

Artículo Original

***METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DEL TRASIEGO
EFICIENTE DE COMBUSTIBLES***

METHODOLOGY FOR EVALUATING FUELS TRANSFER EFFICIENTLY

Yudiersi Sánchez Ramírez¹ <https://orcid.org/0000-0001-7657-1406>

Yanet Marquez Marrero¹ <https://orcid.org/0000-0001-5251-9427>

Martha Faustina Nápoles García^{2*} <https://orcid.org/0000-0002-9280-510X>

María de Lourdes de la Cruz Aragoneses² <https://orcid.org/0000-0003-3755-3787>

¹ UEB División Territorial de Combustibles Camagüey. Carretera central este km 4½, el avenida B y calle C, Reparto Alturas de Jayamá, Camagüey, Cuba.

² Facultad de Ciencias Aplicadas. Universidad "Ignacio Agramonte Loynaz", Camagüey. Carretera Circunvalación Norte km 5½, Camagüey, Cuba.

Recibido: Noviembre 27, 2021; Revisado: Diciembre 22, 2021; Aceptado: Enero 3, 2022

RESUMEN

Introducción:

La custodia y control del trasiego de los diferentes combustibles ha sido siempre de interés para las comercializadoras, incluyendo el proceso de medición donde se esperan obtener resultados con el menor error posible, por tanto la consideración de la incertidumbre, de conjunto con las técnicas para el control de la calidad juegan un papel primordial.

Objetivo:

Evaluar el proceso de recepción, almacenamiento y entrega de combustibles a través de la propuesta de una metodología que garantice su eficiencia, con el uso de herramientas del control de la calidad y del análisis de la trazabilidad y la incertidumbre.

Materiales y Métodos:

Tomando como ejemplo el trasiego del gas licuado de petróleo (GLP) en una unidad de base, utilizando el diagrama causa-efecto, el análisis de Pareto, las cartas de control y la estimación de la incertidumbre con el análisis de la trazabilidad del proceso, se realiza el balance de combustible.

Resultados y Discusión:

Existen fallos en la cadena de trasiego, por el uso de instrumentos inadecuados que provocan inestabilidad en el proceso de medición. Se define un nuevo índice de



Este es un artículo de acceso abierto bajo una Licencia *Creative Commons* Atribución-No Comercial 4.0 Internacional, lo que permite copiar, distribuir, exhibir y representar la obra y hacer obras derivadas para fines no comerciales.

* Autor para la correspondencia: Martha F. Nápoles, Email: martha.napoles@reduc.edu.cu



pérdidas-ganancias con la metodología propuesta, que garantiza reducir las pérdidas desde \$ 24 887,2 (53 208 L de GLP) a cero.

Conclusiones:

El nuevo valor del índice de pérdida-ganancia, permite obtener resultados lógicos, reduciendo totalmente el incumplimiento del depósito.

Palabras clave: cartas de control; combustibles; incertidumbre; índice de pérdida-ganancia.

ABSTRACT

Introduction:

Guarding and controlling the transfer of different fuels has always been of interest to marketers, with the measurement process involved, where it is expected to obtain results with the least possible error. Therefore the consideration of uncertainty, in conjunction with the techniques for quality control play an essential role.

Objective:

To evaluate the process of reception, storage and delivery of fuels through the proposal of a methodology that guarantees its efficiency with the use of quality control tools and the traceability and uncertainty analysis.

Materials and Methods:

Taking as an example the transfer of liquefied petroleum gas (LPG) in a base unit, using the cause-effect diagram, Pareto analysis, control charts and the estimation of uncertainty with the analysis of the traceability of the process, the fuel balance is performed for obtaining the profit-loss ratio.

Results and Discussion:

There are failures in the transfer chain because of using inadequate instruments that cause instability in measurement. A new profit-loss ratio is defined with the proposed methodology that guarantee reducing losses from \$ 24 887.2 (53 208 L of LPG) to zero.

Conclusions:

The new value of the profit-loss ratio allows obtaining logical results, totally reducing the non-completion of the deposit.

Keywords: control charts; fuels; uncertainty; profit-loss ratio.

