

14

Fecha de presentación: septiembre, 2018

Fecha de aceptación: diciembre, 2018

Fecha de publicación: enero, 2019

EVALUACIÓN

DE LA INCERTIDUMBRE DE MEDICIÓN EN EL SISTEMA DE TRANSFERENCIA POR DUCTO REFINERÍA – TERMOELÉCTRICA CIENFUEGOS

EVALUATION OF UNCERTAINTY OF MEASUREMENT IN THE SYSTEM OF TRANSFER BY DUCT IN THE REFINERY - THERMOELECTRIC OF CIENFUEGOS

Aníbal Barrera García¹

E-mail: abarrera@ucf.edu.cu

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8952-4721>

Roberto Cespón Castro²

E-mail: rcespon@uclv.edu.cu

Michael Feitó Cespón³

E-mail: mfeito@ucf.edu.cu

¹Universidad de Cienfuegos. Cuba.

²Universidad Central Martha Abreu de Las Villas. Santa Clara. Cuba.

³Convenio Universidad de Cienfuegos- Universidad Metropolitana de Ecuador.

Cita sugerida (APA, sexta edición)

Barrera García, A., Cespón Castro, R., & Feitó Cespón, M. (2019). Evaluación de la incertidumbre de medición en el sistema de transferencia por ducto Refinería-Termoeléctrica Cienfuegos. *Universidad y Sociedad*, 11(1), 107-115. Recuperado de <http://rus.ucf.edu.cu/index.php/rus>

RESUMEN

La investigación se realizó en la Refinería de Cienfuegos, con el objetivo de evaluar la incertidumbre de medición en el sistema de medición fiscal y transferencia de custodia por ducto. Para el cumplimiento del mismo se utilizan entrevistas, observaciones directas, revisión de documentos, así como técnicas estadísticas matemáticas propias de este tipo de estudio, como son los métodos determinísticos de estadística clásica, combinación de incertidumbres con el método Bayesiano de soluciones analíticas (Ley de propagación de la incertidumbre), gráficos de control, entre otras. Como resultado se evalúa la incertidumbre de medición a partir de los elementos establecidos en la Guía para la Expresión de la Incertidumbre de Medida y la Norma Cubana– Guía 1066:2015 en el sistema de medición fiscal y transferencia de custodia objeto de análisis, se demuestra que el elemento primario instalado en el punto de entrega es estable en el tiempo y capaz de mantener sus características metrológicas, además de disminuir la incertidumbre de medida.

Palabras clave: Incertidumbre, transferencia, mediciones.

ABSTRACT

The research was carried out at the Cienfuegos Refinery, with the fundamental objective of evaluating the uncertainty of measurement in the fiscal measurement system and transfer of custody by pipeline. For its fulfillment, interviews, direct observations, review of documents, as well as mathematical statistical techniques of this type of study are used, such as the deterministic methods of classical statistics, combination of uncertainties with the Bayesian method of analytical solutions. (Law of propagation of uncertainty), control charts, among others. As fundamental results, the measurement uncertainty is evaluated based on the elements established in the Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement and the Cuban norm - Guide 1066: 2015 in the fiscal measurement system and custody transfer object of analysis, demonstrating that the primary element installed in the delivery point is stable over time and able to maintain its metrological characteristics, in addition to reduce the uncertainty of measurement.

Keywords: Uncertainty, transfer, measurements.

INTRODUCCIÓN

Es conocido el papel de las mediciones en cualquier proceso productivo o de servicios, en el comercio interior y exterior, en la protección del consumidor, en la defensa, en el control de inventarios y en la toma de decisiones trascendentales para la vida económica y social del país. De aquí la importancia de garantizar la exactitud de los instrumentos y los sistemas de medición, y sobre todo, de que los resultados de las mediciones, expresados en las unidades de medida del Sistema Internacional de Unidades, sean confiables, seguros, exactos y comparables (Reyes & Hernández, 2014).

Uno de los elementos que influyen en la calidad de las mediciones es la incertidumbre, definida por Cruz (2011); y Carvajal & Kottow (2012), como *“un parámetro asociado al resultado de una medición, que caracteriza la dispersión de los valores que pueden ser fundamentalmente atribuidos a un mensurando”*. Se reconoce que el resultado de la evaluación de la misma es parte esencial de cualquier análisis cuantitativo. Una forma de utilizar la estimación de la incertidumbre de la medición como una herramienta de evaluación crítica metrológica es la identificación de fuentes de incertidumbre en el resultado analítico, así como en la evaluación de la incertidumbre para mediciones repetidas (Cruz, 2011; Solaguren-Beascoa, Ortega & Serrano, 2013). Las decisiones pueden ser correctas o incorrectas y están influenciados por la incertidumbre de la medición.

