



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

Implantación de un Sistema de Gestión de Mediciones

INFORME DE ACTIVIDADES PROFESIONALES

Que para obtener el título de

Ingeniero Petrolero

P R E S E N T A

Alexander Martínez Mateos

ASESOR DE INFORME

M.I. Oswaldo David López Hernández



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2024

AGRADECIMIENTOS

A mis padres Asunción Mateos Santos y Jesús Martínez Cervantes por siempre representar una ayuda incondicional y guiarme a través de sus consejos.

A Reyna Elena Cabañas Ruíz quién es parte fundamental de mi formación profesional y fue motivación para el desarrollo del presente trabajo.

A los ingenieros Miguel Ferrer Torres y Ricardo Carlo Portilla Villatoro por haberme permitido desempeñar este trabajo bajo su digno cargo, así como a PEMEX por brindarme la oportunidad de usar sus apreciables instalaciones para mi desarrollo profesional.

A los profesores Héctor Erick Gallardo Ferrera y Oswaldo David López Hernández por su apoyo y haberme conducido por el camino de la ingeniería.

ÍNDICE

| | |
|---|-----------|
| ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS | I |
| INTRODUCCIÓN | II |
| OBJETIVOS..... | III |
| | |
| 1. PARTICIPACIÓN PROFESIONAL..... | 1 |
| 2. GENERALIDADES DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE MEDICIONES..... | 3 |
| 3. ANTECEDENTES | 5 |
| 4. MARCO TEÓRICO | 7 |
| 4.1 Proceso de Medición | 8 |
| 4.2 Sistemas y Equipos de Medición | 10 |
| 4.2.1 Medidor de flujo tipo turbina | 11 |
| 4.2.2 Medidor de flujo de desplazamiento positivo | 12 |
| 4.3 Proceso de Confirmación Metrológica..... | 13 |
| 4.4 Proceso de Atención de No Conformidades y Mediciones Incorrectas..... | 14 |
| 5. CASO DE ESTUDIO..... | 15 |
| 5.1 Metodología implementada..... | 15 |
| 5.2 Confirmación Metrológica de un medidor de flujo tipo turbina | 16 |
| 5.2.1 Calibración | 18 |
| 5.2.2 Verificación..... | 20 |
| 5.2.3 Decisiones y Acciones..... | 25 |
| 5.3 Atención de No Conformidades y Mediciones Incorrectas de un medidor de flujo tipo turbina | 26 |
| 5.3.1 Registro de no conformidades..... | 27 |
| 5.3.2 Identificación del estado metrológico del equipo de medición..... | 29 |
| 5.3.3 Registro periódico de condiciones ambientales..... | 31 |
| 5.3.4 Evaluación del desempeño de proveedores externos de servicios..... | 33 |
| 5.3.5 Especificación del proceso de verificación de medidores de flujo tipo turbina ... | 35 |
| 5.3.6 Revisión de la verificación de medidores de flujo tipo turbina..... | 39 |
| 5.3.7 Validación de registros de verificación..... | 41 |
| 5.3.8 Integración de cartas control | 41 |
| 5.3.9 Interpretación de cartas control | 46 |
| 5.3.10 Análisis de los 5 ¿por qué? | 48 |
| 5.3.11 Plan de tratamiento | 50 |
| 5.4 Comunicación de resoluciones | 53 |
| | |
| RESULTADOS | 55 |
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 56 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 57 |
| ANEXO A: NOMENCLATURA Y DEFINICIONES | 59 |

Índice de Tablas y Figuras

Tablas

| | |
|---|----|
| Tabla 1: Información mínima de un certificado de calibración de un medidor de flujo tipo turbina..... | 19 |
| Tabla 2: Propuesta para calendarizar calibraciones o verificación de medidores de flujo tipo turbina . | 20 |
| Tabla 3: Formato de campo propuesto para la verificación. | 22 |
| Tabla 4: Información mínima de un informe de verificación de un medidor de flujo tipo turbina. | 21 |
| Tabla 5: Matriz de resultados de verificaciones de medidores de flujo tipo turbina | 24 |
| Tabla 6: Información mínima de una etiqueta de verificación de un medidor de flujo tipo turbina | 26 |
| Tabla 7: Ejemplo de atención de una situación no conforme..... | 28 |
| Tabla 8: Información mínima de un acta de entrega de equipo verificado/no verificado | 30 |
| Tabla 9: Ejemplo de ficha técnica de operación de un medidor de flujo tipo turbina. | 31 |
| Tabla 10: Ejemplo de comparación de temperaturas de gasolinas..... | 32 |
| Tabla 11: Ejemplo de comparación de temperaturas de diésel automotriz..... | 33 |
| Tabla 12: Ejemplo de una forma de evaluar a un proveedor de servicios de calibración | 34 |
| Tabla 13: Ejemplo de una revisión del proceso de verificación de un medidor de flujo tipo turbina..... | 40 |
| Tabla 14: Ejemplo del historial de verificaciones de un medidor de flujo tipo turbina. | 44 |
| Tabla 15: Ejemplo de aplicación de la técnica de los 5 ¿por qué? | 49 |
| Tabla 16: Ejemplo del control de estrategias de un plan de tratamiento..... | 50 |
| Tabla 17: Ejemplo de principales fallas operacionales de un medidor de flujo tipo turbina | 51 |
| Tabla 18: Información mínima de un acta de finalización de procedimientos..... | 54 |

Figuras

| | |
|--|----|
| Figura 1: Seguimiento del Sistema de Gestión de Mediciones en el centro de trabajo..... | 6 |
| Figura 2: Ciclo de fiabilidad de una medición..... | 9 |
| Figura 3: Conceptualización del escenario abarcado. | 15 |
| Figura 4: Proceso de confirmación metrológica de un equipo de medición. | 17 |
| Figura 5: Ejemplo de una instalación convencional de una nave de llenado de producto. | 35 |
| Figura 6: Ejemplo de un diagrama de bloques de una nave de llenado de producto..... | 36 |
| Figura 7: Ejemplo del proceso de verificación de un medidor de flujo tipo turbina..... | 38 |
| Figura 8: Ejemplo de una validación del proceso de verificación de un medidor de flujo..... | 42 |
| Figura 9: Ejemplo de una carta control de un medidor de flujo tipo turbina..... | 45 |
| Figura 10: Ejemplo de la distribución normal en una carta control de un medidor de flujo tipo turbina | 47 |

INTRODUCCIÓN

La intención de implementar un sistema de gestión de mediciones (SGM) en empresas dedicadas a la generación de valor de económico es simple; controlar la calidad del producto ofertado y regular el desarrollo de los procesos de medición.

Las terminales de almacenamiento y despacho se encargan de ofertar la mayor capacidad operativa disponible para el almacenamiento y despacho de productos petrolíferos en fase líquida (gasolinas y diésel); es por ello que reciben los combustibles a través de oleoductos, los almacenan en tanques verticales de techo fijo y los despachan a estaciones de servicio a través de autotanques.

Un SGM es una herramienta para planificar, organizar, ejecutar y monitorear las actividades para administrar los riesgos de los equipos y procesos de medición que pudiesen generar resultados incorrectos.

Para gobernar el desarrollo de procesos de medición y determinar la conformidad del equipo de medición será necesario el control metrológico de los dispositivos correspondientes, por ésta razón, el SGM utiliza la confirmación metrológica como herramienta de apoyo.

La confirmación metrológica consiste en asegurar que el equipo de medición se encuentre en perfectas condiciones para su uso y se utilizan etiquetas para destacar su estado metrológico, así como posibles limitaciones o condiciones especiales de uso.

Para que un equipo de medición no pierda su función y garantizar que los procesos de medición sean adecuados, se emplean técnicas determinadas por el SGM, como la construcción de cartas control o el desarrollo de planes de tratamiento, por ejemplo.

Cada centro de trabajo valora el impacto de una medición incorrecta y determina las acciones necesarias para avalar el desarrollo adecuado de los procesos de medición con equipo confirmado.

Para finalizar, se incluye el caso práctico de la confirmación metrológica de medidores de flujo tipo turbina en naves de llenado de combustible en éste centro de trabajo, se presentan propuestas para el análisis de no conformidades y recomendaciones en áreas de oportunidad.

Objetivos

Objetivo General

Reportar las actividades para continuar con la implantación de un sistema de gestión de mediciones en una terminal de almacenamiento y despacho de combustibles; con el fin de gestionar equipos y procesos para disponer de mediciones exactas y reales.

Objetivos Particulares

- 1.- Revisar la literatura, así como la normatividad aplicable, en materia de almacenamiento, transporte, despacho y calidad de productos derivados del petróleo.
- 2.- Estudiar la revisión más reciente de los procesos de medición aplicables.
- 3.- Actualizar el censo de equipos de medición de acuerdo a su estado metrológico.
- 4.- Documentar procesos de confirmación metrológica de los equipos de medición correspondientes.
- 5.- Registrar la atención a situaciones no conformes que derivaron como una medición incorrecta.
- 6.- Actualizar el estado metrológico del equipo posterior a procesos de confirmación metrológica

1. Participación Profesional

El presente informe de actividades profesionales es consecuencia de mi estadía de 14 meses en la Terminal de Almacenamiento y Despacho Barranca del Muerto; dónde realicé el seguimiento al SGM y continué con las actividades correspondientes.

En un inicio, examiné el estado que guardaba el SGM y comencé a desarrollar diversas actividades que contribuían a la confirmación metrológica de medidores de flujo tipo turbina; para tal fin se propone la planificación mostrada en la **Figura 1**.

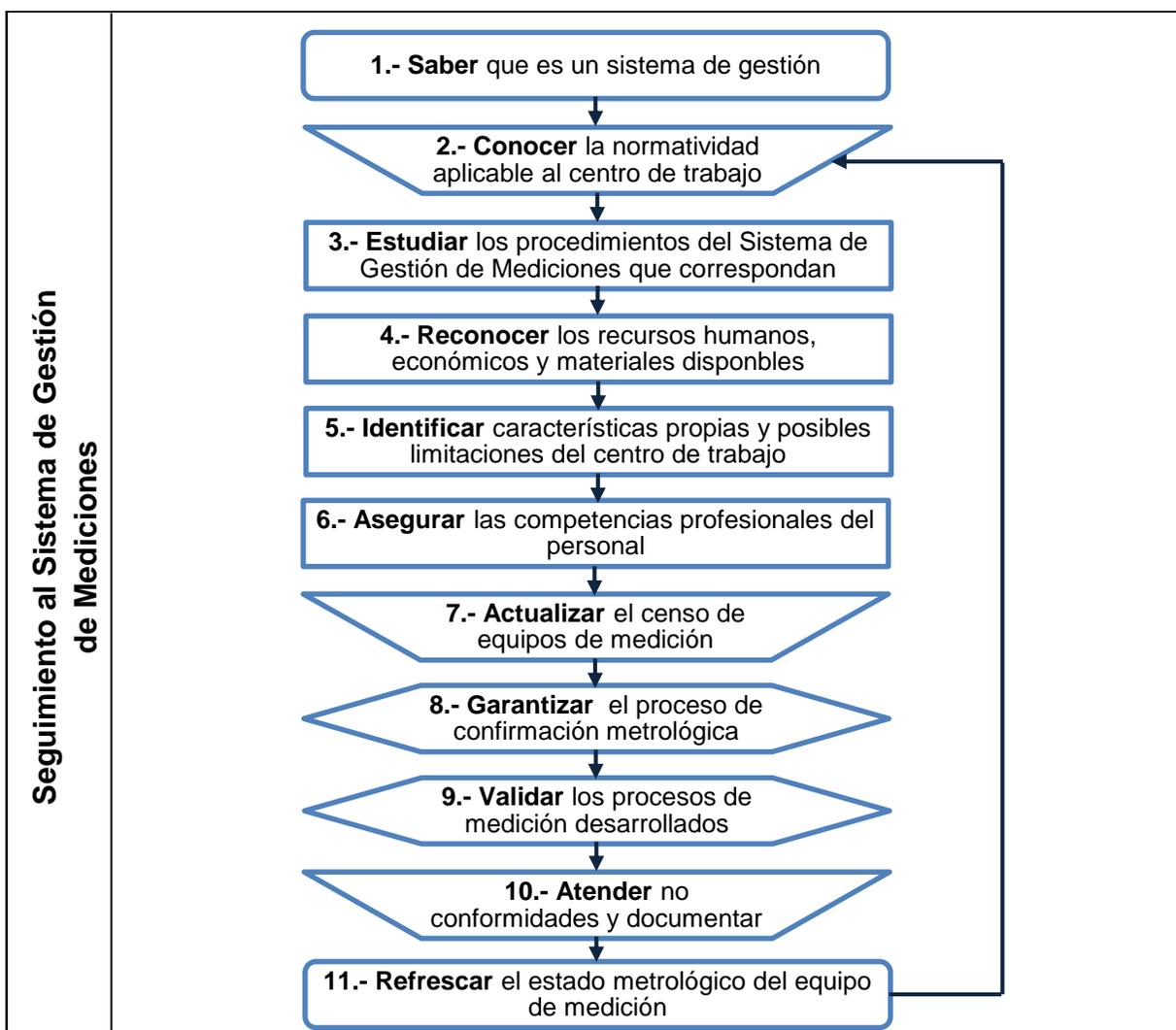


Figura 1: Ejemplo de cómo planificar el seguimiento de un sistema de gestión de mediciones. Elaboración propia.

El proceso de medición empleado para la verificación consiste en la comparación directa de la incertidumbre contra un patrón de medición certificado por el CENAM y los podemos encontrar documentados en normas internacionales, en recomendaciones por asociaciones técnicas y bajo requerimientos emitidos por la CRE.

De igual modo, generé un reporte dónde se comparan las variaciones entre el horario del Centro Nacional de Metrología (CENAM) y el Sistema de Integral de Medición, Control y Operación de Terminales (SIMCOT).

Más adelante, efectué la verificación del termómetro de punta de platino (TP-7) a través de un Estudio R&R; el cual permite determinar un valor para la repetibilidad, reproducibilidad y el error en la medida, para inferir el comportamiento del termómetro y definir si es conforme, requiere de reparación, ajustes, mantenimiento o una calibración.

Simultáneamente, interpreté los resultados de las verificaciones de los medidores de flujo tipo turbina e identificaba el estado metrológico del equipo de medición y más adelante me encargué de la confirmación metrológica del total de medidores turbina en operación, así como la atención a no conformidades derivadas de ésta tarea.

Después, construí cartas control de los medidores de flujo tipo turbina; ya que es una herramienta para detectar inconsistencias durante calibraciones o verificaciones, así mismo, participé en el desarrollo de planes de tratamiento para encontrar posibles fallas en el medidor de flujo tipo turbina.

Continuando, elaboré una minuta que relata modificaciones a la capacidad operativa de la Terminal de Almacenamiento y Despacho, derivado del cálculo del volumen de combustible que guardan los segmentos tubulares, esto es:

- 1.- Punto de recepción del producto (poliducto) hacia el pie de dique de recepción del tanque vertical.
- 2.- Pie de dique de salida del producto del tanque vertical hacia el cabezal en casa de bombas.
- 3.- Cabezal en casa de bombas hacia naves de llenado de producto.

Finalmente, verifiqué que los equipos de medición que deben ser confirmados contaran con los sellos de salvaguardia correspondientes y que factores como exceso de polvo o corrosión en el medidor fuesen valorados.

2. Generalidades de un sistema de gestión de mediciones

En el presente apartado se reconocen cuáles son las bases para la implantación de un sistema de gestión de mediciones, así como la normatividad aplicable para el sector industrial correspondiente.

Cada centro de trabajo administra los riesgos que pudiesen derivar en mediciones incorrectas, afectando el almacenamiento y despacho del producto correspondiente (*PEMEX-SAD, 2016*), por ello, se dispone de una amplia gama de controles para garantizar que un equipo de medición no pierda su función o comience a deteriorarse.

Es responsabilidad de los centros de trabajo el cumplimiento de los requerimientos metrológicos establecidos en las DACG emitidas por la CRE y la norma **NMX-CC-10012-IMNC-2004** (*PEMEX-SAD, 2016*), relacionada a la gestión del proceso de mediciones y la confirmación metrológica de los equipos de medición.

Los requerimientos metrológicos para asegurar que el equipo de medición proporcione mediciones adecuadas son determinados por el cliente, los productos ofertados y requisitos legales (*PEMEX-SAD, 2016*); de acuerdo a las siguientes leyes y normas:

- 1.- Constitución Política Mexicana.
- 2.- Ley de Hidrocarburos.
- 3.- Ley Federal sobre Metrología y Normalización (y su reglamento).
- 4.- Ley Federal del Proceso Administrativo.
- 5.- Disposiciones Administrativas de Carácter General emitidas por la Comisión Reguladora de Energía.
- 6.- Norma **NMX-CC-10012-IMNC-2004**. Norma de Gestión de las Mediciones.
- 7.- Norma **NMX-Z-055**. Vocabulario de Metrología.
- 8.- Norma **ISO-9000-2015**. Vocabulario y Fundamentos.
- 9.- Norma **ISO-9001-2015**. Requisitos de la Gestión de Calidad.
- 10.- VIM. Vocabulario Internacional de Metrología.

Con la finalidad de promover el desarrollo eficiente del sector energético, le compete a la Comisión Reguladora de Energía interpretar y aplicar, para efectos administrativos, la Ley de Hidrocarburos (*DOF, 2015-16*), por ésta razón, se publicaron las siguientes resoluciones en el Diario Oficial de la Federación:

1.- **RES/776/2015**. El 17 de diciembre de 2015 se expiden las Disposiciones Administrativas de Carácter General, DACG, en materia de medición, aplicables a la actividad de **Transporte por ducto de hidrocarburos, petrolíferos y petroquímicos** con las cuales se determinan los niveles de control necesarios y se especifican los requisitos aplicables en el Sistema de Gestión de Mediciones.

2.- **RES/811/2015**. El 11 de enero de 2016 se expiden las DACG en materia de medición aplicables a la actividad de **Almacenamiento de petróleo, petrolíferos y petroquímicos**.

3.- **RES/899/2015**. El 12 de enero de 2016 se expiden las DACG en materia de **Acceso de abierto y prestación de los servicios de transporte por ducto y almacenamiento de petrolíferos y petroquímicos**.

Todo sistema de gestión toma en cuenta aspectos fundamentales para su implantación en cada centro de trabajo, como:

- 1.- Cumplir integralmente con los requisitos establecidos por el cliente, los requerimientos legales y los de cada centro de trabajo.
- 2.- Administrar recursos humanos, materiales y financieros
- 3.- Controlar los procesos conforme a las bases establecidas.
- 4.- Analizar el grado de cumplimiento de los objetivos establecidos.
- 5.- Gestionar la atención de no conformidades.
- 5.- Analizar y mejorar los procesos desarrollados.