1. INTRODUCCIÓN

La cadena comercial de combustibles consta de diferentes actividades. Para el GLP son la gran comercialización, la comercialización mayorista y distribución y el consumidor final, que puede ser del sector estatal o el privado. La cadena se inicia con la importación o con su producción en refinerías. Los sistemas de medición que se utilizan en las diferentes terminales dependen de la cantidad que se trasiega, utilizándose desde medidores máxicos en los puertos hasta turbinas y probadores lineales en terminales donde no haya almacenamiento Muñoz (2006), González (2015), (Gutiérrez e Iturralde, 2017), (La guía del ingeniero para la medición de tanques, 2021). Se da el caso del uso, no recomendado, de indicadores de nivel como el Rotogage, ante la dificultad de

adquirir los mencionados anteriormente (Lora y Sánchez, 2016).

Dentro de las características estáticas de estos instrumentos se presta atención especial a la repetitividad, porque de ello depende la exactitud de la medición. Se presta igual atención a la densidad y a la viscosidad, que guardan gran relación con el error del instrumento. Otro aspecto importante está relacionado con los métodos de calibración, que pueden ser estáticos y dinámicos, que estarán relacionados a su vez, con el tipo de instrumento de medición (Sierra y Covelli, 2014).

La trazabilidad, es la propiedad del resultado de una medición o del valor de un patrón que puede relacionarse con diferencias determinadas por patrones nacionales o internacionales. Es una cadena ininterrumpida de comparaciones, teniendo todas las incertidumbres determinadas, que garantiza buena parte de la calidad asociada al proceso. Es un atributo del resultado que entrega un instrumento o un sistema de medición Muñoz (2006).

Existen muchos factores que técnicamente pueden afectar los balances en los puntos de transferencia de custodia del combustible a lo largo de toda la cadena de distribución. Por eso es tan necesario el uso adecuado de los instrumentos y del balance operativo. Muñoz (2006).

En el ámbito contable, una merma es la diferencia entre la cantidad reflejada en la contabilidad y las existencias reales que hay en el almacén de la compañía. Son inevitables y tienen una relación directa con el proceso productivo o de comercialización, dependiendo principalmente de las características del material comercializado. Para este tipo de merma las empresas industriales fijan porcentajes de pérdidas que serán aplicadas al costo de los procesos, en proporción al volumen de producción Pacheco (2009), Velarde (2015), Sánchez (2019).

Por otra parte, en el sistema de control de la calidad de los procesos, existen varias técnicas que ayudan al entendimiento y la focalización de los problemas que provocan las inconformidades de los clientes. Pueden determinarse también las pérdidas económicas y ambientales, así como a definir una prioridad para la solución de los problemas detectados y las posibles causas de estos. Se utilizan entre otras técnicas el diagrama causa-efecto, el diagrama de Pareto y las cartas de control (Mustafá y col., 2002), (Mosquera y col., 2006), (Gutiérrez y de la Vara, 2004).

En este trabajo se toma como ejemplo el caso del combustible GLP para ofrecer una metodología de estimación del balance operativo cuando se presentan diferentes dificultades que conducen a resultados ilógicos o inconsistencias. Entre estas pueden encontrarse: existen aparentes faltantes o sobrantes de producto e inconsistencias al momento de comprobar inventarios físicos, especialmente si han existido operaciones de trasvase en una planta envasadora, existen dificultades tanto con la disponibilidad de los instrumentos adecuados como con el control del proceso de medición. Sumado a lo anterior se tiene el hecho de no estimar la incertidumbre ni analizar la trazabilidad de la medición (Lora y Sánchez, 2016), (González y col., 2018) tomando en cuenta lo normado (ANSI/API MPMS 14.8, 2004).

El objetivo del presente trabajo es evaluar el proceso de recepción, almacenamiento y entrega de combustibles a través de la propuesta de una metodología que garantice su eficiencia con el uso de herramientas del control de la calidad y del análisis de la trazabilidad y la incertidumbre.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se describen los procedimientos de la metodología que se propone para la evaluación del proceso de trasiego que garantice su realización con calidad. La misma consta de tres etapas fundamentales, que se analizan posteriormente:

1. Realizar experimentos con la valoración de la instrumentación, analizando la trazabilidad y la calibración de los instrumentos.
2. Analizar la calidad del proceso de medición, con las herramientas del control de la calidad.
3. Desarrollar el balance operativo estimando la incertidumbre de las mediciones, para adecuar el índice de pérdidas y ganancias.

2.1 Etapa 1: experimentación y valoración de las condiciones reales del proceso de medición analizando la trazabilidad y la calibración

Se obtienen datos por dos vías, medidos directamente en la planta y otros tomados de los registros del área de operaciones para obtener muestras representativas.

