su gestión, este no garantizará la calidad de su trabajo, y los procesos no van a satisfacer los requisitos de los clientes y usuarios, y trae consigo, pérdidas de recursos de todo tipo, que en determinadas situaciones puede ser irreversible.

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

1.2. Gestión de las mediciones

En la industria mundial, el aseguramiento metrológico ha trascendido de cumplir con exigencias sobre los equipos de medida, hacia una gestión de las medidas con enfoque sistémico, buscando integrar los elementos que conforman el proceso de medición y asegurando que este sea adecuado para su uso previsto, impactando directamente en las economías de los sectores productivos. Lo anterior relaciona la integración de elementos tales como: personas, equipos, metodologías, materiales, entre otros (Palacio Morales; Giraldo Jaramillo y Bedoya Cardona, 2016).

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

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

la confirmación metrológica del equipo de medición utilizado para apoyar y demostrar el cumplimiento de requisitos metrológicos.

La NC ISO 10012: 2007, también tiene en cuenta el enfoque basado en procesos, y expresa “los procesos de medición deben considerarse como procesos específicos cuyo objetivo es apoyar la calidad de los productos elaborados por la organización”. La figura 1.2 muestra un esquema de aplicación del modelo del sistema de gestión de las mediciones dado en la NC ISO 10012: 2007.

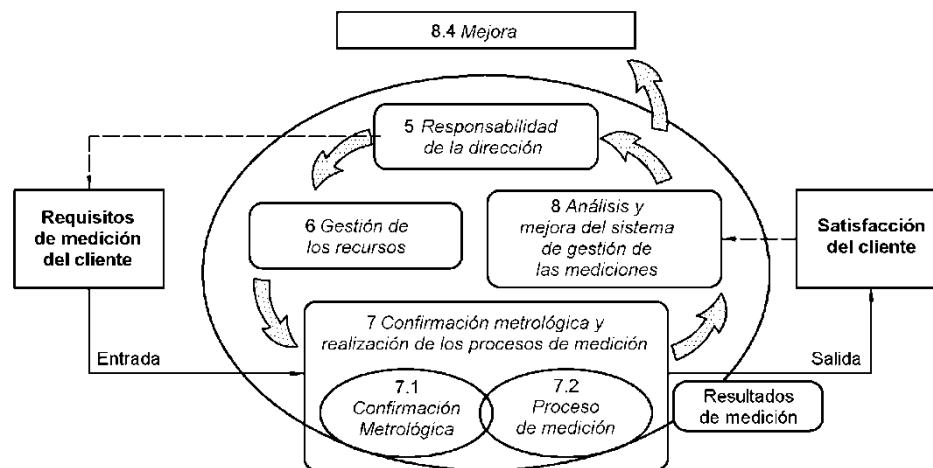


Figura 1.2. Modelo de sistema de gestión de las mediciones según NC ISO 10012: 2007.

Fuente: NC 10012: 2007.

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

1.2.1. Sistema de gestión de las mediciones

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

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

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

La norma NC ISO 10012: 2007 es aplicable a cualquier tipo de organización, la misma establece cinco grupos de requisitos mínimos que son genéricos (mencionados en el apartado anterior), y pretende que se apliquen por las organizaciones.

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

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

1.3. Análisis de los sistemas de medición

Hoy en día se acepta la necesidad de medir los resultados de los procesos para la toma de decisiones oportunas y adecuadas. El impacto de estas acciones depende en gran medida de la calidad de los datos de la medición. Un sistema de medición de buena calidad permite controlar y predecir los resultados de un proceso, y ayuda a identificar y eliminar las causas de variaciones no controladas. A continuación se muestran posibles fuentes de variación observadas en el proceso (Gutiérrez Pulido y de la Vara Salazar, 2009):

- Variación de largo plazo
- Variación de corto plazo
- Variación dentro de la muestra
- Variación del medio de medición
- Variación del operario

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

1.3.1 Evaluación de los sistemas de medición

Para evaluar este tipo de sistema se utilizan las “Pruebas de Reproducibilidad y Repetibilidad (R&R)” (Gutiérrez Pulido y de la Vara Salazar, 2009).

Repetibilidad refleja la variabilidad de las mediciones repetidas de la misma parte por el mismo operador (ISO 13053: 2011); (Eicholtz *et al.*, 2012) y la reproducibilidad refleja la variabilidad cuando la misma parte se mide por diferentes operadores (Boos y Stefanski, 2011), coincidiendo con este criterio autores como (Pyzdek, 2003) e (ISO 13053: 2011).

La repetitividad y reproducibilidad (R&R) es utilizada para evaluar la estabilidad de sistemas de medición, y están relacionados en principio con la precisión y estabilidad en el tiempo de las mediciones realizadas con un conjunto de instrumentos que miden la misma magnitud (González Rey y Falcón Anaya, 2015).

Los autores anteriores exponen que los estudios R&R son una práctica estándar en muchos ámbitos de la industria y los procesos. El método del promedio y rango es empleado para el análisis de repetibilidad y reproducibilidad en los sistemas de medición, y posibilita seccionar en dos componentes por separado (repetibilidad y reproducibilidad) la variación del sistema de medición (Diering y Pajzderski, 2012). Este método permite precisar la influencia de los operarios y el equipamiento en la estabilidad del sistema basado en un procesamiento de datos obtenidos y clasificados según los instrumentos de medición, las medidas valoradas y los operarios que ejecutan las mediciones. González Rey y Falcón Anaya (2015).

Este tipo de estudio es una de las únicas herramientas que puede brindar la confianza de determinar el grado de criterios validos que un grupo de personas pueda tener para tomar decisiones. Incluso dicho estudio puede determinar si las competencias de las personas que toman decisiones están dependiendo de factores externos como: su agudeza visual, una adecuada iluminación del sitio de trabajo, falta de entrenamiento en criterios, entre otros.

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

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.

Vega Siveiro (2019) citando a Viña Rodríguez *et al.* (2013) expresa que una de las principales fuentes de variabilidad que afectan los resultados de la evaluación de un producto, o del proceso del que ese producto proviene, es la medición. Ésa es la razón por la que se requiere, y se justifica económicamente, que se dé la debida importancia a la evaluación de la calidad de los procesos

de medición. Por ello constituye un aspecto a tener en cuenta al elaborar un sistema de gestión de las mediciones.

1.4. Calidad de las mediciones

Muchas personas, ante el resultado de una medición, en cualquiera de las actividades cotidianas, se han hecho la pregunta *¿ese equipo medirá bien, será confiable el resultado?* Esta pregunta encierra un contenido importante porque la obtención de un resultado confiable, solo es posible si se entienden los elementos que constituyen las bases técnicas que establecen la confianza en esa medición. La calibración de un instrumento es una condición necesaria para el aseguramiento de la calidad de las mediciones, la misma es suficiente cuando exista compatibilidad entre las condiciones y los métodos de empleo de esos instrumentos con la exactitud que se pretende en la medición (Vega Siveiro, 2019).

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

- Trazabilidad de las mediciones al Sistema Internacional de Unidades. Calibración – Verificación.
- Métodos de medición
- Confirmación metrológica
- Expresión de los resultados en unidades del Sistema Internacional de Unidades
- Recursos Humanos
- Evaluación de la incertidumbre de la medición

Cada uno de los aspectos mencionados se encuentra explicado en Reyes Ponce; Hernández Leonard y Hernández Ruíz (2013).

Como observa en los aspectos anteriores, uno de los elementos que influyen en la calidad de las mediciones es la incertidumbre, definida por la NC – Guía 1066:2015, como *“un parámetro asociado al resultado de una medición, que caracteriza la dispersión de los valores que pueden ser fundamentalmente atribuidos a un mensurando”*. Se reconoce que el resultado de la evaluación de la misma es parte esencial de cualquier análisis cuantitativo. Una forma de utilizar la estimación de la incertidumbre de la medición como una herramienta de evaluación crítica

metroológico es la identificación de fuentes de incertidumbre en el resultado analítico, así como en la evaluación de la incertidumbre para mediciones repetidas (Cruz de Oliveira, 2011) y (Solaguren-Beascoa Fernández; Ortega López y Serrano López, 2013). Las decisiones pueden ser correctas o incorrectas y están influenciados por la incertidumbre de la medición.

Correa (2007); Vega Siveiro (2019) y el autor de la actual investigación coinciden en que el proceso de medición no es un proceso que se presente siempre constante, lo que hoy no parece ser una fuente de variación, mañana probablemente si lo sea, esto conduce a un tratamiento diferente en cada caso presentado.

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

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

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

1.4.1 Incertidumbre de la medición

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

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

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

La incertidumbre de un resultado de medición 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

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

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

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

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

Para satisfacer las necesidades de determinadas aplicaciones industriales y comerciales, así como las exigencias de los campos de la salud y la seguridad, la incertidumbre típica combinada se multiplica por un factor de cobertura k , obteniéndose la denominada incertidumbre expandida U . El propósito de esta es proporcionar un intervalo en torno al resultado de medición, que puede contener una gran parte de la distribución de valores que razonablemente pueden ser atribuidos al mensurando. La elección del factor k , habitualmente comprendido entre valores 2 y 3, se fundamenta en la probabilidad o nivel de confianza requerido para el intervalo (NC - Guía 1066:2015).

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

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

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

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

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

Otro elemento importante para evaluar la calidad de la medición es período de tiempo entre calibración, ya que esta no se rigen por un documento legal.

1.4.2 Selección de los intervalos de recalibración

Un aspecto importante en el diseño de un programa de aseguramiento de la calidad de las mediciones es la determinación de los periodos máximos de tiempo permitidos entre calibraciones sucesivas de equipos, que permitan asegurar la trazabilidad de las mediciones al sistema internacional de unidades. Dichos períodos deben encontrarse dentro de los límites de errores máximos permitidos esperados al momento de su uso (Ochoa Fonseca, Escobar Soto y García Benavides, 2017). Estos intervalos deben ser establecidos para todos los patrones de referencia o de trabajo con que cuente el laboratorio. Pueden ser ajustados cuando el responsable de los mismos lo considere conveniente, este ajuste se realiza teniendo en cuenta los resultados de calibraciones anteriores o el análisis de datos de medición.

El autor mencionado explica que uno de los objetivos de la determinación de intervalos de calibración de equipos es reducir el riesgo asociado al usar un patrón de medición que se encuentre fuera de su error máximo permitido. En muchas situaciones, el costo de una calibración es un factor que se tiene en cuenta para la determinación de estos intervalos, sin embargo, es importante anteponer el aseguramiento de la calidad de los servicios prestados antes que el costo.

La base de la decisión inicial para determinar el intervalo de recalibración es invariablemente lo que pudiera llamarse intuición ingenieril. Alguien con experiencia en las mediciones, en general,

o en los instrumentos a calibrar, hace un estimado para cada instrumento, o grupo de instrumentos, en cuanto al intervalo de tiempo probable del mismo para permanecer dentro de las tolerancias después de la calibración (NC OIML D 10:1996).

Los factores a tomar en consideración son:

- Recomendaciones del fabricante del instrumento
- Alcance y severidad de uso esperados
- Influencia del medio ambiente
- Exactitud de medición buscada

Una vez establecida la calibración sobre una base rutinaria, el ajuste de los intervalos de recalibración debe ser posible con el fin de optimizar el balance de los riesgos y costos. En muchas ocasiones los intervalos elegidos inicialmente no ofrecen los resultados óptimos deseados; los instrumentos pueden ser menos fiables que lo previsto. La deriva determinada durante la calibración de los instrumentos puede mostrar que los intervalos de recalibración más largos pueden ser posibles sin aumentar los riesgos (NC OIML D 10:1996).

Si la falta de recursos financieros o de personal significa que son necesarios los intervalos de recalibración extensos, no se debe olvidar que no son insignificantes los costos que resultan por el uso de instrumentos inexactos. Si se hiciera un estimado de estos costos, se puede bien encontrar que es más económico emplear más dinero para la calibración y así disminuir los intervalos de recalibración. El tiempo de recalibración debe ser establecido por el usuario del equipo de medición.

Existen dos criterios básicos y opuestos para decidir los intervalos de recalibración, son ellos:

- Que el riesgo de que el equipo de medición cuando se utiliza no esté en conformidad con la especificación, debe ser tan pequeño como sea posible.
- Que los costos de calibración deben mantenerse a un nivel mínimo.

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 apropiado para la totalidad de los instrumentos disponibles, cada metrólogo escoge el método que mayor se ajuste a sus condiciones y/o resultados que desea obtener. El método elegido afecta en la forma de los registros de calibración a conservar.

Para el desarrollo de la presente investigación el autor selecciona el método carta de control (tiempo- calendario), debido a que este fundamenta de forma cuantitativa a través de herramientas estadísticas matemáticas el período de tiempo entre una y otra calibración, coincidiendo con estos elementos Querol Ja y Gutiérrez Puerto (2018) y Vega Siveiro (2019). Parte de las calibraciones precedentes, donde se seleccionan los mismos puntos de medición por cada calibración y los resultados se plotean contra el tiempo. A partir de este ploteo se calcula la dispersión y la deriva.

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

Para González Camps y Reyes Ponce (2014) el desconocimiento por parte de los dirigentes en las organizaciones, de las funciones que deben realizar las personas que atienden esta actividad y la necesidad de lograr la seguridad en las mediciones que se realizan durante los procesos productivos; se considera que resultan 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.

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

1.5. Metodologías de mejoramiento de procesos

Una de las metas estratégicas de toda empresa debe ser aplicar técnicas de mejoramiento continuo a sus sistemas productivos e instalaciones, con la participación y el compromiso de los integrantes de la organización.

La mejora continua es asociada con una diversidad de desarrollos organizacionales, incluyendo la adopción de enfoques modernos. Implica la transición por diferentes etapas, dígame: razón para la mejora, situación actual, análisis, identificación de soluciones posibles, evaluación de los

efectos, implementación y normalización de la nueva solución y evaluación de la eficacia y eficiencia del proceso al complementarse la acción de mejora (Gil de la Guardia, 2019). A través del mejoramiento continuo se logra ser más productivos y competitivos en el mercado al cual pertenece la organización (García Ruíz y Pardo Balvuela, 2017).

A continuación se realiza una comparación entre algunas de las metodologías de mejora continua existentes, dígame, Just in Time, Seis Sigma (6σ), Método Philip Crosby, Modelo al Premio Europeo de la Calidad (EFQM), Círculo de Deming (PHVA) entre otras, las que pueden ser aplicada a la gestión de las mediciones.

- **Justo a Tiempo (JIT).** El sistema de producción justo a tiempo se orienta a la eliminación de actividades que no agregan valor, y al logro de un sistema de producción ágil y suficientemente flexible, son aplicables no solo a la industria manufacturera sino también a los servicios. Los principales objetivos del Justo a Tiempo (JIT) son: atacar las causas de los principales problemas, eliminar despilfarros, buscar simplicidad y diseñar sistemas para identificar problemas.

- **Método de los 7 pasos.** Para la implementación de este método es necesario seguir siete pasos fundamentales:

- ✓ **Selección de los problemas:** Se busca identificar y seleccionar los problemas, siendo más selectivo y estrechando definiciones.
- ✓ **Cuantificación y subdivisión del problema u oportunidad de mejora seleccionada:** Se pretende identificar el problema de una manera más exacta a través de la cuantificación y posibles subdivisiones del mismo.
- ✓ **Análisis de causas raíces específicas:** Se debe identificar y verificar las causas raíces específicas del problema, es decir, aquella cuya detección y eliminación asegurara que no vuelvan a repetirse, es por ello la importancia del paso anterior.
- ✓ **Establecimiento del nivel de desempeño exigido (métodos de mejoramiento):** El objetivo es establecer el nivel de desempeño exigido al sistema o unidad de estudio y las metas a alcanzar. En este paso se recomienda que durante el primer ciclo no se fijen metas exageradamente ambiciosas para evitar desmotivación por parte del equipo de trabajo, han de ser realizables y suponer un reto.
- ✓ **Diseño y programación de soluciones:** El objetivo es identificar y concretar soluciones que permitan la eliminación de las causas raíces. En esta etapa se aconseja no descartar a simple vista aquellas soluciones que aparentan ser descabelladas, ya que más allá de ellas pueden esconderse grandes soluciones.

- ✓ **Implantación de soluciones:** En este sexto paso se buscan dos objetivos fundamentales, verificar la efectividad de las soluciones y realizar ajustes si es necesario para llegar a una definitiva y finalmente, asegurarse que las soluciones sean asimiladas e implementadas adecuadamente.
- ✓ **Establecimiento de acciones de garantía:** La meta de este paso es mantener el nivel de desempeño alcanzado, es un paso clave ya que muchas veces no se le da la importancia que amerita.
- **Método Philip Crosby.** Este método consiste de una serie de pasos presentados por Philip Crosby en su libro “La calidad no cuesta nada” para ser aplicados en una empresa con el fin de alcanzar la calidad en los procesos:
 - ✓ **Asegurarse que la dirección a mejorar la calidad:** Comunicar a los directivos la necesidad de mejorar la calidad haciendo mención en la prevención de defectos. Esto sirve para que los directivos se comprometan y participen personalmente en el proceso.
 - ✓ **Equipo de mejoramiento de calidad:** Se deben reunir representantes de cada departamento y formar el equipo de mejoramiento de calidad, en esta etapa es recomendable asignar a una persona como jefe de equipo.
 - ✓ **Medición de la calidad:** Se debe determinar el estado de la calidad en toda la compañía, esto con el objetivo de saber dónde es posible el mejoramiento, donde es necesaria la acción correctiva y finalmente mejoras reales.
 - ✓ **Evaluación de costos de calidad:** Es necesario obtener cifras exactas de las estimaciones, éstas son ofrecidas por la oficina del contralor, se debe explicar detalladamente los elementos que constituyen el costo de la calidad.
 - ✓ **Conciencia de calidad:** Se debe entrenar a los supervisores para que orienten a los empleados acerca del mejoramiento de la calidad, para ello se pueden apoyar en folletos, películas, carteles, entre otros.
 - ✓ **Acción correctiva:** Los individuos al hablar de sus problemas normalmente también hacen mención a sus soluciones, es decir, son traídos a la luz, enfrentados y resueltos regularmente. Se adquiere el hábito de identificar problemas y corregirlos.
 - ✓ **Establecer un comité “Ad Hoc” para el programa de “Cero Defectos”:** Se seleccionan entre 3 o 4 miembros del equipo para investigar acerca de “Cero Defectos”, luego se les comunica a todos los empleados acerca del significado literal de esas palabras y la noción de que todo el mundo debe hacer bien las cosas.

- **Modelo al Premio Europeo de la Calidad.** El EFQM (conocido por sus siglas en inglés) tiene como características principales su flexibilidad y dinamismo, ya que puede ser aplicado tanto a pequeñas como grandes organizaciones. El EFQM se guía bajo la siguiente premisa “los resultados excelentes con respecto al rendimiento de la organización, a los clientes, el capital humano y la sociedad se logran mediante un liderazgo que dirija e impulse la política y estrategia, las personas de la organización, las alianzas, los recursos y los procesos”.

- **El ciclo de Deming (PHVA).** El método Deming propone una definición novedosa en cuanto a la función llevada a cabo por una empresa; más allá de hacer dinero es mantenerse en el negocio y brindar empleo a través de la innovación, investigación y mejora constante.

De igual forma este método explica que una compra no se debe basar solo en el precio, ya que al final pudiera resultar de baja calidad e incremento de costos. Así mismo explica que además de la mejora continua en los procesos también debe mejorarse en los sistemas, pues resulta difícil alcanzar nuevas metas con los mismos métodos.

Además, este método crea un sistema organizativo que fomenta la cooperación interna y externa, así como un aprendizaje que facilite la implementación de prácticas de gestión de procesos. Se enfoca en el control estadístico, en la resolución de problemas y el perfeccionamiento o mejora continua.

En su desarrollo da respuesta a un conjunto de interrogantes en cada una de las etapas como se muestra en el **Anexo No.1**.

- **Seis Sigma (6 σ).** La metodología Seis Sigma es un proceso de mejora que se desarrolla de acuerdo con el ciclo DMAIC (definir, medir, analiza, mejorar y controlar).

Dentro de los principales efectos obtenidos con la metodología Seis Sigma se encuentran: reducción de los tiempos de ciclo, reducción de los costos totales, alta satisfacción de los clientes y mejor desempeño financiero de la organización.

La metodología utiliza herramientas como: análisis de varianza, diseño de experimentos, control estadístico de los procesos, procesos de mejora continua, reingeniería de procesos, FMEA, Benchmarking, QFD, entre otras herramientas estadísticas.

En el **Anexo No.2** se presentan los beneficios que trae consigo la aplicación de cada una de las metodologías mencionadas anteriormente.

El empleo simultáneo e integrado de varios e incluso de todos estos métodos y herramientas para la gestión de una organización que busca la mejora continua de su desempeño es posible y factible, ya que cada uno de ellos hace su aporte individual y/o se complementan unos con otros. Por supuesto, muchas organizaciones no poseen los recursos ni la cultura necesaria para

aplicarlas todas simultáneamente, deben en este caso seleccionar las que más se adapten a sus condiciones específicas (Martínez Hernández, 2014).

En la bibliografía consultada existen pocos estudios donde se evidencia el uso de las metodologías mencionadas en la gestión de las mediciones a nivel internacional. Algunos de los estudios consultados se centran en el uso de la metodología seis sigma, como las investigaciones desarrolladas por Hernández Santana (2012); Machado García (2013); Cambra Díaz (2014); Martínez Hernández (2014); Marín Rodríguez (2015); Román Acosta (2016); Barrera García, Cambra Díaz y González González (2017); Barrera García, Hernández Santana, Martínez Hernández, Botana Beltrán y Carrasco Padrón (2017); Querol Ja y Gutiérrez Puerto (2018); Machado García (2019) y Vega Siveiro (2019), cuyos autores integran dicha metodología a la gestión de las mediciones.

Del análisis realizado previamente, el autor de la presente investigación decide seleccionar Seis Sigma como la metodología más completa, debido a que es comprensiva y fácil de aplicar, una vez que se tienen claras las herramientas requeridas, también contiene un acercamiento sistemático para encontrar soluciones a los problemas ocultos y controlar el desempeño de los resultados, obliga a medir los procesos, así como su utilización en la mejora de la gestión de las mediciones. Es por ello que se decide abordar en el siguiente epígrafe.

1.5.1. Seis Sigma como metodología de mejora de procesos

Seis sigma es una de las iniciativas de mejora de calidad para ganar popularidad y aceptación en muchas organizaciones. Pone primero al cliente y utiliza hechos y datos para dar mejores soluciones. El término sigma denota la desviación estándar y se utiliza para describir la variabilidad en un proceso de una empresa.

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 (Mergulhao y Martins, 2008); (Arthur, 2014); (Duarte y Cruz Machado, 2013) y (Garza Villegas y Abrego Traslaviña, 2015).

Es una metodología en la que las variables pueden ser controladas y se utilizan como un medio de gestión de la calidad destinada al cero error (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) y (Panat et al., 2014).

Seis sigma es un sistema completo y flexible para conseguir, mantener y maximizar el éxito en los negocios, aportando beneficios que incluyen: reducción de costos, mejora de la productividad,

aumento de la cuota del mercado, fidelización de los clientes, reducción de tiempo de ciclo, reducción de defectos, cambio de cultura, desarrollo de productos y servicios, entre otros.

Esta metodología se basa en el ciclo iterativo definir, medir, analizar, mejorar, controlar (DMAIC) (ver figura 1.3) empleada para optimizar los procesos existentes (Gutiérrez Pulido, 2009) e (ISO 13053: 2011). El objetivo de DMAIC es elevar la calidad (John, *et al.*, 2008). En el **Anexo No.3** se indican las principales actividades y se alinean las herramientas empleadas para las respectivas fases del ciclo mencionado.

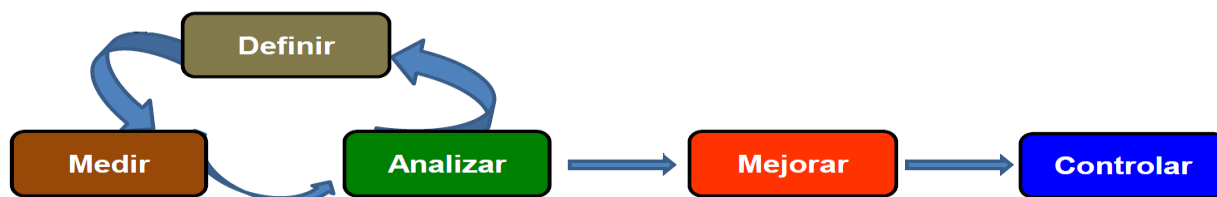


Figura 1.3. Secuencia Seis Sigma DMAIC. Fuente: ISO 13053: 2011

Mientras que Galvania y Carpinettib (2013) definen once factores críticos para la implementación efectiva de Seis Sigma, estando entre ellos: el cambio cultural; capacitación; capacidad para la gestión de proyectos, entre otros, coincidiendo con estos Vega Siveiro (2019) y el autor que desarrolla la actual investigación.

Valoración crítica de la metodología Seis Sigma

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

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

El autor de la actual investigación coincide con los criterios de Hernández Santana (2012); Machado García (2013); Cambra Díaz (2014); Martínez Hernández (2014); Marín Rodríguez (2015); Román Acosta (2016); Querol Ja (2018); Machado García (2019) y Vega Siveiro (2019),

los que seleccionan Seis Sigma como la metodología a utilizar en sus trabajos de campo en el ámbito de la gestión metrológica. Los resultados de las investigaciones desarrolladas por los investigadores anteriores se toman como experiencia, constituyendo la base que sustenta el desarrollo de la presente investigación.