Para terminar, es competencia de cada empresa realizar revisiones periódicas a través de visitas de salvaguardia en sus distintos centros de trabajo, con el objetivo de observar el estado en el que se encuentran los equipos de medición y auditar los procesos de medición desarrollados.

3. Antecedentes

En éste capítulo se relata cómo se gestionaban las actividades que comprenden al Sistema de Gestión de Mediciones, así como las no conformidades más comunes en el centro de trabajo.

La confirmación metrológica del equipo de medición se desarrollaba satisfactoriamente y se contaba con la información necesaria para la construcción de gráficos control y el desarrollo de planes de tratamiento.

El Sistema de Gestión de Mediciones proporciona distintas técnicas para determinar la conformidad del equipo y la validación del proceso de medición, sin embargo, debido a condiciones específicas del centro de trabajo, no se pueden aplicar todas.

Los métodos más utilizados son la construcción de cartas control posterior a calibraciones o verificaciones en el equipo de medición y la técnica de los 5 ¿por qué? para encontrar la causa-raíz de situaciones no conformes.

Cuando se realizan mediciones con equipo que ha presentado fallas, es probable que se proporcione una medición incorrecta; que en cada centro de trabajo se deriva como una no conformidad.

Durante las auditorias es probable que la verificación fuera de tiempo o la falta de mantenimiento (correctivo o preventivo) al equipo de medición sean fuentes de no conformidades, ya que se genera incertidumbre acerca del funcionamiento del equipo de medición,

La mayoría de las actividades correspondientes al SGM del centro de trabajo son desempeñadas de manera óptima, sin embargo, la documentación y validación de ciertos formatos, así como la correcta especificación de algunos procesos de medición eran áreas de oportunidad.

Para concluir, las actividades correspondientes al Sistema de Gestión de Mediciones son cíclicas y deben ser examinadas constantemente en busca de mejoras; como la inspección de un patrón de medida o situaciones por las cuales las competencias profesionales del personal se vean comprometidas.

4. Marco Teórico

En éste apartado se describen las consideraciones teóricas para desarrollar las actividades que comprenden a la implantación del Sistema de Gestión de las Mediciones en éste centro de trabajo.

El concepto de medición es tan antiguo como la necesidad del hombre por contabilizar o intercambiar cualquier artículo, sin embargo, desde esa época hasta la actual el principio de una medición no ha cambiado, siempre ha sido comparar (*Ledesma, M, 2022*).

La metrología es la especialidad de la física cuya base de estudio es la medición; medir significa comparar el valor de una magnitud de influencia con una referencia previamente conocida (*VIM, 2012*).

La metrología industrial centra su estudio en garantizar el uso y funcionamiento adecuado de equipos vinculados a la medición, a través de una cadena documentada de condiciones de trazabilidad.

Los programas computacionales empleados, su configuración y algoritmo de cálculo están documentados, identificados y controlados para garantizar su uso constante, adicionalmente, los registros obtenidos de éstos se mantienen conforme a los tiempos establecidos en el marco regulatorio aplicable (*PEMEX-SAD, 2018*).

Los equipos de medición correspondientes al SGM operan en las condiciones ambientales conforme a su diseño y dentro del alcance necesario para asegurar resultados de mediciones válidos, adicionalmente, los procesos de medición son controlados en busca continua de mejorarlos.

Es mediante el uso de etiquetas que la información relevante del estado de confirmación metrológica está disponible al usuario u operador del equipo de medición; incluye limitaciones o requerimientos especiales de uso.

El responsable del SGM se asegura que el personal cumpla con los perfiles del puesto, es decir, cuente con las capacidades necesarias para desarrollar los procesos de medición correspondientes; son evaluados en experiencia laboral, habilidades, formación académica y personal (*ISO-9001-2015*).

4.1 Proceso de Medición

Un proceso de medición es el conjunto de operaciones sucesivas para determinar el valor de una magnitud de influencia a través de la comparación con un instrumento o dispositivo de referencia, y se consideran los siguientes: (*PEMEX-SAD, 2018*)

- 1.- Planificación de procesos.
- 2.- Proceso de confirmación metrológica.
- 3.- Procesos de atención a mediciones no conformes.
- 4.- Procesos de gestión de riesgos de mediciones incorrectas.
- 5.- Proceso de auditoría interna.

La planificación de los procesos, así como la auditoría interna, son propias de cada centro de trabajo; su organización, preparación, ejecución, seguimiento y cierre es responsabilidad de altos mandos directivos y pueden apoyarse de consultores con experiencia en materia de medición.

El proceso de confirmación metrológica es el principal y la base del Sistema de Gestión de Mediciones del centro de trabajo, ya que garantiza que el equipo de medición proporciona mediciones correctas y confiables.

Los procesos de atención y gestión de mediciones incorrectas y no conformes utilizan distintos criterios para definir si un proceso y equipo de medición son satisfactorios, y en caso de no serlo, proporciona distintas formas de atender ésta situación.

Dichos procesos de medición son planeados, implementados, validados, documentados y controlados de acuerdo a las necesidades y requerimientos especificados (*PEMEX-SAD, 2018*), en los cuales se identifican posibles fallas que podría presentar el medidor.

El responsable del SGM determina las acciones que para eliminar, mitigar o gestionar no conformidades identificadas, así mismo, se asegura de contar con los recursos pertinentes en caso de algún ajuste, mantenimiento preventivo o reparación al equipo de medición.

Los elementos y controles de cada proceso de medición incluyen el equipo requerido para ejecutar mediciones, los métodos para medir, los efectos de las habilidades de los operadores y las condiciones ambientales para asegurar la calidad de los productos, por ésta razón utiliza: (PEMEX-SAD, 2018)

- 1.- Estándares y normas nacionales e internacionales (CENAM, API, ASTM).
- 2.- Riesgos identificados que podrían afectar el resultado de una medición (ISO-9001-2015).
- 3.- Especificaciones requeridas por el centro de trabajo.
- 4.- Recomendaciones de los proveedores.

Para garantizar la fiabilidad de una medición no solo se debe llevar a cabo correctamente el proceso de medición, sino que comprende una serie de actividades cíclicas como las mostradas en la **Figura 2**.

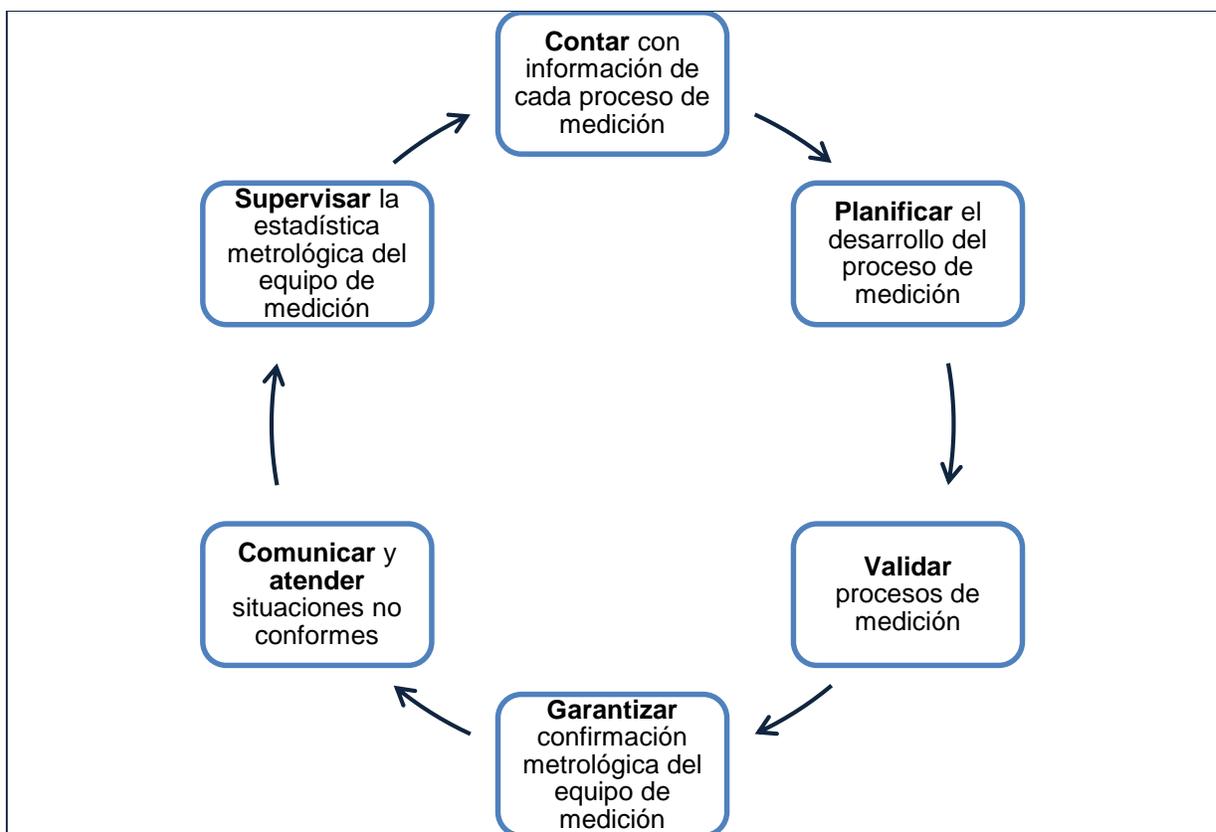


Figura 2: Ejemplo del ciclo de fiabilidad de una medición. Elaboración propia.

4.2 Sistemas y Equipos de Medición

Un sistema de medición es el conjunto de componentes para definir el valor de una magnitud de influencia a través de la comparación con una referencia, mientras que un equipo de medición, es aquel instrumento, dispositivo, software, patrón de medida, materiales de referencia, cualquier aparato auxiliar, o combinación de éstos, para llevar a cabo un proceso de medición (*PEMEX-SAD, 2018*).

La selección de los sistemas y equipos de medición se hace con base en las propiedades físico-químicas de la sustancia de trabajo, los requerimientos de los clientes, la normatividad y las regulaciones aplicables (*PEMEX-SAD, 2018*), por eso, la decisión de elegir un sistema de medición toma en cuenta las siguientes consideraciones:

- 1.- Tipo de operación.
- 2.- Propiedades del fluido.
- 3.- Tipo de flujo.
- 4.- Variables del proceso.
- 5.- Especificaciones del diseñador del equipo de medición.
- 6.- Condiciones del entorno.
- 7.- Requisitos de desempeño.

En procesos de confirmación metrológica previos fueron definidos los siguientes requerimientos que debe cumplir el equipo de medición para su uso previsto:

- 1.- Incertidumbre.
- 2.- Linealidad.
- 3.- Error Máximo Permisible.
- 4.- Repetibilidad.
- 5.- Reproducibilidad.

4.2.1 Medidor de flujo tipo turbina

A pesar de existir una amplia variedad de medidores de flujo en el mercado actual, la elección del equipo de medición se hace, principalmente, con base en las necesidades del cliente y generalmente es proporcionado e instalado por una empresa de servicios.

El principio de funcionamiento del medidor de flujo tipo turbina se basa en contabilizar el *gasto* o *caudal* a partir de la velocidad (lineal o angular) con la que se desplaza el fluido y el área transversal por dónde pasa.

El medidor está compuesto por álabes transversales a la dirección del flujo; cuando el fluido pasa por los espacios vacíos entre los álabes se genera una desviación en el ángulo de flujo y la energía cinética transmite una fuerza que causa que el rotor del medidor gire con una velocidad directamente proporcional al gasto (*Altendorf, M y otros, 2011*).

Cuando un álabe pasa por un sensor del medidor se genera un pulso que corresponde a un volumen constante de fluido, entonces, la cantidad de pulsos es directamente proporcional a la cantidad de fluido transportado por unidad de tiempo (*Altendorf, M y otros, 2011*).

Éste tipo de medidores son de los más exactos, por otro lado, su tipo fabricación hace que su costo sea elevado, además de ser sensible a variaciones en la densidad del fluido o el tratamiento de partículas sólidas.

Los medidores instalados en cada centro de trabajo se encuentran correctamente acondicionados para su uso previsto, son de tipo axial y la información relevante se encuentra visible al operador.

La selección del tipo de medidor para contabilizar los litros de producto en naves de llenado es propia de cada centro de trabajo y se tiene un historial con todas las intervenciones a las que se sometió el equipo, así como limitaciones de uso derivadas.

4.2.2 Medidor de flujo de desplazamiento positivo

Para elegir un patrón de medida se toman en cuenta las certificaciones y las entidades que han avalado al equipo de medición como capaz de funcionar como herramienta para verificaciones de otros medidores de flujo.

Para realizar la medición el medidor cuenta con un transmisor que contabiliza el número de veces que se mueve el desplazador que traslada el fluido de la entrada a la salida de la cámara; como es un volumen constante el que hace mover al desplazador, el número de veces que detecte movimiento el transmisor es directamente proporcional al flujo.

Según el Vocabulario Internacional de Metrología se define como patrón de medida a la realización de la definición de una magnitud dada, con un valor determinado y una incertidumbre de medida asociada, tomada como referencia.

Las referencias nacionales que establece el CENAM permiten lograr la consistencia de las mediciones en cada magnitud de interés, al permitir que cuenten con una trazabilidad metrológica (*Altendorf, M y otros, 2011*).

Éste tipo de medidores son los únicos que indican el flujo volumétrico de manera directa, lo que es una gran ventaja, sin embargo, son grandes y tienen ciertas complicaciones con el manejo de sólidos, otra probable desventaja es que son unidireccionales.

La selección de estos dispositivos como medidores de referencia debe realizarla el personal con experiencia en metrología que pueda concretar cuál es la mejor opción para las necesidades propias de cada centro de trabajo, por eso, toma en cuenta las siguientes consideraciones:

- 1.- Normas y estatutos legales y normativos.
- 2.- Propiedades físico-químicas del fluido.
- 3.- Condiciones de flujo de cada centro de trabajo.
- 4.- Limitaciones de cada centro de trabajo

Los patrones de medida cuentan con un certificado de calibración vigente que avala a ese equipo de medición como instrumento que puede ser utilizado para realizar verificaciones metrológicas a otros medidores de flujo volumétrico.

4.3 Proceso de Confirmación Metrológica

La confirmación metrológica es el conjunto de operaciones encaminadas para asegurar el uso previsto de los equipos de medición; comprende la calibración, verificación, confirmación y posibles ajustes o reparaciones del equipo.

Las características metrológicas del equipo de medición deberán ser las adecuadas para su uso esperado y es a través de una evaluación de consistencia como pueden definirse, además de tomar en cuenta los requerimientos del cliente, el centro de trabajo y requisitos legales.

La historia de procesos de confirmación metrológica a los que ha sido sometido el equipo de medición es una herramienta para determinar intervalos de aplicación, qué es el tiempo pertinente que debe transcurrir entre una confirmación y otra.

Cuando un equipo de medición es intervenido, es decir, que haya sido reparado o ajustado, es recomendable modificar el intervalo de confirmación, debido a la posibilidad de una medición incorrecta.

El acceso a medios y dispositivos de ajuste en equipo de medición confirmado, cuyo ajuste o alteración afecte su desempeño, es sellado o salvaguardado por otros medios para prevenir cambios no autorizados que afectan la confiabilidad de una medición (*PEMEX-SAD, 2018*).

Los registros del proceso de confirmación son aprobados y adaptados para las necesidades de cada centro de trabajo, adicionalmente se encuentran disponibles junto a los requerimientos del regulador, en este caso la Comisión Reguladora de Energía.

Los resultados de las calibraciones se documentan de tal forma, que la rastreabilidad de todas las mediciones es demostrable y todos los resultados de estos trabajos pueden ser reproducidos en condiciones próximas a las originales (*PEMEX-SAD, 2018*).

Los resultados de las verificaciones son incluidos en los certificados o reportes; donde se establece la incertidumbre y el error de medida asociado al equipo de medición, además de las condiciones de trazabilidad (*PEMEX-SAD, 2018*).

El equipo de medición no conforme que es regresado a sus características metrológicas previstas es marcado e identificado nuevamente a través del uso de etiquetas.

4.4 Proceso de atención a no conformidades y mediciones incorrectas

La atención de no conformidades consiste en la planeación, análisis, monitoreo y mejoramiento continuo de los procesos, equipos, sistemas y patrones de medición definidos por el Sistema de Gestión de Mediciones.

Para atender una no conformidad la norma ISO 9001:2015 proporciona la siguiente guía de actuación:

1.- Reaccionar ante la no conformidad:

- Tomar acciones y hacer frente a las consecuencias.

2.- Evaluar condiciones para eliminar causas:

- Revisar la no conformidad.
- Determinar si existen no conformidades similares y cómo fueron atendidas para determinar su causa-raíz.

3.- Implementar acciones.

4.- Revisar la efectividad de cualquier acción encaminada.

Todo proceso de medición que tenga sospecha de producir resultados de mediciones incorrectos es identificado adecuadamente y no es utilizado hasta que las acciones apropiadas se hayan conducido (*PEMEX-SAD, 2018*).

Todos los procesos empleados son validados y documentados de tal forma que se reconoce cuáles han sido los alcances de la nueva revisión del proceso.

Los equipos de medición que no se encuentren debidamente acondicionados son calibrados con base en las características propias de cada centro de trabajo y se mantienen en perfectas condiciones cuando sean requeridos.

Los patrones de medición son normados por entidades nacionales y operan bajo estándares de uso internacional, por lo que no conformidades derivadas del patrón de medida son reportadas al CENAM (*PEMEX-SAD, 2018*).

Los equipos de medición que no cuenten con la confirmación metrológica son distinguidos y estudiados bajo distintos métodos hasta definir el estado de conformidad del equipo.

5. Caso de estudio

En el presente capítulo se define el ejemplo práctico de la confirmación metrológica de un medidor de flujo tipo turbina instalado en una nave de llenado de producto, se incluyen procesos de medición, atención a situaciones no conformes derivadas y el monitoreo de las actividades desarrolladas.

5.1 Metodología implementada

Para efectuar la confirmación metrológica de un medidor de flujo tipo turbina es necesario contar con los recursos necesarios, tener la especificación completa del proceso de medición y garantizar las competencias del personal; por esa razón, la conceptualización del escenario se muestra en la **Figura 3**.