Los pasos que organizan la determinación de la trazabilidad, a partir de que la carga de GLP llega a la planta, hasta que se despacha a los clientes son los siguientes:

1. Se determina la calidad de la medición según el error que se comete:

Se utiliza el error absoluto máximo de los datos del instrumento $|a_{max}|$, la clase de exactitud CE y la amplitud A.

$$CE = \frac{|a_{max}|}{A \cdot 100}, \quad \text{por tanto } |a_{max}| = \frac{CE \cdot A}{100} \quad (1)$$

Con la ecuación (2) se determina el error absoluto máximo para los datos que da el fabricante y se compara con el valor que da el certificado de calibración.

$$|a_{cal}| \leq |a_{fab}| \quad (2)$$

Donde: $|a_{cal}|$ error absoluto máximo calculado y $|a_{fab}|$ error absoluto máximo del fabricante.

2. Se verifica la calidad de la información medida:

A través de la estadística descriptiva determinada para cada variable, se analiza el coeficiente de variación, que debe ser menor que 10 % para todas las variables involucradas en la medición del volumen, según las características de este proceso como se indica en (ANSI/API MPMS 14.8, 2004), durante el recibo y almacenaje.

3. Se determina la calidad de la calibración, pero desde el almacén al cliente, repitiendo los pasos 1 y 2, para la balanza, que es el instrumento utilizado en esta etapa final de la cadena comercializadora.
4. Se analizan los resultados a partir de la información de los instrumentos, sus propiedades como rango, amplitud y la clase de exactitud, concluyendo sobre la calidad de la trazabilidad de este proceso.

2.2 Etapa 2: pasos para el análisis de la calidad del proceso

Durante la investigación para el análisis de la calidad del proceso de recepción, almacenamiento y entrega del GLP se emplearon la estadística descriptiva para analizar la capacidad del proceso en cumplir las especificaciones normadas. Como herramientas del control de la calidad del proceso se utilizan el diagrama causa-efecto, el análisis de

Pareto y las cartas de control. Se detectan los factores que se relacionan con el problema de las pérdidas o ganancias del GLP fuera del rango permisible, se identifican los factores que más influyen sobre el efecto y se analiza la estabilidad estadística del proceso.

2.3 Etapa 3: pasos para la ejecución del balance operativo estimando la incertidumbre de las mediciones

El balance operativo de GLP se realiza diariamente, determinando el inventario físico. Se compara el inventario final calculado (inventario teórico), a partir de las entradas y salidas, con el inventario final existente físico (inventario físico), que es medido de forma directa. La diferencia entre ellos define las pérdidas, cuando el inventario teórico sea mayor que el físico y las ganancias cuando se obtiene el efecto contrario.

Los siguientes pasos resumen cómo proceder:

1. Se realiza la medición de GLP, en todos los tanques a presión, midiendo la temperatura, la presión y el nivel del GLP.
2. Se calcula el inventario teórico, tomando como base la información registrada en los modelos operacionales, según:

$$\text{Inventario teórico} = \text{Inventario inicial} + \text{Entradas} - \text{Salidas} \quad (3)$$

3. Se determinan las pérdidas o ganancias entre el inventario teórico y el inventario físico

$$\text{Diferencia} = \text{Inventario teórico} - \text{Inventario físico} \quad (4)$$

4. Se compara la diferencia, que corresponden a pérdidas o ganancias con el valor permisible, que se calcula por la siguiente ecuación

$$\text{ValorPG} = (\text{IE} \cdot \text{VMA})/100 \quad (5)$$

Donde: ValorPG es el valor de pérdidas o ganancias que se obtiene para comparar con el resultado del balance operativo diario (L), IE es el índice de pérdidas establecido (%), VMA es el volumen manipulado acumulado (L).

Ese índice debe chequearse periódicamente con la estimación de la incertidumbre de las mediciones.

2.3.1 Pasos para la estimación de la incertidumbre

El sistema de medición se selecciona siguiendo lo recomendado por (Nápoles, 2004), (Barrera y col., 2019).

1. Definición del modelo para el cálculo de la incertidumbre

Las variables Xi son los estimados de entrada que se definen como:

X₁ - temperatura del GLP en el momento de la medición, expresado en °C.

X₂ - nivel de ocupación del líquido, expresado en %.

La Y, que es la variable a medir es el volumen, que debe ser expresado en L.