Conclusiones parciales del capítulo

- El requisito concerniente a la confirmación metrológica y la realización de los procesos de medición resulta clave y decisivo para elaborar un buen sistema de gestión, porque es en este aspecto que existe menos experiencia en el país, ya que sólo lo contempla la norma NC ISO 10012: 2007.
- Los mayores errores que ocurren actualmente en las mediciones son causados por la propia persona que ejecuta la medición, y en ello incide notablemente la falta de capacitación para el trabajo que realiza, las deficiencias en el control que sobre ellos se debe realizar, así como la no aplicación de un sistema de gestión de las mediciones.
- Se selecciona la metodología Seis Sigma, debido a que es más comprensiva y fácil de aplicar, una vez que se tienen claras las herramientas requeridas, también contiene un acercamiento sistemático para encontrar soluciones a los problemas ocultos y controlar el desempeño de los resultados. Se basa en técnicas estadísticas obligando a la medición de los procesos, evidenciándose la necesidad de integrarla a la mejora de la gestión de las mediciones, además son escasas las investigaciones donde ha sido integrada a la gestión de las mediciones.

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 Santana (2012) y Machado García (2013), basado en la metodología Seis Sigma. En este se utilizan criterios de diferentes autores, tales como: Gutiérrez Pulido y de la Vara Salazar (2004); Reyes Ponce, *et al.* (2007); Correa (2007); NC ISO 10012: 2007; Guadalupe Echeverría, (2008); NC 918: 2012; Pacheco González (2008); ISO 13053: 2011; Gibbons *et al.* (2012); así como las transformaciones propuestas por Querol Ja y Gutiérrez Puerto (2018) y Vega Siverio (2019).

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.

A partir de lo enunciado, se identifican como objetivos globales de la empresa para el año 2020 los siguientes:

- Elevar el desempeño energético, alcanzando en la generación un consumo específico bruto de combustible de 252,3 g/kwh y un factor de insumo de 7,48 %, garantizando un factor de potencia disponible de 76,3 % y un factor de emisiones gaseosas de CO₂ de 0,783 t CO₂/mwh.
- Elevar el desempeño en la actividad de mantenimiento, que permita la ejecución del plan de previsto para el año para ambas unidades, garantizando un aprovechamiento de la fuerza de trabajo de un 85 %.
- Ampliar el alcance del sistema de gestión integrado certificado, alcanzando la conformidad para la certificación por las normas NC-ISO 45001: 2018, NC-ISO IEC 27001: 2016 y NC-ISO 50001: 2015.

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 tres Unidades Empresariales de Base (UEB) presupuestadas, dicha estructura se muestra en el organigrama de la organización (ver **Anexo No.4**). 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 MINEN 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.

La plantilla general de la empresa es de 419 trabajadores, 327 son hombres y 92 son mujeres, estos se encuentran distribuidos por las diferentes áreas (ver tabla 2.1).

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

Área de Trabajo	Cantidad de Trabajadores
Dirección General	10
Dirección Técnica	22
Dirección de Administración Financiera	23
Dirección de Capital Humano	15
UEB Producción	116
UEB Mantenimiento	134
UEB Abastecimiento	44
UEB Seguridad y protección	21
UEB Servicios	34
Total	419

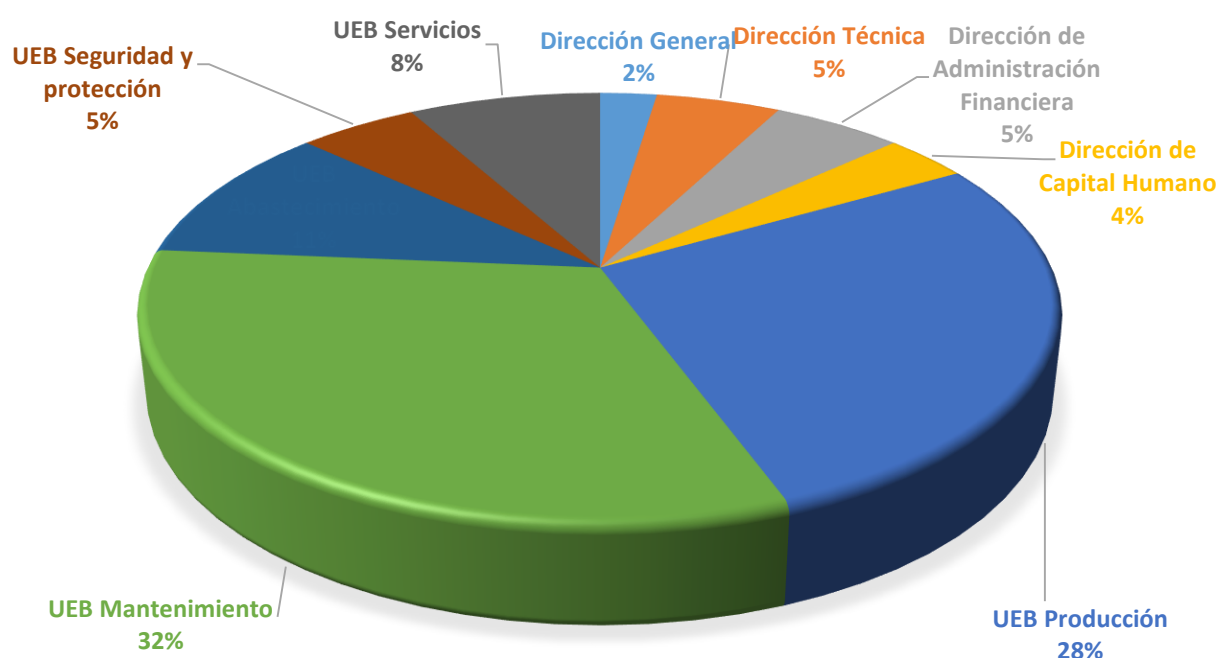


Figura 2.1: Porcentaje de trabajadores distribuidos por las diferentes áreas. Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla No. 2.2 se muestra la cantidad de trabajadores según el rango de edad.

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

Rango de Edad	Cantidad de Trabajadores
Menos de 25 años	41
De 25 a 35	87
De 36 a 45	50
De 46 a 55	103
Más de 55	138
Total	419

Se evidencia que la mayor cantidad de personas tienen más de 55 años de edad, 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.

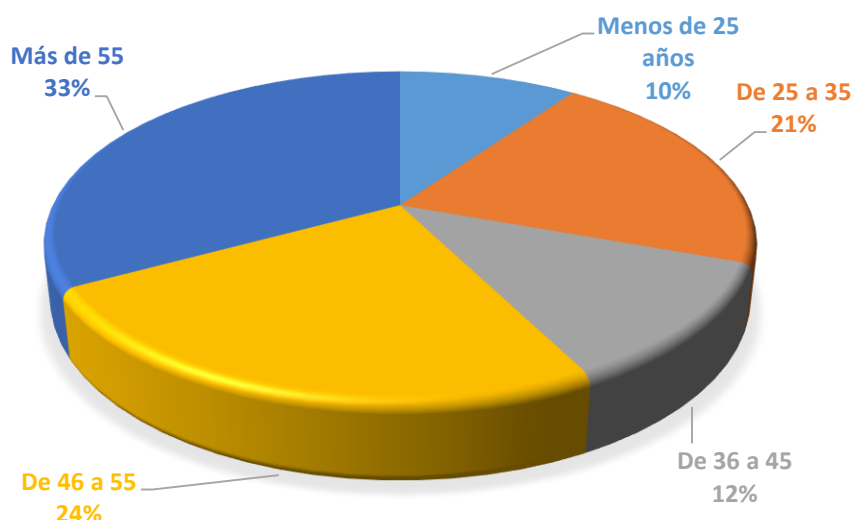


Figura 2.2: Porcentaje de trabajadores según el rango de edad. Fuente: Elaboración propia.

Al cierre de mayo del 2020 la empresa cuenta con 173 operarios, 215 técnicos, ningún administrativo, 9 cuadros y 22 vinculados al servicio (véase tabla 2.3). En la figura 2.3 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	173
Técnicos	215
Administrativos	0
Servicios	22
Cuadros	9
Total	419



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.

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

Nivel de Escolaridad	Cantidad de Trabajadores
Nivel Superior	131
Técnico Medio	132
Duodécimo Grado	71
Noveno Grado	84
Sexto Grado	1
Menos de Sexto Grado	0
Total	419

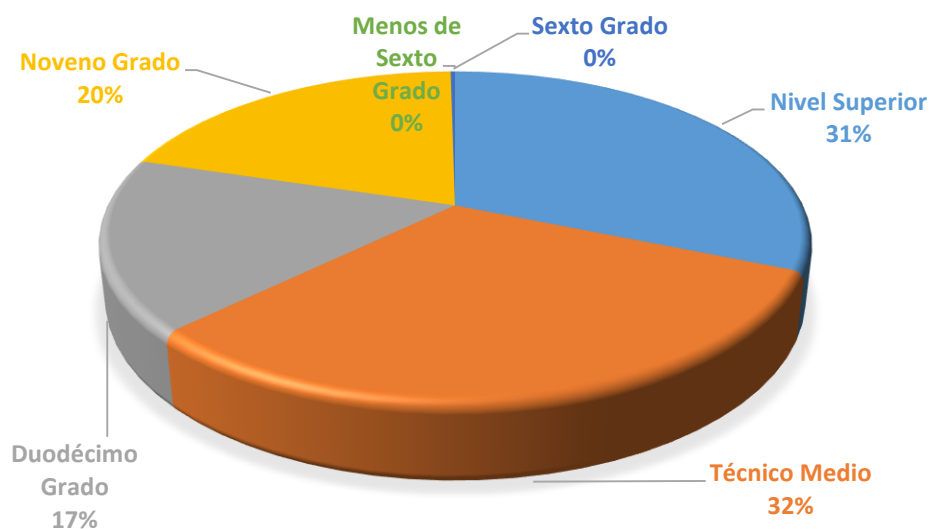


Figura No. 2.4: Porcentaje de trabajadores por nivel de escolaridad. Fuente: Elaboración propia.

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

Proveedores

- ENERGOIMPORT
- ETEP
- EMCE
- TRASVAL
- ONN

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. En el mapa general de la organización se tienen identificados 32 procesos (ver **Anexo No.5**) se observa cómo se relacionan los diferentes procesos: Dirigir Entidad (Estratégico), Generar Energía (Principal), Medir, Analizar y Gestionar Mejoras (Auxiliar) y Gestionar Recursos (Apoyo), siendo los procesos que integra este último 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, obtenida esta última recientemente. Existe un sistema satisfactorio de evaluación de riesgos, procedimientos de trabajos seguros, siendo la capacitación la base fundamental de los logros alcanzados.

La Empresa logra en el 2015 la certificación de su Sistema de Gestión de Capital Humano según lo establecido en la NC 3001: 2007 y retirada en octubre de 2016 a partir de lo estipulado en la Carta Circular con fecha 20 de noviembre de 2015 de la Oficina Nacional de Normalización.

En la entidad se 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 Unión Nacional Eléctrica (UNE) de los mantenimientos, suspensión de la modernización, pobre aseguramiento metrológico en el país, entre otros, lo que ha provocado medidas fuera de planes. Otro aspecto relevante a destacar es que se desconoce la incertidumbre asociada a los sistemas de mediciones, por tanto, no se tiene en cuenta en la toma de decisiones, incumpléndose 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 Puerto (2018) y Vega Siverio (2019) se hace necesario continuar utilizando un método que ayude a planificar los periodos de calibración a partir de la situación descrita, que permita su conformidad con la especificación de uso, proporcione seguridad de la validez de sus resultados y mejore la gestión de las mediciones en los diferentes sistemas.

Por esta razón se decide utilizar el procedimiento diseñado por Hernández Santana (2012) y Machado García (2013) con las transformaciones propuestas por Román Acosta (2016) y Vega Siverio (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 el autor de la actual investigación debido a que es una estrategia de mejora continua que busca encontrar y eliminar causas de errores o defectos en los procesos, enfocada a las variables de importancia crítica para los clientes, además este ha sido aplicado en otros procesos de la organización mencionada. Los autores Hernández Santana (2012); Machado García (2013) y Román Acosta (2016) para su elaboración se utilizan criterios de diferentes metodologías, dadas por disímiles autores, tales como: Gutiérrez Pulido y de la Vara Salazar (2009); Reyes Ponce, *et al.* (2007); Guadalupe Echeverría (2008); Arias Carrazana (2007); ISO 13053: 2011; Gibbons *et al.* (2012); NC ISO 10012: 2007, NC 918: 2012; Pacheco González (2008); GUM, 2008, NC – Guía 1066:2015 y la NC 994: 2015, además se tienen en cuenta las transformaciones propuestas por Querol Ja y Gutiérrez puerto (2018) y Vega Siverio (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.6**).

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, NC – Guía 1066:2015, así como parte de los requisitos planteados en la NC ISO 9001: 2015 e ISO 13053:2011, además de las técnicas de diagnóstico que se aplicarán para conocer el estado del sistema de gestión de las mediciones. De ser necesario se realizará una capacitación en el tema.

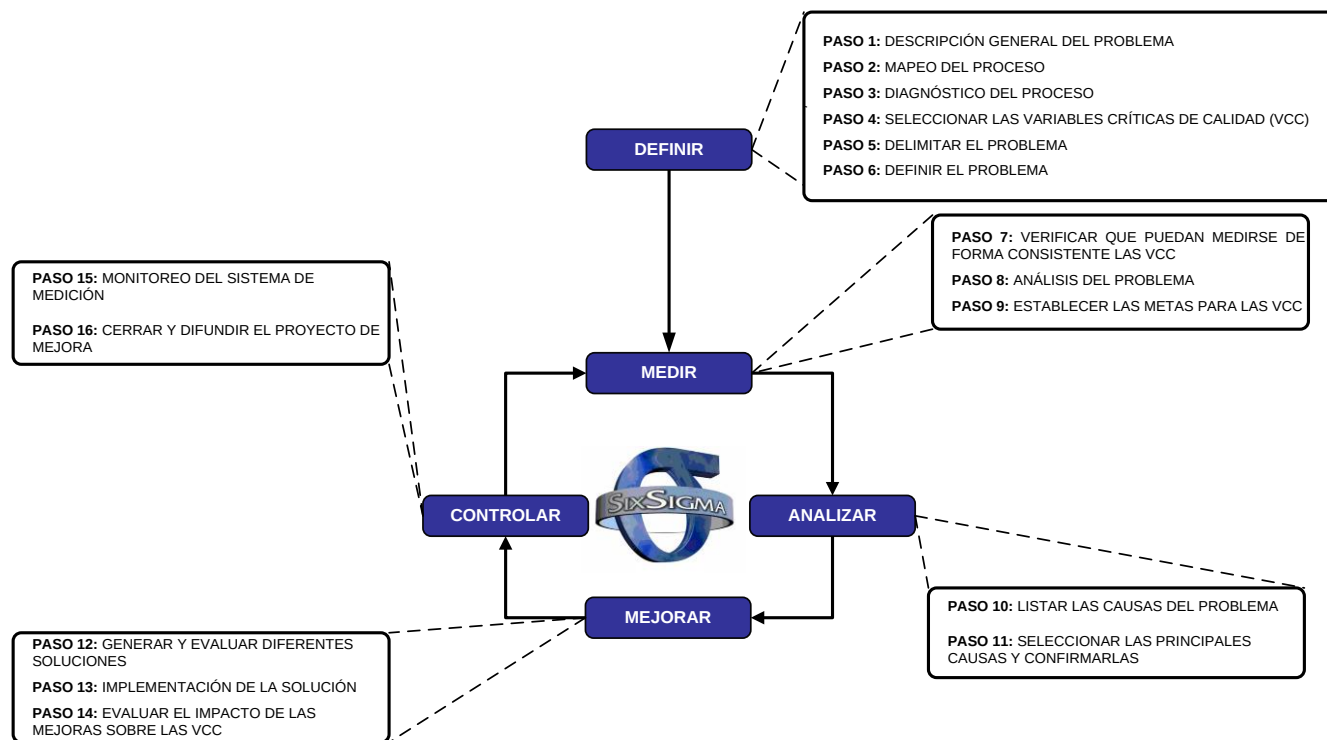


Figura 2.5. Procedimiento para la mejora de la gestión de las mediciones, a partir de la utilización de la metodología Seis Sigma. Fuente: (Hernández Santana, 2012); (Machado García, 2013) y (Vega Siverio 2019).

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

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 término de su contexto, alcance y requisitos.

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

Los siguientes pasos componen esta secuencia inicial:

Paso 1: Descripción general del problema

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

Para realizar un examen profundo del trabajo es necesario:

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

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

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

Paso 2: Mapeo del proceso

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

Descripción del contexto

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

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

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

Determinación de los requisitos y narración del proceso

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

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

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

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

Paso 3: Diagnóstico del proceso

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

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

- ¿El qué está bien? (éxito)
- ¿El qué está mal? (fracaso)
- ¿El porqué 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.

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

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

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

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

Paso 5: Delimitar el problema

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

Paso 6: Definición del problema

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

Etapas II: Medir

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

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

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

Paso 8: Análisis del problema

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

- El aseguramiento de la veracidad de los resultados de las mediciones.
- 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.

Marín Rodríguez (2015); Román Acosta (2016) y Vega Siverio (2019) manifiestan que una de las variables críticas para la calidad en una medición es la evaluación de la incertidumbre. Las etapas a seguir para evaluar y expresar la incertidumbre del resultado de una medición, tal como se presenta en la guía (GUM, 2008) y la NC – Guía 1066:2015, puede resumirse como sigue:

- Expresar matemáticamente la relación existente entre el mensurando Y y las magnitudes de entrada X_i de las que depende Y según $Y = f(X_1, X_2, \dots, X_n)$. La función f debe contener todas las magnitudes, incluyendo las correcciones y factores de corrección que pueden contribuir significativamente a la incertidumbre del resultado de medición.
- Determinar x_i , el valor estimado de la magnitud de entrada X_i , bien a partir del análisis estadístico de una serie de observaciones, o bien por otros métodos.
- Evaluar la incertidumbre típica $u(x_i)$ de cada estimación de entrada x_i . Para una estimación de entrada obtenida por análisis estadístico de series de observaciones, la incertidumbre típica se evalúa a partir de métodos determinísticos de estadística clásica (frecuentista) para la evaluación de la incertidumbre tipo A, y la evaluación de incertidumbres tipo B con el método Bayesiano de soluciones analíticas (Ley de propagación de la incertidumbre).

- Evaluar las covarianzas asociadas a todas las estimaciones de entrada que estén correlacionadas.
- Calcular el resultado de medición, esto es, la estimación y del mensurando Y , a partir de la relación funcional f utilizado para las magnitudes de entrada X_i las estimaciones x_i obtenidas.
- Determinar la incertidumbre típica combinada $u_c(y)$ del resultado de medición y , a partir de las incertidumbres típicas y covarianzas asociadas a las estimaciones de entrada. Esta combinación de incertidumbres se puede realizar también con el método Bayesiano de soluciones analíticas (Ley de propagación de la incertidumbre). Si la medición determina simultáneamente más de una magnitud de salida, calcular sus covarianzas.
- Si es necesario dar una incertidumbre expandida U , cuyo fin es proporcionar un intervalo $[y-U, y+U]$ en el que pueda esperarse encontrar la mayor parte de la distribución de valores que podrían, razonablemente, ser atribuidos al mensurando Y , multiplicar la incertidumbre típica combinada $u_c(y)$ por un factor de cobertura k , normalmente comprendido en un margen de valores entre 2 y 3, para obtener $U = ku_c(y)$.

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

En el **Anexo No.7** se resumen las fórmulas para estimar el valor de la incertidumbre que aportan a la medición del valor final, dadas por Pacheco González (2008). La utilización o no de los elementos de la tabla mencionada, depende de su aplicabilidad o no en el caso del proceso de medición en cuestión. Esto quiere decir que dichos elementos solo pueden ser omitidos cuando definitivamente no procedan para la actividad que se se regula (Pacheco González, 2008).

Otras de las variables críticas para la calidad en una medición es la evaluación de la conformación metrológica, en especial la calibración de los instrumentos de medición, donde deben estar fundamentados los periodos de tiempos entre una y otra calibración. En la NC OIML D 10, se explican de forma teórica varios métodos para establecer dichos intervalos.

Como se menciona en el capítulo anterior, así como los criterios expuestos por Querol Ja y Gutiérrez Puerto (2018) y Vega Siverio (2019), se decide para el desarrollo de la presente investigación seleccionar el método carta de control (tiempo- calendario), debido a que este fundamenta de forma cuantitativa a través de herramientas estadísticas matemáticas el período de tiempo entre una y otra calibración, además de poseer los registros de las calibraciones de años anteriores de los equipos de medición. Para el desarrollo de este método se debe recolectar la siguiente información:

- Seleccionar los posibles certificados de calibración que sirvan de fuente para el procesamiento.
- Es necesario que los certificados seleccionados tengan la información necesaria de forma estandarizada, (puntos a analizar, error absoluto, relativo, unidades de medidas...), de no ser así es necesario realizar las conversiones correspondientes.
- Seleccionar los puntos coincidentes en todos los certificados, incluyendo siempre, el punto donde se ha encontrado la mayor desviación entre los errores de las calibraciones, y el punto donde se ha encontrado el mayor error en la última calibración. También es importante considerar los puntos para los que realmente se emplea el equipo de medición.
- 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.

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

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

Etapas III: Analizar

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

Paso 10: Listar las causas del problema

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

Paso 11: Seleccionar las principales causas y confirmarlas

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

Etapas IV: Mejorar

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

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

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

Paso 13: Implementación de la solución

Para implementar la solución es importante elaborar un plan en el 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 14: Evaluar el impacto de la mejora sobre las variables críticas de calidad

Para la evaluación de la solución se debe comparar el estado del proceso antes y después de las acciones tomadas. Este tipo de estudio obedece a una búsqueda permanente del mejoramiento continuo de un proceso. Si los resultados no son satisfactorios, entonces se debe revisar por qué no da resultado y con esa base revisar lo hecho nuevamente.

Etapa V: Controlar

Una vez que las mejoras deseadas han sido alcanzadas, se diseña un sistema que mantenga las mejoras logradas. En otras palabras, el objetivo de esta etapa es que el equipo de trabajo desarrolle un conjunto de actividades con el propósito de mantener el estado y desempeño del proceso a un nivel que satisfaga las necesidades del cliente, además que sirva de base para buscar la mejora continua. En este sentido, es necesario establecer un sistema de control para:

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

Paso 15: Monitoreo del sistema de medición

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

Este monitoreo del proceso es permanente y forma parte de la rutina diaria de trabajo de 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 16: Cerrar y difundir el proyecto de mejora

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

- Documentar el proyecto: Integrar todos los documentos que reflejen el trabajo realizado en las cinco etapas.

- Principales logros alcanzados: Elaborar un resumen de los cambios o soluciones dadas para el problema, el impacto de las mejoras, entre otros.
- Difundir lo hecho y logros alcanzados: Presentación ante colegas y directivos, difusión interna por los canales adecuados.
- La correcta aplicación de este procedimiento a la gestión de las mediciones exige la observancia de tres condiciones básicas: Utilización de herramientas de la calidad; Registro documental del proceso y Ejecución del trabajo en equipo.

Conclusiones parciales del capítulo

1. Para la mejora de un sistema de gestión de las mediciones es necesario considerar: responsabilidades de la dirección, gestión de los recursos, confirmación metrológica y realización de los procesos de medición, además de asegurar que todos en la organización estén sensibilizados con la importancia de este tipo de sistema, así como su interrelación con la calidad del producto final.
2. El procedimiento general propuesto por Hernández Santana (2012) y Machado García (2013) para la mejora de la gestión de las mediciones y modificado por Marín Rodríguez (2015); Román Acosta (2016); Querol Ja y Gutiérrez Puerto (2018) y Vega Siverio (2019) está fundamentado en la metodología Seis Sigma para el mejoramiento continuo de procesos. En este se incluye el diagnóstico inicial, así como un grupo de criterios planteados por diferentes autores, tales como: Gutiérrez Pulido y de la Vara Salazar (2009); Reyes Ponce, *et al.* (2007); Guadalupe Echeverría (2008); Arias Carrazana (2007); ISO 13053: 2011; Gibbons et al. (2012); NC ISO 10012: 2007, Pacheco González (2008); GUM, 2008 y NC – Guía 1066:2015.
3. El procedimiento general propuesto por Hernández Santana (2012) y Machado García (2013) y modificado por Marín Rodríguez (2015); Román Acosta (2016); Querol Ja y Gutiérrez Puerto (2018) y Vega Siverio (2019) para la mejora de la gestión de las mediciones, es flexible a toda organización durante el proceso de integración y mejoramiento continuo de su gestión. El mismo facilita el proceso de ajuste de las acciones planificadas a través del análisis de los resultados del funcionamiento del sistema de medición.

Capítulo III

CAPÍTULO III: APLICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO PARA LA MEJORA DE LA GESTIÓN DE MEDICIÓN DEL SISTEMA DE PRESIÓN PARA LA PLANTA DE TRATAMIENTO QUÍMICO DE AGUA

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

3.1. Aplicación del procedimiento

La aplicación del procedimiento se realiza siguiendo en orden los pasos propuestos en el capítulo anterior dados por (Hernández Santana, 2012; y Machado García, 2013) con las transformaciones formuladas por (Martínez Hernández, 2014), (Marín Rodríguez, 2015); (Román Acosta, 2016); (Querol Ja y Gutiérrez Puerto, 2018) y (Vega Siverio, 2019).

Este ha sido aplicado en la Empresa Termoeléctrica Cienfuegos por Vega Siverio (2019), específicamente en el sistema de bombas de agua de alimentar.

Para comenzar la investigación se continúa con el grupo de trabajo conformado en la investigación mencionada, este se encuentra compuesto por especialistas, tecnólogos, directores, entre otros.