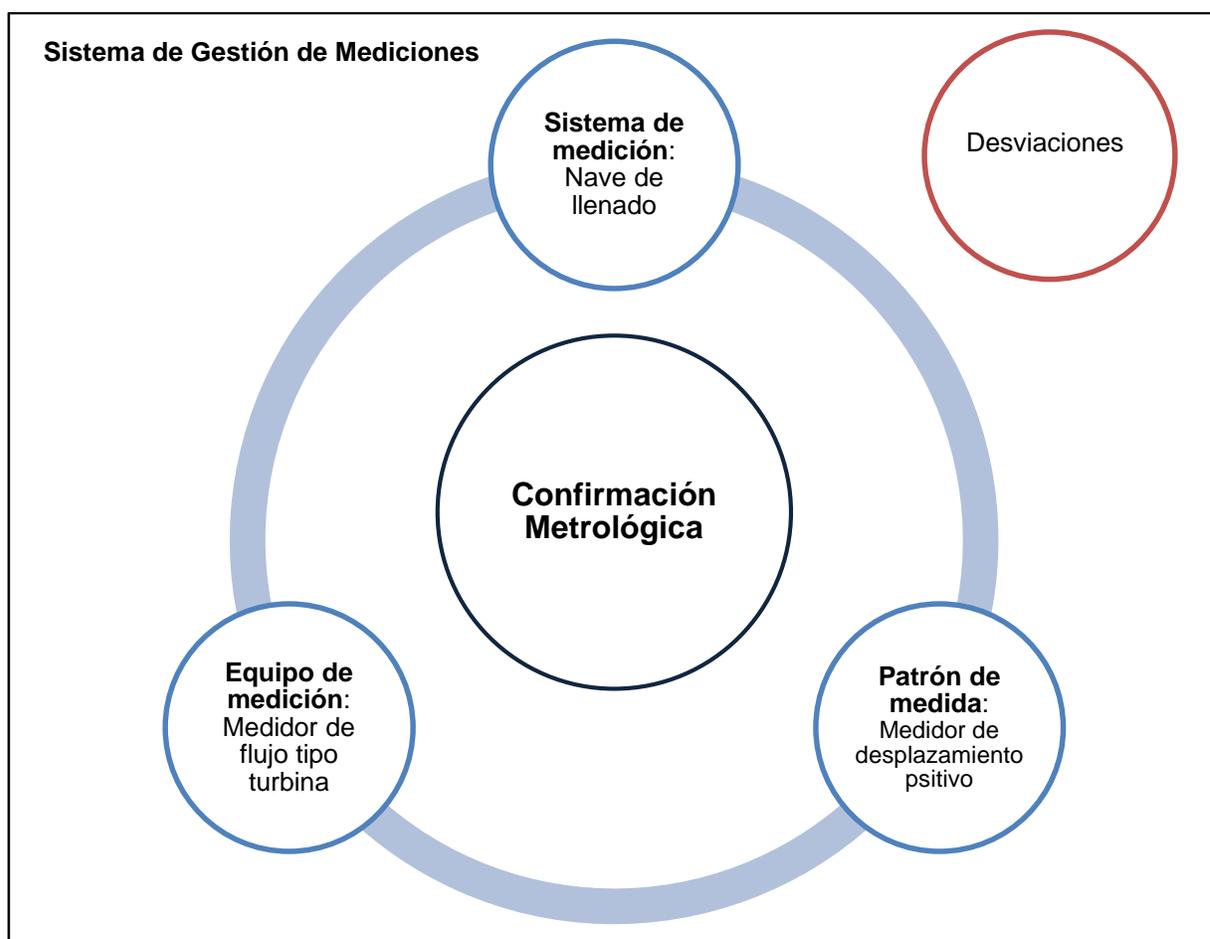


Figura 3: *Conceptualización del escenario abarcado. Elaboración propia.*

5.2 Confirmación metrológica de un medidor de flujo tipo turbina

Una vez identificada la necesidad de contar con una correcta administración de los equipos de medición en funcionamiento, se utilizan herramientas como la confirmación metrológica para garantizar la producción de resultados de medición fiables.

Para lograr la confirmación metrológica de todos los dispositivos correspondientes es necesario contar con una estrategia que permita tener un control de cada dispositivo en particular, valorarlo individualmente y ofrecer un diagnóstico de funcionamiento.

La confirmación metrológica de un medidor de flujo tipo turbina comprende las actividades descritas en el diagrama de flujo de la **Figura 4** y deben ejecutarse dentro de los tiempos planificados.

El proceso de confirmación comienza con la calibración, posteriormente la verificación y finalmente las acciones para determinar la conformidad del equipo de medición.

Los procesos de medición desarrollados tienen alta influencia en el funcionamiento adecuado del equipo de medición, por lo que deben ser ejecutados bajo controles estadísticos y monitoreados con regularidad.

Finalmente, la confirmación metrológica comprende una serie de operaciones desarrolladas a nivel gerencial e implementado operacionalmente para encaminar el correcto comportamiento del equipo de medición y con ello asegurar la fiabilidad de las mediciones.

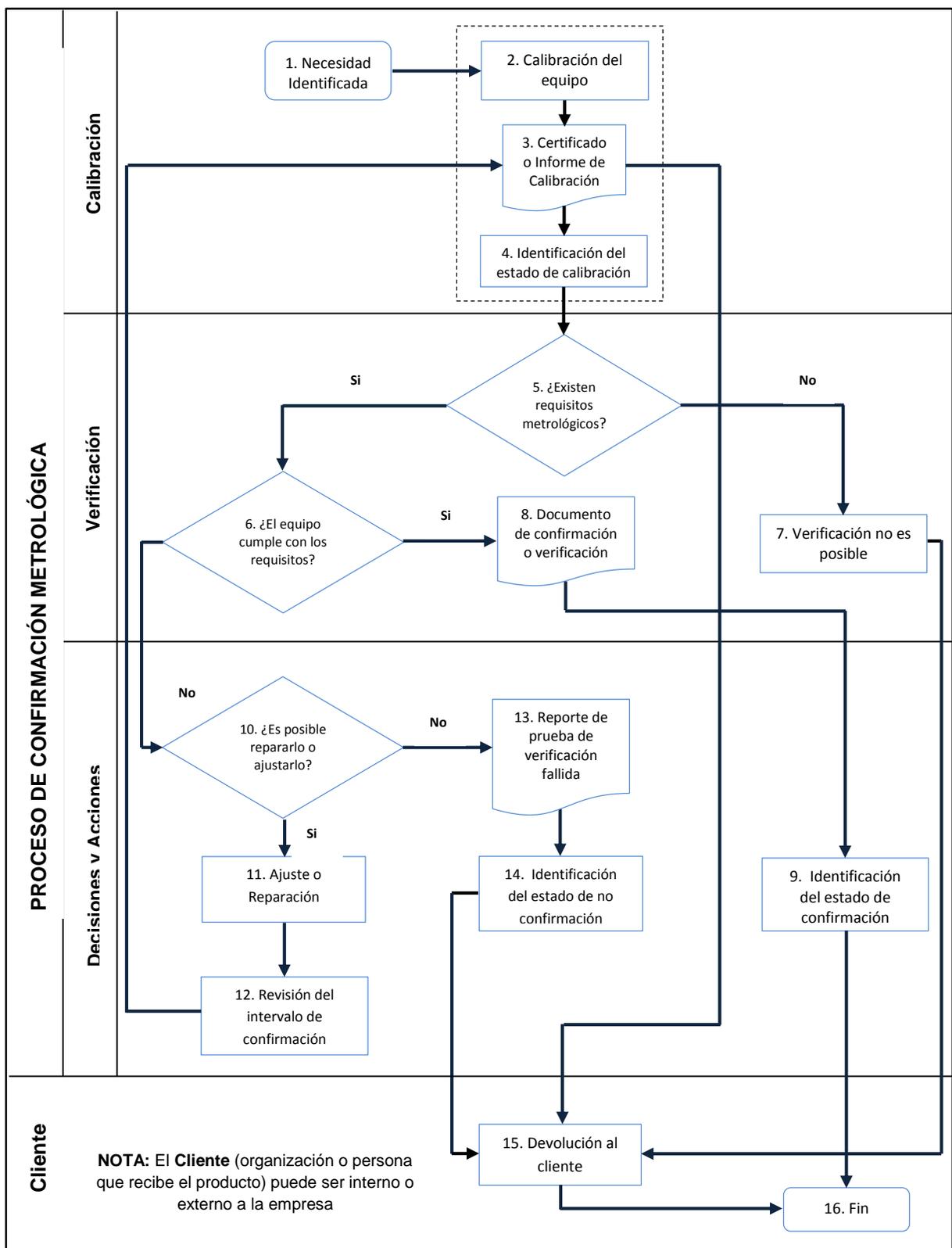


Figura 4: *Proceso de confirmación metrológica de un equipo de medición (PEMEX-SAD, 2018).*

5.2.1 Calibración

La calibración es el primer procedimiento metrológico de la confirmación del equipo que consiste en establecer una relación entre los valores (volumen y temperatura) e incertidumbres obtenidas del equipo de medición y del patrón de medida, bajo condiciones específicas (VIM, 2012).

Se recomienda que a partir de que el resultado de la segunda calibración se encuentre dentro de la incertidumbre extendida de la calibración previa, la siguiente podrá llevarse al cabo de 12 meses (RES/811/2015 Ap. 28.2).

Como lo menciona la RES/811 de la CRE, la frecuencia de la calibración también debe tomar en cuenta el riesgo de una medición errónea, su costo beneficio y adicionalmente se inspeccionan los certificados de calibración previos para detectar posibles desviaciones.

La calibración de uno de éstos equipos consiste en la comparación directa de ciertas magnitudes de interés con un patrón de referencia, determinado con suficiente exactitud por el CENAM, ésta actividad es desarrollada por una empresa de servicios contratada por cada centro de trabajo.

La empresa de servicios reporta los errores y la incertidumbre asociada al medidor de flujo en un certificado de calibración que genera en un tipo de papel especial y membretado que entrega al centro de trabajo en formato físico y digital. En la **Tabla 1** se describe la información mínima que deben contener éste tipo de certificados

Los programas de calibración se basan en la décima ley de la OIML y en la RES/811 de la CRE; cuando un medidor de flujo requiere una modificación en su frecuencia de calibración, ésta debe fundamentarse en alguno de los siguientes métodos (PEMEX-SAD, 2018):

- 1.- Empleo de cartas control.
- 2.-Análisis del tiempo de uso del equipo
- 3.- Volumen y carga de trabajo del centro de trabajo

Los datos obtenidos del historial de calibraciones son utilizados para determinar los intervalos entre confirmaciones metrológicas y empleados para construir cartas control que sirven como herramientas de análisis estadístico.

Tabla 1: Información mínima que debe contener un certificado de calibración

| | | |
|--|--|---|
| Logo de la empresa de servicios | Nombre de la empresa de servicios de calibración "Certificado de Calibración" | |
| Localización de la empresa de servicios | | Datos de contacto con la empresa de servicios |
| Nombre del cliente y localización | | Número de Certificado de Calibración |
| Fecha de recepción del equipo para calibrar | | |
| Características del instrumento bajo calibración | | |
| Tipo de instrumento bajo calibración: Medidor de Flujo tipo Turbina (MFT) | | Unidad de Control Local (UCL) |
| Marca | | |
| Modelo | | |
| Número de Serie | | |
| Intervalo de medición, en L/mín. | Factor del medidor: número de pulsos/L | |
| Lugar donde está instalado el equipo | Sellos | |
| Etiquetas del equipo | | |
| Magnitud: Flujo Volumétrico | | |
| Producto utilizado en la calibración | | |
| Condiciones ambientales: Presión atmosférica Temperatura ambiente Humedad relativa | | |
| Características del Patrón de medida | | |
| Patrón de medida: Medidor de Flujo tipo Desplazamiento Dispositivo | | Registrador del Patrón de medida |
| Marca | | |
| Modelo | | |
| Número de Serie | | |
| Certificado de Calibración del Patrón de medida | | |
| Etiqueta del Patrón de medida | | |
| Método de Medida: Comparación Directa | | |
| Descripción del procedimiento de medición utilizado | | |
| Normatividad Aplicable: NMX-EC-17025-IMNC-2006 y NMX-C4-140-IMNC-2002, MPMS API Cap. 4, 5 y 12 | | |
| Notas aclaratorias | | |
| Firma del Responsable de la calibración | Firma de Autorización de la calibración | |

Una forma recomendable de presentar un calendario de calibraciones o verificaciones de un medidor de flujo puede observarse en la **Tabla 2**, dónde se visualiza rápidamente las fechas de actuación y posibles modificaciones del proceso de confirmación metrológica.

Tabla 2: Propuesta para calendarizar tareas de calibración y verificación de medidores de flujo tipo turbina

| Logo del centro de trabajo | | Subdirección Gerencia Centro de trabajo “Programa de Calibraciones/Verificaciones de Medidores de Flujo tipo Turbina” Periodo de aplicación Codificación | | | | | | | | | | Logo del SGM | | | | | | | | |
|----------------------------|----------------------|---|---------------------|---------------------------|--------------------|------------------------------|---|---|---|---|---|--------------|---|---|----|----|----|--|--|--|
| Zona | Instalación | No. De Serie | Etiqueta del MFT | Rango de medición, L /mín | Última calibración | Periodo de aplicación, meses | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | | | |
| Norte, Sur o Centro | Nave de llenado no 1 | PMX - XX | MFT - XX | XX - XX | XX/XX/X XXX | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Nave de llenado no 2 | PMX - XX | MFT - XX | XX - XX | XX/XX/X XXX | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Nave de llenado no 3 | PMX - XX | MFT - XX | XX - XX | XX/XX/X XXX | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Nave de llenado no 4 | PMX - XX | MFT - XX | XX - XX | XX/XX/X XXX | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Nave de llenado no 5 | PMX - XX | MFT - XX | XX - XX | XX/XX/X XXX | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Nave de llenado “n” | PMX - XX | MFT - XX | XX - XX | XX/XX/X XXX | | | | | | | | | | | | | | | |
| Firma del Autor | | | Firma de Aprobación | | | Firma de Autorización | | | | | | | | | | | | | | |

5.2.2 Verificación

La verificación es el siguiente procedimiento para la confirmación metrológica del equipo de medición; que consiste en interpretar los resultados para determinar si el equipo de medición cumple con los requerimientos metrológicos establecidos para su uso previsto (VIM, 2012).

De acuerdo al Vocabulario Internacional de Metrología, la verificación consiste en una aportación de evidencia objetiva de que un elemento en específico de un sistema cumple con requerimientos mínimos de funcionamiento; con ello se garantiza que los parámetros de desempeño definidos desde la calibración se encuentren dentro de la incertidumbre correspondiente.

En primera instancia se corrobora que el programa de verificaciones, **Tabla 2**, de los medidores de flujo correspondientes se encuentre vigente.

Posteriormente, el personal de cada centro de trabajo realiza la verificación de los medidores de flujo tipo turbina a partir de un patrón de medida de desplazamiento positivo avalado por el CENAM.

El proceso de medición para la verificación consiste en la comparación directa de valores de flujo, volumen y temperatura indicados en la pantalla de la unidad control local correspondiente al medidor de flujo tipo turbina y del panel de conteo del patrón de medida.

Los datos correspondientes son registrados en el formato propuesto por la **Tabla 3**, que también es la primera evidencia de trabajos de verificación en el centro de trabajo y por ello necesitará de una validación.

Lo siguiente es trasladar los datos a la hoja de cálculo que obtiene valores para los requerimientos metrológicos para interpretar el comportamiento del medidor de flujo.

La hoja de cálculo emite automáticamente el resultado de la verificación en un informe en el cual se define al equipo como conforme o no conforme, dependiendo del valor de los requerimientos metrológicos.

Si el factor del medidor presenta desviaciones respecto a los límites establecidos en calibraciones y verificaciones previas, la hoja de cálculo muestra una opción de desarrollo de verificación a flujo máximo, medio y mínimo, por lo que deben ejecutarse nuevamente los trabajos con condiciones de flujo controlado.

Si aún se presentan desviaciones en las nuevas verificaciones se imprimirá un informe de no verificación; en éstos informes se establecen los procedimientos abarcados, así como las condiciones bajo las cuales fueron desarrolladas las verificaciones

Un informe de verificación debe cubrir partes fundamentales sobre la identificación, comportamiento, control y monitoreo del MFT, comparte características con el certificado de calibración, sin embargo, presenta ciertas diferencias mostradas en la **Tabla 4**.

Se ha establecido la clase de exactitud como aquellos instrumentos o sistemas de medición que satisfacen los requerimientos metrológicos, encaminados a mantener bajo control los

errores de medida o las incertidumbres asociadas de acuerdo a los límites determinados, bajo condiciones de funcionamiento especificadas (VIM, 2012).

A partir de la clase de exactitud que presente el equipo de medición y con los parámetros que determine el proceso de medición implementado, es como se evalúa la conformidad del equipo, es decir, si cumple con los requerimientos de desempeño esperados para su uso provisto o no.

Tabla 3: Formato de campo propuesto para la verificación

| Logo del centro de trabajo | Subdirección Gerencia Centro de trabajo “Formato de Campo para la Verificación de Medidores de Flujo tipo Turbina” Periodo de aplicación Codificación | | | | | | | Logo del SGM |
|-----------------------------------|---|--------------------------------|------------------|-----------------|----------------------------|------------|--------------------|--------------|
| | Fecha de verificación | | | | | | | |
| Instalación (Nave de Llenado No.) | | | | | | | | |
| Domicilio | | | | | | | | |
| Nomenclatura de la UCL | | | | | | | | |
| Marca de la UCL | | | | | | | | |
| Modelo de la UCL | | | | | | | | |
| Número de Serie de la UCL | | | | | | | | |
| Nomenclatura del MFT | | | | | | | | |
| Marca del MFT | | | | | | | | |
| Modelo del MFT | | | | | | | | |
| Número de Serie del MFT | | | | | | | | |
| Autotank No. | | | | | | | | |
| Datos de la Verificación | | | | | | | | |
| No. | Flujo, L/mín | Patrón de medida (totalizador) | | | Medidor por Calibrar (MFT) | | | Notas |
| | | Lectura inicial, L | Lectura final, L | Temperatura, °C | Temperatura, °C | Lectura, L | Factor del Medidor | |
| 1 | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | | |
| 5 | | | | | | | | |

Tabla 4: Información mínima que debe contener un informe de verificación de un medidor de flujo tipo turbina

| | | | | | |
|--|--|---------------------------|--|----------------------|--------------------------|
| Logo del centro de trabajo | Subdirección Gerencia Centro de trabajo "Informe de Verificación de Medidores de Flujo tipo Turbina" Periodo de aplicación Codificación | | | | Logo del SGM |
| Número de Informe | | | | | |
| Nombre del cliente y localización | | | | | |
| Instrumento verificado | | | | | |
| Descripción del instrumento verificado | | | | | |
| Instalación | | | | | |
| Etiquetas del instrumento | | | | | |
| Marca | | | | | |
| Modelo | | | | | |
| Número de Serie | | | | | |
| Magnitud: Flujo Volumétrico | | | | | |
| Producto utilizado en la verificación | | | | | |
| Incertidumbre | | | | | |
| Trazabilidad | | | | | |
| Fecha de verificación | | | | | |
| Fecha de emisión del informe | | | | | |
| Procedimiento utilizado | | | | | |
| En ésta sección se presentan los resultados de la verificación obtenidos a través de la comparación directa con el medidor de referencia indicado en el apartado de trazabilidad, totalizando unidades de volumen al flujo más alto de operación, para el fluido de trabajo. | | | | | |
| Flujo, L/mín | Temperatura | Factor del medidor | Incertidumbre | Repetibilidad | Error Normalizado |
| | | | | | |
| Firma del responsable de la verificación | | | Firma de autorización de la verificación | | |

En la **Tabla 5** se distinguen los posibles resultados de una verificación de un medidor de flujo tipo turbina; es una tabla basada en el intervalo de los requerimientos metrológicos de linealidad, repetibilidad y error normalizado.