2. Cálculo de la incertidumbre:

Incertidumbre de tipo A: desviación estándar de las variables al realizar dos o tres mediciones. Incertidumbre de tipo B: se toma de certificados de calibración. De no existir estos, se toma el 10 % del valor medio de las variables.

3. Cálculo de la incertidumbre estándar de cada variable:

$$U(X_i) = UA(X_i) + UB(X_i) \quad (6)$$

Donde $U(X_i)$ es la incertidumbre estándar de la variable i , $UA(X_i)$ es la incertidumbre de tipo A de la variable i y $UB(X_i)$ es la incertidumbre de tipo B de la variable i .

4. Cálculo de la incertidumbre estándar combinada:

Todas las incertidumbres estándares de cada variable deben expresarse en las mismas unidades, en correspondencia con las unidades de la variable de salida Y , que inicialmente se expresa en %. A partir de la información del termómetro se estimó la siguiente ecuación para expresar la temperatura de °C a %.

$$T\% = 1,668T - 0,00044 \quad (7)$$

Donde $T\%$ es la temperatura, expresada en % de la escala del termómetro y T es la temperatura medida, expresada en °C.

El Rotogage posee su escala en %, por lo que esa medición de volumen que se obtiene está directamente expresada en dicha unidad. Para expresar el volumen en L, se utilizan los valores de conversión dados en el instrumento y se obtuvo la siguiente ecuación:

$$VL = 2075,11V\% - 1256,27 \quad (8)$$

Donde VL - volumen determinado en litros y $V\%$ - volumen determinado en %.

Así, la incertidumbre estándar combinada se determinará por la siguiente ecuación, siguiendo la regla simple de propagación de la incertidumbre, dado que la temperatura y el nivel al ser medidos son variables que no se correlacionan entre sí:

$$U_Y = \sqrt{((U_{X_1})^2 + (U_{X_2})^2)} \quad (9)$$

Incertidumbre expandida:

$$UE = K \cdot U_Y \quad (10)$$

Donde U_y es la incertidumbre estándar combinada, UE es la incertidumbre expandida y $K=2$ es el factor de cobertura. Finalmente la medición se expresa como:

$$Y = Y \pm UE_Y \quad (11)$$

Todos los cálculos se programaron en *Microsoft Excel*.

La figura 1 muestra un diagrama de la metodología elaborada.