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

Etapas I: Definir

Paso 1: Descripción general del problema

La Empresa Termoeléctrica Cienfuegos, cuenta con un Sistema de Gestión de Calidad basado en la NC ISO 9001:2015 y certificado por la ONN. Esta norma se encuentra interrelacionada con la norma NC ISO 10012: 2007 “Sistema de gestión de las mediciones. Requisitos para los procesos de medición y los equipos de medición”. Los procesos de medición deben considerarse como procesos específicos, cuyo objetivo es controlar las magnitudes físicas utilizadas en la generación de energía eléctrica, evaluando la calidad de las mismas mediante el óptimo funcionamiento de la instrumentación utilizada e indicadores de eficacia. Pero esta evaluación no siempre se realiza a nivel de sistema de mediciones, son pocos los estudios realizados en la organización objeto de estudio. Por tanto, este último elemento constituye la principal razón por

la que se decide continuar con este tipo de estudio, para de esta forma evaluar la calidad de las mediciones en los diferentes procesos.

Paso 2: Mapeo del proceso

Descripción del contexto

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, gestión y asignación de los recursos, auditorías, control de las no conformidades y mejora continua, entre otros (Vega Siverio, 2019).

Hoy la Empresa Termoeléctrica Cienfuegos cuenta con un total de 7 000 instrumentos aproximadamente, distribuidos por los diferentes procesos que existen en la organización, las magnitudes de los mismos son: Presión, Temperatura, Flujo, Volumen, Masa, Nivel, Físico-Químico, Electricidad, Radio, Tiempo, Longitud, Ángulo, Vibraciones, velocidad, entre otras.

El proceso de Controlar Equipos de Medición, se encuentra subordinado a la Dirección Técnica, que pertenece al Grupo de Regulación y Control, dentro del departamento de Gestión Empresarial. En este proceso se cuenta con un grupo de instrucciones y procedimientos que garantizan el funcionamiento de la actividad.

Determinación de los requisitos

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

- Determinar el periodo de verificación según Disposición General DG-01: 2015.
- Cumplir con lo establecido en los procedimientos:
 - ✓ UT-MP 0002 Confirmación Metrológica.
 - ✓ UT-MP 0003 Trazabilidad e Incertidumbre de las Mediciones.
 - ✓ UT-MP 0005 Equipos de Medición.
 - ✓ TC-MA 0006 Equipos de Medición. Manipulación, Transporte y Almacenamiento.
- Revisión del cumplimiento del Decreto Ley 183.

Narración del proceso

La actividad metrológica en la organización se realiza mediante el proceso Control de los Equipos de Medición, estas son descritas en el **Anexo No.8**. Para un mejor análisis del proceso en estudio se muestra en el **Anexo No.9** el diagrama de bloques. En el **Anexo No.10** se expone la ficha correspondiente al proceso analizado.

Paso 3: Diagnóstico del proceso

El objetivo general del diagnóstico es establecer el estado actual de la gestión de las mediciones por medio de una revisión inicial, así como de los requisitos legales aplicables en la misma, estructurado en:

- Requisitos legales aplicables en materia de gestión de las mediciones.
- 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 la actualización de dicho diagnóstico para cada uno de los aspectos mencionados.

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

Se realiza la actualización de la legislación, normas cubanas y otras regulaciones de la Oficina Nacional de Normalización (ONN) y el Servicio Nacional de Metrología (SENAMET) relativas a dicha materia. Se actualiza el 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.

De forma general la empresa dispone de la totalidad 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.

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

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

- Cuestionario de cumplimiento de la NC ISO 10012: 2007.
- Registro de no conformidades.
- 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.11**), manteniéndose el resultado obtenido por Vega Siverio (2019). En la figura 3.1 se representan dicho resultado.

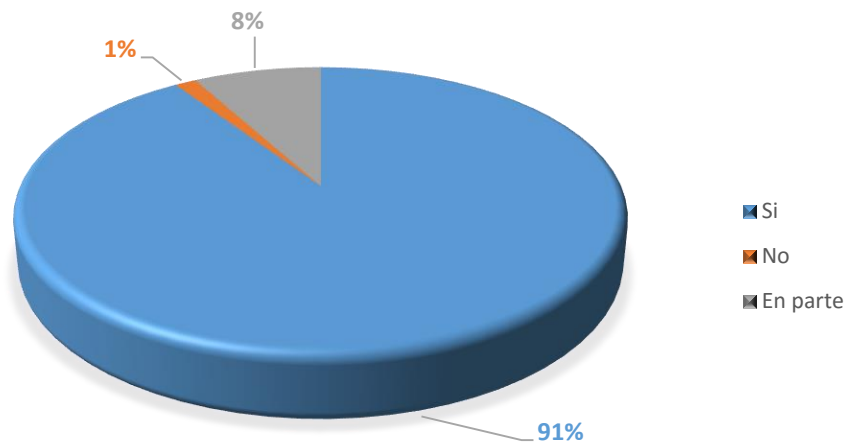


Figura 3.1. Representación del porcentaje de implementación de la NC ISO 10012: 2007.
Fuente: (Vega Siverio, 2019).

Del análisis de la figura anterior se evidencia que se continúa incumpliendo el 1% de estos requisitos y el 8% en parte, estos se encuentran relacionados con:

- No todos los resultados de las mediciones son trazables al Sistema Internacional de Unidades.
- No se estima 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 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 años 2017, 2018 y 2019. A partir de este análisis se evidencian que no existen declaradas No conformidades.

Revisión por la dirección

La revisión se realiza de forma trimestral, de acuerdo a lo establecido en el sistema de gestión empresarial. Durante el año 2018 y 2019 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 nuevos instrumentos de medición 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 no permitidas por el Decreto Ley 62 sobre el Sistema Internacional de Unidades.
- Déficit de instrumentos.
- No se encuentra fundamentado el período entre calibraciones a partir de métodos estadísticos matemáticos.
- Dificultades para la Calibración de Patrones Eléctricos, de Temperatura, entre otros.
- Dificultades para la gestión de la trazabilidad en algunas magnitudes, ejemplo: vibraciones, viscosidad, entre otras.

Como resultado del diagnóstico realizado se evidencia la necesidad de continuar realizando estudios que permitan mejorar la calidad de las mediciones.

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

De forma general se encuentra definido para cada uno de los instrumentos que integran el proceso de medición, período de calibración y de verificación, que se establece por el Decreto Ley No.183 de febrero de 1998 y regulado por la Disposición General DG-01:2015 “Instrumentos de medición sujetos a la verificación obligatoria y a aprobación de modelo según los campos de aplicación donde serán utilizados”. Se trabaja por un Plan de Calibración y de Verificación.

A partir de los resultados obtenidos se procede a actualizar el listado de fortalezas y debilidades elaborado por Vega Siverio (2019) del proceso de Controlar Equipos de Medición en la Empresa Termoeléctrica Cienfuegos. Los resultados que se obtienen se observan en el **Anexo No.12**.

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

Para definir las variables críticas de calidad de mayor impacto del proceso objeto de estudio, se toman las definidas por Vega Siverio (2019), siendo estas:

- Verificación y calibración.
- Evaluación de la incertidumbre en los sistemas de medición.
- Estado de la conformidad metrológica de los instrumentos de medición.
- Estado de los patrones de medición, tanto internos como externos.

El equipo de trabajo decide volver a realizar una valoración de la situación actual de dichas variables, donde se llega por consenso que las variables críticas de calidad que se deben continuar estudiando son:

- Verificación y calibración

Dentro de esta variable es necesario continuar trabajando fundamentalmente lo relacionado con los períodos de calibración, debido a que es en este aspecto donde se presenta la mayor cantidad de dificultades, así como puede existir el riesgo de tomar mediciones incorrectas, ya que en la organización los periodos entre calibraciones no se encuentran fundamentados a través de métodos estadísticos – matemáticos, este solo se fundamenta en el criterio de especialistas. Por tanto, es imprescindible fundamentar los períodos de tiempos entre calibraciones. El único sistema de la organización donde el período de calibración se encuentra fundamentado a través de métodos estadísticos – matemáticos es en el sistema de bombas de agua de alimentar.

- Evaluación de la incertidumbre en los sistemas de medición.

Es imprescindible continuar con esta evaluación debido a la necesidad de caracterizar el intervalo dentro del cual el valor verdadero de la magnitud a medir se estime. En la organización solo se tiene el reporte de la incertidumbre de medición en los certificados de calibración para cada instrumento de forma independiente, careciendo de dicha evaluación en los sistemas de medición. Por tanto, es necesario trabajar con la incertidumbre, para proporcionar calidad en las mediciones, logrando que estas sean confiables y seguras. Al igual que en la variable anterior el único sistema de la organización donde se encuentra estimada la incertidumbre de medición es en el sistema de bombas de agua de alimentar, específicamente para la magnitud temperatura.

Paso 5 y 6: Delimitar y definir el problema

Para generar la energía eléctrica, es necesario desde el punto de vista metrológico controlar las magnitudes físicas del proceso a través de instrumentos y sistemas de medición. Al realizarse la modernización de la Unidad No.4 y en parte de la Planta de Tratamiento Químico del Agua se sustituye la tecnología automática utilizada para las mediciones por la digital, siendo en mayor medida en la Unidad No.4, manteniendo instrumentos analógicos en dicha planta. Esta permite un mejoramiento del proceso a partir de la inclusión de nuevos parámetros en la medición, con

mayor seguridad, precisión y en tiempo real. Entre los principales sistemas de medición de la Planta de Tratamiento Químico del Agua (PTQA) se encuentran:

- Sistemas de medición para la magnitud temperatura
- Sistemas de medición para la magnitud presión
- Sistemas de medición para la magnitud conductividad
- Sistemas de medición para la magnitud flujo
- Sistemas de medición para la magnitud volumen

Para la selección del sistema se tienen en cuenta los criterios (Vega Siverio, 2019):

- Cantidad de instrumentos de medición
- Estado de la confirmación metrológica
- Impacto de las mediciones en la toma de decisiones

A partir de los criterios anteriores, se decide por consenso seleccionar el sistema de medición para la magnitud presión instalado en la PTQA, debido a que el mismo es de vital importancia para el funcionamiento de la Planta, así como la repercusión de los resultados de la medición de esta magnitud en la toma de decisiones.

Análisis del sistema de medición de la PTQA

Las calderas que operan en la Central Termoeléctrica son de alta presión, por tanto para su funcionamiento requieren agua de gran pureza, libre casi por completo de sólidos disueltos o en suspensión como son: sales de calcio, magnesio, sílice, hierro, y de gases disueltos como el CO₂, entre otros. Estos pueden provocar o favorecer la corrosión e incrustaciones de las superficies térmicas, lo que puede causar explosiones de los tubos y en general la destrucción de las calderas. Todo esto trae consigo un mayor gasto de productos químicos, combustibles, mayores gastos de mantenimiento. Por ese motivo el agua que se alimenta a estas calderas debe recibir un tratamiento previo de purificación y con ese objetivo ha sido instalada la planta de tratamiento químico del agua, la que tiene una capacidad de 48m³/h.

A la PTQA llega el agua cruda procedente del acueducto. Al llegar a la planta el agua es almacenada en un tanque de concreto, el que se encuentra dividido en dos secciones, A y B, cada una con una capacidad de almacenaje de 4500m³. En estos tanques se produce un proceso de floculación con sulfato de aluminio, el agua permanece el tiempo suficiente para que sedimenten parte de los sólidos en suspensión que trae la misma, incluyendo la sílice coloidal. En la operación normal un tanque está en servicio y el otro en floculación, para el llenado y la puesta en servicio de los tanques están provisto de un sistema de válvulas automáticas, que son operadas desde la computadora situada en el local del operador.

Desde los tanques el agua es bombeada hacia la planta por dos bombas centrifugas, de las cuales una está en servicio y la otra en reserva.

De los tanques de agua cruda esta es bombeada hacia el filtro mecánico o de arena donde son eliminadas las impurezas mecánicas presentes en la misma. El filtro mecánico es un recipiente vertical, cilíndrico de 3000 mm de diámetro que contiene en su interior como medio filtrante un volumen de 13 m³ de arena sílice muy pura, esta arena tiene diferente granulometría para facilitar el proceso de retención de las suciedades. Debido a su trabajo el filtro se va ensuciando por lo que es necesario lavarlo, como norma cada 7 días o antes si se notara una caída de presión de 1 atm a través del mismo.

Después del filtro mecánico el agua pasa a la unidad de intercambio iónico llamada Cation Débil, la que está compuesta por dos tanques cilíndricos de 2000 mm de diámetro cada uno, con un recubrimiento interior de goma, de ellos uno en servicio y el otro en reserva. La función principal es la eliminación del Ca, Mg y Na que están unidos a los bicarbonatos y carbonatos.

Llegado el tiempo en que la resina pierde su propiedad de intercambio es necesario regenerarlo para ello se utiliza una solución de ácido sulfúrico al 0,5 %.

Debido a la reacción de intercambio en el catión débil se produce gran cantidad de CO₂ que permanece disuelto en el agua, para eliminar el mismo se utiliza una torre descarbonatadora que es una columna cilíndrica de 1500 mm de diámetro recubierto de goma interiormente y empacada con pequeños anillos de porcelana, huecos, conocidos como anillos Rasching cuya función es aumentar la superficie de contacto entre la parte líquida y la fase gaseosa, la que está compuesta por el aire que se suministra por la parte inferior con los sopladores y el agua que entra por la parte superior, mediante un proceso de transferencia de masa el CO₂ es absorbido por el aire y expulsado a la atmósfera junto con este. El agua sale por la parte inferior y cae en el tanque de agua descarbonatada.

Situadas encima del tanque de agua descarbonatada se encuentra 4 bombas verticales, las que son las encargadas de suministrar el agua a los cationes fuertes compuesto por dos tanques cilíndricos recubiertos interiormente con goma con un diámetro de 3000 mm. La función principal es la eliminación de Ca, Mg y Na que estos unidos a los cloruros, sulfatos y silicatos.

Una vez que la resina pierda su propiedad de intercambio, esta se regenera con una solución de H₂SO₄ en tres etapas al 2%, 4% y 6%.

La etapa aniónica débil está compuesto por dos recipientes cilíndricos de 3000 mm de diámetro recubiertos interiormente con goma. En estos equipos se encuentra la resina aniónica débilmente básica su función principal es la eliminación del cloruro y sulfato.

Cuando la resina de la unidad aniónica débil que está en servicio alcanza el parámetro de agotamiento establecido en la carta tecnológica, es necesario regenerarlo para devolverle su capacidad de intercambio iónico, para su regeneración se utiliza hidróxido de sodio (NaOH) a una concentración entre 4-5%

La etapa aniónica fuerte está compuesta por dos unidades de intercambio, las que son dos tanques cilíndricos de 1500 mm de diámetro recubiertos interiormente de goma, su función fundamental es la eliminación de sílice y CO₂.

Después que el agua pasa por el anión fuerte queda totalmente purificada, pues se han eliminado todas sus sales disueltas y sólidos en suspensión. Cuando la resina llegue a su estado de agotamiento esta se regenera con una solución de hidróxido de sodio entre el 4 y 5%.

Durante el proceso se producen fugas y es necesario reducirlas al mínimo y para esto se ha situado a la salida de la etapa aniónica fuerte una etapa de lechos mezclados, que como su nombre lo indica es un equipo que tiene las resinas catiónicas y aniónicas mezcladas. El agua de los aniones fuertes se hace pasar a través de los lechos mezclados y a la salida de estos se obtiene el agua de la calidad requerida para alimentar las calderas. Una representación de este proceso se muestra en el **Anexo No.13**.

En la planta se encuentran situados 30 puntos en los que se monitorea la presión. Este sistema de medición por presión de la PTQA desde el punto de vista metrológico es uno de los de mayor importancia para su control y funcionamiento. Se corre el riesgo que al intervenir diferentes instrumentos, procedimientos de trabajo y el factor humano, existan incongruencias entre el funcionamiento real y lo medido por los instrumentos, conllevando a la toma de decisiones erradas. Unido a lo anterior, la Unión Eléctrica ha solicitado a los especialistas en metrología de cada una de sus entidades que se realicen estudios para evaluar la incertidumbre de la medición en sus sistemas y determinar el período de calibración adecuado, para de esta forma lograr mediciones confiables y seguras.

Según los elementos tratados en el diagnóstico y en la delimitación del problema, se demuestra que se debe evaluar la calidad de las mediciones, basada en la evaluación de la incertidumbre del sistema y la determinación de los períodos de calibración de los instrumentos utilizados en la medición de presión para la PTQA.

Etapas 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 evaluación de la

incertidumbre y la fundamentación de los períodos de tiempo entre calibraciones en el sistema de presión de la PTQA.

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

En el sistema objeto de estudio los instrumentos tienen aseguramiento metrológico en Cuba. Todos tienen trazabilidad, encontrándose en confirmación metrológica.

Paso 8: Análisis del problema

Por ser los manómetros dispositivos de medición analógicos, las fuentes de incertidumbre que se definen para el estudio son las siguientes:

- Error Máximo Permisible
- Error de Calibración
- Resolución
- Apreciación del observador

Otras posibles fuentes no se tienen en cuenta para el estudio, debido a que sus incertidumbres se consideran despreciables.

Incetidumbre de la medición de presión

Es la incertidumbre al realizar la lectura con el manómetro. A continuación se muestra un ejemplo del cálculo para uno de los manómetros.

Presión del Manómetro indicador con número de serie 39577.

Por error máximo permisible

Considerando el error máximo permisible del manómetro como una distribución triangular (Pacheco, 2008) queda:

$$\mu_{(e.m.p)} = \frac{e.m.p}{\sqrt{6}} = \frac{0,2 \text{ kgf/cm}^2}{\sqrt{6}} = 0,0816 \text{ kgf/cm}^2 \quad (3.1)$$

Por calibración del manómetro

Para el cálculo de la incertidumbre por calibración del manómetro, se utiliza la siguiente fórmula (Marín Rodríguez, 2015):

$$\mu_{(calibración)} = \frac{\text{Incertidumbre}}{\text{Factor de cobertura}} = \frac{0,0136 \text{ kgf/cm}^2}{2} = 0,0068 \text{ kgf/cm}^2 \quad (3.2)$$

Por resolución del manómetro

La resolución normalmente se considera con distribución rectangular, por lo tanto, la incertidumbre por resolución se estima de acuerdo a la siguiente relación:

$$\mu_{(r)} = \frac{r}{\sqrt{12}} = \frac{0,2 \text{ kgf/cm}^2}{\sqrt{12}} = 0,0577 \text{ kgf/cm}^2 \quad (3.3)$$

Por apreciación del observador

Por lo general no se tiene información respecto a la apreciación del observador, se asume que la misma es igual al valor de la división de la escala del manómetro, se estima como (Sáez Ruíz y Font Ávila, 2001):

$$\mu_{(obs)} = \frac{\frac{vd}{2}}{\sqrt{3}} = \frac{0,2 \text{ kgf/cm}^2}{\sqrt{12}} = 0,0577 \text{ kgf/cm}^2 \quad (3.4)$$

donde:

vd: valor de la división de la escala del manómetro.

Sumando cuadráticamente la incertidumbre queda:

$$\mu_c = \sqrt{\mu_{(e.m.p)}^2 + \mu_{(calibración)}^2 + \mu_{(r)}^2 + \mu_{(obs)}^2} \quad (3.5)$$

$$\mu_c = \sqrt{(0,0816)^2 + (0,0068)^2 + (0,0577)^2 + (0,0577)^2}$$

$$\mu_c = 0.115 \text{ kgf/cm}^2$$

El cálculo de la incertidumbre expandida queda como:

$$\mu = \text{Factor de cobertura} \times \mu_c (\Delta t) \quad (3.6)$$

$$\mu = 2 \times 0.115 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\mu = 0.231 \text{ kgf/cm}^2$$

En el **Anexo No.14** se muestra el resumen de los resultados obtenidos para la totalidad de los manómetros que conforman el sistema presión en la PTQA.

A partir de los resultados obtenidos en la tabla anterior, es necesario su empleo en el análisis e interpretación de las lecturas de este mensurando en los diferentes puntos de medición.

En los valores de presión que se observan en el instrumento, no se le incorpora para su análisis el valor de la incertidumbre de medida, lo que influye en la determinación de los límites permisibles de operación de estos equipos.

Es una referencia de que el trabajo que se está realizando, es correcto, que la cantidad de agua tanto a la entrada como a la salida tiene una presión adecuada para desarrollar la actividad según las norma de operación.

Da referencia de una posible obstrucción, que puede ocurrir en el flujo de agua que se requiere para el trabajo, lo que puede provocar una caída de presión, dando como resultado errores de operación, mediciones falsas, daños en la mezcla o filtrado del agua en los equipos, roturas de juntas y equipamiento.

Los valores de incertidumbres deben estar reflejados en la carta de operación y en las lecturas tomadas en los registros de los operadores.

Determinación del intervalo de calibración de los instrumentos instalados en el sistema de presión de la PTQA

Para determinar el intervalo de calibración de los instrumentos instalados en el sistema mencionado, se utiliza el Método Tiempo Calendario dado en la norma NC OIML D10: 1996 (vigente), así como en la OIML D10:2007.

Para ello se selecciona el Error de Indicación (Ei) en todos los certificados de calibración emitidos desde el 2015 hasta el 2019. Se incluyen el punto donde se ha encontrado la mayor desviación entre los errores de las calibraciones y el punto donde se ha encontrado el mayor error en la última calibración. Se consideran los puntos para los que realmente se emplea el equipo de medición. Se expande el error encontrado en cada punto seleccionado, sumando el valor de incertidumbre expandida asociada a la calibración ($E_c = \pm E \pm U$). Luego se determina la Tolerancia (T) a través de la fórmula:

$$T = EMP - E_{m\acute{a}x}$$

donde:

T: Tolerancia

EMP: Error máximo permisible.

Emáx: Error máximo encontrado

Luego se determina la desviación estándar existente en cada punto que se analiza como:

$$D_s = E_{c1} - E_{c2}$$

donde:

E_{c1}: Valor máximo del error encontrado entre todas las calibraciones.

E_{c2}: Valor mínimo del error encontrado entre todas las calibraciones.

Luego se determina la Deriva (D) por meses, mediante la siguiente expresión:

$$D = \frac{Ds_{m\acute{a}x}}{(t_2 - t_1) \times 12}$$

donde:

t_1 : Año en que se realiza la primera calibración.

t_2 : Año en que se realiza la última calibración.

Finalmente se determina el Intervalo de recalibración (T_c)

$$T_c = \frac{T}{D}$$

A continuación se muestra el resultado de la aplicación de este método a los manómetros instalados en el sistema objeto de estudio que poseen los certificados de calibración en diferentes períodos de tiempo. Los instrumentos seleccionados son:

Tabla 3.1: Instrumentos seleccionados para determinar su período de calibración. Fuente: Elaboración propia.

Nombre del instrumento de medición	Modelo	No. de serie	Intervalo de Indicaciones
Manómetro indicador	0БМ1	31 PI-103	0 a 10 kgf/cm ²
Manómetro indicador	Wika	141	0 a 6 kgf/cm ²
Manómetro indicador	Wika	144	0 a 6 kgf/cm ²
Manómetro indicador	Wika	145	0 a 6 kgf/cm ²
Manómetro indicador	Wika	149	0 a 10 kgf/cm ²
Manómetro indicador	МП4-YT2	163	0 a 16 kgf/cm ²
Manómetro indicador	Wika	610	0 a 5 bar
Manómetro indicador	Wika	615	0 a 5 bar
Manómetro indicador	Wika	672	0 a 5 bar
Manómetro indicador	Wika	673	0 a 5 bar
Manómetro indicador	Wika	674	0 a 5 bar
Manómetro indicador	Wika	687	0 a 5 bar
Manómetro indicador	Wika	872	0 a 5 bar
Manómetro indicador	0БМ1	6351	0 a 6 kgf/cm ²

Manómetro indicador	МПЗ	29041	0 a 6 kgf/cm ²
Manómetro indicador	МТП	35427	0 a 10 kgf/cm ²
Manómetro indicador	МТП	39577	0 a 16 kgf/cm ²
Manómetro indicador	ОБМ	49012	0 a 10 kgf/cm ²
Manómetro indicador	МТП	65268	0 a 6 kgf/cm ²
Manómetro indicador	ОБМ	71074	0 a 10 kgf/cm ²
Manómetro indicador	МЗМ	79260	0 a 16 kgf/cm ²
Manómetro indicador	МП4-Y	128070	0 a 16 kgf/cm ²
Manómetro indicador	МП4-Y	131100	0 a 16 kgf/cm ²
Manómetro indicador	PREMA	166081-63	0 a 10 kgf/cm ²
Manómetro indicador	PREMA	24652359	0 a 10 kgf/cm ²
Manómetro indicador	NAGANO	8262735	0 a 6 kgf/cm ²
Manómetro indicador	PREMA	FB-095226	0 a 10 kgf/cm ²
Manómetro indicador	Wika	PI-19	0 a 10 kgf/cm ²

A cada uno de estos instrumentos se le aplica el Método Tiempo Calendario, obteniendo a partir de las calibraciones anteriores el intervalo entre una y otra calibración. A continuación se muestra un ejemplo del desarrollo del método para uno de los manómetros.

Tabla 3.2: Determinación del período de calibración para el Manómetro indicador, con número de serie 39577. Fuente: Elaboración propia.