Tabla 5: Matriz de resultados de verificaciones de medidores de flujo tipo turbina. Ver **Anexo A: Nomenclatura y Definiciones**

| Caso | Intervalo del Requerimiento Metroológico | Resultado |
|------|---|---|
| 1 | $EN_{q_{m\acute{a}x}} < 1.0$ $R_{q_{m\acute{a}x}} < 0.05$ | Cumplimiento a los criterios de aceptación establecidos del procedimiento de verificación correspondiente. |
| | $EN_{q_{m\acute{a}x}} < 1.0$ $R_{q_{m\acute{a}x}} \geq 0.05$ | La repetibilidad a flujo máximo es mayor a la establecida; proporcionar revisión y mantenimiento al rotor o sustitución de la turbina. |
| 2 | $EN_{q_{m\acute{a}x}} \geq 1.0$ $R_{q_{m\acute{a}x}} \in \mathbb{N}$ | La desviación a flujo máximo es mayor a la establecida; proporcionar verificación a los tres flujos de operación; posterior al mantenimiento, reparación o sustitución de la turbina. |
| 3 | Con $L < 0.5$ $EN_{q_{med}} < 1.0$ y $R_{q_{med}} < 0.05$ ó $EN_{q_{m\acute{i}n}} < 1.0$ y $R_{q_{m\acute{i}n}} < 0.05$ | Cumplimiento a los criterios de aceptación establecidos en procedimiento de verificación correspondiente. |
| | Con $L < 0.5$ $EN_{q_{med}} < 1.0$ y $R_{q_{med}} \geq 0.05$ y $EN_{q_{m\acute{i}n}} < 1.0$ y $R_{q_{m\acute{i}n}} \geq 0.05$ | La repetibilidad a flujo medio y mínimo es mayor a la establecida; proporcionar sustitución de la turbina. |
| 4 | Con $L < 0.5$ $EN_{q_{med}} \geq 1.0$ y $R_{q_{med}} \in \mathbb{N}$ ó $EN_{q_{m\acute{i}n}} \geq 1.0$ y $R_{q_{m\acute{i}n}} \in \mathbb{N}$ | El equipo de medición no cumple con todos los criterios de aceptación; se requiere de una reparación o calibración. |
| 5 | Con $L \geq 0.5$ $EN_{q_{med}} < 1.0$ y $R_{q_{med}} < 0.05$ ó $EN_{q_{m\acute{i}n}} < 1.0$ y $R_{q_{m\acute{i}n}} < 0.05$ | La linealidad es mayor a la establecida; proporcionar reparación o sustitución de la turbina. |
| | Con $L \geq 0.5$ $EN_{q_{med}} \geq 1.0$ y $R_{q_{med}} \in \mathbb{N}$ ó $EN_{q_{m\acute{i}n}} \geq 1.0$ y $R_{q_{m\acute{i}n}} \in \mathbb{N}$ | El equipo de medición no cumple con los criterios de aceptación establecidos en el procedimiento de verificación correspondiente: este no deberá operar hasta su calibración. |

5.2.3 Decisiones y Acciones

Es la última parte del proceso de confirmación metrológica; en ésta sección se valora el grado de satisfacción en la calibración y verificación, por lo que han sido desarrollados diversos métodos para determinar el estado de conformidad del equipo de medición.

Las decisiones y acciones son el conjunto de operaciones conducidas para asegurar el estado de confirmación metrológica del equipo de medición; abarca tareas como ajustes, reparaciones y mantenimiento; se utilizan etiquetas de identificación del estado de confirmación metrológica que guarda el MFT, limitaciones de uso o condiciones especiales.

Los criterios para precisar la conformidad de los resultados de un equipo de medición son establecidos en la norma ISO 14253-1:1998 que dispone las reglas para determinar cuándo las características del dispositivo de medición son consideradas conformes o no conformes con base en los límites de error máximo permitido establecidos, tomando en cuenta la incertidumbre asociada al medidor de flujo tipo turbina (*Ortiz, M, 2016*).

Los ajustes son todas las operaciones cuyo objetivo es situar el comportamiento del medidor de flujo tipo turbina dentro de los intervalos de operación confiables, la reparación son acciones desarrolladas sobre el MFT para el uso previsto mismo y el mantenimiento consiste en actividades implementadas para disponer en perfectas condiciones del equipo de medición (*VIM, 2012*).

El responsable del SGM gestiona el uso de los medidores cuya confirmación metrológica haya presentado alguna inconsistencia, adicionalmente se asegura de contar con todos los recursos necesarios cuando un equipo tenga que ser intervenido.

Una forma de presentar una etiqueta que ampara el estado de confirmación metrológica de un equipo de medición se observa en la **Tabla 6**, dónde se resalta el estado metrológico del equipo.

Para los equipos que no hayan cumplido satisfactoriamente los requerimientos metrológicos establecidos, se buscan razones por las cuales el dispositivo de medición no trabaja dentro de su ventana operativa, para ello se cuenta con formatos, procedimientos y metodologías internas, así como la descripción detallada de las acciones correctivas y para mitigar los impactos causados (*PEMEX-SAD, 2018*).

Tabla 6: Información mínima que debe contener una etiqueta de verificación de un medidor de flujo tipo turbina

| | | |
|--------------------------|--|-----------------------------------|
| Equipo Confirmado | Logo de la empresa o centro de trabajo | Número de Folio |
| | | Fecha de Calibración |
| | | No. De Certificado de Calibración |
| | | Fecha de Verificación |
| | | No. De Informe de Verificación |
| | | Etiqueta del equipo |
| | | No. De Serie del equipo |
| | Teléfonos del centro de trabajo | Personal que hace la Verificación |
| | Dirección electrónica del SGM | Nombre del Formato |

5.3 Atención de no conformidades y mediciones incorrectas de un medidor de flujo tipo turbina

En el presente apartado se abarcan aspectos relacionados a la administración de los equipos una vez realizada la confirmación metrológica, así como la atención en tiempo y forma de no conformidades derivadas.

El caso ideal sería que los medidores trabajen cerca de su comportamiento ideal por un largo periodo de tiempo, sin embargo en la realidad esto no sucede.

Si se cuenta con un control estadístico de las causas que han provocado un fallo en un MFT, además se le da un uso y mantenimiento adecuado, probablemente sea ajustado su intervalo de calibración o verificación, respecto a lo programado.

Entre mayor sea la información, validada, que describa el comportamiento del dispositivo de medición, su diagnóstico tendrá mayor exactitud que uno que se haga menor número de datos.

Si la mayor parte del Sistema de Gestión de las Mediciones es comprendido en la confirmación metrológica, el resto de procedimientos consiste en controlar totalmente todos los equipos de medición en funcionamiento con los registros correspondientes.

Las actividades presentadas a continuación tienen como fin atender la situación no conforme en la cual se presentan desviaciones mayores a las permisibles en un requerimiento metrológico durante la verificación del medidor a flujo máximo operativo.

5.3.1 Registro de no conformidades

Una no conformidad es la falta de un requisito preestablecido definido por la alta gerencia de la empresa para sus distintos centros de trabajo, entre los cuales destacan:

- 1.- Desviaciones mayores a las permisibles en algún requerimiento metrológico durante la verificación a flujo máximo de operación.
- 2.- Censo de equipos de medición desactualizado.
- 3.- Equipo de medición con sellos de salvaguardia roto o dañado.

Un sistema de gestión efectivo asegura la detección oportuna de no conformidades, así como la realización de acciones para administrar los riesgos hasta que la situación sea solventada por completo.

Cuando existe algún fallo durante algún proceso de medición, debido al deterioro de algún estándar, patrón de medida o a cambios en las competencias del operador o usuario, se da un seguimiento oportuno y se busca la causa-raíz que ha provocado aquella situación (*PEMEX-SAD, 2018*).

Las principales razones por las cuales un medidor de flujo tipo turbina puede presentar una situación no conforme es que el equipo, individualmente:

- 1.- Ha sido dañado.
- 2.- Ha sido sobrecargado.
- 3.- Ha producido resultados de medición incorrectos durante un largo tiempo.
- 4.- Ha sido manejado inadecuadamente.
- 5.- Ha sido dañado o roto su sello de salvaguardia.

Los equipos no conformes que no puedan recuperar sus características metrológicas previstas son identificados con un estado de limitación, condiciones especiales de uso o equipo fuera de servicio.

Si el resultado de la verificación anterior a una reparación o ajuste indica que el equipo de medición no cumple con algún requisito metrológico, de modo que se pueda ver comprometida la fiabilidad de sus resultados de medición, el usuario del equipo determinará el riesgo, consecuencias potenciales y toma las acciones necesarias.

En la **Tabla 7** se puede distinguir como se comienza a atender la situación no conforme derivada de trabajos de verificación a flujo máximo operativo donde algún requerimiento metrológico no es satisfactorio.

Tabla 7: Ejemplo de atención de una situación no conforme

| Logo del centro de trabajo | Subdirección Gerencia Centro de trabajo "Atención de No Conformidades" Periodo de aplicación Codificación | Logo del SGM |
|--|--|---|
| Requerimiento o Normatividad afectada: | | |
| <p style="text-align: center;">Descripción de la No Conformidad: Las desviaciones permisibles de los parámetros metrológicos obtenidos a flujo máximo de operación son mayores a las establecidas por el procedimiento correspondiente.</p> | | |
| Posibles causas | | Consecuencias |
| Falta de configuración del factor del medidor que registra la UCL. Falta de limpieza del filtro de naves de llenado. Falta de mantenimiento en el medidor de flujo. Condiciones ambientales desfavorables. Procedimiento de verificación obsoleto. Manipulación incorrecta del equipo. | | Baja (I) Media (II) Alta (III) Muy Alta (IV) |
| Acciones de corrección (para corregir la deficiencia) | | Fecha Compromiso |
| Realizar corridas de verificación a los tres flujos de operación bajo condiciones constantes. | | XX/XX/XXXX |
| Acciones correctivas (para prevenir su recurrencia) | | Fecha Compromiso |
| Realizar verificaciones mensuales, seguimiento a las cartas de control del equipo de medición, ajustar frecuencias de verificación/calibración. | | XX/XX/XXXX |
| Acciones para mitigar los impactos causados | | Fecha Compromiso |
| Administrar el uso de los medidores de flujo tipo turbina que cumplen con la confirmación metrológica. | | XX/XX/XXXX |
| Evaluación de la efectividad y seguimiento de la implementación de las acciones | | |
| <p>Observaciones: Se debe adjuntar al presente formato la evidencia documental del seguimiento y cierre de las acciones de corrección, correctivas y/o preventivas. En función de la magnitud de los riesgos e impactos, el responsable del área debe implementar las acciones correspondientes de manera inmediata.</p> | | |

Para finalizar, una vez identificada la no conformidad se disponen los recursos necesarios para atenderla; las herramientas, técnicas y métodos empleados son registrados y guardados como evidencia de cumplimiento.

5.3.2 Identificación del estado metrológico del equipo de medición

El estado metrológico del medidor de flujo tipo turbina es el valor que toman los requerimientos metrológicos en un momento específico en el tiempo y con lo cual se puede interpretar su comportamiento.

Existen los dos siguientes casos en los cuáles puede situarse el desempeño del medidor de flujo tipo turbina:

1.- Equipo de medición conforme: Indica que el medidor se encuentra alineado a los requerimientos metrológicos definidos por el cliente, del centro de trabajo y requisitos legales.

2.- Equipo de medición no conforme: Es el caso contrario al anterior y debe estudiarse para establecer la conformidad del equipo.

La guía para determinar la conformidad del equipo es la norma ISO 14253-1:1998, dentro de lo cual destaca:

1.- Define el estado de conformidad del equipo de medición con base en los límites del error máximo permisible tomando en cuenta la incertidumbre de medición.

2.- Proporciona una propuesta de solución ante equipos determinados de manera no conforme.

3.- Presenta información completa sobre la forma de obtener los balances de la incertidumbre y sentar las bases para poder comparar resultados de medición, y sus incertidumbres asociadas, ante patrones internacionales.

4.- Introduce el procedimiento para la estimación de la incertidumbre, basada en una guía de determinación de la incertidumbre de forma iterativa.

Una vez finalizada la verificación de los medidores de flujo, la hoja de cálculo empleada emite un informe de verificación, dónde se define la conformidad del equipo con base en los puntos anteriores. En la **Tabla 8** se reconoce la información mínima que contiene éste tipo de informes.

Para aquellos medidores que hayan presentado desviaciones mayores a las permisibles en algún requerimiento metrológico se desarrollan verificaciones a los tres flujos de operación y bajo condiciones controladas (*PEMEX-SAD, 2018*).

Cuando los requerimientos metrológicos son logrados con tres verificaciones al medidor se determina la conformidad del equipo, si continúan las desviaciones mayores a las permisibles el equipo de medición es inspeccionado individualmente.

El estado que guarda el equipo de medición es monitoreado constantemente y en el momento en el que dispositivo comience a perder su función es identificado rápidamente y las acciones correspondientes son puestas en marcha,

Tabla 8: Información mínima que debe contener un acta de entrega de equipo de medición verificado o no verificado

| | | | | | |
|--|--|------------------------------|------------------------------------|----------|---------------------|
| Logo del centro de trabajo | Subdirección Gerencia Centro de trabajo “Acta de entrega de equipo verificado/No verificado” Periodo de aplicación Codificación | | | | Logo del SGM |
| | | | | | Número de Informe |
| Nombre del cliente y localización | | | | | |
| Dirigido a: Máxima autoridad del centro de trabajo | | | | | |
| Fecha de emisión del Acta | | | | | |
| Se finalizan los trabajos de verificación realizados por: | | | | | |
| En caso de Verificación: Mediante el presente se hace constar que los equipos XXXX fueron verificados y comprobados conforme al procedimiento XXXXXXXXXXXX. Cumplen y son conformes a los parámetros y requisitos metrológicos especificados para su uso previsto, así como la normatividad regulatoria y aplicable. | | | | | |
| En caso de No Verificación: Una vez realizado los trabajos de verificación al flujo máximo de operación se observó que el comportamiento de los medidores de flujo no fue el adecuado por lo que ciertos requerimientos metrológicos no fueron satisfechos. | | | | | |
| Etiqueta del equipo | Producto | Intervalo de medición, L/mín | Marca | Modelo | Número de Serie |
| MFT - XX | Gasolinas o Diésel | XXX - XXXX | P&X | MDL - XX | PMX - XX |
| MFT - XX | | XXX - XXXX | P&X | MDL - XX | PMX - XX |
| MFT - XX | | XXX - XXXX | P&X | MDL - XX | PMX - XX |
| Firma del responsable de la verificación | | | Firma de Aprobación y Autorización | | |

5.3.3 Registro periódico de condiciones ambientales

Se trata de un registro comparativo de la temperatura de flujo del producto y la temperatura registrada por CONAGUA en la Ciudad de México; toma en cuenta las siguientes consideraciones:

- 1.- La empresa encargada del diseño del medidor de flujo tipo turbina emite los datos técnicos, en los cuales destaca el rango de temperatura en el cual puede operar el dispositivo de medición sin presentar anomalías.
- 2.- Posteriormente se busca en SIMCOT la temperatura máxima y mínima que haya registrado cada producto durante cada mes del año correspondiente.
- 3.- Finalmente se consulta la página electrónica de CONAGUA para saber las temperaturas que se han registrado en la Ciudad de México.

En la **Tabla 9** se pueden apreciar los datos técnicos de una nave de llenado de producto, la información de interés es el rango de temperatura de operación del medidor de flujo tipo turbina.

Tabla 9: Ejemplo de ficha técnica de operación de un medidor de flujo tipo turbina.

| Logo de empresa | Subdirección Gerencia Centro de trabajo "Ficha técnica de una nave de llenado de producto" Periodo de aplicación Codificación | | | Logo del SGM | |
|---|--|--------------|-----------|-----------------|-----|
| Nombre del cliente y localización | | | | | |
| Fecha de emisión de la ficha | | | | | |
| Datos Técnicos de los equipos de medición: Flujo máximo Volumen líquido máximo Volumen en gas máximo Volumen solidos máximo | | | | | |
| Nave de llenado de producto No. | | | | | |
| Tipo de medidor | Etiqueta del equipo | No. De Serie | Modelo | Temperatura, °C | |
| Medidor de Flujo tipo Turbina | MFT - XX | PMX - XX | MDL - XXX | -100 | 165 |
| Detector de Temperatura | RTD - XX | PMX - XX | MDL - XXX | -100 | 400 |

Es conveniente utilizar una tabla que muestre los datos de los puntos anteriores; para el caso del año 2019 se presenta el registro comparativo de la **Tabla 10** para las gasolinas y la **Tabla 11** para el diésel automotriz.

De una inspección visual se reconoce que los datos de temperatura reportados por SIMCOT y los encontrados en CONAGUA se encuentran dentro del amplio rango de operación de los medidores de flujo tipo turbina y de los detectores de temperatura.

Al desarrollar la labor de tener los registros y hacer las comparaciones de temperatura se descubrirá si SIMCOT reporta datos atípicos, por lo que otra posible razón de una situación no conforme haya sido detectada.

Es probable que la conformidad del equipo sea determinada por el registro una temperatura atípica, lo cual aumenta la incertidumbre de un resultado proporcionado por el medidor.

Finalmente, datos como el rango de temperatura, flujo, volumen máximo y manejo de vapores se encuentran disponibles al operador para distinguir los intervalos de operación del medidor.