Por la importancia y el papel que desempeña la metrología en el entorno empresarial, en el 2007 Cuba adopta la norma NC-ISO 10012 “Sistema de Gestión de las Mediciones. Requisitos para los procesos de medición y los equipos de medición”. Esta norma contiene requisitos para implantar un sistema de gestión de las mediciones, basado en el ciclo de mejora continua y un enfoque a procesos, lo que favorece su integración en el sistema de gestión global de las organizaciones para alcanzar los objetivos de la calidad del producto, así como para gestionar el riesgo de obtener resultados de mediciones incorrectas.

En la mayoría de las organizaciones la gestión metrológica se reduce a lo puramente operacional; es decir, a las calibraciones de los equipos y simplificado a los certificados de calibración; esto se conoce como la “confirmación metrológica” y se descuida el “proceso de medición”; es decir, la medición que realiza continuamente el personal de la empresa (Cedeño Tamayo, 2011).

Desde el año 2015 se encuentra vigente la NC 994 “Condiciones y requisitos técnicos para la medición fiscal y transferencia de custodia o propiedad de petróleo

y sus derivados”, la que posibilita ordenar y mejorar el control de la medición fiscal y transferencia de custodia y propiedad de los hidrocarburos líquidos. Esta norma debe ser aplicada en todos los puntos de transferencia de custodia o propiedad identificados como tales y en la medición fiscal realizada por las entidades autorizadas dentro del territorio nacional.

Por otro lado, se encuentra la Norma Cubana NC – Guía 1066: 2015 “Guía para la expresión de incertidumbre de medición” cuyo objetivo es establecer un procedimiento para evaluar y expresar la incertidumbre en una medición o en sistemas de medición.

Entre las organizaciones que han implementado estas normas se encuentra la Refinería de Cienfuegos, perteneciente al Ministerio de Energía y Minas (MINEM).

Sus producciones son comercializadas por diferentes puntos de medición y transferencia de custodia. La medición de volumen y flujo constituye la base del control de las operaciones de transferencia de custodia y de mediciones fiscales de la entidad. En las condiciones actuales se ha decidido acometer acciones para aumentar el control de los combustibles a través del mejoramiento de los niveles de exactitud de las operaciones de comercialización. Estas se concretan en la adquisición de tecnología de medición con su aseguramiento metrológico y la revisión de los procedimientos de trabajo, que implementen el correcto uso de esta tecnología para la obtención de los niveles de prestaciones referidos.

Por tanto, se define como objetivo de la investigación: evaluar la incertidumbre de medición en sistemas de medición fiscal y transferencia de custodia que posibilite garantizar calidad en la medición. Se obtuvo como resultado la evaluación y mejora de la incertidumbre en el sistema de medición seleccionado, así como la repetibilidad y estabilidad del instrumento primario utilizado, demostrándose que el mismo es estable en el tiempo y capaz de mantener sus características metrológicas.

DESARROLLO

Para el desarrollo de la investigación se propone utilizar el procedimiento que se muestra en la figura 1, este se organiza metodológicamente en cinco etapas y 16 pasos, además de las herramientas recomendadas para su ejecución. Para su elaboración se utilizaron criterios de diferentes autores (Gutiérrez Pulido & De la Vara Salazar, 2009; Reyes Ponce, et al., 2007; International Organization for Standardization, 2011; Gibbons, Kennedy, Burgess & Godfrey, 2012; Cuba. Oficina Nacional de Normalización, 2007, 2015; y Barrera, et al., 2017).