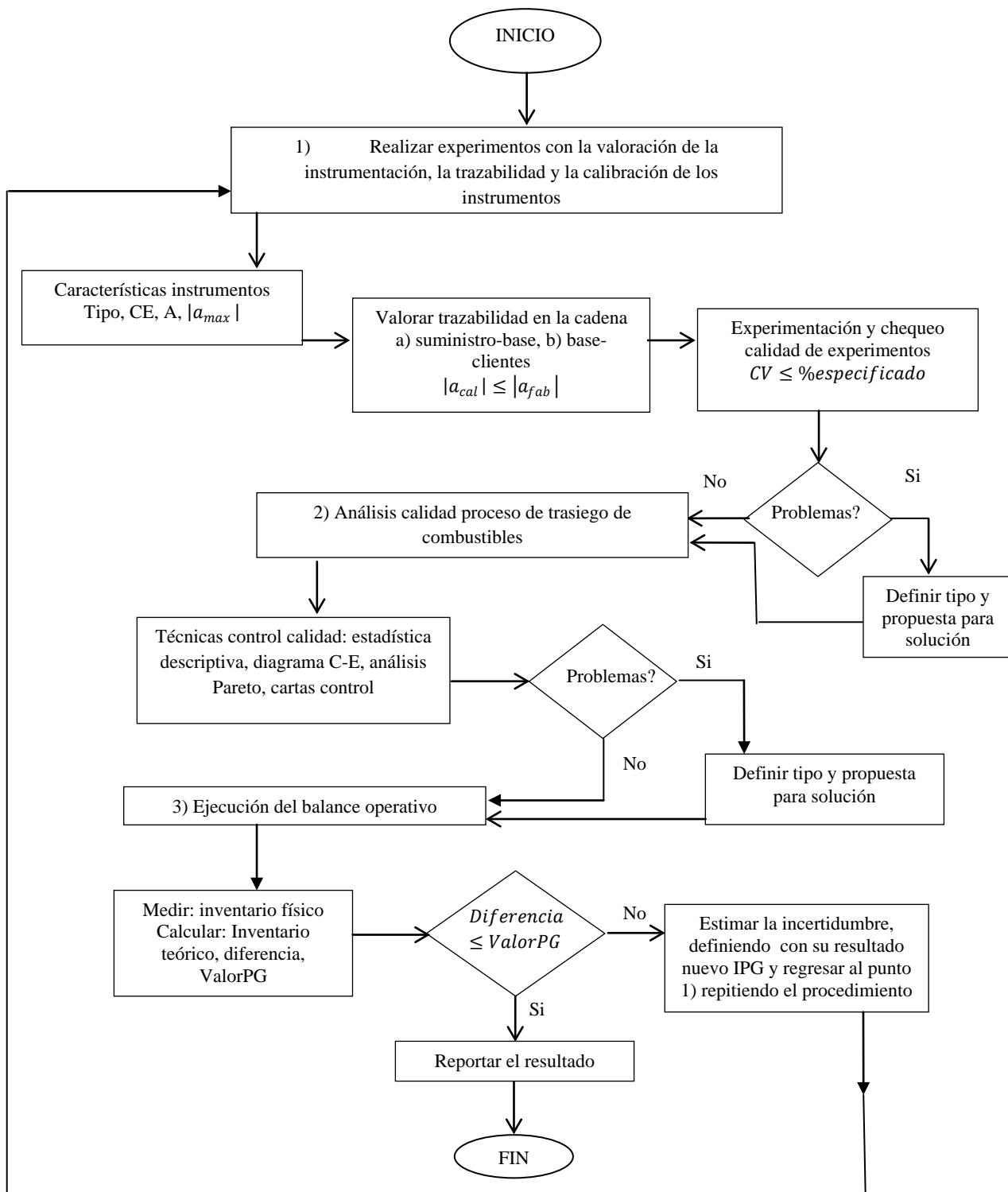


Figura 1. Diagrama de la metodología propuesta

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Análisis de la experimentación y valoración de las condiciones reales del proceso de medición: trazabilidad y calibración

3.1.1 Resultados de los experimentos, la trazabilidad y la calibración

Se detectó que sólo pueden medirse la presión, la temperatura y el nivel. Además, según la definición de trazabilidad se pueden denotar como fallas las siguientes: no todos los

instrumentos son calibrados, no se utilizan los instrumentos adecuados. Se observa que para el termómetro, manómetro y balanza, el rango de los tres es mayor que lo necesario. Ese aspecto puede influir en el análisis de la calibración y en el error de la medición. El indicador de nivel Rotogage no se utiliza en el mundo para la medición de GLP por la gran incertidumbre asociada a su medición y no se calibra en ningún momento. No se dispone de instrumento para determinar las concentraciones de propano y butano, trabajándose solamente con los valores que da el certificado de calidad del barco y no se dispone de hidrómetro para la determinación de la densidad (tabla 1).

Tabla 1. Datos de los instrumentos para el análisis de la calibración

<i>Datos</i>	<i>Instrumentos de medición empleados</i>			
	<i>Termómetro (°C)</i>	<i>Manómetro (kg/cm²)</i>	<i>Indicador de nivel (%)</i>	<i>Balanza (kg)</i>
Rango	0-60	0-25	0-100	0-120
Amplitud	60	25	100	120
Clase de exactitud (CE)	1	2	1 y 2	0,5
a certificado calibración	2	0,5	1% (0-20 y de 80-100), 2% (20-80)	0,5
Tipo de error	Lineal			

3.1.2. Análisis de la calibración

Se analiza la calibración y su influencia en la trazabilidad. En la tabla 1 se aprecia que el termómetro, el manómetro y la balanza tienen un rango y amplitud muy elevados para los valores a medir, que son temperatura ambiente (no superior a 40 °C), presión en los tanques (inferior a 10 kg/cm²) y peso de los cilindros (inferior 10 kg), lo que afecta el error de la medición, según se constata en la ecuación 1, debido a que mientras mayor es la amplitud, este aumenta Muñoz (2006), Creus (2011), González (2015).

En la tabla 2 se observa que el termómetro incumple la condición de la calibración, siendo necesario corregir este aspecto.