Tabla 10: *Ejemplo de comparación de temperaturas de gasolinas.*

| Año 2019 | Gasolina | | Ciudad de México | | Medidores | | | |
|--------------------|----------|--------|------------------|--------|-------------------------|--------|------------------|--------|
| | | | | | Detector de Temperatura | | Medidor de Flujo | |
| Temperatura, en °C | | | | | | | | |
| Mes | Mínima | Máxima | Mínima | Máxima | Mínima | Máxima | Mínima | Máxima |
| Enero | 6.94 | 28.11 | 8.1 | 22.7 | -100 | 400 | -100 | 165 |
| Febrero | 11.53 | 29.9 | 10.6 | 25.6 | -100 | 400 | -100 | 165 |
| Marzo | 14.46 | 32.00 | 11.4 | 27 | -100 | 400 | -100 | 165 |
| Abril | 13.60 | 30.88 | 12.9 | 27.4 | -100 | 400 | -100 | 165 |
| Mayo | 16.42 | 32.02 | 14 | 28.7 | -100 | 400 | -100 | 165 |
| Junio | 15.82 | 29.37 | 14.2 | 25.9 | -100 | 400 | -100 | 165 |
| Julio | 14.13 | 28.07 | 13 | 24.7 | -100 | 400 | -100 | 165 |
| Agosto | 8.32 | 28.91 | 13.6 | 26 | -100 | 400 | -100 | 165 |
| Septiembre | 15.66 | 28.56 | 13.8 | 25 | -100 | 400 | -100 | 165 |
| Octubre | 14.15 | 28.72 | 13.6 | 24.6 | -100 | 400 | -100 | 165 |
| Noviembre | 14.44 | 28.66 | 11.5 | 24.3 | -100 | 400 | -100 | 165 |
| Diciembre | 13.94 | 28.76 | 8.3 | 23.1 | -100 | 400 | -100 | 165 |

Tabla 11: Ejemplo de comparación de temperaturas de diésel automotriz

| Año 2019 | Diésel Automotriz | | Ciudad de México | | Medidores | | | |
|------------|--------------------|--------|------------------|--------|-------------------------|--------|------------------|--------|
| | | | | | Detector de Temperatura | | Medidor de Flujo | |
| | Temperatura, en °C | | | | | | | |
| Mes | Mínima | Máxima | Mínima | Máxima | Mínima | Máxima | Mínima | Máxima |
| Enero | 7.71 | 25.93 | 8.1 | 22.7 | -100 | 400 | -100 | 165 |
| Febrero | 10.13 | 29.08 | 10.6 | 25.6 | -100 | 400 | -100 | 165 |
| Marzo | 12.27 | 29.70 | 11.4 | 27 | -100 | 400 | -100 | 165 |
| Abril | 13.25 | 30.93 | 12.9 | 27.4 | -100 | 400 | -100 | 165 |
| Mayo | 15.14 | 30.92 | 14 | 28.7 | -100 | 400 | -100 | 165 |
| Junio | 13.76 | 29.19 | 14.2 | 25.9 | -100 | 400 | -100 | 165 |
| Julio | 13.46 | 28.07 | 13 | 24.7 | -100 | 400 | -100 | 165 |
| Agosto | 13.44 | 28.55 | 13.6 | 26 | -100 | 400 | -100 | 165 |
| Septiembre | 14.28 | 27.66 | 13.8 | 25 | -100 | 400 | -100 | 165 |
| Octubre | 13.87 | 26.75 | 13.6 | 24.6 | -100 | 400 | -100 | 165 |
| Noviembre | 11.85 | 26.60 | 11.5 | 24.3 | -100 | 400 | -100 | 165 |
| Diciembre | 9.23 | 25.32 | 8.3 | 23.1 | -100 | 400 | -100 | 165 |

5.3.4 Evaluación del desempeño de proveedores externos de servicios

Se trata de una actividad que califica la eficiencia del servicio de calibración de medidores de flujo tipo turbina por parte de la empresa de servicios contratada, donde utilizan su propio patrón de medida

El responsable de calificar la calibración es el encargado del Sistema de Gestión de Mediciones y toma en cuenta cuatro aspectos básicos que pueden apreciarse en la **Tabla 11**, además de verificar previamente los siguientes puntos:

- 1.- Contar con un calendario de calibraciones vigente.
- 2.- Repasar el historial de calibraciones del medidor.
- 3.- Tener en cuenta el historial de ajustes, reparaciones y mantenimiento del medidor.
- 4.- Disponer del medidor con sello de salvaguardia.
- 5.- Identificar adecuadamente el estado metrológico del medidor.

El propósito de evaluar la calidad de la calibración es identificar posibles inconsistencias e informar que esa parte del proceso de confirmación metrológica presenta incertidumbre en el estado de conformidad del medidor.

El resultado final de la calibración es un certificado que avala la competencia del medidor como contador de litros de producto, adicionalmente, se establece un periodo de vigencia acorde a normas y requisitos legales.

Tabla 12: *Ejemplo de una forma de evaluar a un proveedor de servicios de calibración*

| Logo del centro de trabajo | Subdirección Gerencia Centro de trabajo "Evaluación del servicio de calibración" Periodo de aplicación Codificación | | | Logo del SGM |
|---|---|--|--|--------------|
| General | Metrología | Servicio | Atención a clientes | |
| <p>Evaluar la atención desde el momento de la solicitud del servicio, presentación del personal, calidad del servicio, competencias técnicas, así como el seguimiento en tiempo y forma del servicio efectuado</p> | <p>Considerar aspectos operacionales y conocimientos teórico – prácticos en materia de medición, adicionalmente, se evalúa la capacidad de resolución de problemas que podrían derivarse</p> | <p>Calificar si el servicio se cumplió en su totalidad, así como la efectividad del mismo, del mismo modo, toma en cuenta la entrega oportuna de reportes de finalización y los certificados correspondientes</p> | <p>Estimar el alcance del proveedor de servicios ante aclaraciones o peticiones formales de información, además, se reporta ante la autoridad máxima del centro de trabajo al inicio, en el desarrollo y en la finalización de trabajos de calibración.</p> | |
| <p>Comentarios sobre la calibración: Aquí se puede hablar sobre inquietudes, dudas o aspectos que el calificador quiera transmitir al proveedor del servicio.</p> | | | | |
| <p>Sugerencias para lograr la satisfacción completa del cliente:</p> | | | | |
| <p>Ensayo o calibración de: Flujo volumétrico, temperatura, volumen, entre otros.</p> | | | | |

Para finalizar, las evaluaciones son hechas inmediatamente terminado el trabajo de calibración del medidor, por lo que cualquier no conformidad es detectada y las medidas correctivas se planean y ejecutan.

5.3.5 Especificación de la verificación de medidores de flujo tipo turbina

El proceso de verificación es un conjunto de actividades que tiene como fin establecer el estado de conformidad del medidor de flujo con base en la comparación directa de valores de flujo, volumen y temperatura del equipo con el patrón de medición.

Los requerimientos metrológicos del equipo de medición son determinados y establecidos dentro de un intervalo de operación dónde pueden fluctuar controladamente y con ello especificar el estado de conformidad del medidor.

El factor del medidor o *meter factor* es la variable de control definida por procesos de confirmación metrológica previos del medidor de flujo y con la cual deben construirse gráficos control para conocer la estabilidad de la verificación

Las actividades de monitoreo estadístico como la construcción de cartas control o la aplicación de un plan de tratamiento pueden conducirse desde la parte de verificación del proceso de confirmación metrológica.

La instalación convencional de una nave de llenado de producto se muestra en la **Figura 5** (Ruíz, J, 2019); en tanto los equipos y fronteras a controlar se muestran a través del diagrama de bloques de la **Figura 6**.

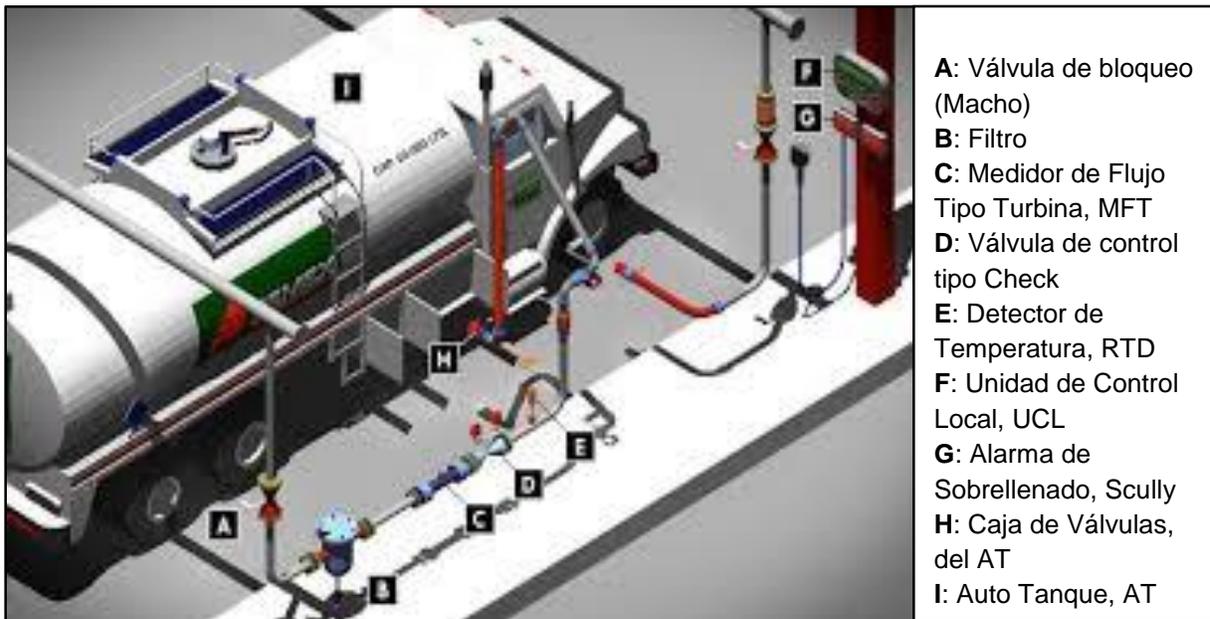


Figura 5: Ejemplo de una instalación convencional de una nave de llenado de producto (De La Rosa, 2007).

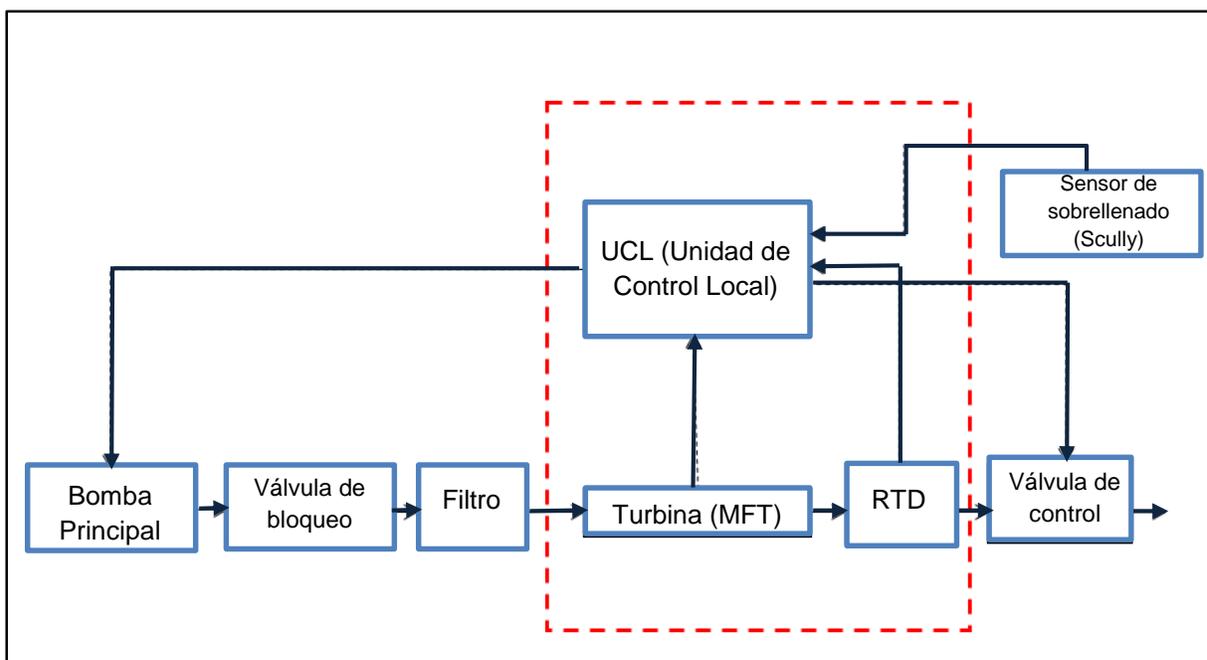


Figura 6: Ejemplo de un diagrama de bloques de una nave de llenado de producto. (PEMEX_SAD, 2018).

En la **Figura 7** se presenta un diagrama de flujo que describe la verificación de un medidor de flujo tipo turbina; comprende actividades llevadas en campo con equipos y patrones, así como tareas de obtención e interpretación de resultados.

Verificar un medidor de flujo tipo turbina se trata de un proceso cíclico, debidamente controlado y basado en el cálculo de la linealidad, repetibilidad, incertidumbre y error normalizado para definir su comportamiento.

Los intervalos de verificación toman en cuenta el historial de ajustes, reparaciones o modificaciones que haya sufrido el medidor, ya que analizan las variaciones del factor del medidor entre un proceso de medición y otro.

Los valores del patrón de medición se leen directamente de su panel de registro y se debe validar que su certificado de calibración/verificación se encuentre vigente; por lo que se espera el desempeño óptimo del mismo durante los trabajos de verificación (PEMEX_SAD, 2018).

Con los valores registrados de flujo, volumen, temperatura y factor del medidor del equipo se calculan los requerimientos metrológicos correspondientes, teniendo en cuenta las siguientes notas aclaratorias (*PEMEX-SAD, 2018*):

- 1.- La constante del medidor en la UCL es de 14 pulsos/L, cualquier alteración de este valor invalida el informe de verificación.
- 2.- Los resultados mostrados representan el promedio de por lo menos cinco mediciones realizadas por cada valor de flujo, volumen y temperatura.
- 3.- Se ampara únicamente por las mediciones realizadas en el momento y bajo las condiciones de uso en las que se realizó la verificación.
- 4.- Considerando que la diferencia entre la temperatura en el medidor de referencia y el medidor bajo verificación es del orden de 0.1 °C o menores, las correcciones por efecto de dilatación térmica del fluido son despreciables.
- 5.- La incertidumbre se expresa con un factor de cobertura $k = 2$ y se basa en *Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement. BIPM, IEC, IFCC, ISO, IUAPAP, IUPAC, OIML (1995)*.
- 6.- El procedimiento de verificación empleado por el personal de éste centro de trabajo se basa en Normas de API. *Manual of Petroleum Measurement Standards, 12th Chapter, 2nd Department*.
- 7.- Ésta verificación se lleva a cabo en las instalaciones de cada centro de trabajo.
- 8.- Se debe comenzar con una presión de autotánque de 9 Kg/cm².

Si la verificación del medidor arroja un equipo conforme se emiten los informes y etiquetas correspondientes, en cambio, si el equipo de medición presenta una no conformidad es atendida hasta establecer el estado de confirmación metrológica del equipo.

Para concluir, como la verificación deriva en el estado de confirmación del equipo, es necesario contar con técnicas de control como auditorías internas y validación de procesos ante reguladores nacionales.

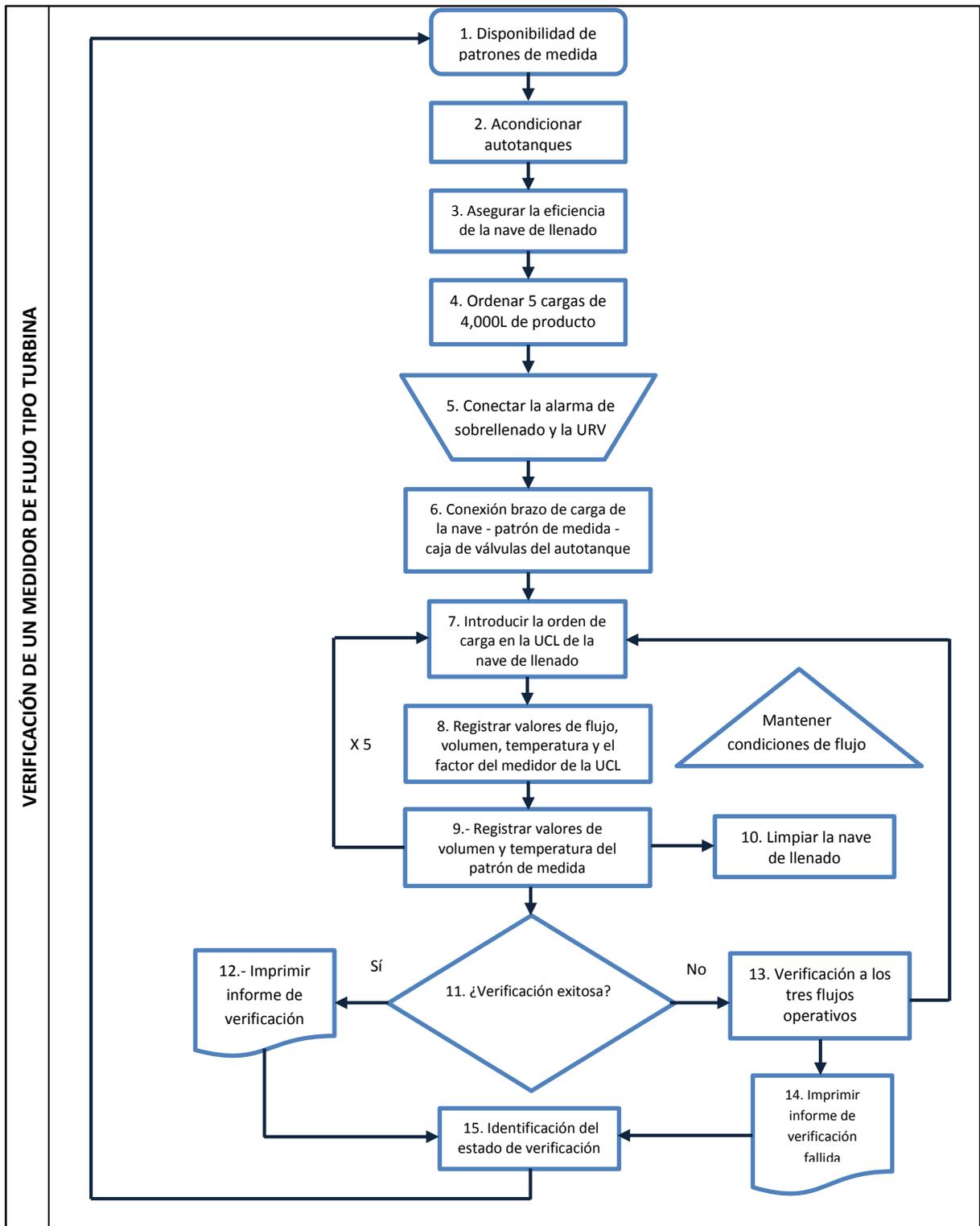


Figura 7: Ejemplo del proceso de verificación de un medidor de flujo tipo turbina. Elaboración propia.