Nombre del instrumento de medición					Modelo					No. de serie	EMP	Parametro a medir							
Manómetro indicador					N.FIMA					39577	0,2	Presion							
Punto de medición	Resultados de las dos últimas calibraciones											Tiempo entre calibraciones							
	Fecha penúltima				2016	Fecha última				2018				2	Años				
Unidades	Error de Ascenso	E Ascenso +- U con k=2	Error en Descenso	E Descenso + U con k=2	U(x) con k=2	Error de Ascenso	E Ascenso +- U con k=2	Error en Descenso	E Descenso + U con k=2	U(x) con k=2	E _{max}	Tolerancia T= EMP-E _{max}	Desviación Ds=Ec1- Ec2	Deriv (D) $D = \frac{D_{s_{max}}}{(t_2 - t_1) \times 12}$	Intervalo d Calibracion $T_c = \frac{T}{D}$				
Mpa																			
0	0,00	0,000	0,00	0,000	0	0,00	0,000	0,00	0,000	0,00				0,102	0,098	0,000	0,0059	16,56588	17
0,39	-0,04	-0,039	0,00	0,001	0,000663	0,10	0,102	0,10	0,102	0,00226									
0,78	0,00	0,001	0,04	0,041	0,001326	-0,10	-0,095	-0,10	-0,095	0,00452									
1,57	0,00	0,003	0,00	0,003	0,002669	-0,10	-0,091	-0,10	-0,091	0,00911									

Tabla 3.3: Determinación del período de calibración para el Manómetro indicador, con número de serie 128070 Fuente: Elaboración propia.

Nombre del instrumento de medición					Modelo			No. de serie		EMP	Parametro a medir					
Manómetro indicador					N.FIMA				128070		0,2	Presion				
Punto de medición	Resultados de las dos últimas calibraciones												Tiempo entre calibraciones			
	Fecha penúltima				2016	Fecha última				2018			2	Años		
Unidades	Error de Ascenso	E Ascenso +/- U con k=2	Error en Descenso	E Descenso + U con k=2	U(x) con k=2	Error de Ascenso	E Ascenso +/- U con k=2	Error en Descenso	E Descenso + U con k=2	U(x) con k=2	Emax	Tolerancia T= EMP-Emax	Desviacion Ds=Ec1- Ec2	Deriv (D) $D = \frac{D_{max}}{(t_1 - t_2) \times 10}$	Intervalo d Calibracion $T_c = \frac{T}{D}$	
Mpa																
0	0,00	0,000	0,00	0,000	0	0,00	0,000	0,00	0,000	0,00	0,102	0,098	0,000	0,0042	23,087944	23
0,39	0,00	0,001	0,00	0,001	0,000663	0,10	0,102	0,10	0,102	0,00226			0,102			
0,78	0,00	0,001	0,00	0,001	0,001326	-0,10	-0,095	-0,10	-0,095	0,00452			0,097			
1,57	0,00	0,003	0,00	0,003	0,002669	-0,10	-0,091	-0,10	-0,091	0,00911			0,094			

El resultado de la aplicación del método antes descrito para el resto de los manómetros se muestra en el **Anexo No.15**. En la tabla 3.5 se muestra un resumen de los tiempos obtenidos para cada instrumento.

Tabla 3.4: Resultados del Método Tiempo Calendario para los instrumentos seleccionados. Fuente: Elaboración propia.

Nombre del instrumento de medición	Modelo	No. de serie	Tiempo Obtenido (meses)
			Magnitud
			Presión
Manómetro indicador	0BM1	31 PI-103	24
Manómetro indicador	Wika	141	22
Manómetro indicador	Wika	144	22
Manómetro indicador	Wika	145	22
Manómetro indicador	Wika	149	23
Manómetro indicador	МП4-YT2	163	17
Manómetro indicador	Wika	610	17
Manómetro indicador	Wika	615	17
Manómetro indicador	Wika	672	17
Manómetro indicador	Wika	673	25
Manómetro indicador	Wika	674	17
Manómetro indicador	Wika	687	17

Manómetro indicador	Wika	872	15
Manómetro indicador	0BM1	6351	33
Manómetro indicador	МП3	29041	21
Manómetro indicador	МТП	35427	23
Manómetro indicador	МТП	39577	17
Manómetro indicador	0BM	49012	24
Manómetro indicador	МТП	65268	18
Manómetro indicador	0BM	71074	24
Manómetro indicador	M3M	79260	16
Manómetro indicador	МП4-Y	128070	23
Manómetro indicador	МП4-Y	131100	17
Manómetro indicador	PREMA	166081-63	24
Manómetro indicador	PREMA	24652359	27
Manómetro indicador	NAGANO	8262735	25
Manómetro indicador	PREMA	FB-095226	24
Manómetro indicador	Wika	PI-19	24

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

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

Tomando en cuenta la situación para las variables crítica de calidad objeto de análisis se plantea que:

- Realizar la fundamentación de periodo de tiempo en que se deben realizar las calibraciones.
- Empleo del valor de incertidumbre en el análisis e interpretación de las lecturas de presión en los diferentes puntos de medición. Estos deben estar reflejados en la carta de operación y en las lecturas tomadas en los registros de los operadores.

Etapa III: Analizar

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

Después de haber identificado los problemas existentes, se hace un análisis de las causas. Este análisis se divide en dos aspectos:

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

Preparación del Diagrama Causa-Efecto: Se realiza el análisis de causa y efecto para determinar las causas posibles que influyen en los problemas detectados. El diagrama de causa-efecto que se muestra en el **Anexo No.16**, es actualizado en una sesión de tormenta de ideas de conjunto con el equipo de mejora, manteniéndose las causas identificadas por Vega Siverio (2019), al no haber existido cambios durante el período comprendido entre la investigación mencionada y la actual.

Planteamiento de las hipótesis y verificación de las causas más probables: El equipo de mejora revisa las causas posibles y selecciona las más probables mediante una votación basada en la experiencia. Estas causas se muestran en el **Anexo No.17**, basándose en esta lista, se verifican las más probables.

Etapa IV: Mejorar

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

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

Con el fin de priorizar las oportunidades de mejora definidas en el paso anterior, se emplea el método Delphi (ver **Anexo No.18**), donde se ordenen descendientemente, es decir, valor 10 máxima prioridad. Este resultado se muestra en el siguiente gráfico de barras, señalando en color rojo las de mayor rango promedio.

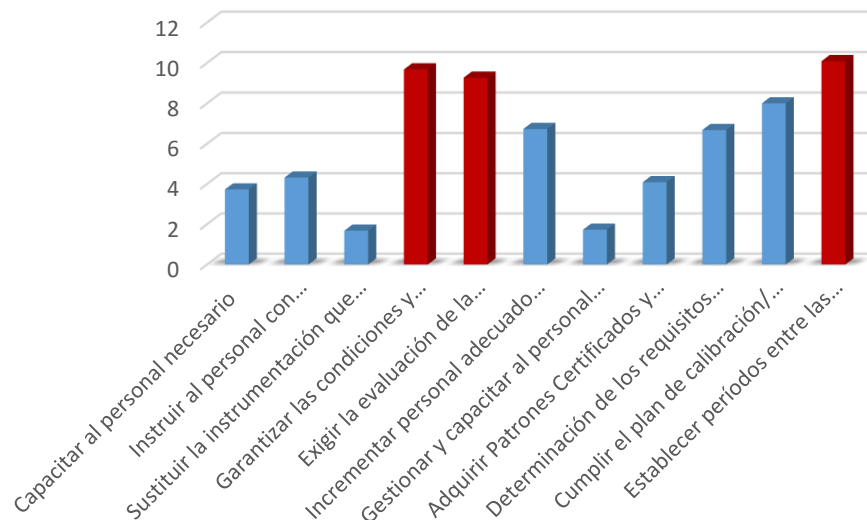


Figura 3.2: Rangos promedios para las oportunidades de mejora. Fuente: Elaboración propia.

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

- Implementar los períodos de calibración obtenidos a partir del Método Tiempo Calendario.
- Garantizar las condiciones y requisitos para la calidad de la medición en el sistema de presión en la PTQA.
- Exigir la evaluación de la incertidumbre de medición.

Paso 13: Implementación de la solución

Para realizar la implementación de las soluciones se diseñan los planes de acción correspondientes, haciendo uso de la técnica de las 5W2H (qué, quién, cómo, por qué, dónde, cuándo y cuánto). Dicho plan se encuentra en el **Anexo No.19**, donde se refleja en qué consiste la propuesta, dónde se implementan, la forma en qué se va a realizar, las fechas para cada una, las personas responsables, entre otros.

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

Para la evaluación de la solución se debe comparar el intervalo de calibración antes y después del estudio realizado. En la siguiente tabla se muestra la comparación.

Tabla 3.6: Comparación entre el intervalo entre calibraciones actual y el propuesto para los instrumentos del sistema de presión en la PTQA. Fuente: Elaboración propia.

Nombre del instrumento de medición	Modelo	No. de serie	Tiempo Obtenido (meses)	
			T. según Método	T. según Certificados
Manómetro indicador	0БМ1	31 PI-103	24	12
Manómetro indicador	Wika	141	24	12
Manómetro indicador	Wika	144	24	12
Manómetro indicador	Wika	145	24	12
Manómetro indicador	Wika	149	24	12
Manómetro indicador	МП4-YT2	163	24	12
Manómetro indicador	Wika	610	24	12
Manómetro indicador	Wika	615	24	12
Manómetro indicador	Wika	672	24	12
Manómetro indicador	Wika	673	24	12
Manómetro indicador	Wika	674	24	12
Manómetro indicador	Wika	687	24	12
Manómetro indicador	Wika	872	24	12
Manómetro indicador	0БМ1	6351	24	12
Manómetro indicador	МП3	29041	24	12
Manómetro indicador	МТП	35427	24	12
Manómetro indicador	МТП	39577	24	12
Manómetro indicador	0БМ	49012	24	12
Manómetro indicador	МТП	65268	24	12
Manómetro indicador	0БМ	71074	24	12
Manómetro indicador	МЗМ	79260	24	12
Manómetro indicador	МП4-Y	128070	24	12
Manómetro indicador	МП4-Y	131100	24	12

Manómetro indicador	PREMA	166081-63	24	12
Manómetro indicador	PREMA	24652359	24	12
Manómetro indicador	NAGANO	8262735	24	12
Manómetro indicador	PREMA	FB-095226	24	12
Manómetro indicador	Wika	PI-19	24	12

Como se puede observar el período de calibración de los instrumentos es inferior al propuesto mediante la utilización del Método Tiempo Calendario, por lo que se incurre en mayores gastos de calibración, pudiéndose extender dicho período a 24 meses. Por esta razón se ponen en práctica las medidas fundamentales plasmadas en el plan de mejora, siendo el resultado del estudio la base para la elaboración del plan de calibración para el año 2021.

Con respecto a la incertidumbre de medición se les debe exigir a los operarios que dichos valores los reflejen en la carta de operación y en las lecturas tomadas en los registros de los operadores, y ser tenidos en cuenta para la toma de decisiones durante el funcionamiento de la planta.

Etapas V: Controlar

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

Paso 15: Monitoreo del sistema de medición

Para realizar monitoreo en los sistemas de mediciones, se utilizan los estudios de estabilidad, en los que se mide cada cierto intervalo de tiempo una variable. Estos proveen información clave sobre el estado del proceso de medición.

Para realizar dicho monitoreo se recomienda utilizar una carta EWMA para individuales, debido a que se generen pocos resultados. Esta permite obtener una visualización del comportamiento de las mediciones realizadas por los diferentes manómetros instalados en la Planta de Tratamiento Químico del Agua.

La presente investigación comienza en enero del 2020, la implementación de las medidas están programadas a partir de noviembre, motivo por el que no se tienen las observaciones necesarias para el estudio de estabilidad, lo que queda pendiente a realizar por parte del equipo de trabajo al concluir el primer trimestre del 2021.

Paso 16: 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:

- Evaluación de la incertidumbre en el sistema de presión en la PTQA, a partir de lo establecido en el (GUM, 2008) y la NC - Guía 1066:2015, determinando el intervalo en el que puede oscilar la medición, conllevando a un aumento en su calidad y mayor seguridad en la operación del sistema.
- Demostración de los intervalos de tiempo entre calibraciones para los diferentes manómetros instalados en el sistema de presión de la PTQA a partir de métodos estadísticos – matemáticos, estableciéndose cada 24 meses, lo que repercute en mayor calidad y precisión del sistema de medición, disminuyendo el riesgo de operar con equipos que emitan mediciones incorrectas.

Conclusiones parciales del capítulo

1. Las principales deficiencias en la gestión de las mediciones recae en la necesidad de continuar realizando estudios que permitan evaluar la calidad de las mediciones, haciendo énfasis en la evaluación de la incertidumbre, así como la fundamentación de los periodos de tiempo entre calibraciones de los instrumentos que intervienen en los diferentes procesos.
2. Se realizó un estudio donde se evaluó la incertidumbre de medición en el sistema de presión en la PTQA, mediante lo establecido en la guía GUM y la NC – Guía 1066:2015.
3. Con la utilización del Método Tiempo Calendario se determinó el período de tiempo entre calibraciones de los manómetros instalados en el sistema de presión de la PTQA, cuyo resultado debe ser tenido en cuenta en la organización para la elaboración de los planes de calibración para el año 2021.

Conclusiones Generales

CONCLUSIONES GENERALES

1. El procedimiento propuesto por Hernández (2012) y Machado (2013) con las transformaciones propuestas por Marín Rodríguez (2015); Román Acosta (2016); Querol Ja y Gutiérrez Puerto (2018) y Vega Siverio (2019), posibilitó la mejora del proceso de gestión de las mediciones y la evaluación de la incertidumbre, tomando como base la integración de requisitos establecidos en la NC ISO 10012: 2007, NC – Guía 1066:2015 y la metodología Seis Sigma.
2. Se ejecutó la actualización del diagnóstico en materia de gestión de las mediciones, determinándose las principales deficiencias, sobresaliendo las relacionadas con la necesidad de realizar estudios que permitan evaluar la calidad de las mediciones, haciendo énfasis en la evaluación de la incertidumbre, así como la fundamentación de los períodos de tiempo entre calibraciones de los instrumentos que intervienen en los diferentes procesos.
3. Con la utilización del Método Tiempo Calendario se determinó que el período de tiempo entre calibraciones de los manómetros instalados en la Planta de Tratamiento Químico del Agua debe ser cada 24 meses, lo que debe ser tenido en cuenta en la organización para la elaboración de los planes de calibración para el año 2021.
4. 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 sistema presión de la Planta de Tratamiento Químico del Agua en la Empresa Termoeléctrica Cienfuegos.

Recomendaciones

RECOMENDACIONES

- Realizar el análisis económico para demostrar con mayor énfasis los beneficios del periodo entre calibraciones determinado a partir del método Tiempo Calendario de los manómetros objeto de estudio.
- Generalizar el estudio a otros sistemas de medición de 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.
- Divulgar los resultados de la investigación en diferentes espacios dentro de la organización para contribuir al incremento de la cultura metrológica.

Bibliografía

BIBLIOGRAFÍA

- Abbas Shirazi, S. A., & Pintelon, L. (2012). Lean Thinking and Six Sigma: proven techniques in industry. Can they help health care? *International Journal of Care Pathways*, 16 (4), 160-167.
- AENOR (2014). *Proceso de revisión de ISO 9001*. Retrieved 2014-11-24, from <http://www.aenor.es/aenor/actualidad/actualidad/noticias.asp?campo=1&codigo=32938>.
- Alonso Torres, C. (2014). Orientaciones para implementar una gestión basada en procesos. *Ingeniería Industrial*, XXXV (2), 159-171.
- Andrietta, J. M. & Miguel, P. A. C. (2007). Aplicação do programa Seis Sigma no Brasil: resultados de um levantamento tipo survey exploratório-descriptivo e perspectivas para pesquisas futuras. *Gestão & Produção*, 14 (2), 203-219.
- Antony, J. (2006). Six sigma for service processes. *Business Process Management Journal*, 12, 234-248.
- Antony, J. (2013). What does the future hold for quality professionals in organisations of the twenty-first century? *The TQM Journal*, 25, 667-675.
- Antony, J., Kumar, M. & Tiwari, M. K. (2011). An application of Six Sigma methodology to reduce the engine-overheating problem in an automotive company. *Asia Pacific Business Review*, 7(3), 98-106.
- 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).
- Arzú Salazar, P. M. & Chicojay Coloma, C. A. (2013). *Propuesta de optimización del transporte de crudo pesado en una red de oleoductos en Guatemala*. (Tesis de Grado). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
- Aubyn Salkey, M. (2008). *Procedimiento para la mejora de procesos, haciendo uso de las técnicas Lean Six Sigma, en el proceso de préstamos hipotecarios de Jamaica National Building Society*. (Tesis de Maestría). Universidad de Cienfuegos, Cienfuegos.
- Barrera García, A., Cambra Díaz, A. y González González, J.A. (2017). Implementación de la metodología seis sigma en la gestión de las mediciones. *Universidad y Sociedad*, 9(2), 8-17.

- Barrera García, A., Hernández Santana, M., Martínez Hernández, T., Botana Beltrán, O.L y Carrasco Padrón, O.O. (2017). Verificación de las características metrológicas de un contador de flujo Coriolis utilizado en transferencia fiscal. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, 18(4), 433-444.
- Benítez, R., Uresti, R., & González, T.S. (2017). Restos de la metrología en la Ingeniería Clínica en México: *Memorias del XL Congreso Nacional de Ingeniería Biomédica*.
- Berovides-Castellón, M. & Michelena-Fernández, E. (2013). La gestión de la calidad en una empresa de pastas alimenticias. *Ingeniería Industrial*, XXXIV (3), 252-266.
- Boos, D. D. & Stefanski, L. A. (2011). P-Value Precision and Reproducibility. *The American Statistician*, 65 (4), 213-221.
- Brazzale, A. R., Galloni, P., Parazzini, M., Marino, C., Ravazzani, P. (2010). Assessing repeatability and reproducibility using hierarchical modeling: A case - study of distortion product otoacoustic emissions. *Stat Methods Appl*, 19, 567-585.
- Brown, A. (2013). Quality: where have we come from and what can we expect? *The TQM Journal*, 25, 585-596.
- Bustamante- Breffel, M. & Isaac- Godínez, C. L. (2011). Procedimiento para el mejoramiento de procesos en Copextel. *Ingeniería Industrial*, XXXII (3), 179-190.
- 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 de Cienfuegos, Cienfuegos.
- Carrión García, A. & Grisales del Río, Á. (2013). Number of distinct data categories and gage repeatability and reproducibility. A double (but single) requirement. *Measurement*, 46, 2514-2518.
- Carvajal, Y. & Kottow, M. (2012). Metrología de la incertidumbre: un estudio de las estadísticas vitales en Chile y Brasil. *Cad. Saúde Pública*, 28 (11), 2063-2075.
- Cedeño Tamayo, O. (2011). Introducción a la gestión metrológica.
- Chang Granados, R. (2007). *Estudio de mediciones en tanques de almacenamiento de hidrocarburos*. (Tesis de Maestría). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.

- Chicojay Coloma, C. A. (2013). *Propuesta de optimización del transporte de crudo pesado en una red de oleoductos en Guatemala*. Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
- Correa, A. (2007). Diseño e implementación de una metodología estadística para ensayos de producto terminado en Cementos El Cairo S.A. *Revista Dyna*, 151, 195-207.
- Cortés Reyes, É., Rubio Romero, J. A. & Gaitán Duarte, H. (2010). Métodos estadísticos de evaluación de la concordancia y la reproducibilidad de pruebas diagnósticas. *Revista Colombiana de Obstetricia y Ginecología*, 61 (3), 247-255.
- Cruz de Oliveira, E. (2011). Critica metrological evaluation of fuel analyses by measurement uncertainty. *Metrology and Measurement Systems*, XVIII (2), 235-248.
- Cruz Quesada, D. (2011). La calidad como cultura, estrategia de futuro para la empresa cubana. *Revista Cubana de Ingeniería*, 3 (II), 45-48.
- D'Emilia, G., Di Rosso, G., Gaspari, A. & Massimo, A. (2015). Metrological interpretation of a six-sigma process for improving the online optical measurement of automotive turbocharger dimensions. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*, 229 (2), 261-269.
- Dağlioğlu, G., İnal, T. & Aksoy, K. (2009). Altı Sigma Nedir? *ARŞİV*, 18, 132-139.
- Delgado, J. A. (2004). *Sistemas Integrados de Gestión, ISO 9000, ISO 14000, OHSAS 18000*. Perú: Universidad Nacional de San Agustín.
- Diering, M. & Pajzderski, D. (2012). The %R&R index – Proposals and guidelines on the reference value and acceptance criteria. *Journal of Trends in the Development of Machinery and Associated Technology*, 16 (1), 111-114.
- Duarte, S. & Cruz Machado, V. (2013). Modelling lean and green: a review from business models. *International Journal of Lean Six Sigma*, 4 (3), 228-250.
- Eckes, G. (2003). *Six Sigma For Everyone United States of American*. United State of American: John Wiley & Sons, Inc.
- Eicholtz, M. R., Caspall, J. J., Sprigle, S. & Ferri, A. et al. (2012). Test method for empirically determining inertial properties of manual wheelchairs. *JRRD*, 49 (1), 51-62.
- European Association of National Metrology Institutes. (2013). *Boletín de EURAMET*, 8.
- Fábregas Fernández, A., García Montoya, E., Pérez Lozano, P., Miñarro Carmona, M., Tico graú, J. R., Suñé Negre, J. M. (2015). Establishment of criteria for the selection and adaptation of objectives and indicators in ISO9001:2008 quality system in a university pharmaceutical pilot plant. *Ars Pharmaceutica*, 17-23.

- 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, A. (2003). *Sistemas integrados de gestión*. Centro para la calidad en Asturias., Instituto de desarrollo económico Principado de Asturias. (IDEPA).
- Fernández Cao, E. (2004). La calidad y la cultura de la calidad. Desarrollo y evolución histórica. *Normalización*, 1, 3-6.
- Franco Fernández, J., Hugues Muñoz, A., Estévez Alonso, A., Mendoza Sánchez, R., Hernández Apaceiro, M., & Sánchez Martínez, H. (2014). Proyecto de aseguramiento metrológico de las mediciones de productos claros en CUPET: *Memorias del 9no Simposio Internacional Metrología 2014*.
- Galvania, L. R. & Carpinettib, L. C. (2013). Análise comparativa da aplicação do programa Seis Sigma em processos de manufatura e serviços. *Produção*, 23 (4), 695-704.
- García Ruíz, N.J. & Pardo Balvuela (2017). *Mejoramiento de los procesos misionales y de apoyo en la Fundación Albeiro Vargas & Ángeles Custodios*. (Tesis de Grado). Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga.
- Garza Villegas, J.B. & Abrego Traslaviña, R.A. (2015). Reducción y control de costos en empresas de manufactura con Seis Sigma. *Innovaciones de Negocios*, 12(24), 207-235.
- Germanier, M. L. & López Carrizo, M. (2006). Tecnologías para la medición en la transferencia de custodia. *Memorias de la XVII Convención de Gas*.
- Gibbons, P. M., Kennedy, C., Burgess, S., & Godfrey, P. (2012). The development of a value improvement model for repetitive processes (VIM). *International Journal of Lean Six Sigma*, 3 (4), 315-338.
- Gonçalves Amitrano, F., Amodio Estorilío, C. C., Franzosi Bessa, L. & Hatakeyama, K. (2015). Six Sigma application in small enterprise. *Concurrent Engineering*.
- González Camps, A. & Reyes Ponce, Y. (2014). *Sistema de gestión de las mediciones para los laboratorios farmacéuticos NOVATEC*. Memorias del 9no Simposio Internacional "Metrología 2014". La Habana, Cuba.
- González Rey, G. & Falcón Anaya, C.E. (2012). Procedimiento para el análisis de repetibilidad y reproducibilidad en procesos de manufactura. *Revista Cubana de Ingeniería*, 6 (3), 53-59.
- Goodman, E. (2012). Information Analysis: A Lean and Six Sigma case study. *Business Information Review*, 29 (2), 105-110.

- Gremyr, I. & Fouquet, J. B. (2012). Design for Six Sigma and lean product development. *International Journal of Lean Six Sigma*, 3(1), 45-58.
- Guadalupe Echeverría, V. R. (2008). *Diseño de una metodología a través de indicadores metrológicos que asegure los sistemas de medición en las industrias productoras de artículos plásticos, para mejorar la calidad de sus productos*. Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- Guano, O. M. (2008). *Normas técnicas para la fiscalización de hidrocarburos líquidos en la DNH. Estación Lumbagui*. Guayaquil, Ecuador, Universidad Tecnológica Equinoccial.
- Guerra Bretaña, R. M. & Meizoso Valdés, M. C. (2012). *Gestión de la Calidad. Conceptos, modelos y herramientas*. La Habana, Cuba: Editorial UH.
- Gutiérrez Pérez, M. (2010). *Riesgo e integridad de ductos de transporte de hidrocarburos*. Ingeniería Civil. México, D.F.
- Gutiérrez Pulido, H. (2010). *Calidad Total y Productividad*. México: McGraw-Hill.
- Gutiérrez Pulido, H. & de la Vara Salazar, R. (2004). *Análisis y Diseño de Experimentos*. México: McGraw-Hill.
- Gutiérrez Pulido, H. & de la Vara Salazar, R. (2007). *Control Estadístico de la Calidad y Seis Sigma*. La Habana, Cuba: Félix Varela.
- Gygi, C., DeCarlo, N., & Williams, B. (2005). *Six Sigma for Dummies*. United States of America: Wiley Publishing. Inc.
- Gygi, C., Williams, B., & Gustafson, T. (2006). *Six Sigma Workbook for Dummies*. United States of America: Wiley Publishing. Inc.
- Hajipour, V., Kazemi, A., & Mousavi, S. M. (2013). A fuzzy expert system to increase accuracy and precision in measurement system analysis. *Measurement*, 46 (8), 2770-2780.
- Hamada, M. S., y Borrór, C. M. (2012). Analyzing unreplicated gauge R&R studies. *Quality Engineering*, 24(4), 543-551.
- Hernández Apaceiro, M. (2012). Aplicación de normas internacionales en la metrología legal para la medición de los combustibles en Cuba. *Boletín Científico Técnico INIMET*, 1, 1-7.
- Hernández Leonard, A. R. (2015). La Metrología en el marco de la actualización del modelo económico cubano. *NC- Le Actualiza*, 3.
- Hernández Rivero, A. T., Oropesa Verdecia, P., Serra Águila, R. A., & Moreno León, Y. (2012). Aseguramiento metrológico en la producción y uso de radiofármacos. *Nucleus*, (52).