Tabla 2. Resultados del análisis de la calibración

<i>Instrumentos</i>	<i> a fabricante</i>		<i> a calibración</i>	<i>Condición a cumplir</i>	<i>Observaciones</i>
Termómetro	0,6		2	$ a _{fab} \geq a _{cal}$	No cumple
Manómetro	0,5		0,5		Cumple
Indicador de nivel (izquierda)	0,2	Promedio 0,7	1		No cumple
Indicador de nivel (derecha)	1,2				No cumple
Balanza	0,6		0,5		Cumple

Para el indicador de nivel, la comparación se debe realizar al promedio de las lecturas izquierda y derecha, que es: $promedio = \frac{0,2+1,2}{2} = 0,7$, siendo este resultado menor

también, lo que significa que en el sistema hay una falla en la trazabilidad, que afecta a la calidad del proceso de medición, debiéndose utilizar los instrumentos adecuados, con rangos y amplitudes correctos (Gutiérrez e Iturralde, 2017).

3.1.3. Análisis de la calidad del proceso de medición

En la figura 2a) se muestra el diagrama causa - efecto y se observa que el problema detectado referente a las pérdidas o ganancias de GLP está relacionado con la calidad de la materia prima (composición de propano y butano), el método de trabajo por el control del inventario (no se analiza la trazabilidad, no se incluye la estimación de la incertidumbre y no se utiliza el instrumento adecuado).

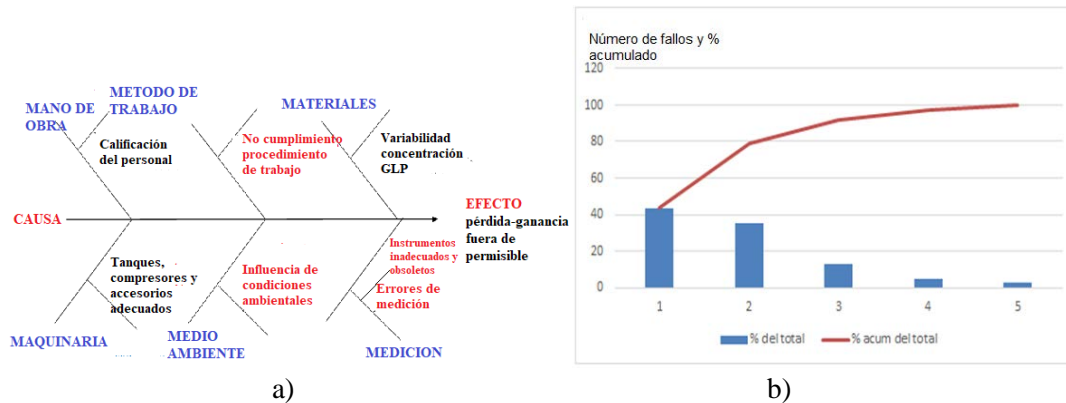


Figura 2. a) Diagrama causa-efecto. b) Diagrama de Pareto

Leyenda: 1 nivel fuera de rango, 2 temperatura fuera de rango, 3 variación de la concentración, 4 presiones fuera de parámetro y 5 retraso en la recepción

Los factores nivel y temperatura fuera de rango fueron los más influyentes sobre los que se debe centrar el estudio (figura 2b). La tabla 3 muestra el resumen de los resultados para las cartas. En el comportamiento de la temperatura y la presión se reporta que hay un patrón repetido en ciclos, debiéndose a cambios periódicos del ambiente. Esto implica variaciones en el volumen dentro del tanque que falsean las mediciones, que al estimar la incertidumbre queda considerado.

Tabla 3. Resumen del análisis de la estabilidad del proceso a través de las cartas de control

<i>Variable X</i>	<i>X</i>	<i>RM(X)</i>	<i>Valores según procedimiento</i>	<i>Observación</i>
Temperatura (°C)	FR	FR	DCA	Ciclos
Presión (kg/cm ²)	FR	FR	5 a 8	Ciclos
Composición propano (%)	Ok	FR	38-42	Tendencia ascendente
Nivel (%)	Ok	Ok	20-85	Cambio repentino en el promedio

Leyenda: FR- fuera de rango, RM- rango móvil, DCA- depende de condiciones ambientales

Para la composición de propano, se observa una tendencia ascendente en las primeras observaciones, que es el resultado de alguna causa que afecta en forma gradual las características de calidad del producto. El cambio repentino en el promedio para el

nivel, se debe a modificaciones en el método de inspección, o a una mayor o menor atención en la inspección o a que el proceso, en este caso de medición haya mejorado o empeorado (Mustafá y col., 2002), (Mosquera y col., 2006), Cortés (2013).