5.3.6 Revisión del proceso de verificación de medidores de flujo tipo turbina

A diferencia del apartado anterior, éste procedimiento consiste en evaluar al personal encargado de llevar a cabo la verificación y observar si una situación no conforme es producto de su falta de competencia.

La revisión de éste tipo de ciclos de trabajo es una herramienta que permite establecer un control interno acerca del grado de capacitación del personal vinculado a la medición y encamina las actividades necesarias cuando deficiencias han sido detectadas.

Durante una verificación es posible que el personal no reconozca la trascendencia de una medición correcta, por lo que es necesario concientizar sobre la importancia de una medición bien encaminada en el centro de trabajo.

Para poder hacer la valoración de la competencia del personal es necesario asegurarse que los sistemas y equipos de medición no presenten fallas o alteraciones antes de la verificación, así como contar con la revisión más actualizada del proceso.

Una forma de evaluar al personal se reconoce en la **Tabla 13**; dónde se observa la calificación de cuatro aspectos básicos que describen la competencia profesional con la que se desarrolla la verificación.

Con la ejecución de éste tipo de controles se garantiza que el proceso de verificación es revisado constantemente para evitar no conformidades derivadas por el mal uso del equipo, sistema o patrón de medida.

La información proporcionada por el desarrollo del presente procedimiento es examinada y empleada para valorizar el impacto de la falta de capacitación en materia de medición por el personal.

El representante del SGM tiene la obligación de asegurar que el personal cuenta con las capacidades suficientes para realizar mediciones, manipular equipo, registrar valores, distinguir unidades de medida e interpretar niveles seguros de operación.

Para finalizar, si se identifica al personal con la competencia suficiente y el proceso ha sido actualizado, la razón de una posible no conformidad será alguna situación sobre el equipo, el sistema o el patrón de medida.

Tabla 13: Ejemplo de una revisión del proceso de verificación de un medidor de flujo tipo turbina

| Logo del centro de trabajo | Subdirección Gerencia Centro de trabajo “Revisión del procedimiento de verificación de medidores de flujo tipo turbina” Periodo de aplicación Codificación | | | Logo del SGM |
|---|--|---|--|--|
| Evaluar | Aspectos Generales | Procedimientos Operativos | Procedimientos de Mantenimiento | Prácticas Seguras |
| | Califica al personal que hace la verificación; aspectos como su responsabilidad al portar su equipo de protección personal y uso adecuado de los instrumentos para hacer su trabajo. Se evalúa la destreza en el desempeño de su tarea y sus conocimientos teóricos y prácticos. | Esta sección se refiere a que tan bien domina el procedimiento el trabajador, el conocimiento de ventanas operativas y niveles seguros de operación es esencial en esta parte. También califica la limpieza e higiene al momento de realizar la verificación. | Esta sección es muy similar a la anterior, pero aquí se califica si el trabajador verifica que todo esté en orden para realizar su trabajo, o si a su vez este debe reparar algo antes de poder hacer la verificación. Se refiere al dominio en cada aspecto de la tarea a realizar derivado de la experiencia en tareas de mantenimiento. | Esta sección evaluará como fue la aplicación de procedimientos de Seguridad Integral y Protección Ambiental. Se evalúa el correcto llenado de los formatos de trabajo aplicables. Se confirmará si una vez terminado el trabajo se verificó de haber dejado condiciones seguras para el próximo trabajador que esté en la zona descrita. |
| <p>Resultado de la revisión del ciclo de trabajo: Una vez calificado en estos cuatro rubros se establece si el trabajador es aprobado en la aplicación de procedimientos del SGM. Para ser aprobado debe haber pasado satisfactoriamente todos los rubros.</p> | | | | |
| <p>Comentarios: Aquí el calificador hace una pequeña reseña de como el trabajador puede mejorar en el desempeño de sus labores o explique alguna razón imponderable por la cual no apruebe el trabajador en la presente revisión</p> | | | | |
| <p>Acciones Requeridas: Cuando el personal no es aprobado se describen las razones posibles de esta situación: el procedimiento, la instalación o el trabajador. En la próxima revisión se espera haber instruido al personal para no volver a presentar ésta situación.</p> | | | | |

5.3.7 Validación de registros de verificación

La validación de los registros tomados durante la verificación consiste en comprobar que el comportamiento definido del medidor de flujo corresponde a la realidad del mismo, lo que garantiza que el proceso de verificación fue desarrollado satisfactoriamente.

El Sistema de Gestión de Mediciones cuenta con personal calificado para evaluar el porcentaje de implantación y con herramientas como la revisión de ciclos de trabajo para el control de los procesos.

En la **Figura 8** se muestra al personal y sus responsabilidades en el proceso de validación de datos registrados durante la verificación y adicionalmente se hacen las siguientes notas aclaratorias:

- 1.- Los jefes de mantenimiento industrial y operación revisan el correcto llenado del formato de campo por parte del operario especialista instrumentista que llevo a cabo la verificación.
- 2.- La autoridad máxima del centro de trabajo es informada acerca de la realización de trabajos de verificación mediante la solicitud del patrón de medida, posteriormente se comunican los resultados de estos trabajos con las actas de las actas de equipo verificado o no verificado.
- 3.- El coordinador del Sistema de Medición y Automatización propone soluciones antes de una calibración extraordinaria.
- 4.- El formato de campo correctamente llenado es documentado física y digitalmente para su uso esperado; además es una evidencia de las verificaciones en cada centro de trabajo.

Podría existir una situación no conforme derivada de un mal registro y no ser el medidor de flujo tipo turbina el que presenta el fallo, sino la desatención en la toma de un dato de interés.

Por todo lo anterior, se distingue que la validación consiste en una serie de estrategias planificadas y efectuadas a distinto nivel jerárquico para la correcta toma de registros y el eficaz desempeño del procedimiento de verificación de medidores de flujo.

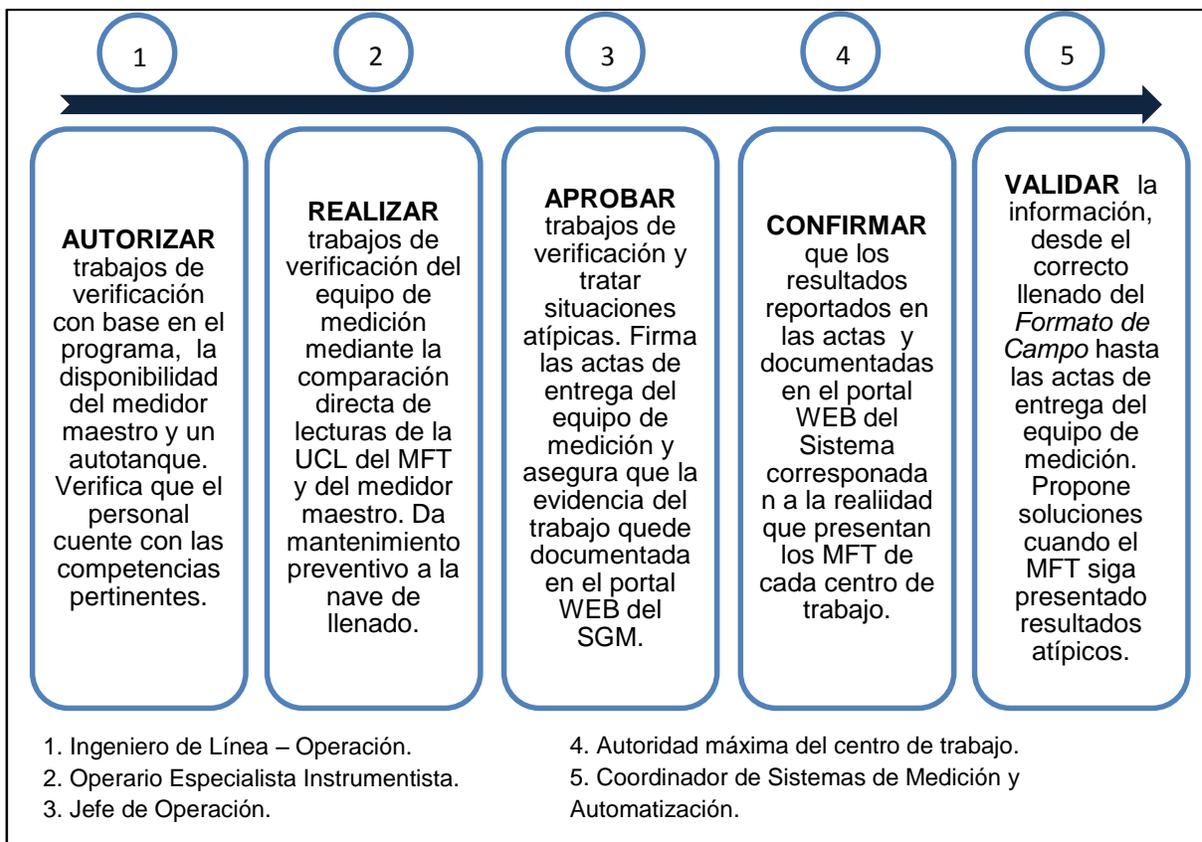


Figura 8: Ejemplo de una validación del proceso de verificación de un medidor de flujo

5.3.8 Integración de cartas control

Las cartas control son un tipo de gráficos especiales que describen la estabilidad de un proceso y sirven como herramienta a nivel estadístico para garantizar la validez de los resultados de una calibración o verificación (Cortés, A, 2013).

Este tipo de gráficos se construyen posterior al procedimiento de verificación de medidores de flujo tipo turbina ya que es un método para organizar la información y con ello poner en marcha las acciones pertinentes cuando situaciones no conformes sean detectadas.

El factor del medidor es la variable de control estadístico que se utiliza para la construcción de las cartas control ya que relaciona el volumen medido por el patrón de medida, respecto del promedio de pulsos registrados en la UCL de la nave de llenado ponderado por la constante del medidor, durante cada etapa de medición.

El factor del medidor es corregido debido a las variaciones en temperatura y presión que producen el desplazamiento de los fluidos, por lo que deben ser considerados éstos aspectos cuando se utilice como variable de control estadístico.

Se emplea la *Desigualdad de Chebyshev* (*Chebyshev, 1858*) para utilizar la media y la desviación estándar como parámetros de control estadístico; dónde se establece un intervalo de confianza de probabilidad de que el factor del medidor (con varianza finta) se sitúe a cierta distancia de su línea base.

Se trata de una técnica que reconoce las variaciones que hagan al proceso de medición inestable y con ello determinar rápidamente en que parte del proceso de confirmación metrológica sucedieron las circunstancias desfavorables.

Las cartas control, como su nombre lo indica, son gráficos de ayuda para mantener el proceso bajo control, ya que evitan ajustes innecesarios al proceso; con ellos es posible distinguir valores atípicos y la toma de medidas correctivas consecutivamente (*Botero, M, 2018*).

Para construir una carta control es recomendable seguir el siguiente procedimiento:

- 1.- Calcular la media de la variable de control, que será la línea base o valor promedio de la carta control.
- 2.- Calcular la desviación estándar de la variable de control.
- 3.- Calcular los límites de acción y de alarma, superior e inferior respectivamente.
- 4.- Graficar la línea base, los límites correspondientes y los valores de la variable de control contra el tiempo.
- 5.- Observar e interpretar comportamientos.

En la **Tabla 14** es posible apreciar a la variable de control obtenida de procesos de confirmación metrológica previos, con lo cual se procederá a construir el gráfico.

Tabla 14: Ejemplo del historial de verificaciones de un medidor de flujo tipo turbina

| Historial de verificaciones de un medidor de flujo tipo turbina | | | | | | | |
|---|-------------|-----------|--------------------------|--------------|------------------|-----------------|---------------|
| No. | No. Reporte | Fecha | Factor del medidor nuevo | Pulsos/Litro | Temperatura [°C] | Densidad [Kg/L] | Flujo [L/min] |
| 1 | RPT-PMX-XX | Oct, 2019 | 1.03215 | 14.00 | 17.88 | 0.7312 | 1650.00 |
| 2 | RPT-PMX-XX | Dic, 2019 | 1.03163 | 14.00 | 19.98 | 0.7232 | 1630.00 |
| 3 | RPT-PMX-XX | Ene, 2020 | 1.03030 | 14.00 | 22.68 | 0.7387 | 1700.00 |
| 4 | RPT-PMX-XX | Feb, 2020 | 1.03147 | 14.00 | 19.10 | 0.7283 | 1700.00 |
| 5 | RPT-PMX-XX | Mar,20 | 1.02990 | 14.00 | 25.1 | 0.7391 | 1700.00 |

1.- Calcular la media del factor del medidor:

$$\overline{MF}_{nuevo} = \sum_{i=1}^n (\text{factor del medidor nuevo})_i$$

$$\bar{x} = 1.03190$$

2.- Calcular la desviación estándar del factor del medidor:

$$\sigma_{MF_{nuevo}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [(\text{factor del medidor nuevo})_i - \overline{MF}_{nuevo}]^2}{n - 1}}$$

$$\sigma_{MF_{nuevo}} = 0.00094866$$

3.- Calcular los límites:

$$\text{Límite}_{acción_{superior}} = \overline{MF}_{nuevo} + 2.5\sigma_{MF_{nuevo}}$$

$$\text{Límite}_{acción_{superior}} = 1.03346164$$

$$\text{Límite}_{acción_{inferior}} = \overline{MF}_{nuevo} - 2.5\sigma_{MF_{nuevo}}$$

$$\text{Límite}_{acción_{inferior}} = 1.02871836$$

$$\text{Límite}_{alarma_{superior}} = \overline{MF}_{nuevo} + 1.5\sigma_{MF_{nuevo}}$$

$$\text{Límite}_{alarma_{superior}} = 1.03251299$$

$$\text{Límite}_{alarma_{inferior}} = \overline{MF}_{nuevo} - 1.5\sigma_{MF_{nuevo}}$$

$$\text{Límite}_{alarma_{inferior}} = 1.02966701$$

4.- Graficar los límites, la línea base y los valores del factor del medidor contra el tiempo:

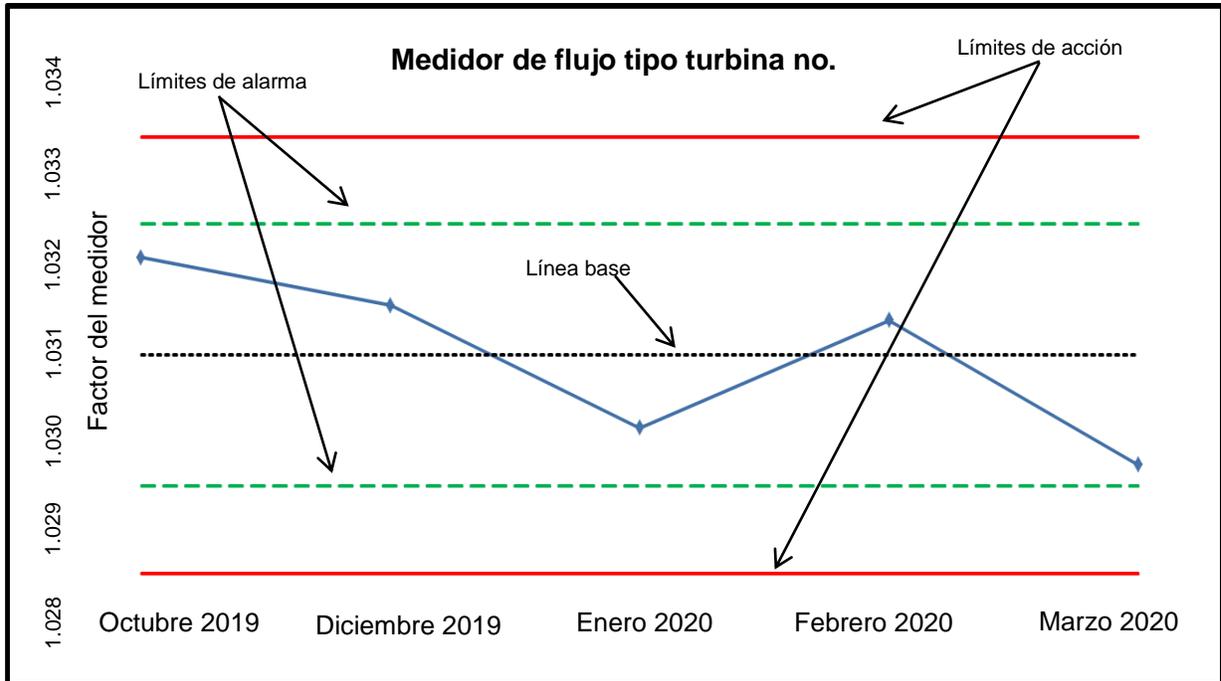


Figura 9: Ejemplo de una carta control de un medidor de flujo tipo turbina

En una carta control la línea base representa el promedio histórico del factor del medidor y los límites son datos que representan los rangos máximo y mínimo de variabilidad de la variable de control (Cortés, A, 2013).

Por último, la adecuada interpretación de gráficos control permite conocer la estabilidad del proceso de verificación a lo largo del tiempo, por lo que se considera una herramienta indispensable para detectar no conformidades.

5.3.9 Interpretación de cartas control

Interpretar una carta control es una habilidad desarrollada con experiencia y conocimiento integral del procedimiento, la instalación y el personal que desarrollo la verificación, por lo que una vez obtenido el gráfico control se distingue:

1.- Proceso bajo control: Todos los puntos del factor del medidor caen dentro de todos los límites definidos con un comportamiento aparentemente errático.

2.- Proceso no bajo control: Por lo menos un punto de la variable de control se sitúa fuera de algún límite o se observa una clara tendencia ascendente, descendente o cíclica.

Una ventana operativa es el área contenida dentro de los límites correspondientes del gráfico control, dónde la variable de control puede fluctuar libremente, lo que demuestra que no existieron inestabilidades durante el proceso de verificación, en cambio, cuando un proceso no tiene el control estadístico necesario puede deberse a las siguientes razones:

- 1.- El deterioro o falta de mantenimiento preventivo de los elementos internos del medidor de flujo tipo turbina.
- 2.- Falta de configuración del factor del medidor en la unidad de control local de la nave de llenado.
- 3.- Acumulación de sólidos en el filtro del medidor de flujo tipo turbina.
- 4.- Cambios graduales en las condiciones ambientales.
- 4.- Sobrecalentamiento del solenoide de la nave de llenado.
- 5.- Caja de válvulas del autotanque dañada.

Una vez identificados los posibles escenarios se determinan las acciones correspondientes, se observa la historia de calibraciones del medidor, se actualiza el número de fallas que ha tenido el dispositivo, así como el historial de ajustes y reparaciones en la unidad de control local de la nave de llenado, adicionalmente:

- 1.- Verificar el cumplimiento integral de los programas a los que se encuentra sujeta la nave de llenado (dónde se está instalado el medidor de flujo).
- 2.- Revisar si existieron notas aclaratorias o registro de datos atípicos en los certificados de calibración de años pasados.