- Hernández Santana, M. (2012). *Procedimiento para la mejora del sistema de gestión de las mediciones utilizando técnicas Seis Sigma en el proceso de tratamiento del Turbo combustible Jet A1 en la Unidad de Negocios Refinería de Cienfuegos*. (Tesis de Maestría). Universidad de Cienfuegos, Cienfuegos.
- Herrera Acosta, R. J. (2006). Seis Sigma: un modelo de gestión., 4.
- Hoerl, R. W. (2001). Six sigma black belts: what do they need to know? *Journal of Quality Technology*, 33 (4), 391-406.
- Huang, C.F., Chen, K. S., Sheu, C.H. & Hsut, T. S. (2010). Enhancement of Axle Bearing Quality in Sewing Machines Using Six Sigma. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*, 224 (10), 1581-1590.
- Ingelsson, P. & Martensson, A. (2014). Measuring the importance and practices of Lean values. *The TQM Journal*, 26 (5), 463-474.
- International Organization for Standardization. (2015). *Sistemas de gestión de la calidad - Fundamentos y vocabulario ISO 9000*.
- International Organization for Standardization.(2011). *Quantitative methods in process improvement. Six Sigma. ISO 13053-1:2011*.
- International Organization for Standardization. (2015). *Sistemas de Gestión Ambiental - Requisitos con su orientación para su uso ISO 14001*.
- John, A., Merán, R., Roenpage, O. & Staudter, S. (2008). *Six Sigma + Lean Toolset*. Germany: Library of Congress.
- Kegel, T. (1995). *Ultrasonic Meter User's Workshops*. International Symposium on Fluid Flow Measurement.
- Kumar, S. & McKewan, G. W. (2011). Six Sigma DMAIC Quality Study: Expanded Nurse Practitioner's Role in Health Care During and Posthospitalization Within the United States. *Home Health Care Management & Practice*, 23 (4), 271-282.
- Kwun Wang, F. & Wen Yang, C. (2007). Applying principal component analysis to a GR&R study. *Journal of the Chinese Institute of Industrial Engineers*, 24, 182-189.
- Lertwattanapongchai, S. & Swierczek, F. W (2014). Assessing the change process of Lean Six Sigma: a case analysis. *International Journal of Lean Six Sigma*, 5 (4).
- Llamosa, L. & Villarreal, M. (2011). La importancia de la metrología como tema transversal en la formación en ciencias básicas. *Scientia Et Technica*, 17 (47), 158-162.

- Lozano Heredia, S. (2001). *Niveles de incertidumbre en las variables de proceso y sus efectos en la detectibilidad para los sistemas de detección de fugas en poliductos controlados por métodos computacionales*. Quito, Ecuador, Escuela Politécnica nacional.
- Machado García, F. (2013). *Gestión de las mediciones basada en riesgos en la Refinería de Petróleo de Cienfuegos*. (Tesis de Maestría). Universidad de Cienfuegos, Cienfuegos.
- Machado García, F. (2019). *Mejora de la gestión de las mediciones en el proceso de Tratamiento y Almacenamiento del Turbo combustible Jet A1 en la Unidad de Negocios Refinería de Cienfuegos*. (Tesis de Grado). Universidad de Cienfuegos, Cienfuegos.
- 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 de Cienfuegos, Cienfuegos.
- Martínez Hernández, T. (2014). *Mejora de la gestión de las mediciones en el proceso de recepción, manipulación y entrega de gas licuado del petróleo en la Unidad de Negocio Refinería*. (Tesis de Grado). Universidad de Cienfuegos, Cienfuegos.
- McAdam, R., Antony, J., Kumar, M. & Hazlett, S. (2014). Absorbing new knowledge in small and medium-sized enterprises: A multiple case analysis of Six Sigma. *International Small Business*, 32 (1), 81-109.
- McCarty, T., Bremer, M., Daniels, L., & Gupta, P. (2004). *The Six Sigma Black Belt Handbook*. Motorola University. México: McGraw-Hill.
- Mejías Sánchez, Y., Morales Suarez, I. & Perera Vandrell, S. (2015). Bases legales y proyecciones de desarrollo de la metrología en el Sistema Nacional de Salud. *Revista Cubana de Salud Pública*, 41 (1), 172-177.
- Melenovsky, M. J. & Sinur, J. (2006). Having a BPM Maturity Model is Important for Long Lasting BPM Success. *Business Rules Journal*, 7, 1-2.
- 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.
- Montgomery, D. C. (1991). *Diseño y análisis de experimentos*. México: Grupo Editorial Iberoamérica.
- Myszewski, J. M. (2013). On improvement story by 5 whys. *The TQM Journal*, 25, 371-383.
- Niemczewska Wójcik, M., Sladek, J., Tabaka, M. & Wójcik, A. (2014). Product quality assessment- Measurement and analysis of surface topography. *Metrology and Measurement Systems*, 21 (2), 271-280.

- Norma Cubana Guía 1066: (2015). Guía para la expresión de incertidumbre de medición. Oficina Nacional de Normalización.
- Norma Cubana OIML V2: (1995). Vocabulario Internacional de Metrología. Conceptos fundamentales y generales y términos asociados. La Habana, Cuba: Oficina Nacional de Normalización.
- Norma Cubana OIML D 10: (1996). Guía para la determinación de los intervalos de recalibración de los equipos de medición utilizados en laboratorios de ensayos. La Habana, Cuba: Oficina Nacional de Normalización.
- Norma Cubana ISO/IEC 17025 (2017) Requisitos generales relativos a la competencia de los laboratorios de ensayo/prueba y calibración. La Habana, Cuba: Oficina Nacional de Normalización.
- Norma Cubana ISO 10012: (2007). Sistemas de gestión de las mediciones. Requisitos para los procesos de medición y los equipos de medición. La Habana, Cuba: Oficina Nacional de Normalización.
- Norma Cubana ISO 9001: (2015). Sistemas de gestión de la calidad. Requisitos. La Habana, Cuba: Oficina Nacional de Normalización.
- Ochoa Fonseca, Y.P., Escobar Soto, J.J. y García Benavides, J.A. (2017). *Determinación de intervalos de calibración de patrones de masa en el laboratorio de masa del Instituto Nacional de Metrología (INM) de Colombia utilizando zeta-score*. Memorias del Congreso Metrología 2017. Fortaleza.
- Oficina Nacional de Normalización (2005). *Estrategia de Desarrollo de la Metrología a Mediano Plazo (2006-2010)*. La Habana, Cuba.
- Oramas Pérez, A. (2014). *Calibración y verificación: ¿Qué tan útiles y compatibles son?* Memorias del 9no Simposio Internacional "Metrología 2014". La Habana, Cuba.
- Ospina Gutiérrez, L. M., Botero Arbeláez, M., & Mendoza Vargas, J.A. (2008). Importancia de la metrología al interior de las empresas para el aseguramiento de la calidad. *Scientia Et Technica*, 14 (38), 289-292.
- Pacheco González, V. (2008). *Procedimiento de aforo y cálculo de incertidumbre en tanques horizontales de cabezas planas, inclinados y con centros de medición desplazados*. (Tesis de Maestría). Universidad de Cienfuegos, Cienfuegos.

- Palacio Morales, J.A., Giraldo Jaramillo, L.F., & Bedoya Cardona, N.J. (2016). Diagnóstico del aseguramiento metrológico en el sector plástico, alimentos, construcción y metalmecánico. *Revista Gerencia Tecnológica Informática*, 15 (42), 17-30.
- 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).
- Parra-Michel, J. R. & Martínez García, A. (2012). Cálculo de la incertidumbre estándar mediante la técnica de Monte Carlo para la medición de la topografía y del campo de desplazamiento mediante ESPI. *Nova Scientia*, 5 (1), 51-75.
- Peña-Baena Niebles, R. P., y Sanjuán Mejía, M. E. (2004). Diseño de un experimento para evaluar el uso de la carta EWMA con predicción en el monitoreo de procesos correlacionados. *Revista Ingeniería & Desarrollo. Universidad del Norte*, 15, 67-83.
- Pérez Mergarejo, E. & Rodríguez Ruíz, Y. (2014). Procedimiento para la aplicación de un modelo de madurez para la mejora de los procesos. *Ingeniería Industrial*, (2), 29 - 39.
- Pinto, S. H. B. & Carvalho, M. M. (2006). Implementação de programas de qualidade: um survey em empresas de grande porte no Brasil. *Gestão & Produção*, 13 (2), 191-203.
- Pryseley, A., Mintiens, K., Knapen, K., Van der Stede, Y., & Molenberghs, G. (2010). Estimating precision, repeatability, and reproducibility from gaussian and data: a mixed models approach. *Journal of Applied Statistics*, 37 (10), 1729-1747.
- Pyzdek, T. (2003). *The six sigma handbook*. United States of America. México: McGraw-Hill.
- Pyzdek, T. (2003). *The Six Sigma Project Planner*. United States of America. México McGraw-Hill.
- Querol Ja, V.I. & Gutiérrez Puerto, Y. (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 de Cienfuegos, Cienfuegos.
- Ramírez Barrera, A., F. (2011). *Diseño de procedimiento para la calibración de electrocardiógrafos que imprimen papel de ECG*. La Habana, Cuba.
- Ramírez Silva, B. (2010). *Diseño del modelo de diagnóstico para evaluar la gestión integrada organizacional en las disciplinas calidad, medio ambiente, seguridad y salud en el trabajo y capital humano*. (Tesis de Maestría), Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría (CUJAE), La Habana.

- Ramírez Betancourt, F. D, Viteri Moya, J. R., García Rodríguez, E. & Carrión Palacios, V. M. et al. (2015). Valor óptimo de eficiencia de la gestión. Caso proceso de calzado. *Ingeniería Industrial*, XXXVI (2), 163-174.
- Reosekar, R. S. & Pohekar, S. D. (2014). Six Sigma methodology: A structured review. *International Journal of Lean Six Sigma*, 5 (4).
- Reyes Aguilar, P. (2002). Manufactura delgada (Lean) y Seis Sigma en empresas mexicanas: experiencias y reflexiones. *Revista Contaduría y Administración*, 205, 51-69.
- Reyes Ponce, Y. (2014). *Metrología y Globalización*. Memorias del 9no Simposio Internacional "Metrología 2014". La Habana, Cuba.
- Reyes Ponce, Y., Álvarez Vasallo, L. & Hernández Leonard, A. R. (2011). Importancia de la metrología y su repercusión en el desarrollo. *Revista Anales de la Academia de Ciencias de Cuba*, 1 (1), 1-9.
- 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., & González Labrada, E. (2007). Implantación del SI en la República de Cuba. Presente, pasado y futuro. *Normalización*, 2 (3), 79-89.
- Reyes Ponce, Y., Hernández Leonard, A. R., & Hernández Ruíz, A. D. (2013). *Metrología para la Vida*. La Habana, Cuba: Editorial Científico-Técnica.
- Rodríguez, F. (2015). Seis Sigma en una empresa de servicios de informática. *Entre Ciencia e Ingeniería*, 9(17), 56-61.
- Roman Acosta, A.A. (2016). *Evaluación de la calidad de las mediciones en el sistema de medición fiscal y transferencia de custodia por ducto en la Unidad de Negocio Refinería de Cienfuegos*. (Tesis de Grado) Universidad de Cienfuegos, Cienfuegos
- Romero Lau, I. (2011). *Implantación de un procedimiento para el mejoramiento de la calidad de los componentes que conforman el racor en la UEB de Mangueras Hidráulicas de la Empresa Oleohidráulica Cienfuegos*. (Tesis de Maestría) Universidad de Cienfuegos, Cienfuegos
- Rosemann, M. & De Bruin, T. (2005). Towards a business process management maturity model. *Australia DE*, 26, 1-12.
- Ruiz Vega, A., Vázquez Casielles, R. & Díaz Martín, A. M. (2015). La calidad percibida del servicio en establecimientos hoteleros de turismo rural. *Papers de Turisme*, 19, 17-33.

- Sanders, D. & Hild, C. R. (2001). Common myths about Six Sigma. *Quality Engineering*, 13 (2), 269-276.
- Santana Pascual, K. (2010). *Diseño e implantación del Sistema Integrado de Gestión Calidad, Medio Ambiente y Seguridad y Salud del Trabajo*. (Tesis de Maestría). Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría (CUJAE). La Habana.
- Santoya Achón, R. & Coello Reina, A. (2011). *Uso de los materiales de referencia para la trazabilidad de las mediciones físico químicas en la industria farmacéutica*. La Habana, Cuba.
- Savic, M., & Gersak, G. (2015). Metrological traceability of a system for measuring electrodermal activity. *Measurement*, 59(1), 192-197.
- Schroeder, R., Linderman, K., Liedtke, C., & Choo, A. S. (2007). Six sigma: definition and underlying theory. *Journal of Operations Management*.
- Sears, F. W., Zemansky, M. W., Young, H. D., & Freedman, R. A. (2009). *Física universitaria con física moderna*. México: Pearson Educación.
- Singh, J., A. Kumar, A., Dilawar Sharma, N., & Bandyopadhyay, A. K. (2011). Reliability and long term stability of a digital pressure gauge (DPG) used as a standard. A case study. *MAPAN-Journal of Metrology Society of India*, 26 (2), 115-124.
- Solaguren - Beascoa Fernández, M., Ortega López, V., & Serrano López, R. (2013). On the uncertainty evaluation for repeated measurements. *MAPAN-Journal of Metrology Society of India*.
- Solminihaç, H., Bustos, M., Echaveguren, T., Chamorro, A., & Vargas, S. (2012). Desarrollo conceptual de un sistema integrado para el control de calidad en mediciones de resistencia al deslizamiento. *Revista Ingeniería de Construcción*, 27 (1), 75-92.
- Tsai, C. J. & Aggarwal, S. G. (2013). Overview of the Gas and Aerosol Metrology. *MAPAN-Journal of Metrology Society of India*.
- Vega Siverio, A. (2019). *Mejora de la gestión de las mediciones en la Empresa Termoeléctrica Cienfuegos*. (Tesis de Maestría) Universidad de Cienfuegos, Cienfuegos.
- Viña Rodríguez, L., Rodríguez Hernández, A. G., Hernández Apaulaza, R., Solozabal Armstrong, J., Martín Abreu, V., & Gómez Peña, T. (2013). *Calidad de ensayos y calidad de procesos en la biotecnología*. La Habana, Cuba.

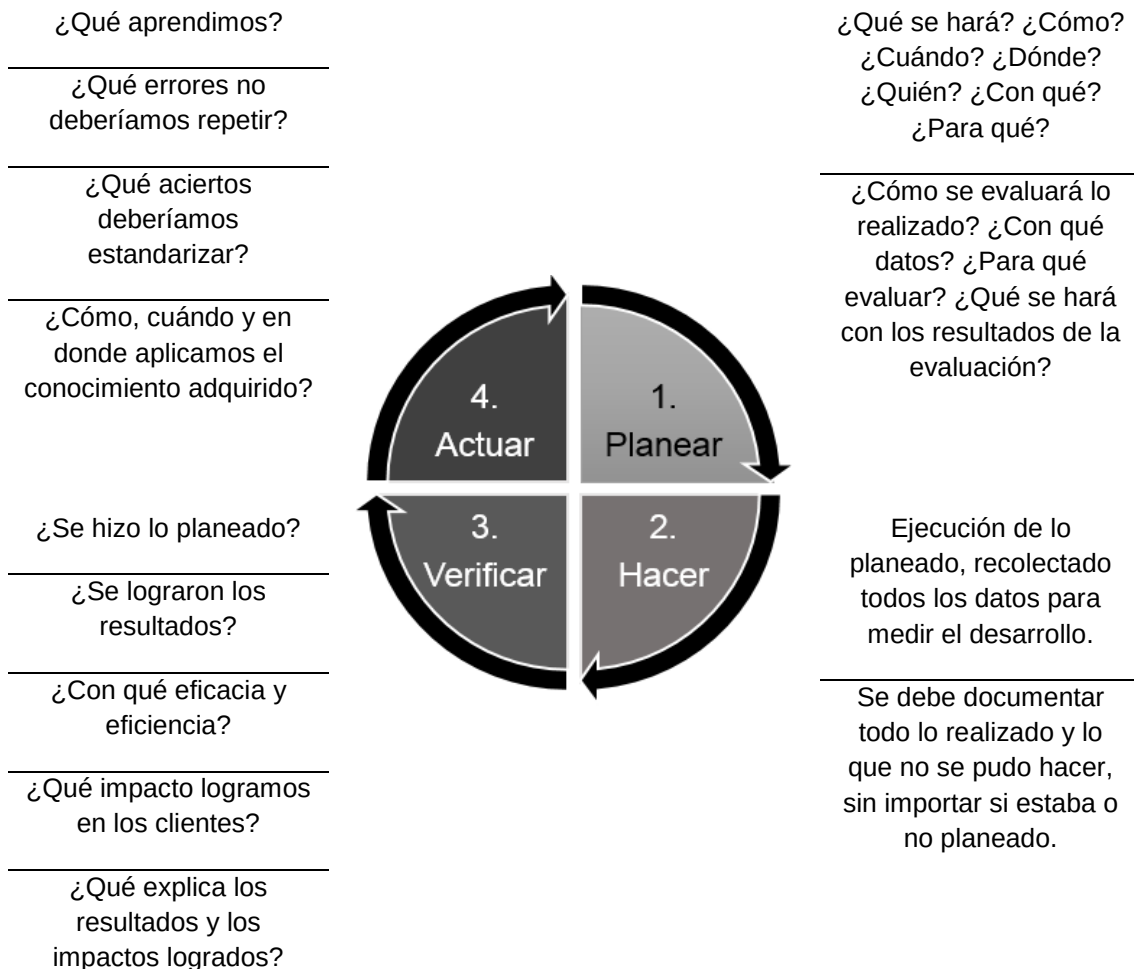
- Wang, T. & Baker, R. (2014). Coriolis flowmeters: a review of developments over the past 20 years, and an assessment of the state of the art and likely future directions. *Flow Measurement and Instrumentation*, 40, 99-123.
- Wynne, M. P. (2005). Vendedores preparados para crear soluciones. *Harvard Deusto Márketing y Ventas*, 69, 72-77.
- Xiaofen, T. (2013). Investigation on quality management maturity of Shanghai enterprises. *The TQM Journal*, 25 (4), 417-430.
- Yvonne Coleman, S. (2013). Statistical thinking in the quality movement ± 25 years. *The TQM Journal*, 25 (6), 597-605.
- Zawiah Md Dawa, S., Yusuf, K., Abdul Rashid, S.H., Md Shalahim, N.S., Suliani Abdullah, N., Mohd Kamil, N.S. (2015). Determination of the significant anthropometry dimensions for user-friendly designs of domestic furniture and appliances - Experience from a study in Malaysia. *Measurement*, 59 (1), 205-215.

Anexos

ANEXOS

Anexo No.1

Componentes del Ciclo PHVA. Fuente: Elaborado a partir de (Herrera, 2006)



Anexo No.2

Beneficios de los modelos de mejora continua. Fuente: Elaborado a partir de Herrera, 2006.

EFQM	Deming	Kaizen	Los 7 pasos	Seis sigma	Philip Crosby
Aprender de sus puntos fuertes y débiles. Aprender acerca del concepto y de lo que implica la “excelencia” para la organización y su trayectoria. Proporciona un planteamiento muy estructurado con base en datos que permite identificar y evaluar los puntos fuertes y las áreas de mejoría. Comparación con otras organizaciones, de naturaleza similar o distinta, mediante conjuntos de criterios aceptados.	Gestión de la rutina diario y/o equipo. Gestión de proyectos. Desarrollo del recurso humano. Desarrollo de nuevos productos y pruebas de proceso. Es un proceso que Soluciona problemas.	Aumento de la productividad. Reducción del espacio utilizado. Mejoras en la calidad de los productos. Reducción del inventario en proceso. Reducción del tiempo de fabricación. Mejora el manejo y control de la producción. Reducción de costos de producción. Mejora el clima organizacional. Aclara roles	Se concentra el esfuerzo en ámbitos organizativos y de procedimientos puntuales. Consiguen mejoras en un corto plazo y resultados visibles. Si existe reducción de productos defectuosos, trae como consecuencia una reducción en los costos, como resultado de un consumo menor de materias primas. Incrementa la Productividad y dirige a la Organización hacia la competitividad, lo cual es de vital importancia para las actuales organizaciones.	Mejorar la visión de la administración de las actividades, calidad y costos. Mejorar el Entendimiento y la apreciación de la capacidad de servicio. Proveer un nivel más acertado de las expectativas de los clientes. Reducción de tiempo de ciclo y residuos. Resolución sistemática de problemas. Motivación de los empleados. Análisis de los datos antes de la toma de decisiones. Reducciones de los incidentes. Desarrollar habilidades de liderazgo.	Se toma en cuenta al personal administrativo y de servicios sin distinciones. Concientiza a todo el personal acerca de la calidad y lo que cuesta no tenerla. Implementa el programa “Cero Defectos por un día”. Establece metas específicas y cuantificables. Reconoce a aquellos que alcancen las metas o hagan actos sobresalientes.

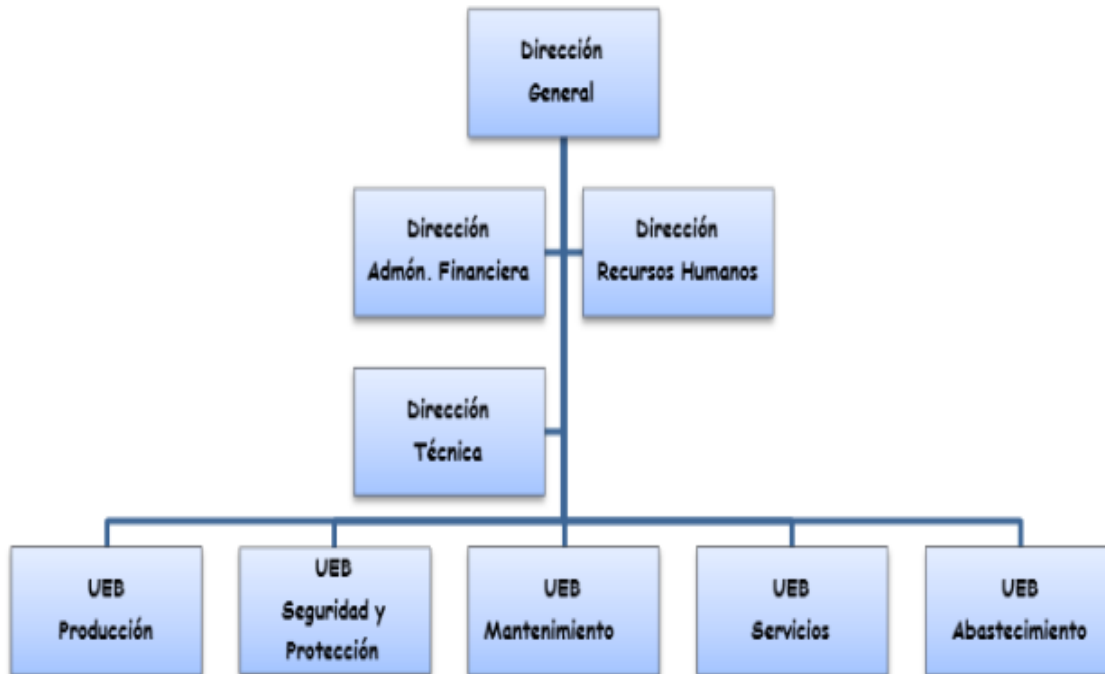
Anexo No.3

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

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

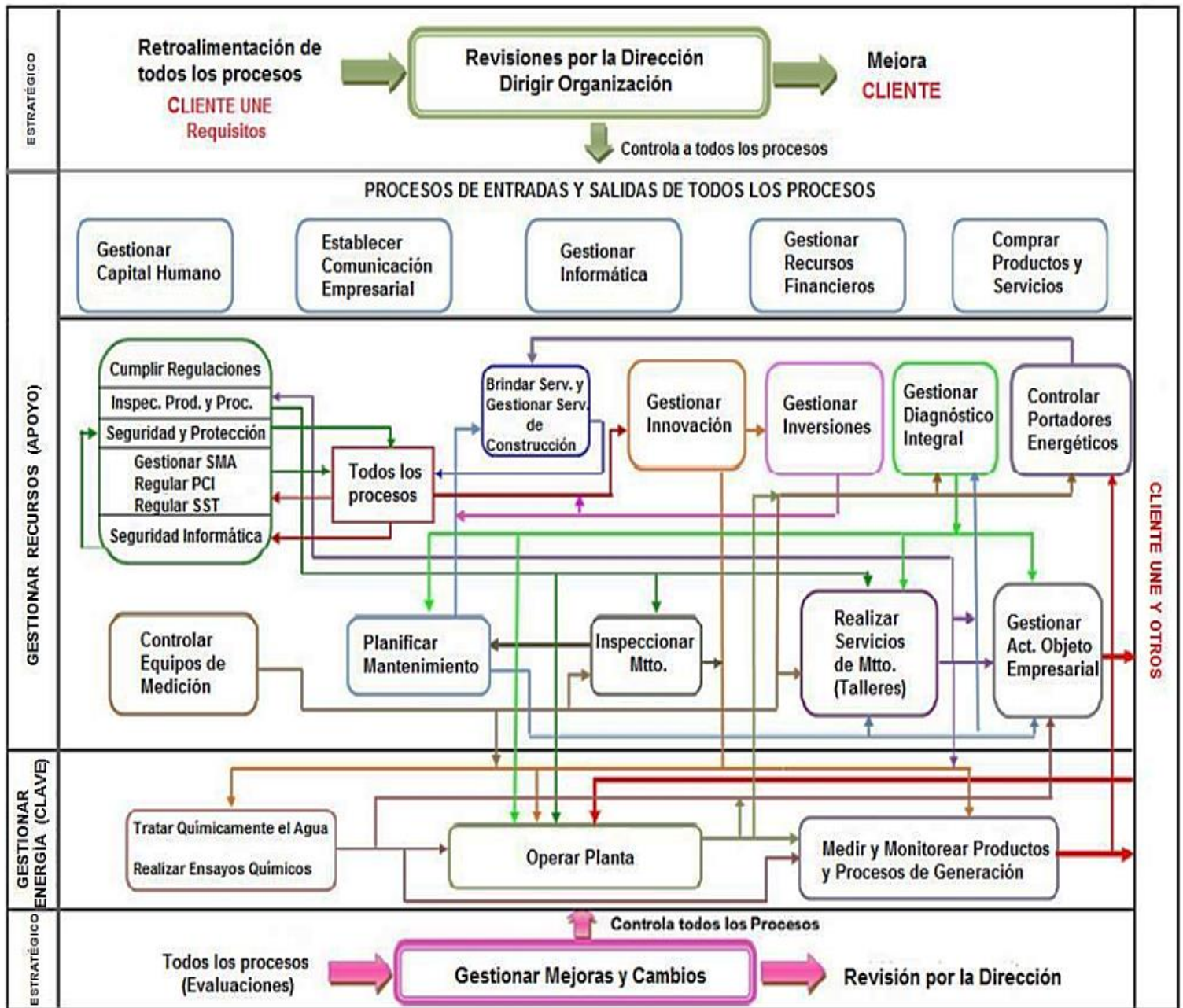
Anexo No.4

Organigrama de la empresa. Fuente: Departamento de Recursos Humanos de la Empresa Termoeléctrica de Cienfuegos, 2020.