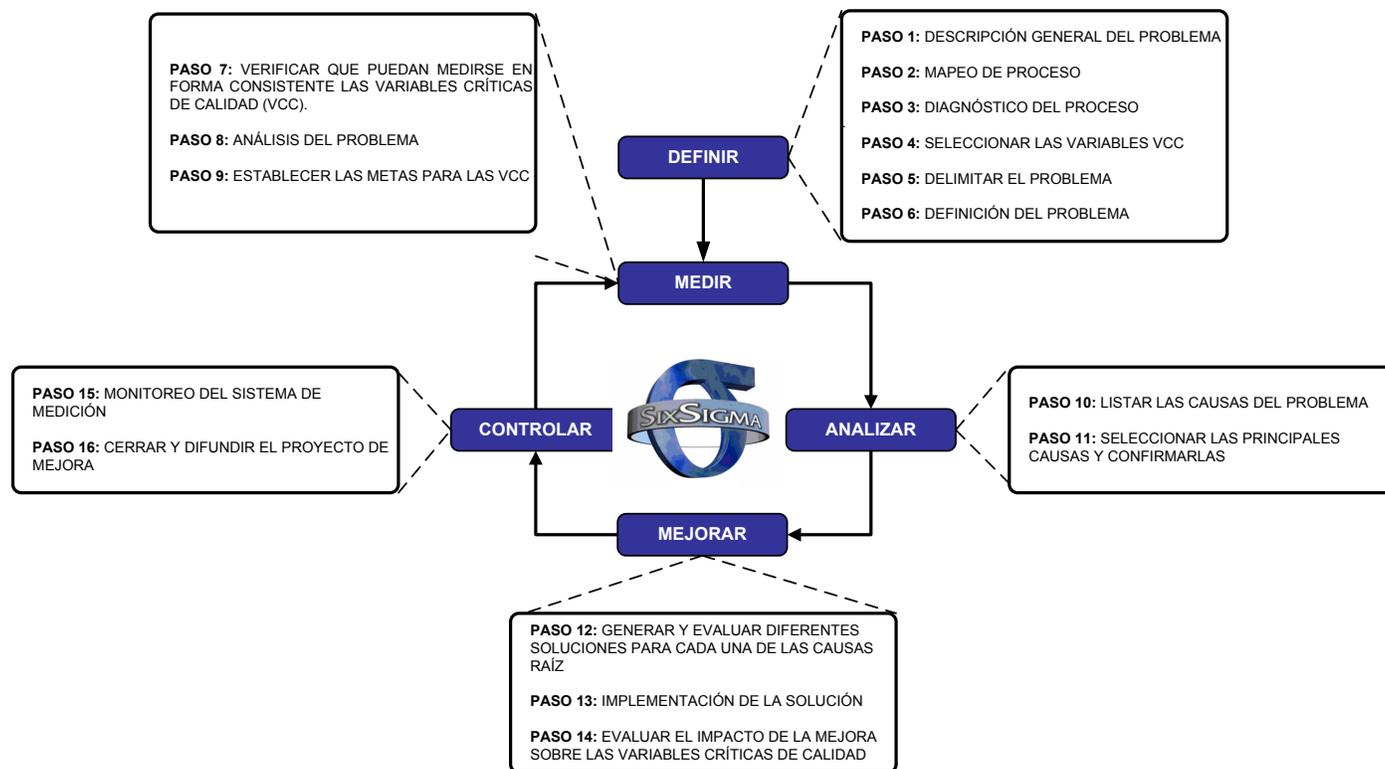


Figura 1. Procedimiento para la mejora de la gestión de las mediciones a partir de la utilización de la metodología Seis Sigma.

Para su aplicación se toma como objeto de estudio la Refinería de Petróleo de Cienfuegos, perteneciente al sector de la energía.

Etapa I: Definir

Paso 1: Descripción general del problema

La Refinería de Cienfuegos, cuenta con un sistema de gestión de calidad basado en la NC ISO 9001:2015 y posee certificación Lloyd Register. Este sistema se encuentra estrechamente interrelacionada con la norma NC ISO 10012: 2007, donde se exponen los requisitos relacionados con el análisis y mejora del sistema de gestión de las mediciones, siendo este requisito aplicado a cualquier sistema de gestión. Por tanto, los procesos de medición deben considerarse como procesos específicos, cuyo objetivo es apoyar la calidad de los productos elaborados por la organización, aspecto que no se evalúa en su totalidad en la organización.

Paso 2: Mapeo del proceso

El proceso de Instrumentación y Metrología, se encuentra subordinado a la Gerencia de Calidad y la Gerencia de Automática, Informática y Telecomunicaciones (AIT). Se cuenta con su diagrama de proceso y ficha correspondiente.

Paso 3: Diagnóstico del proceso

Se realiza la actualización de la legislación, normas cubanas y otras regulaciones de la Oficina Nacional de Normalización (ONN) y el Servicio Nacional de Metrología (SENAMET) relativas a la materia. Se elaboró un listado de referencia de acuerdo a lo establecido por el organismo rector y el título de las normas aplicables en la empresa. Se verificó la existencia o no de dichas regulaciones. De forma general la empresa dispone de la legislación emitida (resoluciones, normas, instrucciones, reglamentos, leyes, decretos y decretos leyes) en el país por organismos rectores como: Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente (CITMA), Ministerio de Energía y Minas (MINEM), Unión CUPET y otros.

Se aplicó la guía de cumplimiento de la NC ISO 10012: 2007, recogiendo los requisitos a cumplir por un sistema de gestión de mediciones y los documentos que dan respuesta a dichos requisitos. Esta es llenada de conjunto con el especialista en metrología y el equipo de trabajo, donde se evalúa el cumplimiento de cada uno de ellos. Como resultado se obtuvo que se incumple el 3%, dado por la ausencia de la evaluación de la incertidumbre en sistemas de medición, así como su registro.

Con respecto a los requisitos planteados en la NC 994:2015 se aplicó la guía elaborada a partir de la norma mencionada para la actividad de medición fiscal y transferencia de custodia. Como resultado se evidenció que el 96% de los requisitos que plantea la norma se cumplen en los diferentes puntos de medición fiscal y transferencia de custodia, ninguno de ellos se incumple, pero existe un 4% que solo se cumplen en parte, siendo estos:

- Existen puntos de medición fiscal que no cumplen en la totalidad los requerimientos para garantizar la calidad de las mediciones.
- No siempre se estima la incertidumbre de acuerdo con la Guía para la estimación de la incertidumbre en las mediciones (GUM) en algunos puntos.