3.- Obtener una carta control alterna en la cual se suprima el punto fuera de los límites y observar cuál es el nuevo comportamiento de la variable de control.

4.- La toma final de decisiones corresponde a las necesidades de cada centro de trabajo.

Cuando se identifica un proceso bajo control se reconoce que la verificación fue desarrollada con base a una distribución de probabilidad *normal* o de *Gauss*, tal como se muestra en la **Figura 10**.

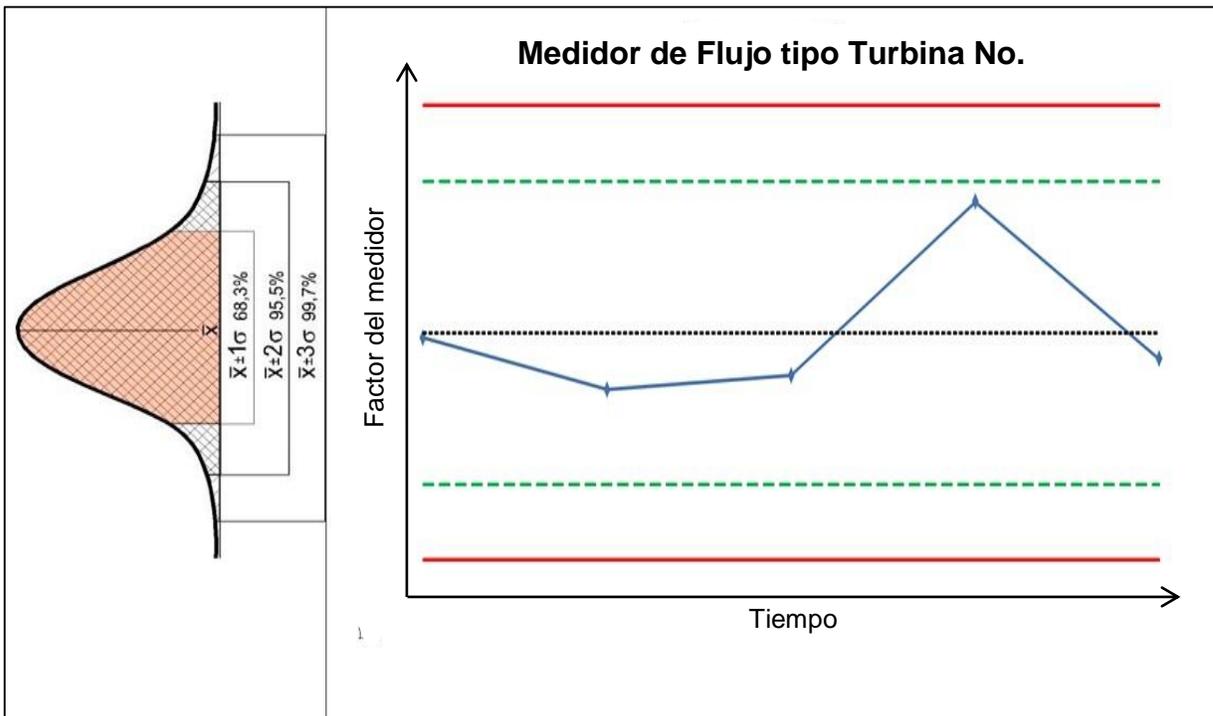


Figura 10: Ejemplo de la distribución normal o de Gauss en una carta control de un medidor de flujo tipo turbina

Para finalizar, el estudio profundo de las cartas control permite definir si cierto proceso de medición se efectúa bajo estabilidad o si se presentan variaciones durante el proceso, adicionalmente, sirven para ajustar intervalos de verificación con base en la información que brindan.

5.3.10 Análisis de los 5 ¿por qué?

La estrategia de los 5 ¿por qué? es una técnica sistemática de preguntas utilizada durante la fase de análisis de no conformidades para buscar posibles causas-raíz de la situación en cuestión.

Se fundamenta en realizar preguntas de manera consecutiva para explorar las relaciones causa-efecto que generan o provocan un problema en particular; conocido como no conformidad (*PEMEX-SAD, 2016*).

Con base en las especificaciones propias del proceso de verificación del medidor del flujo tipo turbina, se trabaja bajo cinco niveles de detalle, con lo cual las causas más probables de la situación habrán sido identificadas.

Una de las principales características es, que a diferencia de las cartas control, puede hacerse con un menor número de datos de entrada, por lo que su facilidad de análisis es una gran ventaja, además de su gran efectividad.

Las cartas control e informes de verificación de meses anteriores son fuentes de información del equipo que se pueden consultar como primera opción y sirven para conocer cómo se han desempeñado procesos de medición previos (*PEMEX-SAD, 2018*).

Cuando se realiza el proceso de verificación de los medidores es probable que se necesiten trabajos a los tres flujos operativos, debido a que algún requerimiento metrológico se encuentre fuera de su intervalo de acción.

En la **Tabla 15** se muestra cómo aplicar la presente técnica cuando existan desviaciones mayores a las permisibles en algún requerimiento metrológico durante la verificación del medidor del flujo tipo turbina a flujo máximo.

Una vez identificada la causa-raíz de la situación no conforme, las acciones necesarias son desarrolladas inmediatamente y serán monitoreadas para saber si la no conformidad fue atendida adecuadamente.

Si las acciones correctivas, o de mitigación, producen un efecto positivo sobre el desempeño del MFT significa que la identificación de la causa-raíz que provocó la no conformidad fue la indicada.

Tabla 15: Ejemplo de aplicación de la técnica de los 5 ¿por qué?

| No Conformidad a Resolver: | | | Las desviaciones permisibles de los parámetros obtenidos a flujo máximo de operación son mayores a las establecidas por el procedimiento correspondiente. | | | Fecha: | XX/XX/XXX X |
|-----------------------------------|-----------|--|---|----------|--|---|--|
| | | | | | | Codificación: | -XXX- XXXXX-X.X |
| Fase | Análisis | Nivel del Problema | Fase | Análisis | Nivel de la Respuesta | Nivel de la solución | Responsable |
| 1 | ¿Por qué? | La desviación a flujo máximo de operación es mayor a la establecida. | 2 | porque | El equipo de medición presenta dificultades (sobrecarga de trabajo). | Revisar lo siguiente: cartas control del MFT, informes de verificación pasados, inspección visual de la nave de llenado. | Ingeniero de operación. |
| 3 | ¿Por qué? | El equipo presenta dificultades. | 4 | porque | No se ha cumplido el programa de mantenimiento de naves de llenado. | Trabajar conjuntamente áreas de operación y mantenimiento industrial para la revisión de programas. | Ingenieros de operación y mantenimiento. Industrial. |
| 5 | ¿Por qué? | No se ha cumplido el programa de mantenimiento. | 6 | porque | El responsable de su implementación fue transferido a otro centro de trabajo. | Solicitar al antiguo responsable sobre el estado en el que dejó el área de trabajo y revisar los trabajos realizados. | Supervisor de operación y de mantenimiento |
| 7 | ¿Por qué? | No se designó otro responsable del programa de mantenimiento. | 8 | porque | No se reconocía el impacto que tiene el mantenimiento en tiempo y forma en una medición. | Capacitar al personal sobre la importancia de una medición confiable. | Representante del SGM. |
| 9 | ¿Por qué? | No se reconocía el impacto del mantenimiento en la medición. | 10 | porque | Cierto porcentaje del personal del centro de trabajo no estaba concientizado acerca de la implantación del SGM | Solicitar el apoyo de todo el personal para la continuación de la implantación del Sistema de Gestión de Mediciones en el centro de trabajo | Autoridad máxima del centro de trabajo. |

El resultado de la técnica indica que la falta consciencia sobre la importancia de la medición produce un efecto negativo en el centro de trabajo; que se manifiesta como falta la desatención en tareas de mantenimiento de la nave de llenado o posibles descuidos, por ejemplo, sobrecargar el equipo de medición (*Ruiz, J, 2009*).

Las acciones encaminadas para atender la no conformidad identificada son las siguientes:

- 1.- Asegurar la competencia del personal.
- 2.- Corroborar que se aplique la revisión más reciente del proceso de verificación.
- 3.- Revisar el historial de confirmaciones metrológicas del equipo de medición.
- 3.- Cerciorarse que el equipo y el sistema de medición no presenten dificultades previas a la verificación.
- 4.- Confirmar que el certificado de calibración del patrón de medida se encuentre vigente.
- 5.- Comprobar la presión del autotanque.
- 6.- Realizar verificaciones a los tres flujos operativos.
- 8.- Mantener condiciones de flujo controladas (constantes).
- 9.- Validar informes de verificación y formatos de campo.
- 10.- Construir, analizar e interpretar gráficos control.

Por todo lo anterior, un análisis causa-raíz es un método que permite identificar, prevenir y eliminar las causas que originan un determinado problema o incidencia que impiden al centro de trabajo cumplir sus objetivos.

5.3.11 Plan de tratamiento

Un plan de tratamiento es un documento donde se identifican los riesgos que deriven de mediciones incorrectas; se analiza, evalúa, jerarquiza el impacto y se buscan las probables fuentes que provoquen ésta situación.

Su objetivo es identificar las causas que han producido la situación no conforme y se desarrollan estrategias para su control y posterior corrección o mitigación, por esa razón emplea herramientas como:

- 1.- Integración de cartas control
- 2.- Análisis de los 5 ¿por qué?
- 3.- Validación de procesos de medición

La **Tabla 16** indica el control de estrategias cuando ocurran desviaciones mayores a las permisibles en algún requerimiento metrológico; la base de un plan de tratamiento.

Tabla 16: *Ejemplo del control de estrategias de un plan de tratamiento*

| Logo del centro de trabajo | Subdirección Gerencia Centro de trabajo “Control de estrategias de no conformidades” Periodo de aplicación Codificación | Logo del SGM |
|---|---|--------------|
| No conformidad a resolver: Las desviaciones permisibles de los parámetros obtenidos a flujo máximo de operación son mayores a las establecidas por el procedimiento correspondiente. | | |
| Causas y Fuentes del Riesgo | Estrategias de control y acciones de mitigación | |
| Falta de control de condiciones ambientales | Identificar los cambios estacionales y climáticos en CONAGUA para revisar la confirmación metrológica de los equipos de medición. | |
| | Monitorear mensualmente los requisitos metrológicos del instrumento principal de medición. | |
| Equipos dañados o sobrecargados | Dar un seguimiento estadístico a los modos de falla recurrentes y mantener disponible refaccionamiento crítico de los equipos de medición. Utilizar cartas control o informes de verificación como información para ajustar intervalos de aplicación. | |
| | Aplicar inspección y mantenimiento preventivo a todos los dispositivos de la nave de llenado. | |
| Cambios en la competencia de un operador o usuario | Asegurar la competencia del personal que asesora el funcionamiento de los equipos de medición, a través de su certificación en materia de medición. | |
| | Supervisar y garantizar que el personal que calibra y verifica los dispositivos sea el indicado y en cumplimiento a los programas correspondientes. | |
| Procedimientos inadecuados | Seguimiento y monitoreo a procedimientos utilizados en el proceso de confirmación metrológica en cada una de las fallas presentes. | |

Un plan eficaz propone acciones correctivas y de mitigación, ya que permite identificar cuando un equipo de medición está cerca de perder su función y anticiparse a ella; adicionalmente, asegura la correcta ejecución de verificaciones.

El seguimiento de un plan de tratamiento permite contar con una gama de opciones por las cuales el medidor de flujo tipo turbina podría estar operando inadecuadamente, entre las cuales destacan:

- 1.- Falta de capacitación del personal
- 2.- Modificaciones no previstas del factor del medidor de la unidad de control local
- 3.- Falta de mantenimiento general de la nave de llenado

Para terminar, implementar un plan de tratamiento permite tener bajo control los impactos latentes por fallas del equipo de medición, además, funciona como guía para atender no conformidades, tal como lo muestra la **Tabla 17**.

Tabla 17: *Ejemplo de principales fallas operacionales de un medidor de flujo tipo turbina*

| Logo del centro de trabajo | Subdirección Gerencia Centro de trabajo "Control de estrategias de no conformidades" Periodo de aplicación Codificación | | Logo del SGM |
|---|--|----------------------------|--|
| No conformidad a resolver: Las desviaciones permisibles de los parámetros obtenidos a flujo máximo de operación son mayores a las establecidas por el procedimiento correspondiente. | | | |
| Falla funcional | Modo de identificación | Probabilidad de ocurrencia | Controles y acciones necesarias |
| Reducción de Flujo | Incremento del tiempo de llenado | Recurrente | Revisar limpieza de línea y filtros mensualmente |
| | Ruido anormal en el MFT | | Intervenir equipo para revisión interna |
| Pérdida de Comunicación | La UCL no indica valores | Ocasional | Realizar balance de materia y de volumen en los días que se pierda la comunicación |
| Sobrecarga de Flujo | Alta presión en la línea | Ocasional | Revisar las condiciones de operación |

5.4 Comunicación de resoluciones

El presente apartado tiene como finalidad mostrar cómo se documentan y controlan los resultados de los procesos de medición desarrollados, además, se relata el registro de atención de no conformidades.

En primera instancia, se verifica el inicio y término del proceso de confirmación metrológica del medidor de flujo y todos los registros obtenidos son reportados física y digitalmente, por lo que éste es el primer filtro para presentar la información.

Los registros del proceso de confirmación metrológica demuestran que cada equipo de medición satisface los requerimientos metrológicos especificados por las Disposiciones Administrativas de Carácter General.

La autoridad máxima del centro de trabajo es informada acerca del estado que guarda el Sistema de Gestión de Mediciones después de los procesos de medición desarrollados; por ésta razón, en la **Tabla 18** se muestra la información mínima que debe ser comunicada.

El responsable correspondiente revisa y valida los registros a través de una auditoria interna para después compararlos con resultados previos de otros centros de trabajo y conocer la consistencia y estabilidad de los procesos desempeñados.

Los equipos con estado de conformidad metrológica son identificados a través del uso de etiquetas y se destaca claramente el periodo de vigencia de la verificación o calibración, así como posibles limitaciones de uso.

Los equipos que presenten situaciones no conformes son estudiados bajo una amplia gama de métodos comprobados que puedan definir la fuente de la situación y atenderla bajo controles estadísticos.

La calibración extraordinaria es el último recurso utilizado cuando el equipo presenta resultados incorrectos derivados como no conformidades, ya que su realización requiere de un gran empelo de recursos económicos y el visto bueno a nivel subgerencia

La decisión de realizar ajustes y reparaciones en el equipo de medición es tomada por el responsable del SGM o la autoridad máxima del centro de trabajo.

Como aspecto final, se cuenta con un control efectivo sobre el funcionamiento de los medidores de flujo tipo turbina por lo que se concluye, que a pesar de no contar con el total de equipos confirmados, el proceso de confirmación metrológica se desarrolla de manera satisfactoria.

Tabla 18: Información mínima de un acta de finalización de procedimientos

| Logo del centro de trabajo | Subdirección Gerencia Centro de trabajo “Acta de finalización de Confirmación Metrológica” Periodo de aplicación Codificación | Logo del SGM |
|---|--|--------------|
| Número de Informe | | |
| Nombre del cliente y localización | | |
| Descripción e identificación única del fabricante del equipo: tipo, modelo, número de serie | | |
| Fecha en la cual la confirmación metrológica se completó | | |
| El resultado de la Confirmación Metrológica con el Acta de entrega de equipo verificado/No verificado | | |
| El intervalo asignado para la confirmación metrológica | | |
| La identificación del procedimiento de Confirmación Metrológica aplicado | | |
| Los máximos errores permisibles designados | | |
| Las condiciones ambientales relevantes y una declaración acerca de correcciones necesarias | | |
| Las incertidumbres involucradas en la calibración del equipo | | |
| Detalles de algún mantenimiento, como ajustes, reparaciones o modificaciones | | |
| Cualquier limitación de uso | | |
| Identificación del personal que desarrolla la Confirmación Metrológica | | |
| La identificación única de certificados de calibración e informes de verificación | | |
| Evidencias de rastreabilidad de los resultados de la calibración | | |
| Requerimientos metrológicos del equipo de medición para su uso esperado | | |
| Las cartas control | | |
| Firma del autor del acta | Firma de Aprobación y Autorización | |

Resultados

En este capítulo se reportan los efectos derivados del presente informe de labores profesionales, por ello, se identifican los esfuerzos realizados para contar con una implantación total de un sistema de gestión de mediciones.

Las actividades, en virtud del cumplimiento integral de Sistema de Gestión de Mediciones del centro de trabajo, fueron realizadas bajo los estándares del cliente, del centro de trabajo y bajo requisitos normativos y legales, por lo que:

- 1 Se efectuó el proceso de confirmación metrológica sobre 21 medidores de flujo tipo turbina; de los cuales 15 tuvieron una verificación exitosa, 4 requirieron tres verificaciones y 2 requieren una calibración extraordinaria.
- 2.- Los procedimientos empleados fueron documentados, validados y revisados por el personal correspondiente, por lo que se cuenta con evidencia suficiente que defina el estado metrológico del medidor de flujo.
- 3.- La competencia del personal para desarrollar tareas vinculadas al proceso de medición quedó garantizada a través de evaluaciones periódicas de sus habilidades y formación personal y profesional.
- 4.- Las cartas control como método de estabilidad estadística permitieron conocer cómo se desarrollan el proceso de verificación; gracias a ello se modificó la frecuencia de calibración de 2 medidores.
- 5.- Se implementó el formato *Verificación semanal del horario del Centro Nacional de Metrología (CENAM) y el horario SIMCOT* como parte del seguimiento a una no conformidad derivada de diferencias horarias en los traslados de gasolinas.
- 6.- Los equipos no conformes al procedimiento de confirmación metrológica fueron analizados bajo distintas técnicas para definir su estado y así establecer planes de tratamiento.

Por todo lo anterior, se concluye que los esfuerzos emprendidos para la implantación del Sistema de Gestión de Mediciones son efectivos y deben ser monitoreados en busca de mejoras para controlar totalmente los equipos y procesos de medición empleados.

Conclusiones y Recomendaciones

En ésta parte del reporte se enfatiza las aportaciones de mi estancia profesional en la Terminal de Almacenamiento y Despacho Barranca del Muerto para promover las actividades relacionadas al Sistema de Gestión de Mediciones.

Como primer aspecto, se aseguró la confirmación metrológica de los medidores de flujo tipo turbina, que, junto a los detectores de temperatura e indicadores de nivel, constituyen la base del Sistema de Gestión de Mediciones del centro de trabajo.

En segunda instancia, la validación y documentación del proceso de verificación hace que su evaluación a través de auditorías o comparaciones entre terminales tenga una base para definir el comportamiento del medidor.