Anexo No.5

Mapa general del proceso. Fuente: Empresa Termoeléctrica de Cienfuegos.



Anexo No.6

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
	Análisis del problema	Trabajo en grupos Estudios de repetibilidad Estabilidad Métodos determinísticos de estadística clásica (frecuentista) Combinación de incertidumbres con el método Bayesiano de soluciones

		analíticas (Ley de propagación de la incertidumbre) Método Tiempo Calendario
	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.7

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

Tabla 1: Guía para la evaluación de la incertidumbre estándar

Posibles fuentes de incertidumbre	Evaluación de la incertidumbre estándar	Observaciones
Incertidumbre determinada a partir de los resultados establecidos en el certificado de calibración, para los instrumentos patrones y auxiliares. Nota: Estos casos se utilizan cuando se emplean los valores verdaderos de los patrones empleados.	$u = \frac{U}{k}$	U: Incertidumbre expandida reportada en el certificado de calibración. k: Factor de cobertura.
	$u = \frac{U}{t_{p(v)}}$	Se emplea cuando la incertidumbre ha sido reportada para una probabilidad “p” y “v” grados de libertad. t- Coeficiente de Student para probabilidad “p” y “v” grados de libertad. (Ver tabla G.2 Guía (GUM, 2008)).
	$u = S(\bar{X})$	Se emplea cuando la incertidumbre que aparece en el certificado de calibración del patrón se establece como un múltiplo de la desviación estándar. En este caso la incertidumbre estándar coincide con la desviación estándar.
	$u = \frac{U}{p}$	Se emplea cuando la incertidumbre que aparece en el certificado de calibración está expresada como un intervalo definido con un nivel de confianza de 90, 95 o 99%.

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

	Si $n \leq 3$ $u = \frac{X_{\max} - X_{\min}}{\sqrt{12}}$	Si se asume una distribución uniforme en los límites del recorrido máximo. Esto debe aplicarse en los niveles inferiores de la cadena de calibración donde es común que $n \leq 3$.
Resolución del instrumento de medición que se calibra (r)	$u = \frac{r}{\sqrt{12}}$	r: Resolución de una indicación digital (menor dígito significativo).
Apreciación en el instrumento de medición que se calibra (a)	$u = \frac{\eta V_d}{\sqrt{12}}$	η: Fracción apreciable del valor de división (1/1;1/3;1/4;1/10 etc.) del instrumento que se calibra Vd: Valor de división del instrumento que se calibra.
Magnitudes influyentes y otros efectos que pueden ser causa de incertidumbre	$u = \frac{H}{\sqrt{P}}$ o $u = \frac{H_{\max} - H_{\min}}{\sqrt{12}}$	H: Magnitud influyente. Se utiliza cuando se emplean los valores nominales de los patrones empleados. P= 3 si se asume una distribución simétrica y rectangular. P= 6 si se asume una distribución triangular. P= (2.58)² si se asume una distribución normal para una “p” del 99%. Magnitudes influyentes: • Temperatura. • Presión atmosférica

		• Aceleración de la gravedad, etc. Otros efectos: • Histéresis, linealidad, derivas. • Correcciones, redondeos, valores de constantes físicas y matemáticas.
--	--	--

Tabla 2: Valor del factor t_k en función del número de mediciones n . Fuente: (Pacheco González, 2008).

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

Anexo No.8

Narración del proceso Control de los Equipos de Medición. Fuente: (Vega Siverio, 2019).

Planificar los dispositivos de medición: Elaborar plan de Calibración/Verificación y Reparación anual por censo o cantidades de instrumentos según fechas de últimas certificaciones, magnitudes, modelos, trazabilidad en el país, lugar donde estén instalados, función que realizan, planes de mantenimiento en las unidades de generación, disponibilidad de transporte, hospedaje, capacidad de pago por prestación de servicios, disponibilidad de laboratorios acreditados y de personal disponible para prestar estos servicios, disposiciones legales y normas, etc.

Ejecutar contrato de calibración y verificación: Realización de Calibraciones/Verificaciones y Reparaciones de conjunto con laboratorios acreditados y personal capacitado para ejecutar estas acciones según normas e instrucciones de trabajo, vigencia de contratos, disponibilidad monetaria, transporte adecuado, entre otros.

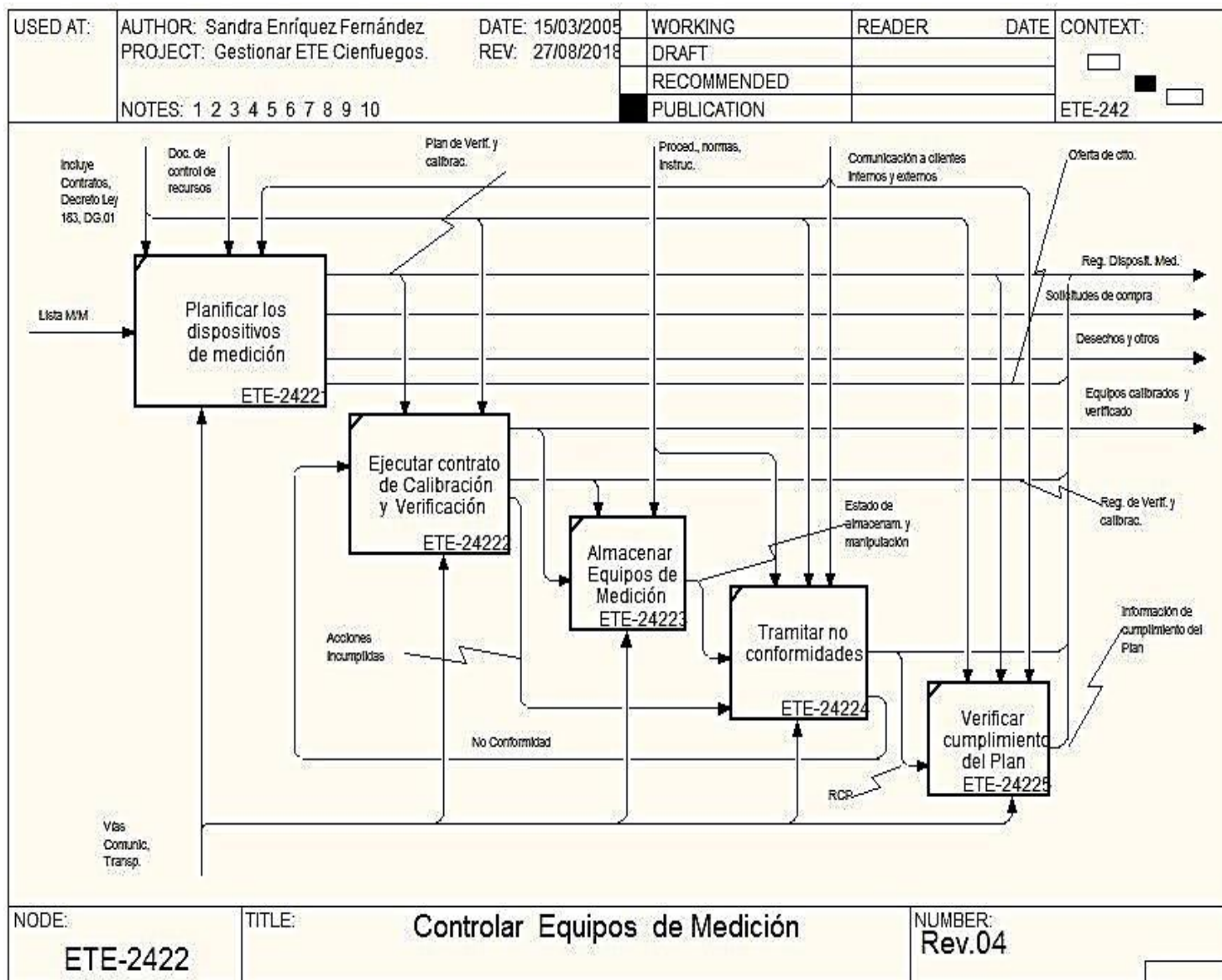
Almacenar equipos de medición: Recepción y revisión de nueva instrumentación y de la existente en almacenes según normas e instrucciones de trabajo para instrumentos. Realización de Calibraciones/Verificaciones de conjunto con laboratorios acreditados y personal capacitado para ejecutar estas acciones según normas e instrucciones de trabajo.

Tramitar no conformidades: Gestionar dificultades o No Conformidades detectadas en la realización de Calibraciones/Verificaciones y Reparaciones, en la instalación y utilización de Instrumentos y Patrones, en el correcto uso del SI, en la forma de resguardar los instrumentos en los talleres, almacenes o lugares donde han sido instalados, en el correcto uso de normas y procedimientos, en los análisis de la prestación de servicio por terceros, por la compra indebida de instrumentos sin informar, etc.

Verificar cumplimiento del plan: Revisión del cumplimiento de las Calibraciones/Verificaciones y Reparaciones según planes y eventos inesperados.

Anexo No.9

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



NODE:

ETE-2422

TITLE:

Controlar Equipos de Medición

NUMBER:

Rev.04

Anexo No.10

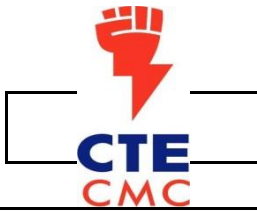
Ficha del proceso Control de Equipos de Medición. Fuente: Empresa Termoeléctrica Cienfuegos.



MINISTERIO DE ENERGIA 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	Antonino Vega Siverio / Esp. en Metrología / ETE Cfgos.	
Acordado	Sandra Enríquez Fdez./ Esp. Calidad / ETE Cfgos.	
	Lissett Fdez. Feitó / Esp. Calidad / ETE Cfgos.	
	José Acevedo Matías / Dtor. UEB Producción / ETE Cfgos.	
	Juan Bravo Núñez / Dtor. UEB Mantenimiento / ETE Cfgos.	
Aprobado	Yeranis Zurita García / Director Técnico / ETE Cfgos.	



MINISTERIO DE ENERGÍA 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



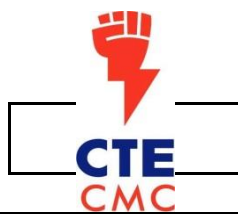
**MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS
UNIÓN ELÉCTRICA
CARPETA DE PROCESO**

**Código: ETE-2422
Revisión: 05
Pág.: 3 de 4**

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	Antonino Vega Siverio	Especialista en Metrología		29/03/2018	
2	Antonino Vega Siverio	Especialista en Metrología		27/06/2018	
3	Antonino Vega Siverio	Especialista en Metrología		26/09/2018	
4	Antonino Vega Siverio	Especialista en Metrología		25/12/2018	
Trim	Evaluado por:	Cargo		Fecha	Firma
1	Yeranis Zurita García	Director Técnico		29/03/2018	
2	Yeranis Zurita García	Director Técnico		27/06/2018	
3	Yeranis Zurita García	Director Técnico		26/09/2018	
4	Yeranis Zurita García	Director Técnico		25/12/2018	

Documentos de Referencia		
Código	Denominación	Edición
UT-MM 0001	Manual Metrológico UNE.	Vigente
DL - 183	Decreto Ley 183 sobre Metrología.	Vigente
DL - 270	Decreto N°. 270: Reglamento del Decreto - Ley de la Metrología.	Vigente

SI	Implantación del Sistema Internacional de Unidades. (SI)	Vigente
DL - 271	Decreto Nº 271: Contravenciones de las regulaciones establecidas sobre Metrología.	Vigente
DG - 01	Disposiciones Generales	Vigente
DG - 05	Disposiciones para la 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
UT-MP 0001	Condiciones Ambientales	Vigente
UT-MP 0002	Confirmación Metrológica	Vigente
UT-MP 0003	Trazabilidad e Incertidumbre de las Mediciones	Vigente
UT-MP 0004	Equipos y Procesos de Medición	Vigente
UT-MP 0005	Equipos de Medición	Vigente
TC-MA 0006	Equipos de Medición. Manipulación, Transporte y Almacenamiento	Vigente
NC-ISO 9001:2008	Sistema de Gestión de la Calidad. Requisitos.	Vigente
MM-ETE	Manual de Metrología.	
MGE - ETE	Manual de Gestión Empresarial.	Vigente
TC-GQ 0002, 0012 y 0015	Procedimientos Obligatorios de Calidad.	Vigente



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

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

Generalidades:

Todos los indicadores de este proceso tributan a la integración del Sistema de Gestión, así como la medición de su eficacia y eficiencia.

Partes interesadas: Trabajadores, directivos, MINEM, UNE, ONN, Contraloría, MININT, APCI, MTSS, ATI Villa Clara.

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.11

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

No.	Aspecto a revisar	Si (4)	No (2)	E/P (3)	Puntuación
4	REQUISITOS GENERALES.				
4.1.1	¿Tenien 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	RESPONSABILIDAD 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?	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 humanos				
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 documentadas de que el personal es apto para las tareas que desempeña en el SGM?	X			4
6.1.3	¿Están identificadas y registradas las 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
6.2.1.3	¿Están vigentes y disponibles los procedimientos?	X			4
6.2.2	Software	Si	No	E/P	Puntuación
6.2.2.1	¿Los software utilizados en los procesos de medición están documentados, validados y controlados?	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	Identificación	Si	No	E/P	Puntuación
6.2.4.1	¿Existe una identificación del estado de la confirmación metrológica de los equipos?	X			4
6.2.4.2	¿Están identificados y controlado el uso de cada uno de los equipos de medición?	X			4
6.3	Recursos materiales	Si	No	E/P	Puntuación
6.3.1	Equipo 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 equipos 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 metrológicas del equipo 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 metrológica?	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 metrológicos especificados?	X			4

7.1.4.3	¿Incluyen los registros la siguiente información?: • Identificación única del equipo de medición (Nº serie, tipo, marca, etc) • Fecha de la calibración • Resultado de la calibración • Intervalo asignado • El error máximo permitido designado • Las condiciones ambientales y las correcciones • Las incertidumbres aplicadas en la calibración • Mantenimientos, ajustes, reparaciones o modificaciones • Limitaciones de uso • Identificación de la(s) que confirmó o confirmaron • Identificación de las personas responsables • Identificación de los certificados de calibración • Evidencias de la trazabilidad de los resultados • Requisitos metrológicos para el uso previsto • Los resultados de calibración obtenidos antes y después de ajuste, reparación o modificación	X			4
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: • 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: • 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: • 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
7.3.1.2	¿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 auditorias y los cambios en el SGM?	X			4

8.2.4	Seguimiento del sistema de gestión de las mediciones	Si	No	E/P	Puntuación
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 características Metrológicas y se destina a otro uso?	X			4
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
8.4.1	¿Existe una planificación para la mejora continua?			X	3
8.4.2	¿Se revisan e identifican las oportunidades de mejora?	X			4
8.4.2	Acción 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 sus causas	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 SGC:

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

Donde:

%: Por ciento 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

Ejemplo:

$$\% = \frac{4(8) + 3(2) + 2(0)}{8 + 2 + 0} \times 25 = \frac{32 + 6}{10} \times 25 = \frac{38}{10} \times 25 = 3.8 \times 25 = \underline{95} \%$$

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

de 80-89 % El SGM está parcialmente implementado

menor de 79 % El SGM no está implementado

Invalidante: En el caso de resultados por debajo del 60 % de los acápites 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 acápites 4 y 5.4 invalida totalmente.

	%
Requisito 4	
Requisito 5	
Requisito 6	
Requisito 7	
Requisito 8	
Total	

Anexo No.12

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

Fortalezas

- Laboratorios acreditados que prestan servicios de calibración en la magnitud de presión, temperatura, electricidad, entre otras.
- Utilización del software SIGMEC para el control de los equipos de medición.
- Personal competente y altamente calificado.
- Se posee un sistema de gestión de calidad certificado por la NC ISO 9001: 2015.
- Elevada cultura metrológica por parte de directivos y trabajadores.
- Existe un presupuesto que se planifica anualmente para garantizar la confirmación metrológica.
- Se cuenta con instrumentación de tecnología de punta en parte de los procesos.

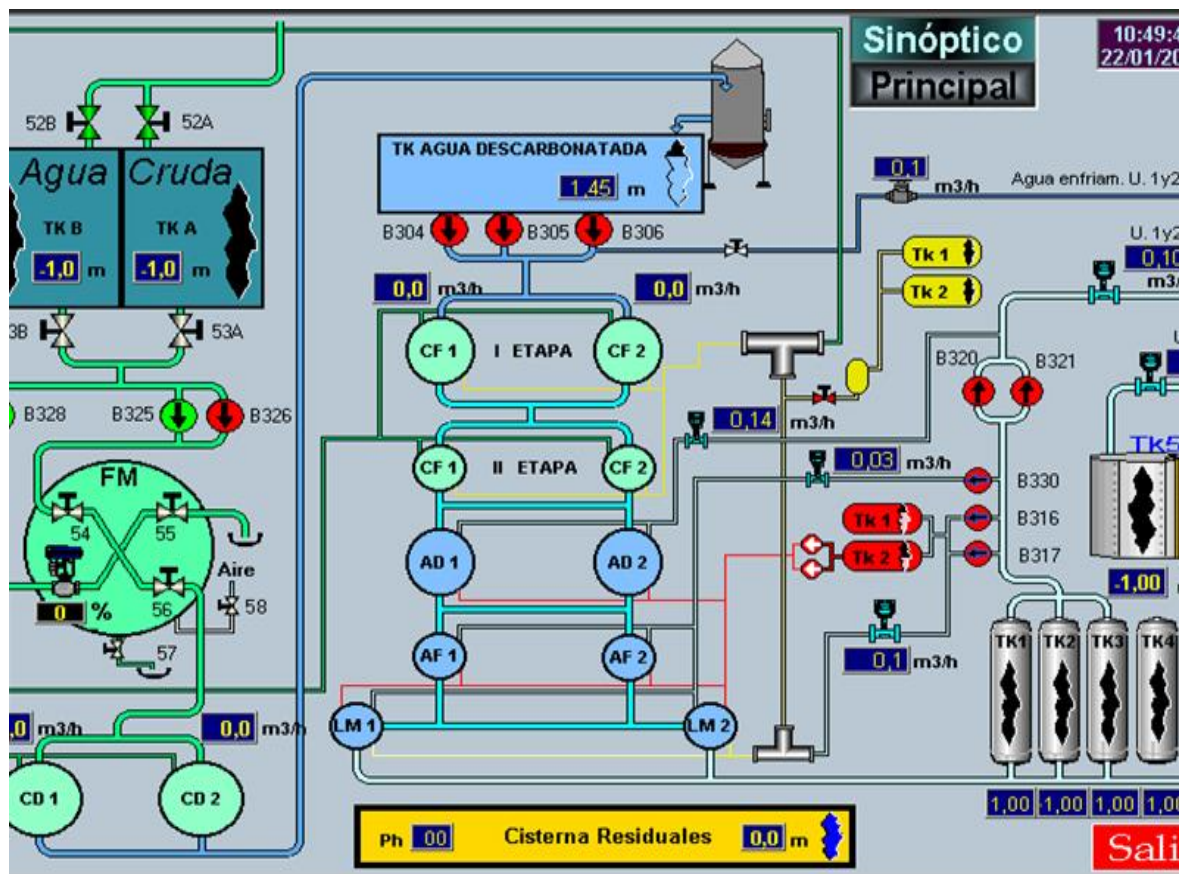
Debilidades

- 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 existe una planificación para la mejora continua.
- 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.
- No se establece correctamente los períodos de calibración en los planes.
- Dificultades para la Calibración de Patrones Eléctricos.

- No existencia o lejanía de suficientes Laboratorios Acreditados que Reparen/Calibren/Verifiquen Instrumentos de Medición y que presten estos servicios In Situ.
- No existencia de medios de embalaje adecuados para mover los Instrumentos fuera de la Empresa cuando son llevados a Reparar/Calibrar/Verificar.

Anexo No.13

Representación del proceso Tratar Químicamente el Agua. Fuente: Empresa Termoeléctrica Cienfuegos.



Anexo No.14

Evaluación de la incertidumbre para el resto de los manómetros utilizados en la Planta de Tratamiento Químico del Agua. Fuente: Elaboración propia.