En parte de los puntos existentes a pesar de cumplir la mayor parte de las exigencias de la NC 994:2015 y contar con tecnología de punta, se corre el riesgo que al intervenir diferentes instrumentos, procedimientos de trabajo y el factor humano, pueda existir imprecisiones durante el inventario y transferencia de custodia. Con respecto a la estimación de la incertidumbre, puntualmente para cada uno de los equipos aparece en el certificado de calibración/verificación, pero al tratarse de un sistema de medición intervienen un conjunto de instrumentos, software, entre otros, estando asociada varias fuentes de incertidumbre, desconociéndose ésta en aquellos casos donde no existe un instrumento primario en la entrega.

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

Para definir las variables críticas de calidad de mayor impacto a los clientes del proceso Instrumentación y Metrología, se realizó una sesión de trabajo con el especialista principal en metrología y personal de amplia experiencia en la temática. Luego de procesar los resultados obtenidos se propuso como variable crítica de calidad a estudiar: Calidad en la medición en puntos de transferencia de custodia.

Paso 5: Delimitar el problema

En la Refinería de Cienfuegos existen diversos productos que son comercializados por diferentes puntos de medición y transferencia de custodia. Se determinó por consenso centrar la investigación en el punto de transferencia por oleoductos.

Punto de transferencia por oleoductos (para la transferencia de fuel oíl) a la Central Termoeléctrica Carlos Manuel de Céspedes (CTE): En este intervienen tanques, cintas de sondeo y tablas de cubicación y corrección y flujómetro Coriolis.

En las condiciones actuales se ha decidido acometer acciones para aumentar el control de los combustibles a través del mejoramiento de los niveles de exactitud de las operaciones de comercialización. Estas se concretaron en la adquisición de tecnología de medición con su aseguramiento metrológico y la revisión de los procedimientos de trabajo, que implementen el correcto uso de esta tecnología para la obtención de los niveles de prestaciones referidos.

Por tanto, es necesario evaluar la calidad de las mediciones basada en la evaluación de la incertidumbre, repetibilidad, estabilidad, estado de la confirmación metrológica en los puntos de medición fiscal por vía terrestre para la entrega y comercialización de fuel oíl mediante el oleoducto.

Paso 6: Definición del problema

El fuel oíl es un producto que se transfiere por diferentes puntos de medición fiscal, realizándose por vía marítima y terrestre mediante mediciones directas e indirectas. Para garantizar la trazabilidad de las mediciones directas se adquirió una estación móvil con dos flujómetros patrones, garantizando su calibración en Holanda con fecha 2015/04/14 y con ellos se tiene que garantizar la verificación de los 20 flujómetros que están a la transferencia, por tanto, no se quiere correr el riesgo de contaminar (por incrustaciones) de fuel oíl los patrones y el sistema que luego imposibilite hacer los del Jet A1, debido a que dicho producto posee extremados requisitos de conformidad. Debido a esta situación se deben realizar estudios estadísticos que permitan comprobar y reconocer la repetibilidad del flujómetro Coriolis a la transferencia de fuel oíl a la Central Termoeléctrica.

Finalmente se seleccionó para el estudio la entrega de fuel oíl a la medición fiscal y transferencia de custodia por vía oleoducto hacia la Central Termoeléctrica "Carlos Manuel de Céspedes", siendo necesario validar la calidad de las mediciones en dicha operación a partir del cumplimiento de las exigencias de la NC 994:2015, específicamente los relacionados con la evaluación de la incertidumbre, repetibilidad, estabilidad y estado de la confirmación metrológica en este punto de medición.

Etapa II: Medir

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

En este sistema de medición intervienen una gama de instrumentos que responden a diferentes magnitudes tanto físicas como químicas. Es válido destacar que todos

estos instrumentos tienen aseguramiento metrológico en Cuba.

La investigación tiene como objeto de estudio el punto de entrega, siendo el flujómetro Coriolis el instrumento a analizar. A continuación se realiza el estudio para el flujómetro Coriolis J90D1702000 Endress+Hauser modelo PROMASS 84F 6'' con rango de 150 kg/min hasta 3000 kg/min, siendo utilizado para la entrega de fuel oil vía oleoducto a la Central Termoeléctrica.

Paso 8: Análisis del problema

Estabilidad

Para conocer la estabilidad del instrumento, es necesario delimitar datos históricos y analizarlos para la variable de salida, siendo esta el volumen de fuel oil medido por el flujómetro Coriolis objeto de análisis. Se tomaron datos en el período comprendido entre mayo de 2015 a febrero de 2016. Este proceso (entrega de fuel oil por vía oleoducto a la Central Termoeléctrica) genera datos diarios, que son conciliados por ambas partes.

Para estudiar la estabilidad del proceso se analizaron los datos en la misma carta de control y se identificaron los patrones especiales de variación, obteniendo conclusiones, además se calculó el índice de inestabilidad (St). En este caso se utilizó la carta EWMA, debido a que se generan pocos resultados por día. Luego se procedió a verificar si los datos siguen distribución normal, mostrándose la carta en la figura 2.