Derivado de lo anterior se recomienda realizar el proceso de verificación mensualmente y modificarlo únicamente cuando el control estadístico determinado por el análisis de cartas control lo indique.

Como la construcción de cartas control ha sido una técnica comprobada para mantener supervisado cierto proceso, se propone desarrollar una base de datos donde se tenga el historial del factor del medidor que pueda ser analizado con base en el tiempo.

Es probable que cuando existan nuevas revisiones en el proceso de verificación los requerimientos metrológicos cambien ligeramente su intervalo de operación, por lo que es aconsejable siempre aplicar la revisión más reciente, bajo los estándares correspondientes.

La confirmación metrológica del resto de equipos de medición se desarrolla de manera análoga al proceso de confirmación metrológica y el de atención de no conformidades y mediciones incorrectas descritos en el presente reporte.

Para concluir, se invita al personal a conocer más acerca de la medición, así como su importancia para el cumplimiento de las labores que realizan día con día, y así aprovechar las pláticas informativas, conferencias, cursos o seminarios que ofrece la empresa.

Finalmente, agradezco a PEMEX, así como sus instalaciones y personal, por permitirme desarrollar profesionalmente a través de la metrología aplicada.

Referencias Bibliográficas

- [1] PEMEX-SAD. (Agosto, 2016). *Manual del Sistema de Gestión de Mediciones*. (Primera revisión). Ciudad de México, México.
- [2] PEMEX-SAD. (Agosto, 2018). *Metodología para la Implementación del Sistema de Gestión de la Medición Anexo II*. (Primera revisión). Ciudad de México, México.
- [3] PEMEX-SAD. (Agosto, 2018). *Metodología para la Selección de Sistemas de Medición y Delimitación de Fronteras*. (Primera revisión). Ciudad de México, México.
- [4] PEMEX-SAD. (Agosto, 2018). *Definiciones*. (Primera revisión). Ciudad de México, México.
- [5] PEMEX-GAS Y PETROQUÍMICA BÁSICA. (Mayo, 2104). *Sistemas Electrónicos de Medición de Flujo para Hidrocarburos en Fase Gaseosa*. (Primera revisión). Ciudad de México, México.
- [6] PEMEX-SAD. (Agosto, 2018). *Políticas y Lineamientos en Materia de Medición y Balances de PEMEX y sus Empresas Subsidiarias y, en su caso, Empresas Filiales*. (Primera Edición). Ciudad de México, México.
- [7] Altendorf, M. (2011) *Guía Técnica de los requerimientos y principios para seleccionar sistemas de medición de flujo de hidrocarburos en PEP*. Pemex Exploración y Producción. México.
- [8] Salguero M. (2013). *Diseño y Aplicación de una Carta Control para Procesos de Flujos Múltiples que se llevan a cabo en los Laboratorios Farmacéuticos Zaragoza*. Facultad de Estudios Superiores, FES. Zaragoza. Ciudad de México, México.
- [9] Rivera D. (2011). *Cartas Control para Datos Funcionales*. Centro de Investigaciones Matemáticas, CIMAT A.C. Guanajuato, México.
- [10] Cortés A. (2013). *Guía para el Control Estadístico del proceso de Acondicionamiento de Formas Farmacéuticas Líquidas mediante Cartas Control para Datos Individuales*. Facultad de Estudios Superiores, FES. Zaragoza. Ciudad de México, México.
- [11] Rivas Y. (2017). *Mejora de Procesos en la Industria Farmacéutica*. Facultad de Ingeniería. Ciudad de México, México.
- [12] Cárdenas J. (s, f) *Cálculo de la Incertidumbre del Volumen Neto de un Sistema de Medición con Medidor de flujo tipo Turbina para Transferencia de Custodia*. PEMEX-REFINACIÓN. Salamanca, Guanajuato, México.

- [13] Ortiz. M. (Septiembre, 2016). *Criterios para Evaluar el Desempeño de los Medidores de Flujo Lineal en la determinación de la Conformidad de Sistemas de Medición que emplean UCL*. Centro de Tecnología Avanzada, CIATEQ. Querétaro, México.
- [14] Ruiz J. (Enero, 2009) *Gestión y Gerenciamiento de un Sistema de Medición de Flujo de Hidrocarburos Líquidos*. Centro de Tecnología Avanzada, CIATEQ. Villahermosa, Tabasco, México.
- [15] De la Rosa M.V. (2007) *Mantenimiento preventivo a una posición de Llenado de Gasolina PMX – Premium a un AT*. Trabajo de Seminario. Ciudad de México, México.
- [16] JCGM 200:2012. (2012). *Vocabulario Internacional de Metrología. Conceptos fundamentales, generales y términos asociados*. (Tercera edición en español). Centro Español de Metrología,
- [17] Botero M. (2008) *Proceso de Confirmación Metrológica dentro de una Organización Productiva*. Universidad Tecnológica de Pereira. Colombia.
- [18] Alvarado, E.R. (s, f) *Presentación de la Norma ISO-IEC-17025*. Grupo Empresarial ACCE. Ciudad de México, México.
- [19] Guzmán L.C. (2019) *Selección de Sistema de Medición de Hidrocarburos para Puntos de Transferencia de Custodia y Propiedad*. Facultad de Ingeniería. Ciudad de México, México.
- [20] Diario Oficial de la Federación (Diciembre 17, 2015). *Resolución Núm. RES776/2015* https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5420417&fecha=17/12/2015#gsc.tab=0 revisado en 2022.
- [21] Diario Oficial de la Federación (Enero 11, 2016). *Resolución Núm. RES811/2015* https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5422403&fecha=11/01/2016#gsc.tab=0 revisado en 2022.
- [22] Diario Oficial de la Federación (Enero 12, 2016). *Resolución Núm. RES899/2015* https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5422482&fecha=12/01/2016 revisado en 2022.
- [23] Manuel Lucas Ledesma (s, f). *La historia en la medición* <http://mimosa.pntic.mec.es/mlucas2/softEduca/umedida/index.html> revisado en 2022.

Ecuaciones importantes

$$\overline{MF}_{nuevo} = \sum_{i=1}^n (factor\ del\ medidor\ nuevo)_i \dots\dots\dots 1$$

$$\sigma_{MF_{nuevo}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [(factor\ del\ medidor\ nuevo)_i - \overline{MF}_{nuevo}]^2}{n - 1}} \dots\dots\dots 2$$

$$L\u00edmite_{acci\u00f3n\ superior} = \overline{MF}_{nuevo} + 2.5\sigma_{MF_{nuevo}} \dots\dots\dots 3$$

$$L\u00edmite_{acci\u00f3n\ inferior} = \overline{MF}_{nuevo} - 2.5\sigma_{MF_{nuevo}} \dots\dots\dots 4$$

$$L\u00edmite_{alarma\ superior} = \overline{MF}_{nuevo} + 1.5\sigma_{MF_{nuevo}} \dots\dots\dots 5$$

$$L\u00edmite_{alarma\ inferior} = \overline{MF}_{nuevo} - 1.5\sigma_{MF_{nuevo}} \dots\dots\dots 6$$

$$EMP = \left(\frac{V_{MFT} - V_{PM}}{V_{MFT}} \right) \times 100 \dots\dots\dots 7$$

$$EN = \frac{MF_{nuevo} - MF}{\sqrt{I^2 + I_{nueva}^2}} \dots\dots\dots 8$$

$$L = \left(\frac{MF_{m\u00e1x} - MF_{m\u00edn}}{\overline{MF}} \right) \times 100 \dots\dots\dots 9$$

$$MF = \frac{V_{PM}}{\overline{\Phi}} k_{MFT} \left(\frac{CTS \times CPS \times CTL_{PM} \times CTL_{PM}}{CTL_{MFT} \times CPL_{MFT}} \right) \dots\dots\dots 10$$

$$R = \left(\frac{MF_{m\u00e1x} - MF_{m\u00edn}}{MF_{m\u00e1x}} \right) \times 100 \dots\dots\dots 11$$

Nomenclatura

AST: Análisis de Seguridad en el Trabajo.

CPL_{MFT}: Corrección por efecto de la presión ejercida por el producto en el medidor de flujo tipo turbina.

CPL_{PM}: Corrección por efecto de la presión ejercida por el producto en el patrón de medición.

CPS: Corrección por efecto de la presión en el acero.

CRE: Comisión Reguladora de Energía.

CTL_{MFT}: Corrección por efecto de la temperatura del producto en el medidor de flujo tipo turbina.

CTL_{PM}: Corrección por efecto de la temperatura del producto en el patrón de medición.

CTS: Corrección por efecto de la temperatura en el acero.

DACG: Disposiciones Administrativas de Carácter General.

EMP: Error Máximo Permissible.

EN: Error Normalizado.

EN_{q_{máx}}: Error Normalizado a flujo máximo de operación.

EN_{q_{med}}: Error Normalizado a flujo medio de operación.

EN_{q_{mín}}: Error Normalizado a flujo mínimo de operación.

EPP: Equipo de Protección Personal.

I: Incertidumbre del medidor indicada en la UCL durante calibraciones o verificaciones

I_{nueva}: Incertidumbre nueva del medidor; calculada durante calibraciones o verificaciones

k_{MFT}: Constante del medidor de flujo tipo turbina (14 pulsos/L).

L: Linealidad.

MF: Factor del Medidor indicado en la UCL durante calibraciones o verificaciones.

MF_{nuevo}: Factor del medidor nuevo calculado durante calibraciones o verificaciones.

\overline{MF} : Promedio del Factor del Medidor durante 5 órdenes de carga de una verificación.

\overline{MF}_{nuevo} : Promedio del nuevo Factor del Medidor durante 5 órdenes de carga de una verificación

$MF_{máx}$: Valor máximo del Factor del Medidor obtenido durante calibraciones o verificaciones.

$MF_{mín}$: Valor mínimo del Factor del Medidor obtenido durante calibraciones o verificaciones.

MFT: Medidor de Flujo Tipo Turbina.

OIML: Organización Internacional de Metrología Legal.

PCI: Plan Contra-incendio.

PDT: Plan De Trabajo.

R: Repetibilidad.

$R_{q_{máx}}$: Repetibilidad a flujo máximo de operación.

$R_{q_{med}}$: Repetibilidad a flujo medio de operación.

$R_{q_{mín}}$: Repetibilidad a flujo mínimo de operación.

RTD: Dispositivo Medidor de Temperatura. (Resistive Temperature Device).

V_{MFT} : Volumen medido por el medidor de flujo tipo turbina durante la calibración o verificación

V_{PM} : Volumen medido por el patrón de medición durante la calibración o verificación.

UCL: Unidad de Control Local.

$\bar{\Phi}$: Promedio de pulsos enviados por el MFT y registrados por la UCL.

Definiciones

Ajuste: Conjunto de operaciones realizadas sobre un sistema de medición para que proporcione indicaciones prescritas, correspondientes a valores dados de la magnitud a medir.

Autoconsumo: Consumo de productos derivados de hidrocarburos, petrolíferos y petroquímicos para satisfacer las necesidades propias para la operación de éste centro de trabajo.

Calibración: Operación de campo, que bajo condiciones especificadas, establece, en una primera etapa; una relación entre los valores y sus incertidumbres de medida asociadas obtenidas a partir de los patrones de medida y las correspondientes indicaciones con sus incertidumbres. En una segunda etapa; utiliza esta información para establecer una relación que permita obtener un resultado de medida a partir de una indicación.

Característica Metrológica: Propiedad distintiva la cual puede influir en los resultados de las mediciones.

Carta Control: Herramienta estadística empleada para el estudio de procesos a través del tiempo.

Categoría: Puesto de trabajo desempeñado por el personal de la Terminal.

Confirmación Metrológica: Conjunto de operaciones encaminadas para asegurar el uso previsto de los equipos de medición mediante el cumplimiento de los requerimientos metrológicos especificados. Generalmente incluye calibraciones, verificaciones y posibles ajustes o reparaciones, así como el sellado y etiquetado del equipo de medición.

Control Metrológico: Es el conjunto de actividades que se conducen para asegurar que los equipos de medición realizan su función de manera adecuada y siguiendo la normatividad y legislación correspondiente-

Proceso de Verificación: Operación de campo que consiste en la comparación directa de los valores de flujo volumen y temperatura del equipo de medición con el patrón de medición.

Error en la Medida: Diferencia entre un valor medido de una magnitud y un valor de referencia.

Error Máximo Permisible: Valor extremo del error de medida con respecto a un valor de referencia conocido; permitido por especificaciones o reglamentaciones para la medición.

Empaque: Volumen almacenado de Producto dentro de todos los segmentos tubulares de la Terminal.

Estabilidad: Se refiere a la consistencia del proceso con respecto a las características importantes del mismo, observado durante un lapso de tiempo.

Estación de Servicio: Establecimiento o puesto de venta en el que se suministra a vehículos automóviles gasolina o diésel automotriz.

Equipo de Medición: Instrumento o dispositivo de medición, software, patrón de medición, material de referencia o apartado auxiliar, o una combinación de estos, necesario para llevar a cabo un proceso de medición. Un ejemplo es un medidor de flujo tipo turbina.

Evaluación de consistencia: Conjunto de operaciones que permiten determinar cuáles son las características metrológicas que debe cumplir un equipo de medición para su uso provisto.

Exactitud de medida: Proximidad entre un valor medido y un valor de referencia conocido o “verdadero” de una medición.

Factor del Medidor (*meter factor*): Valor adimensional que relaciona el volumen medido por el patrón de medida respecto del valor registrado en la UCL de la nave de llenado.

Incertidumbre de Medida: Es un parámetro no negativo que caracteriza la dispersión de los valores atribuidos a una medición a partir de la información que se utiliza.

Linealidad: La linealidad indica si el sistema de medición tiene la misma exactitud para diferentes valores obtenidos a través de una referencia.

Nave de Llenado: Conjunto de componentes de seguridad, medición y telemedición que tiene por objetivo transmitir un volumen de combustible de estaciones de bombeo al tonel del autotanque.

Magnitud: Propiedad de un fenómeno físico, cuerpo o sustancia, que puede expresarse cuantitativamente mediante una referencia.

Medición: Proceso que consiste en la obtención experimental de uno o varios valores que pueden atribuirse a una magnitud a través de una referencia.

Medición Operacional: Cuantificación del volumen o masa y determinación de la calidad de los hidrocarburos durante los procesos de medición propios de la organización y que se hacen en campo sin propósitos de transferencia.

Metrología: Es la especialidad de la física que basa su estudio en la medición, sus aplicaciones e innovaciones.

Mecanismos de medición: Conjunto integrado de competencias técnicas, estándares normativos y regulatorios, procedimiento y sistemas de Medición, para la medición del volumen y la determinación de la calidad de los combustibles, tanto para la medición operacional como para la transferencia de custodia

Medidor de Flujo tipo Turbina: Equipo de medición mecánico que cuantifica el flujo volumétrico midiendo la velocidad del líquido que transita a través del mismo, realizando así el conteo del volumen desplazado,

No Conformidad: Requisito preestablecido no atendido o que en sus resultados presenta inconsistencias.

Órdenes de Carga: Emisión de transferencias de volumen de producto de naves de llenado al tonel de un autotanque.

Patrón de Medición: Patrón de medida o medidor maestro es el instrumento con el que se obtiene una magnitud dada, con un valor determinado y una incertidumbre asociada tomada como referencia y confirmada ante el centro nacional de metrología.

Precisión de medida: Proximidad entre las indicaciones o los valores medidos en mediciones repetidas de un mismo objeto, o de objetos similares, bajo condiciones específicas controladas.

Procedimiento metrológico: Conjunto de actividades desarrolladas y empleadas para la Confirmación Metrológica de los equipos de medición

Proceso de Medición: Conjunto de operaciones encaminadas a determinar el valor de una magnitud de un equipo de medición a través de la comparación directa con un equipo de referencia. .

Producto: Sustancia de trabajo en fase líquida que fluye a través oleoductos a tanques verticales, pasa por estaciones de bombeo y es entregada en naves de llenado. Puede ser diésel automotriz o gasolina de 87 o 92 octanos.

Rastreabilidad: Calidad de cualquier información, de que su contenido sea reconocido y correlacionado hacia otra información y equipos.

Repetibilidad: Característica metrológica que se refiere a la consistencia/variación entre los resultados obtenidos con un equipo de medición, causada por el dispositivo de medición.

Reproducibilidad: Característica metrológica que se refiere a la consistencia/variación entre los resultados obtenidos con un equipo de medición, causada por la diferencia entre los operadores. Por lo tanto se deben incluir mediciones en diferentes lugares, con diferentes operadores y en diferentes equipos de medición.

Requerimientos Metrológicos: También conocido como requisitos de desempeño; son las especificaciones particulares de los elementos de un mecanismo de medición que pueden influir en los resultados de una medición, tales como el intervalo nominal, clase de exactitud, estabilidad, incertidumbre en la medida, error máximo permisible, linealidad, resolución, reproducibilidad, repetibilidad y sensibilidad.

Resolución: Mínima variación de la magnitud de una medida que da lugar a una variación perceptible.

Sistema de Gestión de las Mediciones: Conjunto de procedimientos necesarios para lograr la confirmación metrológica de los equipos de medición, así como el control adecuado de los procesos de medición.

Sistema de Medición: Conjunto de equipos, instalaciones, sistemas informáticos (*software*) e instrumentos de medición destinados a la obtención del valor de una magnitud. Un ejemplo es una nave de llenado.

Terminal: También conocido como el centro de trabajo es la Terminal de Almacenamiento y Despacho Barranca del Muerto.

Tolerancia: Es el rango de error máximo permisible establecido. Es la diferencia entre el límite superior e inferior de error máximo permisible.

Transferencia de Custodia: Acción mediante la cual se traspasa hidrocarburo, petrolíferos o petroquímicos de un responsable de su custodia a otro.

Trazabilidad: Propiedad de un resultado de medición por la cual el mismo puede relacionarse con una referencia mediante una cadena continua y documentada de calibraciones.

Validación: Confirmación y provisión de evidencia objetiva de que se cumplen los requisitos para un uso o aplicación prevista.

Variable Aleatoria: Magnitud cuyos valores están determinados por las leyes de la probabilidad.

Ventana Operativa: Es el área existente entre los límites superior e inferior de alarma dentro de una carta control.

Verificación: Es la confirmación de que los resultados de medida cumplen o entran dentro del rango de uso adecuado de patrones de medición emitidos por el Centro Nacional de Metrología; es una aportación de evidencia de que un elemento satisface los requisitos preestablecidos.

Visita de Salvaguarda: Proceso sistemático y documentado para el monitoreo, evaluación del cumplimiento, prevención de riesgos, fortalecimiento del control interno e identificación de oportunidades para la mejora de cualquiera de los elementos influyentes en los mecanismos de medición.