Mensurando: Presión		Valor	Incertidumbre combinada	Incertidumbre expandida con k=2
Unidad de medida: kgf/cm²				
Fuentes de incertidumbre				
Medición de la presión en el Catió n Fuerte 1	Error máximo permisible del termómetro	0,0816 kgf/cm²	0,155 kgf/cm²	0,231 kgf/cm²
	Calibración del termómetro	0,0075 kgf/cm²		
	Resolución del manómetro	0,0577 kgf/cm²		
	Apreciación del observador	0,0577 kgf/cm²		
Medición de la presión en el Lecho Mezclado 1	Error máximo permisible del manómetro	0,0408 kgf/cm²	0,0578 kgf/cm²	0,115 kgf/cm²
	Calibración del manómetro	0,0041 kgf/cm²		
	Resolución del manómetro	0,0288 kgf/cm²		
	Apreciación del observador	0,0288 kgf/cm²		
Medición de la presión en el Catió n Fuerte 2	Error máximo permisible del manómetro	0,0408 kgf/cm²	0,0578 kgf/cm²	0,115 kgf/cm²
	Calibración del manómetro	0,0041 kgf/cm²		
	Resolución del manómetro	0,0288 kgf/cm²		
	Apreciación del observador	0,0288 kgf/cm²		
Medición de la presión en el Lecho Mezclado 1	Error máximo permisible del manómetro	0,0408 kgf/cm²	0,0578 kgf/cm²	0,115 kgf/cm²
	Calibración del manómetro	0,0041 kgf/cm²		
	Resolución del manómetro	0,0288 kgf/cm²		
	Apreciación del observador	0,0288 kgf/cm²		
Medición de la presión en el Catió n Fuerte 1	Error máximo permisible del manómetro	0,0816 kgf/cm²	0,155 kgf/cm²	0,231 kgf/cm²
	Calibración del manómetro	0,0075 kgf/cm²		
	Resolución del manómetro	0,0577 kgf/cm²		
	Apreciación del observador	0,0577 kgf/cm²		
Medición de la presión en el Filtro Mecánico	Error máximo permisible del manómetro	0,0816 kgf/cm²	0,155 kgf/cm²	0,231 kgf/cm²
	Calibración del manómetro	0,0068 kgf/cm²		
	Resolución del manómetro	0,0577 kgf/cm²		
	Apreciación del observador	0,0577 kgf/cm²		
Medición de la presión en el Tanque Ácido Sulfúrico (Aire)	Error máximo permisible del manómetro	0,0816 kgf/cm²	0,1054 kgf/cm²	0,2108 kgf/cm²
	Calibración del manómetro	0,0171 kgf/cm²		
	Resolución del manómetro	0,0577 kgf/cm²		
	Apreciación del observador	0,0288 kgf/cm²		
Medición de la presión en el Aire de Instrumentos	Error máximo permisible del manómetro	0,0816 kgf/cm²	0,1054 kgf/cm²	0,2108 kgf/cm²
	Calibración del manómetro	0,0171 kgf/cm²		
	Resolución del manómetro	0,0577 kgf/cm²		
	Apreciación del observador	0,0288 kgf/cm²		
Medición de la presión en el Aire de Instrumentos	Error máximo permisible del manómetro	0,0816 kgf/cm²	0,1054 kgf/cm²	0,2108 kgf/cm²
	Calibración del manómetro	0,0171 kgf/cm²		
	Resolución del manómetro	0,0577 kgf/cm²		

	Apreciación del observador	0,0288 kgf/cm ²		
Medición de la presión en el Aire de Instrumentos	Error máximo permisible del manómetro	0,0816 kgf/cm ²	0,1054 kgf/cm ²	0,2108 kgf/cm ²
	Calibración del manómetro	0,0171 kgf/cm ²		
	Resolución del manómetro	0,0577 kgf/cm ²		
	Apreciación del observador	0,0288 kgf/cm ²		
Medición de la presión en el Aire de Instrumentos	Error máximo permisible del manómetro	0,0816 kgf/cm ²	0,1054 kgf/cm ²	0,2108 kgf/cm ²
	Calibración del manómetro	0,0171 kgf/cm ²		
	Resolución del manómetro	0,0577 kgf/cm ²		
	Apreciación del observador	0,0288 kgf/cm ²		
Medición de la presión en el Aire de Instrumentos	Error máximo permisible del manómetro	0,0408 kgf/cm ²	0,0578 kgf/cm ²	0,115 kgf/cm ²
	Calibración del manómetro	0,0041 kgf/cm ²		
	Resolución del manómetro	0,0288 kgf/cm ²		
	Apreciación del observador	0,0288 kgf/cm ²		
Medición de la presión en el Aire de Instrumentos	Error máximo permisible del manómetro	0,0816 kgf/cm ²	0,1042 kgf/cm ²	0,2085 kgf/cm ²
	Calibración del manómetro	0,0074 kgf/cm ²		
	Resolución del manómetro	0,0577 kgf/cm ²		
	Apreciación del observador	0,0288 kgf/cm ²		
Medición de la presión en el Anión Débil 2	Error máximo permisible del manómetro	0,0408 kgf/cm ²	0,0578 kgf/cm ²	0,115 kgf/cm ²
	Calibración del manómetro	0,0041 kgf/cm ²		
	Resolución del manómetro	0,0288 kgf/cm ²		
	Apreciación del observador	0,0288 kgf/cm ²		
Medición de la presión en el Anión Fuerte 3	Error máximo permisible del manómetro	0,0408 kgf/cm ²	0,0578 kgf/cm ²	0,115 kgf/cm ²
	Calibración del manómetro	0,0041 kgf/cm ²		
	Resolución del manómetro	0,0288 kgf/cm ²		
	Apreciación del observador	0,0288 kgf/cm ²		
Medición de la presión en el Catió Fuerte 3	Error máximo permisible del manómetro	0,0816 kgf/cm ²	0,155 kgf/cm ²	0,231 kgf/cm ²
	Calibración del manómetro	0,0075 kgf/cm ²		
	Resolución del manómetro	0,0577 kgf/cm ²		
	Apreciación del observador	0,0577 kgf/cm ²		
Medición de la presión en el Tanque de Aire	Error máximo permisible del manómetro	0,0816 kgf/cm ²	0,155 kgf/cm ²	0,231 kgf/cm ²
	Calibración del manómetro	0,0068 kgf/cm ²		
	Resolución del manómetro	0,0577 kgf/cm ²		
	Apreciación del observador	0,0577 kgf/cm ²		
Medición de la presión en el Catió Fuerte 2	Error máximo permisible del manómetro	0,0816 kgf/cm ²	0,155 kgf/cm ²	0,231 kgf/cm ²
	Calibración del manómetro	0,0075 kgf/cm ²		
	Resolución del manómetro	0,0577 kgf/cm ²		
	Apreciación del observador	0,0577 kgf/cm ²		
Medición de la presión en el Lecho Mezclado 2	Error máximo permisible del manómetro	0,0408 kgf/cm ²	0,0578 kgf/cm ²	0,115 kgf/cm ²
	Calibración del manómetro	0,0041 kgf/cm ²		
	Resolución del manómetro	0,0288 kgf/cm ²		
	Apreciación del observador	0,0288 kgf/cm ²		

Medición de la presión en el Tanque de Aire	Error máximo permisible del manómetro	0,0816 kgf/cm ²	0,155 kgf/cm ²	0,231 kgf/cm ²
	Calibración del manómetro	0,0075 kgf/cm ²		
	Resolución del manómetro	0,0577 kgf/cm ²		
	Apreciación del observador	0,0577 kgf/cm ²		
Medición de la presión en la Bomba de Agua Cruda	Error máximo permisible del manómetro	0,0408 kgf/cm ²	0,0767 kgf/cm ²	0,1534 kgf/cm ²
	Calibración del manómetro	0,008 kgf/cm ²		
	Resolución del manómetro	0,0288 kgf/cm ²		
	Apreciación del observador	0,0577 kgf/cm ²		
Medición de la presión en el Anión Fuerte 3	Error máximo permisible del manómetro	0,0816 kgf/cm ²	0,155 kgf/cm ²	0,231 kgf/cm ²
	Calibración del manómetro	0,0068 kgf/cm ²		
	Resolución del manómetro	0,0577 kgf/cm ²		
	Apreciación del observador	0,0577 kgf/cm ²		
Medición de la presión en el Cation Débil 1	Error máximo permisible del manómetro	0,0816 kgf/cm ²	0,155 kgf/cm ²	0,231 kgf/cm ²
	Calibración del manómetro	0,0068 kgf/cm ²		
	Resolución del manómetro	0,0577 kgf/cm ²		
	Apreciación del observador	0,0577 kgf/cm ²		
Medición de la presión en el Sistema de Vapor	Error máximo permisible del manómetro	0,0816 kgf/cm ²	0,155 kgf/cm ²	0,231 kgf/cm ²
	Calibración del manómetro	0,0075 kgf/cm ²		
	Resolución del manómetro	0,0577 kgf/cm ²		
	Apreciación del observador	0,0577 kgf/cm ²		
Medición de la presión en el Lecho Mezclado 2	Error máximo permisible del manómetro	0,0816 kgf/cm ²	0,155 kgf/cm ²	0,231 kgf/cm ²
	Calibración del manómetro	0,0075 kgf/cm ²		
	Resolución del manómetro	0,0577 kgf/cm ²		
	Apreciación del observador	0,0577 kgf/cm ²		
Medición de la presión en el Anión Débil 1	Error máximo permisible del manómetro	0,0816 kgf/cm ²	0,1040 kgf/cm ²	0,2081 kgf/cm ²
	Calibración del manómetro	0,0041 kgf/cm ²		
	Resolución del manómetro	0,0577 kgf/cm ²		
	Apreciación del observador	0,0288 kgf/cm ²		
Medición de la presión en el Anión Fuerte 2	Error máximo permisible del manómetro	0,0816 kgf/cm ²	0,155 kgf/cm ²	0,231 kgf/cm ²
	Calibración del manómetro	0,0075 kgf/cm ²		
	Resolución del manómetro	0,0577 kgf/cm ²		
	Apreciación del observador	0,0577 kgf/cm ²		
Medición de la presión en la Bomba de Agua Desmineralizada	Error máximo permisible del manómetro	0,0816 kgf/cm ²	0,155 kgf/cm ²	0,231 kgf/cm ²
	Calibración del manómetro	0,0075 kgf/cm ²		
	Resolución del manómetro	0,0577 kgf/cm ²		
	Apreciación del observador	0,0577 kgf/cm ²		

Anexo No.15

Determinación del período de calibración para los manómetros seleccionados del sistema presión de la Planta de Tratamiento Químico del Agua. Fuente: Elaboración propia.

Nombre del instrumento de medición					Modelo				No. de serie		EMP	Parametro a medir								
Manómetro indicador					N.FIMA				39577		0,2	Presion								
Punto de medición	Resultados de las dos últimas calibraciones												Tiempo entre calibraciones							
	Fecha penúltima				2016	Fecha última				2018			2	Años						
Unidades	Error de Ascenso	E Ascenso + U con k=2	Error en Descenso	E Descenso + U con k=2	U(x) con k=2	Error de Ascenso	E Ascenso + U con k=2	Error en Descenso	E Descenso + U con k=2	U(x) con k=2	Emax	Tolerancia T= EMP- Emax	Desviacion Ds=Ec1-Ec2	Deriv (D) $D = \frac{D_{max}}{(t_2 - t_1) \cdot 12}$		Intervalo d Calibracion $T_c = \frac{T}{D}$				
Mpa																				
0	0,00	0,000	0,00	0,000	0	0,00	0,000	0,00	0,000	0,00				0,102	0,098	0,000	0,0059	16,56588	17	
0.39	-0,04	-0,039	0,00	0,001	0,000663	0,10	0,102	0,10	0,102	0,00226										0,142
0.78	0,00	0,001	0,04	0,041	0,001326	-0,10	-0,095	-0,10	-0,095	0,00452										0,137
1.57	0,00	0,003	0,00	0,003	0,002669	-0,10	-0,091	-0,10	-0,091	0,00911	0,094									

Nombre del instrumento de medición					Modelo				No. de serie		EMP	Parametro a medir					
Manómetro indicador					N.FIMA				128070		0,2	Presion					
Punto de medición	Resultados de las dos últimas calibraciones										Tiempo entre calibraciones						
	Fecha penúltima				2016	Fecha última				2018				2		Años	
Unidades	Error de Ascenso	E Ascenso +- U con k=2	Error en Descenso	E Descenso + U con k=2	U(x) con k=2	Error de Ascenso	E Ascenso +- U con k=2	Error en Descenso	E Descenso + U con k=2	U(x) con k=2	Emax	Tolerancia T= EMP-Emax	Desviacion Ds=Ec1- Ec2	$D = \frac{D_{max}}{(t_2 - t_1) \cdot 12}$		$T_c = \frac{T}{D}$	
Mpa																	
0	0,00	0,000	0,00	0,000	0	0,00	0,000	0,00	0,000	0,00	0,102	0,098	0,000	0,0042	23,087944	23	
0,39	0,00	0,001	0,00	0,001	0,000663	0,10	0,102	0,10	0,102	0,00226			0,102				
0,78	0,00	0,001	0,00	0,001	0,001326	-0,10	-0,095	-0,10	-0,095	0,00452			0,097				
1,57	0,00	0,003	0,00	0,003	0,002669	-0,10	-0,091	-0,10	-0,091	0,00911			0,094				

Nombre del instrumento de medición					Modelo				No. de serie		EMP	Parametro a medir				
Manómetro indicador					N.FIMA				131100		0,2	Presion				
Punto de medición	Resultados de las dos últimas calibraciones													Tiempo entre calibraciones		
	Fecha penúltima				2016	Fecha última				2018					2	Años
Unidades	Error de Ascenso	E Ascenso +/- U con k=2	Error en Descenso	E Descenso + U con k=2	U(x) con k=2	Error de Ascenso	E Ascenso +/- U con k=2	Error en Descenso	E Descenso + U con k=2	U(x) con k=2	Emax	Tolerancia T= EMP-Emax	Desviacion Ds=Ec1- Ec2	$D = \frac{D_{max}}{(t_2 - t_1) \cdot 12}$	Intervalo d Calibracion $T_c = \frac{T}{D}$	
Mpa																
0	0,00	0,000	0,00	0,000	0	0,00	0,000	0,00	0,000	0,00						
0.39	0,04	0,041	0,04	0,041	0,000663	0,10	0,102	0,10	0,102	0,00226						
0.78	0,04	0,041	0,04	0,041	0,001326	-0,10	-0,095	-0,10	-0,095	0,00452						
1.57	0,00	0,003	0,00	0,003	0,002669	-0,10	-0,091	-0,10	-0,091	0,00911	0,102	0,098	0,0057	17,146767	17	

Nombre del instrumento de medición					Modelo			No. de serie		EMP	Parametro a medir										
Manómetro indicador					N.FIMA				31 PI-103		0,2	Presion									
Punto de medición	Resultados de las dos últimas calibraciones										Tiempo entre calibraciones										
	Fecha penúltima				2016	Fecha última				2018				2	Años						
Unidades	Error de Ascenso	E Ascenso +- U con k=2	Error en Descenso	E Descenso + U con k=2	U(x) con k=2	Error de Ascenso	E Ascenso +- U con k=2	Error en Descenso	E Descenso + U con k=2	U(x) con k=2	E _{max}	Tolerancia T= EMP-E _{max}	Desviacion Ds=Ec1- Ec2	Deriv (D)	Intervalo d Calibracion	T _c = $\frac{T}{D}$					
Mpa														$D = \frac{D_{max}}{(t_2 - t_1) \cdot 12}$							
0	0,00	0,000	0,00	0,000	0	0,00	0,000	0,00	0,000	0,00				0,102	0,098		0,000	0,0042	23,63544	24	
0,1	-0,04	-0,040	-0,04	-0,040	0,00031	-0,04	-0,040	-0,04	-0,040	0,00031											0,000
0,49	0,00	0,002	0,00	0,002	0,001519	0,04	0,042	0,10	0,102	0,00152											0,100
0,98	0,00	0,003	-0,04	-0,037	0,003038	0,00	0,003	-0,04	-0,037	0,00304	0,040										

Nombre del instrumento de medición					Modelo			No. de serie		EMP	Parametro a medir									
Manómetro indicador					N.FIMA				141		0,2	Presion								
Punto de medición	Resultados de las dos últimas calibraciones										Tiempo entre calibraciones									
	Fecha penúltima				2016	Fecha última				2018			2	Años						
Unidades	Error de Ascenso	E Ascenso + U con k=2	Error en Descenso	E Descenso + U con k=2	U(x) con k=2	Error de Ascenso	E Ascenso + U con k=2	Error en Descenso	E Descenso + U con k=2	U(x) con k=2	E _{max}	Tolerancia T= EMP-E _{max}	Desviación Ds=Ec1- Ec2	Deriv (D)	Intervalo d Calibración					
														$D = \frac{D_{max}}{(t_c - t_i) \times 12}$	$T_c = \frac{T}{D}$					
Mpa																				
0	0,00	0,000	0,00	0,000	0	0,00	0,000	0,00	0,000	0,00				0,100	0,100	0,000	0,0046	21,787636	22	
0,05	-0,01	-0,010	-0,01	-0,010	0,00014	0,10	0,100	0,10	0,100	0,00014										0,110
0,29	-0,06	-0,059	-0,06	-0,059	0,000812	-0,10	-0,099	-0,10	-0,099	0,00081										
0,59	-0,02	-0,018	-0,02	-0,018	0,001652	-0,10	-0,098	-0,10	-0,098	0,00165	0,080									

Nombre del instrumento de medición					Modelo				No. de serie		EMP	Parametro a medir						
Manómetro indicador					N.FIMA					144	0,2	Presion						
Punto de medición	Resultados de las dos últimas calibraciones										Tiempo entre calibraciones							
	Fecha penúltima				2016	Fecha última				2018	2Años							
Unidades	Error de Ascenso	E Ascenso + U con k=2	Error en Descenso	E Descenso + U con k=2	U(x) con k=2	Error de Ascenso	E Ascenso + U con k=2	Error en Descenso	E Descenso + U con k=2	U(x) con k=2	E _{max}	Tolerancia T= EMP-E _{max}	Desviación Ds=Ec1- Ec2	Deriv (D)	Intervalo d Calibracion			
														$D = \frac{D_{max}}{(t_c - t_i) \times 12}$	$T_c = \frac{T}{D}$			
Mpa																		
0	0,00	0,000	0,00	0,000	0	0,00	0,000	0,00	0,000	0,00				0,100	0,100	0,0046	21,787636	22
0,05	-0,01	-0,010	-0,01	-0,010	0,00014	0,06	0,060	0,10	0,100	0,00014								
0,29	-0,06	-0,059	-0,06	-0,059	0,000812	-0,10	-0,099	-0,08	-0,079	0,00081								
0,59	-0,02	-0,018	-0,02	-0,018	0,001652	-0,04	-0,038	-0,03	-0,028	0,00165								

Nombre del instrumento de medición					Modelo				No. de serie		EMP	Parametro a medir							
Manómetro indicador					N.FIMA					145	0,2	Presion							
Punto de medición	Resultados de las dos últimas calibraciones										Tiempo entre calibraciones								
	Fecha penúltima				2016	Fecha última				2018	2Años								
Unidades	Error de Ascenso	E Ascenso + U con k=2	Error en Descenso	E Descenso + U con k=2	U(x) con k=2	Error de Ascenso	E Ascenso + U con k=2	Error en Descenso	E Descenso + U con k=2	U(x) con k=2	E _{max}	Tolerancia T= EMP-E _{max}	Desviacion Ds=Ec1- Ec2	Deriv (D)	Intervalo d Calibracion				
														$D = \frac{D_{max}}{(t_c - t_i) \times 12}$	$T_c = \frac{T}{D}$				
Mpa																			
0	0,00	0,000	0,00	0,000	0	0,00	0,000	0,00	0,000	0,00				0,100	0,100		0,0046	21,787636	22
0,05	-0,01	-0,010	-0,01	-0,010	0,00014	0,06	0,060	0,10	0,100	0,00014									
0,29	-0,06	-0,059	-0,06	-0,059	0,000812	-0,10	-0,099	-0,10	-0,099	0,00081									
0,59	-0,02	-0,018	-0,02	-0,018	0,001652	-0,04	-0,038	-0,04	-0,038	0,00165									

Nombre del instrumento de medición					Modelo			No. de serie		EMP	Parametro a medir					
Manómetro indicador					N.FIMA				149		0,2	Presion				
Punto de medición	Resultados de las dos últimas calibraciones										Tiempo entre calibraciones					
	Fecha penúltima				2016	Fecha última				2018				2	Años	
Unidades	Error de Ascenso	E Ascenso +/- U con k=2	Error en Descenso	E Descenso + U con k=2	U(x) con k=2	Error de Ascenso	E Ascenso +/- U con k=2	Error en Descenso	E Descenso + U con k=2	U(x) con k=2	E _{max}	Tolerancia T= EMP-E _{max}	Desviación Ds=Ec1- Ec2	Deriv (D) $D = \frac{D_{max}}{(t_c - t_i) \times 12}$	Intervalo d Calibración $T_c = \frac{T}{D}$	
Mpa																
0	0,00	0,000	0,00	0,000	0	0,00	0,000	0,00	0,000	0,00	0,102	0,098	0,000 0,102 0,097 0,094	0,0042	23,087944	23
0,39	0,00	0,001	0,00	0,001	0,000663	0,10	0,102	0,10	0,102	0,00226						
0,78	0,00	0,001	0,00	0,001	0,001326	-0,10	-0,095	-0,10	-0,095	0,00452						
1,57	0,00	0,003	0,00	0,003	0,002669	-0,10	-0,091	-0,10	-0,091	0,00911						

Nombre del instrumento de medición					Modelo				No. de serie		EMP	Parametro a medir					
Manómetro indicador					N.FIMA				163		0,2	Presion					
Punto de medición	Resultados de las dos últimas calibraciones											Tiempo entre calibraciones					
	Fecha penúltima				2016	Fecha última				2018					2		Años
Unidades	Error de Ascenso	E Ascenso +- U con k=2	Error en Descenso	E Descenso + U con k=2	U(x) con k=2	Error de Ascenso	E Ascenso +- U con k=2	Error en Descenso	E Descenso + U con k=2	U(x) con k=2	E _{max}	Tolerancia T= EMP-E _{max}	Desviación Ds=Ec1- Ec2	$D = \frac{D_{max}}{(t_2 - t_1) \times 12}$		$T_c = \frac{T}{D}$	
Mpa																	
0	0,00	0,000	0,00	0,000	0	0,00	0,000	0,00	0,000	0,00	0,102	0,098	0,000	0,0057	17,146767	17	
0,39	0,00	0,001	0,04	0,041	0,000663	0,10	0,102	0,10	0,102	0,00226			0,102				
0,78	0,00	0,001	0,04	0,041	0,001326	-0,10	-0,095	-0,10	-0,095	0,00452			0,137				
1,57	0,00	0,003	0,00	0,003	0,002669	-0,10	-0,091	-0,10	-0,091	0,00911			0,094				

Nombre del instrumento de medición					Modelo			No. de serie		EMP	Parametro a medir					
Manómetro indicador					N.FIMA				610		0,2	Presion				
Punto de medición	Resultados de las dos últimas calibraciones										Tiempo entre calibraciones					
	Fecha penúltima				2016	Fecha última				2018				2	Años	
Unidades	Error de Ascenso	E Ascenso +- U con k=2	Error en Descenso	E Descenso + U con k=2	U(x) con k=2	Error de Ascenso	E Ascenso +- U con k=2	Error en Descenso	E Descenso + U con k=2	U(x) con k=2	Emax	Tolerancia T= EMP-E _{max}	Desviación Ds=Ec1- Ec2	$D = \frac{D_{max}}{(t_2 - t_1) \cdot 12}$		$T_c = \frac{T}{D}$
Mpa																
0	0,00	0,000	0,00	0,000	0	0,00	0,000	0,00	0,000	0,00	0,103	0,097	0,000	0,0056	17,274988	17
0,05	-0,02	-0,020	-0,02	-0,020	0,000285	0,10	0,102	0,10	0,102	0,00226			0,122			
0,29	0,02	0,022	0,02	0,022	0,001653	-0,04	-0,035	-0,04	-0,035	0,00452			0,057			
0,59	0,10	0,103	0,10	0,103	0,003363	-0,04	-0,031	-0,04	-0,031	0,00911			0,134			

Nombre del instrumento de medición					Modelo				No. de serie		EMP	Parametro a medir			
Manómetro indicador					N.FIMA					672	0,2	Presion			
Punto de medición	Resultados de las dos últimas calibraciones										Tiempo entre calibraciones				
	Fecha penúltima				2016	Fecha última				2018			2	Años	
Unidades	Error de Ascenso	E Ascenso +/- U con k=2	Error en Descenso	E Descenso + U con k=2	U(x) con k=2	Error de Ascenso	E Ascenso +/- U con k=2	Error en Descenso	E Descenso + U con k=2	U(x) con k=2	Emax	Tolerancia T= EMP-Emax	Desviación Ds=Ec1- Ec2	$D = \frac{D_{\text{max}}}{(t_2 - t_1) \cdot 12}$	Intervalo d Calibracion $T_c = \frac{T}{D}$
Mpa															
0	0,00	0,000	0,00	0,000	0	0,00	0,000	0,00	0,000	0,00					
0.05	0,02	0,020	0,02	0,020	0,000285	0,10	0,102	0,10	0,102	0,00226					
0.29	-0,02	-0,018	-0,02	-0,018	0,001653	-0,04	-0,035	-0,04	-0,035	0,00452					
0.59	0,10	0,103	0,10	0,103	0,003363	-0,04	-0,031	-0,04	-0,031	0,00911					

Nombre del instrumento de medición					Modelo				No. de serie		EMP	Parametro a medir					
Manómetro indicador					N.FIMA				615		0,2	Presion					
Punto de medición	Resultados de las dos últimas calibraciones										Tiempo entre calibraciones						
	Fecha penúltima				2016	Fecha última				2018			2	Años			
Unidades	Error de Ascenso	E Ascenso +- U con k=2	Error en Descenso	E Descenso + U con k=2	U(x) con k=2	Error de Ascenso	E Ascenso +- U con k=2	Error en Descenso	E Descenso + U con k=2	U(x) con k=2	Emax	Tolerancia T= EMP-E _{max}	Desviacion Ds=Ec1- Ec2	Deriv(D)	Intervalo d Calibracion		
Mpa														$D = \frac{D_{max}}{(t_2 - t_1) \cdot 12}$	$T_c = \frac{T}{D}$		
0	0,00	0,000	0,00	0,000	0	0,00	0,000	0,00	0,000	0,00	0,103	0,097	0,000	0,0056	17,274988	17	
0,05	0,02	0,020	0,02	0,020	0,000285	0,10	0,102	0,10	0,102	0,00226							0,082
0,29	0,02	0,022	0,02	0,022	0,001653	-0,04	-0,035	-0,04	-0,035	0,00452							0,057
0,59	0,10	0,103	0,10	0,103	0,003363	-0,04	-0,031	-0,04	-0,031	0,00911							0,134

Nombre del instrumento de medición					Modelo			No. de serie		EMP	Parametro a medir									
Manómetro indicador					N.FIMA			687		0,2	Presion									
Punto de medición	Resultados de las dos últimas calibraciones										Tiempo entre calibraciones									
	Fecha penúltima				2016		Fecha última			2018		2		Años						
Unidades	Error de Ascenso	E Ascenso + U con k=2	Error en Descenso	E Descenso + U con k=2	U(x) con k=2	Error de Ascenso	E Ascenso +- U con k=2	Error en Descenso	E Descenso + U con k=2	U(x) con k=2	E _{max}	Tolerancia T= EMP-E _{max}	Desviacion Ds=Ec1- Ec2	Deriv (D)	Intervalo d Calibracion					
Mpa														$D = \frac{D_{max}}{(t_2 - t_1) + 12}$	$T_c = \frac{T}{D}$					
0	0,00	0,000	0,00	0,000	0	0,00	0,000	0,00	0,000	0,00				0,103	0,097	0,000	0,0056	17,274988	17	
0,05	-0,02	-0,020	-0,02	-0,020	0,000285	0,10	0,102	0,10	0,102	0,00226										0,122
0,29	-0,02	-0,018	-0,02	-0,018	0,001653	-0,04	-0,035	-0,04	-0,035	0,00452										0,017
0,59	0,10	0,103	0,10	0,103	0,003363	-0,04	-0,031	-0,04	-0,031	0,00911	0,134									