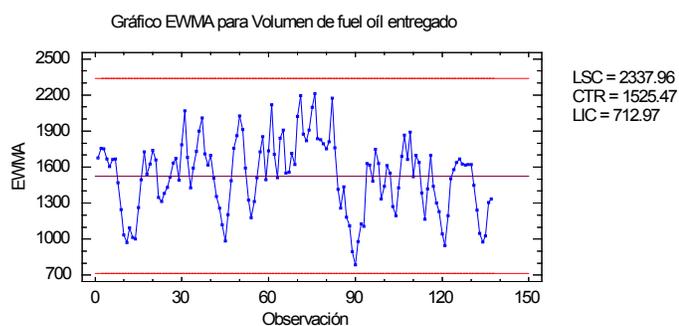


Figura 2. Carta EWMA para el volumen de fuel oil medido por el flujómetro Coriolis a la entrega vía oleoducto a la CTE de mayo de 2015 a febrero de 2016.

Se apreció que no hay tendencias, ni ningún otro patrón especial, ni puntos fuera de los límites de control. La estabilidad es buena (menor del 2%). Por tanto, el proceso ha estado funcionando de manera estable y se encuentra bajo control estadístico.

Repetibilidad

La repetibilidad se analizó como la variación asociada con las mediciones repetidas de dicho instrumento bajo

las mismas condiciones de régimen de bombeo, densidad, temperatura, tanque alineado, en un mismo período de tiempo, estableciéndose un intervalo de 1 minuto entre cada medición. Este contador de flujo posee un error máximo permisible (e.m.p) de +0,5% según lo establecido en la NC 994:2015 donde se especifica este error para la vía de comercialización de Ductos para los contadores instalados en la comercialización. La desviación estándar de la repetibilidad se refiere a la desviación estándar del error en el instrumento. Para un instrumento perfecto, todos los valores repetidos deben ser idénticos.

Se comenzó a realizar el estudio tomando seis mediciones del flujómetro cada 1 minuto bajo las condiciones especificadas en el punto de entrega. Se calculó si la cantidad de observaciones realizadas eran suficientes, siendo el número mínimo de mediciones para garantizar las condiciones del estudio ocho. Se decidió por parte del equipo de trabajo realizar un total de 15 mediciones, para obtener mejores resultados (tabla 1).

Tabla 1. Estudio de repetibilidad del flujómetro Coriolis.

Mediciones	Lectura (kg)	Temperatura (oC)	Densidad (kg/L)	Régimen de bombeo (m3/h)	Tanque alineado	Tiempo entre lecturas (min)
1	1213	69.8	0.9348	76.316	1033	1
2	1213	69.8	0.9348	76.375	1033	1
3	1213	69.7	0.9348	76.586	1033	1
4	1215	69.7	0.9349	77.013	1033	1
5	1215	69.7	0.9348	77.079	1033	1
6	1215	69.7	0.9348	77.139	1033	1
7	1216	69.7	0.9348	77.176	1033	1
8	1215	69.6	0.9348	77.100	1033	1
9	1213	69.5	0.9351	76.248	1033	1
10	1213	69.5	0.9350	76.871	1033	1
11	1215	69.5	0.9350	77.108	1033	1
12	1216	69.4	0.9352	77.372	1033	1
13	1215	69.4	0.9352	77.057	1033	1
14	1216	69.4	0.9351	77.165	1033	1
15	1213	69.4	0.9350	76.340	1033	1

El error de repetibilidad expresado en % se calculó por la fórmula:

$$\%E_{rep} = \frac{(Lectura_{mayor} - Lectura_{menor})}{Lectura_{menor}} \times 100(1)$$

$$\%E_{rep} = \frac{(1216 - 1213)}{1213} \times 100 = 0,25$$

El error de repetibilidad debe ser menor o igual que el error máximo permisible para el contador. Se calculó el error de repetibilidad del instrumento, siendo este de: %E_{rep} = 0,25%

Se comparó este valor con el error máximo permisible del equipo.

Del análisis anterior se concluyó que el instrumento objeto de análisis posee buena repetibilidad.

Incertidumbre de medida

$$\%Error_{Repetibilidad\ del\ equipo} \leq \%Error_{m\acute{a}ximo\ permisible\ del\ equipo}$$

$$0,25\% < 0,5\%$$

La evaluación de la incertidumbre se realizó teniendo en cuenta lo planteado en la "Guía para la Expresión de la Incertidumbre de Medida" (GUM) y la NC – Guía 1066: 2015.

Esta actividades realizada a partir de la medición de nivel por tanque, específicamente se toma el Tk-1031, utilizado para la transferencia de custodia por la vía oleoducto, comparando este valor con el medido por el flujómetro Coriolis instalado en el punto de recepción en la CTE.

Definición de las fuentes de incertidumbre

En el caso específico del inventario en tanques, se realiza la medición de nivel con cinta y plomada, teniendo

como objetivo obtener tanto el volumen contenido como el trasegado. Se debe tener en cuenta además el trasego del producto por el ducto, así como el instrumento de medición utilizado en la recepción. Para esta actividad se tuvo en cuenta los siguientes errores para calcular la incertidumbre estándar combinada:

- Medición del nivel con la cinta.
- Resultados de la calibración de los instrumentos.
- Resolución de los instrumentos.
- Incertidumbre del coeficiente de dilatación lineal térmica de la cinta.
- Incertidumbre en la expansión térmica del fluido.
- Incertidumbre de las tablas de corrección de volumen.
- Incertidumbre del llenado del ducto
- Incertidumbre del flujómetro Coriolis instalado en el punto de recepción de la CTE.

Existiendo en cada uno de ellos fuentes de incertidumbre. En la tabla 2 se muestra el resumen de los resultados obtenidos.

Tabla 2. Evaluación de la incertidumbre en el sistema de medición de entrega y recepción de fuel oil a la CTE.

Mensurando: Volumen		Valor	
Unidad de medida: L			
Fuentes de incertidumbre			
Lectura de la cinta	Error máximo permisible de la cinta	0,001963 m	0,002067 m 3377,47 L
	Calibración de la cinta	0,000035 m	
	Apreciación del observador	0,000577m	
	Resolución de la cinta	0,000288 m	
Coeficiente de dilatación térmica lineal de la cinta		$5,8 \times 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$	
Medición de la temperatura	Error máximo permisible del termómetro	0,866°C	1,0507 °C
	Resolución del termómetro	0,57735 °C	
	Calibración del termómetro	0,145 °C	
Coeficiente de dilatación térmica lineal del fuel oil		$5,8 \times 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$	
Expansión volumétrica		9934,33 L	
Calibración del tanque		4844 L	
Factor de corrección		0,023 %	
Llenado del ducto	Diámetro del ducto	0,0058m	1169,83L
	Espesor de la pared del ducto	0,00058m	
	Módulo de elasticidad de Young de las paredes del ducto	$1,7 \times 10^{-6} \text{ kPa}$	
	Coeficiente de dilatación lineal del material del ducto	$5,8 \times 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$	
	Densidad de referencia	$0,7 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$	
	Presión	28,30kPa	
	Temperatura	0,004 °C	
	Longitud	0,58m	
Flujómetro		1899,99L	
Incertidumbre combinada		11756,62L	
Factor de cobertura (k)		2	
Incertidumbre expandida		23513,24 L	

Al calcular la incertidumbre combinada del volumen estándar ($\mu_{c(VE)}$) en forma relativa es 0,48%, representando este valor el % de incertidumbre dentro del volumen medido en un momento dado en el tanque Tk-1031. Al buscar el nivel medido en la tabla de aforo del tanque, este representa 11306787 L, significando dicha incertidumbre un volumen de 11756,62 L. Este valor constituye el volumen que se puede perder en la medición fiscal y transferencia de custodia para el producto fuel oil.

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

Tomando en cuenta la situación para la variable crítica de calidad, se plantea la disminución de la incertidumbre para reducir el porcentaje de pérdidas en la organización.

Etapa III: Analizar las causas raíz

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

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

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

Preparación del diagrama causa-efecto: Se realizó el análisis de causa y efecto para determinar las causas posibles que influyen en la variación del sistema de medición en el ensayo seleccionado. Dicho diagrama se construyó en una sesión de tormenta de ideas.

Planteamiento de las hipótesis y verificación de las causas más probables: Se revisaron las causas posibles y se seleccionaron las más probables mediante una votación basada en la experiencia.

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

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

- Preparación del Diagrama Causa-Efecto: Se realizó el análisis de causa y efecto, determinando las causas posibles que influyen en la calidad de la medición en el punto de transferencia de custodia estudiado.

- Planteamiento de las hipótesis y verificación de las causas más probables: El equipo de mejora revisó las causas posibles y seleccionó las más probables mediante una votación basada en la experiencia.

Etapa IV: Mejorar

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

Con el fin de priorizar las oportunidades de mejora definidas en el paso anterior, se empleó el método Delphi, donde se ordenan descendientemente según su orden de prioridad.

Por consenso se decidió priorizar las dos primeras oportunidades de mejora, siendo:

- Utilización del flujómetro instalado en el punto de entrega situado en la Refinería de Petróleo.
- Verificación del flujómetro Coriolis a la transferencia de fuel oil producto a la CTE

Paso 13: Implementación de la solución

Para realizar la implementación de las soluciones se diseñaron los planes de acción correspondientes, haciendo uso de la técnica de las 5W2H (qué, quién, cómo, por qué, dónde, cuándo y cuánto). En dicho plan se refleja en qué consiste la propuesta, dónde se implementan, la forma en qué se va a realizar, las fechas para cada una, las personas responsables, entre otros.

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

Para la evaluación de la solución se comparó el estado del proceso antes y después de las acciones tomadas. Se ponen en práctica las medidas fundamentales plasmadas en el plan de mejora, siendo estas:

- Utilización del flujómetro instalado en el punto de entrega situado en la Refinería de Petróleo.