Nombre del instrumento de medición					Modelo				No. de serie		EMP	Parametro a medir							
Manómetro indicador					N.FIMA				6351		0,2	Presion							
Punto de medición	Resultados de las dos últimas calibraciones											Tiempo entre calibraciones							
	Fecha penúltima				2016	Fecha última				2018			2	Años					
Unidades	Error de Ascenso	E Ascenso + U con k=2	Error en Descenso	E Descenso + U con k=2	U(x) con k=2	Error de Ascenso	E Ascenso + U con k=2	Error en Descenso	E Descenso + U con k=2	U(x) con k=2	E _{max}	Tolerancia T= EMP-E _{max}	Desviación Ds=Ec1- Ec2	Deriv (D)	Intervalo d Calibración				
														$D = \frac{D_{s_{max}}}{(t_2 - t_1) \times 12}$	$T_c = \frac{T}{D}$				
Mpa																			
0	0,00	0,000	0,00	0,000	0	0,00	0,000	0,00	0,000	0,00						0,000	0,0030	32,524223	33
0,05	0,03	0,030	0,03	0,030	0,00014	0,10	0,102	0,10	0,102	0,00226						0,072			
0,29	-0,06	-0,059	-0,06	-0,059	0,000812	-0,10	-0,095	-0,10	-0,095	0,00452			0,036						
0,59	-0,02	-0,018	-0,02	-0,018	0,001652	0,00	0,009	0,00	0,009	0,00911			0,027						

Nombre del instrumento de medición					Modelo			No. de serie		EMP	Parametro a medir									
Manómetro indicador					N.FIMA				29041		0,2	Presion								
Punto de medición	Resultados de las dos últimas calibraciones										Tiempo entre calibraciones									
	Fecha penúltima				2016	Fecha última				2018										
Unidades	Error de Ascenso	E Ascenso + U con k=2	Error en Descenso	E Descenso + U con k=2	U(x) con k=2	Error de Ascenso	E Ascenso + U con k=2	Error en Descenso	E Descenso + U con k=2	U(x) con k=2	E _{max}	Tolerancia T= EMP-E _{max}	Desviacion Ds=Ec1- Ec2	Deriv(D)	Intervalo d Calibracion					
														$D = \frac{D_{s_{max}}}{(t_2 - t_1) \times 12}$	$T_c = \frac{T}{D}$					
Mpa																				
0	0,00	0,000	0,00	0,000	0	0,00	0,000	0,00	0,000	0,00				0,102	0,098		0,000	0,0047	20,921068	21
0,05	-0,01	-0,010	-0,01	-0,010	0,00014	0,10	0,102	0,10	0,102	0,00226							0,112			
0,29	-0,06	-0,059	-0,06	-0,059	0,000812	-0,10	-0,095	-0,10	-0,095	0,00452	0,036									
0,59	-0,02	-0,018	-0,02	-0,018	0,001652	0,00	0,009	0,00	0,009	0,00911	0,027									

Nombre del instrumento de medición					Modelo			No. de serie		EMP	Parametro a medir								
Manómetro indicador					N.FIMA				35427		0,2	Presion							
Punto de medición	Resultados de las dos últimas calibraciones										Tiempo entre calibraciones								
	Fecha penúltima				2016	Fecha última				2018				2	Años				
Unidades	Error de Ascenso	E Ascenso + U con k=2	Error en Descenso	E Descenso + U con k=2	U(x) con k=2	Error de Ascenso	E Ascenso + U con k=2	Error en Descenso	E Descenso + U con k=2	U(x) con k=2	E _{max}	Tolerancia T= EMP-E _{max}	Desviación Ds=Ec1- Ec2	Deriv (D)	Intervalo d Calibración				
														$D = \frac{D_{s_{max}}}{(t_2 - t_1) \times 12}$	$T_c = \frac{T}{D}$				
Mpa																			
0	0,00	0,000	0,00	0,000	0	0,00	0,000	0,00	0,000	0,00				0,102	0,098	0,000	0,0042	23,008004	23
0,1	0,00	0,000	0,00	0,000	0,00031	0,10	0,102	0,10	0,102	0,00226									
0.49	0,00	0,002	0,00	0,002	0,001519	-0,10	-0,095	-0,10	-0,095	0,00452	0,097								
0.98	0,00	0,003	0,00	0,003	0,00303	-0,10	-0,091	-0,10	-0,091	0,00911		0,094							

Nombre del instrumento de medición					Modelo			No. de serie		EMP	Parametro a medir									
Manómetro indicador					N.FIMA				49012		0,2	Presion								
Punto de medición	Resultados de las dos últimas calibraciones										Tiempo entre calibraciones									
	Fecha penúltima				2016	Fecha última				2018			2	Años						
Unidades	Error de Ascenso	E Ascenso + U con k=2	Error en Descenso	E Descenso + U con k=2	U(x) con k=2	Error de Ascenso	E Ascenso + U con k=2	Error en Descenso	E Descenso + U con k=2	U(x) con k=2	E _{max}	Tolerancia T= EMP-E _{max}	Desviación Ds=Ec1- Ec2	Deriv (D)	Intervalo d Calibracion					
														$D = \frac{D_{s_{max}}}{(t_2 - t_1) \times 12}$	$T_c = \frac{T}{D}$					
Mpa																				
0	0,00	0,000	0,00	0,000	0	0,00	0,000	0,00	0,000	0,00				0,102	0,098		0,000	0,0042	23,63544	24
0.1	-0,04	-0,040	-0,04	-0,040	0,00031	-0,04	-0,040	-0,04	-0,040	0,00031							0,000			
0.49	0,00	0,002	0,00	0,002	0,001519	0,04	0,042	0,10	0,102	0,00152	0,100									
0.98	0,00	0,003	-0,04	-0,037	0,003038	0,00	0,003	-0,04	-0,037	0,00304				0,040						

Nombre del instrumento de medición					Modelo			No. de serie		EMP	Parametro a medir								
Manómetro indicador					N.FIMA				65268		0,2	Presion							
Punto de medición	Resultados de las dos últimas calibraciones										Tiempo entre calibraciones								
	Fecha penúltima				2016	Fecha última				2018			2	Años					
Unidades	Error de Ascenso	E Ascenso + U con k=2	Error en Descenso	E Descenso + U con k=2	U(x) con k=2	Error de Ascenso	E Ascenso + U con k=2	Error en Descenso	E Descenso + U con k=2	U(x) con k=2	E _{max}	Tolerancia T= EMP-E _{max}	Desviación Ds=Ec1- Ec2	Deriv(D)	Intervalo d Calibración				
														$D = \frac{D_{s_{max}}}{(t_2 - t_1) \times 12}$	$T_c = \frac{T}{D}$				
Mpa																			
0	0,00	0,000	0,00	0,000	0	0,00	0,000	0,00	0,000	0,00				0,102	0,098		0,0055	17,773642	18
0.05	-0.03	-0.030	-0.01	-0.010	0,000285	0,10	0,102	0,10	0,102	0,00226									
0.29	-0.06	-0.058	-0.06	-0.058	0,001653	-0.04	-0,035	-0.04	-0,035	0,00452	0,023								
0.59	-0.02	-0.017	-0.02	-0.017	0,003363	-0.04	-0,031	-0.04	-0,031	0,00911				0,014					

Nombre del instrumento de medición					Modelo				No. de serie		EMP	Parametro a medir				
Manómetro indicador					N.FIMA					71074		0,2	Presion			
Punto de medición	Resultados de las dos últimas calibraciones												Tiempo entre calibraciones			
	Fecha penúltima				2016	Fecha última				2018					2	Años
Unidades	Error de Ascenso	E Ascenso +/- U con k=2	Error en Descenso	E Descenso + U con k=2	U(x) con k=2	Error de Ascenso	E Ascenso +/- U con k=2	Error en Descenso	E Descenso + U con k=2	U(x) con k=2	Emax	Tolerancia T= EMP-Emax	Desviacion Ds=Ec1- Ec2	$D = \frac{D_{max}}{(t_2 - t_1) \times 12}$	Intervalo d Calibracion $T_c = \frac{T}{D}$	
Mpa																
0	0,00	0,000	0,00	0,000	0	0,00	0,000	0,00	0,000	0,00						
0,1	-0,04	-0,040	-0,04	-0,040	0,00031	-0,04	-0,040	-0,04	-0,040	0,00031						
0,49	0,00	0,002	0,00	0,002	0,001519	0,04	0,042	0,10	0,102	0,00152						
0,98	0,00	0,003	0,00	0,003	0,003038	0,00	0,003	-0,04	-0,037	0,00304						

Nombre del instrumento de medición					Modelo				No. de serie		EMP	Parametro a medir								
Manómetro indicador					N.FIMA					79260		0,2	Presion							
Punto de medición	Resultados de las dos últimas calibraciones													Tiempo entre calibraciones						
	Fecha penúltima				2016	Fecha última				2018				2	Años					
Unidades	Error de Ascenso	E Ascenso + U con k=2	Error en Descenso	E Descenso + U con k=2	U(x) con k=2	Error de Ascenso	E Ascenso + U con k=2	Error en Descenso	E Descenso + U con k=2	U(x) con k=2	Emax	Tolerancia T= EMP-Emax	Desviación Ds=Ec1- Ec2	Deriv (D)	Intervalo d Calibracion					
Mpa														$D = \frac{D_{max}}{(t_2 - t_1) \times 12}$	$T_c = \frac{T}{D}$					
0	0,00	0,000	0,00	0,000	0	0,00	0,000	0,00	0,000	0,00				0,102	0,098		0,0061	15,978747	16	
0.39	0,00	0,001	0,00	0,001	0,000663	0,10	0,102	0,10	0,102	0,00226										0,102
0,78	0,05	0,051	0,05	0,051	0,001326	-0,10	-0,095	-0,10	-0,095	0,00452										0,147
1.57	0,00	0,003	0,00	0,003	0,002669	-0,10	-0,091	-0,10	-0,091	0,00911	0,094									

Nombre del instrumento de medición					Modelo			No. de serie		EMP	Parametro a medir					
Manómetro indicador					N.FIMA			166081-63		0,2	Presion					
Punto de medición	Resultados de las dos últimas calibraciones										Tiempo entre calibraciones					
	Fecha penúltima				2016	Fecha última				2018	2		Años			
Unidades	Error de Ascenso	E Ascenso +/- U con k=2	Error en Descenso	E Descenso + U con k=2	U(x) con k=2	Error de Ascenso	E Ascenso +/- U con k=2	Error en Descenso	E Descenso + U con k=2	U(x) con k=2	Emax	Tolerancia T= EMP-Emax	Desviación Ds=Ec1- Ec2	$D = \frac{D_{max}}{(t_2 - t_1) \times 12}$	Deriv (D)	Intervalo d Calibracion $T_c = \frac{T}{D}$
Mpa																
0	0,00	0,000	0,00	0,000	0	0,00	0,000	0,00	0,000	0,00						
0,1	0,00	0,000	0,00	0,000	0,00031	-0,04	-0,040	-0,04	-0,040	0,00031						
0,49	0,00	0,002	0,00	0,002	0,001519	0,04	0,042	0,10	0,102	0,00152						
0,98	0,00	0,003	0,00	0,003	0,003038	0,00	0,003	-0,04	-0,037	0,00304						

Nombre del instrumento de medición					Modelo					No. de serie		EMP	Parametro a medir				
Manómetro indicador					N.FIMA						24652359		0,2	Presion			
Punto de medición	Resultados de las dos últimas calibraciones													Tiempo entre calibraciones			
	Fecha penúltima				2016	Fecha última				2018					2	Años	
Unidades	Error de Ascenso	E Ascenso +/- U con k=2	Error en Descenso	E Descenso + U con k=2	U(x) con k=2	Error de Ascenso	E Ascenso +/- U con k=2	Error en Descenso	E Descenso + U con k=2	U(x) con k=2	Emax	Tolerancia T= EMP-Emax	Desviacion Ds=Ec1- Ec2	Deriv(D) $D = \frac{D_{max}}{(t_2 - t_1) \times 12}$	Intervalo d Calibracion $T_c = \frac{T}{D}$		
Mpa																	
0	0,00	0,000	0,00	0,000	0	0,00	0,000	0,00	0,000	0,00							
0,1	0,04	0,040	0,04	0,040	0,00031	-0,10	-0,100	-0,10	-0,100	0,00031							
0,49	0,00	0,002	0,00	0,002	0,001519	0,00	0,002	0,00	0,002	0,00152							
0,98	0,00	0,003	0,00	0,003	0,003038	-0,10	-0,097	-0,10	-0,097	0,00304	0,040	0,160	0,000	0,0058	27,375429	27	

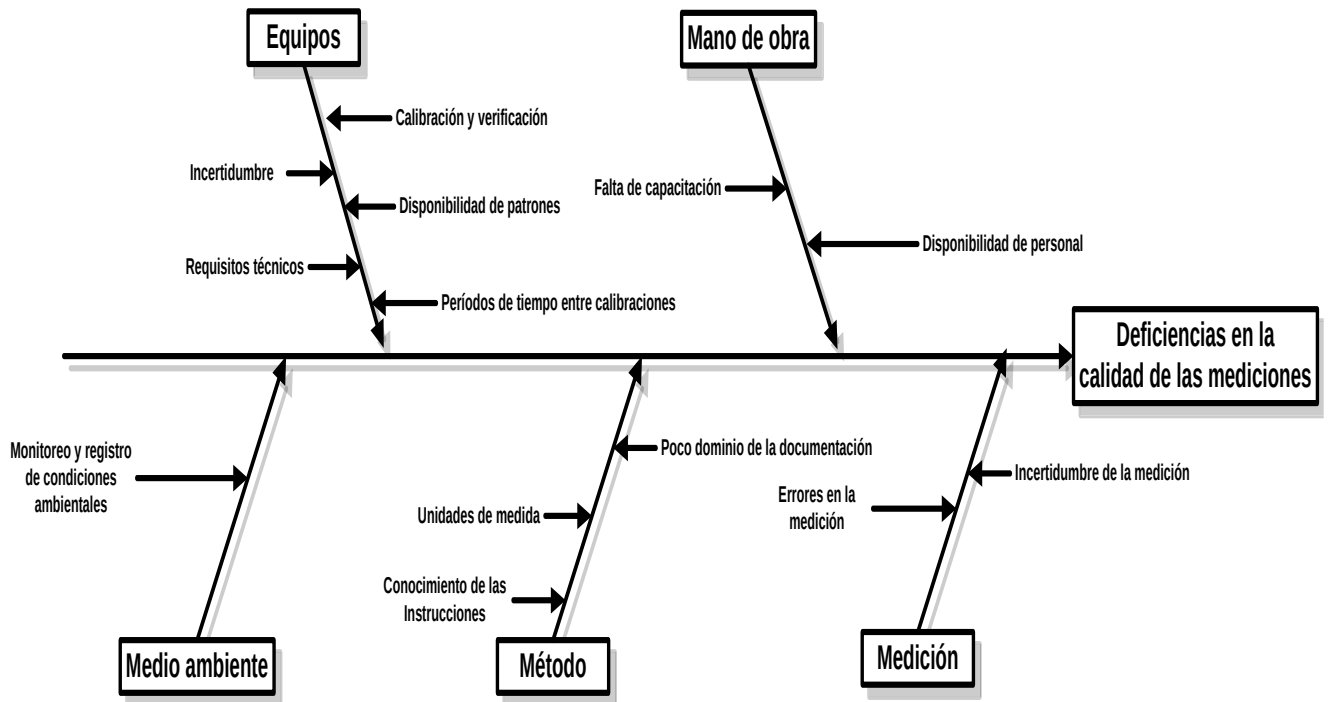
Nombre del instrumento de medición					Modelo				No. de serie		EMP	Parametro a medir								
Manómetro indicador					N.FIMA					8262735	0,2	Presion								
Punto de medición	Resultados de las dos últimas calibraciones										Tiempo entre calibraciones									
	Fecha penúltima				2016	Fecha última				2018			2	Años						
Unidades	Error de Ascenso	E Ascenso +/- U con k=2	Error en Descenso	E Descenso + U con k=2	U(x) con k=2	Error de Ascenso	E Ascenso +/- U con k=2	Error en Descenso	E Descenso + U con k=2	U(x) con k=2	Emax	Tolerancia T= EMP-Emax	Desviación Ds=Ec1- Ec2	Deriv (D)	Intervalo d Calibracion					
Mpa														$D = \frac{D_{max}}{(t_2 - t_1) \times 12}$	$T_c = \frac{T}{D}$					
0	0,00	0,000	0,00	0,000	0	0,00	0,000	0,00	0,000	0,00				0,102	0,098	0,000	0,0038	25,463103	25	
0.05	0,01	0,010	0,01	0,010	0,00014	0,10	0,102	0,10	0,102	0,00226										0,092
0.29	-0,04	-0,039	-0,04	-0,039	0,000812	-0,10	-0,095	-0,10	-0,095	0,00452										0,056
0.59	-0,02	-0,018	-0,02	-0,018	0,001652	0,00	0,009	0,00	0,009	0,00911	0,027									

Nombre del instrumento de medición					Modelo			No. de serie		EMP	Parametro a medir						
Manómetro indicador					N.FIMA				FB-095266		0,2	Presion					
Punto de medición	Resultados de las dos últimas calibraciones										Tiempo entre calibraciones						
	Fecha penúltima				2016	Fecha última				2018			2	Años			
Unidades	Error de Ascenso	E Ascenso + U con k=2	Error en Descenso	E Descenso + U con k=2	U(x) con k=2	Error de Ascenso	E Ascenso + U con k=2	Error en Descenso	E Descenso + U con k=2	U(x) con k=2	E _{max}	Tolerancia T= EMP-E _{max}	Desviacion Ds=Ec1- Ec2	Deriv (D)	Intervalo d Calibracion		
														$D = \frac{D_{s_{max}}}{(t_2 - t_1) \times 12}$	$T_c = \frac{T}{D}$		
Mpa																	
0	0,00	0,000	0,00	0,000	0	0,00	0,000	0,00	0,000	0,00				0,102	0,098		0,000
0,1	0,00	0,000	0,00	0,000	0,00031	-0,04	-0,040	-0,04	-0,040	0,00031							
0,49	0,00	0,002	0,00	0,002	0,001519	0,04	0,042	0,10	0,102	0,00152							
0,98	0,00	0,003	0,00	0,003	0,003038	0,00	0,003	-0,04	-0,037	0,00304							

Nombre del instrumento de medición					Modelo			No. de serie		EMP	Parametro a medir								
Manómetro indicador					N.FIMA			PI-19		0,2	Presion								
Punto de medición	Resultados de las dos últimas calibraciones										Tiempo entre calibraciones								
	Fecha penúltima				2016	Fecha última				2018			2	Años					
Unidades	Error de Ascenso	E Ascenso + U con k=2	Error en Descenso	E Descenso + U con k=2	U(x) con k=2	Error de Ascenso	E Ascenso + U con k=2	Error en Descenso	E Descenso + U con k=2	U(x) con k=2	E _{max}	Tolerancia T=EMP-E _{max}	Desviacion Ds=Ec1- Ec2	Deriv (D)	Intervalo d Calibracion				
Mpa														$D = \frac{D_{s_{max}}}{(t_2 - t_1) \times 12}$	$T_c = \frac{T}{D}$				
0	0,00	0,000	0,00	0,000	0	0,00	0,000	0,00	0,000	0,00				0,102	0,098		0,0042	23,63544	24
0.1	0,00	0,000	0,00	0,000	0,00031	-0,04	-0,040	-0,04	-0,040	0,00031									
0.49	0,00	0,002	0,00	0,002	0,001519	0,04	0,042	0,10	0,102	0,00152									
0.98	0,00	0,003	0,00	0,003	0,003038	0,00	0,003	-0,04	-0,037	0,00304									

Anexo No.16

Diagrama de Causa – Efecto. Fuente: (Vega Siverio, 2019).



Anexo No.17

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

Causas probables (hipótesis)	Verificación de las causas	Oportunidades de mejora
Condiciones ambientales	Mediante los registros	No es posible realizar mejoras
Dominio de la instrumentación	Mediante los registros de la mediciones y evaluaciones prácticas al personal	Capacitar al personal necesario
Conocimiento de las instrucciones	Mediante los registros, evaluaciones y auditorías al área encargada	Instruir al personal con dificultad en el proceder de las instrucciones, así como sus responsabilidades
Unidades de medidas	Existen 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
Errores en la medición	Mediante los registros de la mediciones por turnos de trabajo, balances mensuales, estimación de la incertidumbre	Garantizar las condiciones y requisitos para la calidad de la medición
Incertidumbre de medición	No se tiene evaluada la incertidumbre en los diferentes sistemas de medición mediante el método GUM o el expuesto en la NC – Guía 1066:2015.	Exigir la evaluación de la incertidumbre de medición en estos sistemas, contribuyendo a la mejora de la calidad en las mediciones.

Disponibilidad del 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 relacionada con la medición
Disponibilidad de Patrones	Falta de Patrones Certificados para realizar los trabajos	Adquirir Patrones Certificados y reconocidos en el país, gestionar su trazabilidad en el territorio
Requisitos técnicos	Mediante la documentación técnica y los certificados de calibración o verificación de los instrumentos	Determinación de los requisitos tecnológicos en la medición
Calibración y verificación	Mediante la revisión del plan de calibración/verificación así como la presencia del certificado que acredite que el instrumento se encuentre apto para el uso.	Cumplir el plan de calibración/verificación
Períodos de calibración	Cumplimientos de los planes según normas y certificados	Establecer períodos entre las calibraciones fundamentado a partir de métodos estadísticos – matemáticos

Anexo No.18

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

Si se cumple la región crítica se rechaza H₀, existiendo comunidad de preferencia entre los expertos, con lo que se cumple en la presente investigación. En este caso $\lambda^2_{calculada}=96,613$ y $\lambda^2_{tabulada}= 18,307$. El procesamiento de los resultados se efectúa mediante el paquete de programa SPSS versión 22.0. Los resultados muestran que la región crítica se cumple con lo que se llega a la conclusión que los resultados obtenidos en este procesamiento son confiables y existe comunidad de preferencia entre los expertos.

Estadísticos descriptivos

	N	Media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
Capacitar al personal necesario	11	4,00	1,183	2	6
Instruir al personal con dificultad en el proceder de las instrucciones, así como sus responsabilidades	11	4,55	,522	4	5
Sustituir la instrumentación que no cumpla con el SI	11	1,91	,701	1	3

Garantizar las condiciones y requisitos para la calidad de la medición	11	8,36	1,206	6	9
Exigir la evaluación de la incertidumbre de medición en estos sistemas, contribuyendo a la mejora de la calidad en las mediciones.	11	7,91	,701	7	9
Incrementar personal adecuado para responder a la demanda	11	6,09	1,300	4	9
Gestionar y capacitar al personal involucrado en las acciones relacionada con la medición	11	1,91	1,136	1	4
Adquirir Patrones Certificados y reconocidos en el país, gestionar su trazabilidad en el territorio	11	4,27	,905	2	5
Determinación de los requisitos tecnológicos en la medición	11	6,00	,447	5	7
Cumplir el plan de calibración/verificación	11	6,82	,405	6	7
Establecer períodos entre las calibraciones fundamentado a partir de métodos estadísticos – matemáticos	11	8,82	1,537	5	10

Rangos

	Rango promedio
Capacitar al personal necesario	3,73
Instruir al personal con dificultad en el proceder de las instrucciones, así como sus responsabilidades	4,32
Sustituir la instrumentación que no cumpla con el SI	1,68
Garantizar las condiciones y requisitos para la calidad de la medición	9,68
Exigir la evaluación de la incertidumbre de medición en estos sistemas, contribuyendo a la mejora de la calidad en las mediciones.	9,27
Incrementar personal adecuado para responder a la demanda	6,73
Gestionar y capacitar al personal involucrado en las acciones relacionada con la medición	1,73

Adquirir Patrones Certificados y reconocidos en el país, gestionar su trazabilidad en el territorio	4,09
Determinación de los requisitos tecnológicos en la medición	6,68
Cumplir el plan de calibración/ verificación	8,00
Establecer períodos entre las calibraciones fundamentado a partir de métodos estadísticos – matemáticos	10,09

Estadísticos de prueba

N	11
W de Kendall ^a	,878
Chi-cuadrado	96,613
gl	10
Sig. asintótica	,000

a. Coeficiente de concordancia de Kendall

Anexo No.19

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 períodos de tiempo obtenidos						
Responsables: Especialista en Metrología						
¿Qué?	¿Quién?	¿Cómo?	¿Por qué?	¿Dónde?	¿Cuándo?	¿Cuánto?
Reestructurar los planes de calibración	Especialista en Metrología	Evalutando los resultados obtenidos con el Método Tiempo Calendario	Para garantizar la calidad de la medición	En el sistema de medición de las bombas de agua de alimentar	Noviembre 2020	30 días
Revisión del contrato con la OTN y ATI VC	Especialista en Metrología	Revisión de acuerdos entre las partes según las regulaciones establecidas	Para llegar a un acuerdo entre las partes y protegerse legalmente	En ambas partes	Noviembre – Diciembre 2020	60 días
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	Febrero 2021	1 día

Oportunidad de mejora: Garantizar las condiciones y requisitos para la calidad de la medición en el sistema presión de la Planta de Tratamiento Químico del Agua (PTQA)						
Meta: Minimizar los errores en la medición						
Responsables: Especialista en Metrología						
¿Qué?	¿Quién?	¿Cómo?	¿Por qué?	¿Dónde?	¿Cuándo?	¿Cuánto?
Corregir la medición, reflejando la variación, determinando el valor real	Especialista en Metrología	Mediante los registros de las mediciones	Para garantizar la calidad de la medición	PTQA	Por turnos de trabajo y balances mensuales	-
Exigir la evaluación de la incertidumbre de la medición en el sistema presión de la PTQA, para contribuir a la mejora de la	Especialista en Metrología y Jefes de Turno	Calculando la incertidumbre en los sistemas de medición teniendo en cuenta NC 1066: 2015	Para conocer las desviaciones o error permisible en el sistema	PTQA	Enero de 2021	2 semanas

calidad en las mediciones						
Dominio de la instrumentación	Operadores	Con el uso de la documentación técnica	Para realizar una óptima medición	PTQA	Permanente	-
Calibración y verificación	Oficina Nacional de Normalización y ATI VC	Según procedimientos y normas establecidas	Para garantizar calidad y validez de la medición como reconocimiento legal	PTQA	Anual	Según tarifa