Se calculó nuevamente la incertidumbre en el sistema de medición, utilizando el instrumento mencionado. Para este análisis se definieron las fuentes de incertidumbre que intervienen al utilizar en la transferencia de custodia el flujómetro, siendo estas: Incertidumbre de los instrumentos; Incertidumbre de las tablas de corrección de volumen e Incertidumbre del trasiego por ducto.

En la tabla 3 se muestra la comparación de la incertidumbre de medida.

Tabla 3. Comparación de la incertidumbre de medida en la transferencia de custodia en el punto de entrega.

Producto	Tanque	Volumen físico	Incertidumbre sin elemento primario		Incertidumbre con elemento primario		Diferencia
			%	L	%	L	
Fuel Oil	1031	11306787L	0,48	11756,62	0,078	1899,9999	9856,62 L

Al comparar estos resultados con la situación actual, se evidenció disminución en la incertidumbre, siendo para este caso específico de 9856,62 litros. Con este análisis se comprobó la necesidad y justificación de las medidas propuestas.

Como resultado del estudio anterior se demostró que la venta a partir de verificar los niveles en tanque con cinta y plomada, presenta mayor incertidumbre de medición, siendo conveniente realizar dicha venta utilizando el flujómetro Coriolis, disminuyendo dicha incertidumbre en un 0,402%, contribuyendo a la mejora en la calidad de la medición en la transferencia, así como garantía en el inventario.

- Verificación del flujómetro Coriolis a la transferencia de fuel oil por ducto a la CTE

Este se verificó por la Oficina Territorial de Villa Clara utilizando la estación patrón Máster Meter No. D8092402000 y conforme a la NC 918:2012, amparada por el certificado No.75-35-01. Con esto se comprobó que dicho instrumento mantiene sus características metrológicas, demostrándose y validándose los resultados obtenidos en el estudio de repetibilidad y estabilidad realizado.

Etapa V: Controlar

Paso 15: Monitoreo del sistema de medición

Para realizar monitoreos en los sistemas de mediciones, se utilizan los estudios de estabilidad, en los que miden cada cierto intervalo de tiempo una variable, que en este caso es la entrega de fuel oil por ducto. Estos proveen información clave sobre el estado del proceso de medición. Para realizar el monitoreo, de igual manera se utilizó la carta EWMA, permitiendo obtener una visualización del comportamiento de las mediciones realizadas en la entrega de fuel oil durante el período comprendido de marzo a abril de 2016 (figura 3).

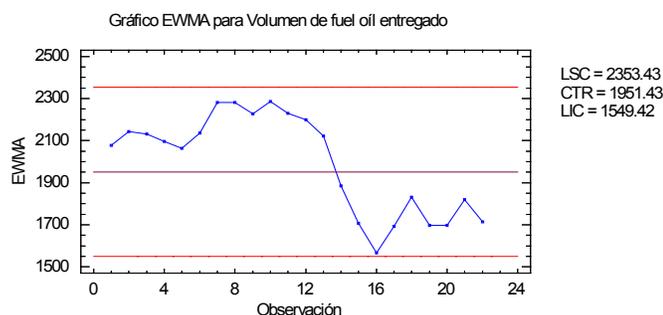


Figura 3. Carta EWMA para el volumen de fuel oil medido por el flujómetro Coriolis a la entrega vía oleoducto a la CTE de marzo a abril de 2016.

Se observó que el instrumento continúa funcionando de manera estable y se encuentra bajo control estadístico.

Paso 16: Cerrar y difundir el proyecto de mejora

El objetivo de este último paso es asegurarse que el proyecto de mejora es fuente de evidencia de logros, de aprendizaje y que sirva como herramienta de difusión. Se realizó una recopilación de los documentos utilizados en la investigación, quedando redactado un documento final, siendo depositado en la biblioteca de la organización para ser consultado por el personal interesado.

Se refleja en el mismo los principales logros alcanzados luego de poner en práctica las propuestas de mejora, así como los principales impactos, entre los que sobresalen:

- Verificación de los requisitos establecidos en la NC 994:2015 en el punto de medición fiscal y transferencia de custodia de entrega de fuel oil por ducto a la CTE.
- Estudio de repetibilidad y estabilidad del flujómetro Coriolis utilizado en la entrega de fuel oil por ducto a la CTE, demostrándose que el mismo es estable en el tiempo y capaz de mantener sus características metrológicas.
- Evaluación de la incertidumbre en la medición fiscal y transferencia de custodia en el punto seleccionado, a partir de lo establecido en la Guía para la expresión de incertidumbre de medición (Centro Español de Metrología, 2008) y la NC - Guía 1066:2015.
- Verificación del flujómetro Coriolis a la transferencia de fuel oil por ducto a la CTE utilizando la estación patrón Máster Meter y conforme a la NC 918:2012, comprobándose que dicho instrumento se encuentra apto para el uso y mantiene sus características metrológicas, demostrándose y validándose los resultados obtenidos en el estudio de repetibilidad y estabilidad realizado.
- Seguridad en la transferencia al evaluar la incertidumbre, teniendo instalado el elemento primario en el punto de medición fiscal analizado.

CONCLUSIONES

Se realizó un estudio de las características metrológicas del contador de flujo tipo Coriolis instalado en el punto de entrega de fuel oil por ducto a la Central Termoeléctrica, específicamente la estabilidad y repetibilidad, demostrando que sus valores son constantes en el tiempo, es capaz de repetir, siendo sus mediciones confiables.

Se evaluó la incertidumbre de medición en la entrega de fuel oil por ducto a la Central Termoeléctrica, mediante lo establecido en la Guía GUM y la NC - Guía 1066:2015, utilizando métodos determinísticos de estadística clásica

(frecuentista) y la combinación de incertidumbres con el método Bayesiano de soluciones analíticas (Ley de propagación de la incertidumbre), garantizando calidad en la medición.

Se propusieron un grupo de acciones encaminadas al tratamiento de las deficiencias detectadas durante el estudio, evaluándose parte de ellas, evidenciándose la necesidad de utilizar en la entrega el elemento primario instalado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barrera García, A., Hernández Santana, M., Martínez Hernández, T., Botana Beltrán, L., y Carrasco Padrón, O. (2017). Verificación de la características metrológicas de un contador de flujo Coriolis utilizado en transferencia fiscal. *Revista Ingeniería Investigación y Tecnología*, 18(4), 433-444. Recuperado de <http://www.scielo.org.mx/pdf/iit/v18n4/1405-7743-iit-18-04-00433.pdf>
- Carvajal, Y., & Kottow, M. (2012). Metrología de la incertidumbre: un estudio de las estadísticas vitales en Chile y Brasil. *Cad. Saúde Pública*, Rio de Janeiro, 28(11), 2063-2075. Recuperado de <http://www.scielo.br/pdf/csp/v28n11/06.pdf>
- Cedeño Tamayo, O. (2011). Introducción a la gestión metrológica. *Informador Técnico*, 75, 47-52. Recuperado de http://revistas.sena.edu.co/index.php/inf_tec/article/view/19
- Cruz de Oliveira, E. (2011). Critica metrological evaluation of fuel analyses by measurement uncertainty. *Metrology and Measurement Systems*, 18(2), 235-248. Recuperado de <https://content.sciendo.com/abstract/journals/mms/18/2/article-p235.xml>
- Cuba. Oficina Nacional de Normalización. (2007). *Sistemas de gestión de las mediciones. Requisitos para los procesos de medición y los equipos de medición*. La Habana: ONN.
- Cuba. Oficina Nacional de Normalización. (2012). *Metros contadores para líquidos diferentes del agua. Métodos y equipos para la verificación*. La Habana: ONN.
- Cuba. Oficina Nacional de Normalización. (2015a). *Condiciones y requisitos técnicos para la medición fiscal y transferencia de custodia o propiedad de petróleo y sus derivados*. La Habana: ONN.
- Cuba. Oficina Nacional de Normalización. (2015b). *Sistemas de gestión de la calidad. Requisitos*. La Habana: ONN.
- España. Centro Español de Metrología. (2008). *Guía para la expresión de incertidumbre de medición*. Madrid: Centro Español de Metrología.
- Gibbons, P. M., Kennedy, C., Burgess, S., & Godfrey, P. (2012). The development of a value improvement model for repetitive processes (VIM). *International Journal of Lean Six Sigma*, 3(4), 315-338. Recuperado de <https://www.emeraldinsight.com/doi/abs/10.1108/20401461211284770>
- Gutiérrez Pulido, H., & de la Vara Salazar, R. (2009). *Control Estadístico de la Calidad y Seis Sigma*. México: McGraw-Hill.
- International Organization for Standardization. (2011). *Quantitative methods in process improvement*. Six Sigma. Ginebra: ISO.
- Pacheco González, V. (2008). *Procedimiento de aforo y cálculo de incertidumbre en tanques horizontales de cabezas planas, inclinados y con centros de medición desplazados*. Tesis de Maestría. Cienfuegos: Universidad de Cienfuegos.
- Reyes Ponce, Y., Hernández Leonard, A. R., & Hernández Ruíz, A. D. (2013). *Metrología para la Vida*. La Habana: Científico-Técnica. Cincuenta años de aseguramiento metrológico a la economía cubana: Instituto Nacional de Investigaciones en Metrología. *Anales de la Academia de Ciencias de Cuba*, 3(2). Recuperado de <http://www.revistaccuba.cu/index.php/revacc/article/view/81>
- Solaguren-Beascoa Fernández, M., Ortega López, V., & Serrano López, R. (2013). *ertainty evaluation for repeated measurements*. *MAPAN-Journal of Metrology Society of India*, 29(21), 19-28. Recuperado de <http://metrologyindia.org/29a/Paper%203.pdf>