3.2. Análisis del procedimiento para la ejecución del balance operativo con y sin la estimación de la incertidumbre de las mediciones

La incertidumbre de la medición estimada para el estudio se encuentra en la tabla 4, donde sólo se muestran 4 días de los 27 en el mes que son analizados, siendo estos valores representativos del comportamiento general en el mes. El primer día la medición del volumen se aprecia que la incertidumbre se encuentra en el intervalo desde 48 221,8 hasta 97 711,4 L, siendo extremadamente grande e ilógico, al igual que los otros 3, lo que indica la gran incertidumbre que hay en esta medición al utilizar el indicador de nivel Rotogage. De este resultado se infiere que el índice de ganancias y pérdidas existente de 0,06 % es demasiado pequeño, por lo que a partir de estos resultados se ajustó el valor a 0,25 %, tomando en cuenta que en el mundo del trasiego del GLP, existen pérdidas o mermas inevitables, Pacheco (2009), (Córdova y Yataco, 2019) estando consideradas en valores de hasta un 5 % en toda la cadena, según reportan dichos autores, utilizando la instrumentación adecuada.

Tabla 4. Ejemplo de valores de incertidumbre estimados

<i>Día</i>	<i>Uvol (L)</i>	<i>Medición volumen (L)</i>	<i>Límite inferior (L)</i>	<i>Límite superior (L)</i>	<i>Longitud intervalo</i>
1	24 744,8	72 966,6	48 221,8	97 711,4	49489,6
2	41 366,35	131 745,3	90 378,9	173 111,6	82732,7
3	35 426,84	81 074	45 647,16	116 500,8	70853,64
4	47 165,43	147 960,1	100 794,6	195 125,5	94330,9

Leyenda: Uvol- incertidumbre estimada para la medición del volumen en el día.

En la figura 3 se puede apreciar el resultado comparativo de los límites obtenidos para las pérdidas y ganancias permitidas con ambos índices. En el caso del índice menor para el mes analizado se obtuvieron incumplimientos con respecto a lo permitido en 15 días, tanto con pérdidas como con ganancias, con valores no lógicos como ya se refirió. Sin embargo, al ajustar el índice con el análisis de la incertidumbre y lo referido en la literatura especializada sólo en 3 días hubo pérdidas o ganancias.

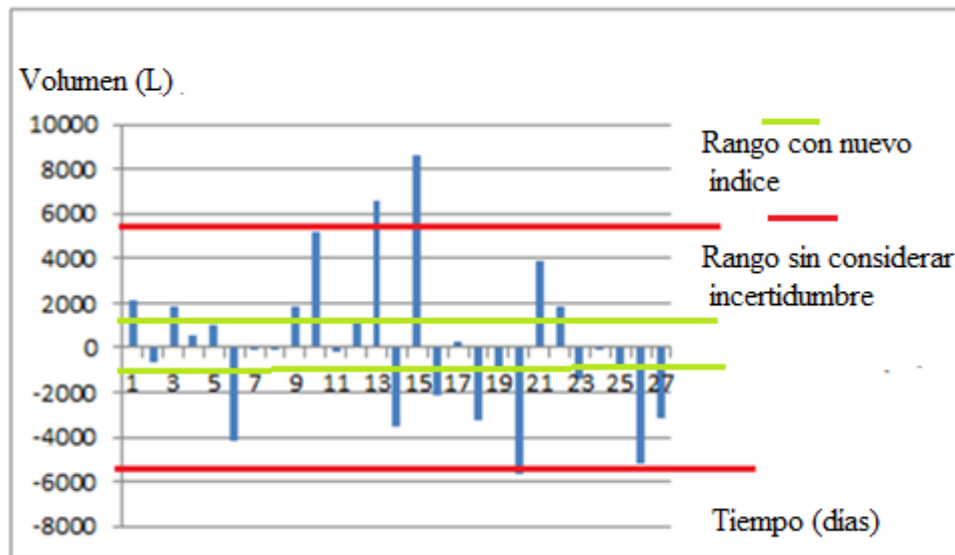


Figura 3. Resultado de las mediciones al considerar el índice de pérdidas y ganancias Rojo intervalo sin considerar la incertidumbre, verde con el índice recalculado

3.3. Valoración del impacto económico

La mayor pérdida monetaria que se obtiene en un mes, bajo el uso del índice sin considerar el efecto de la incertidumbre de las mediciones es de 24 887,2 \$, lo que resultó de una pérdida de 53 208 L de GLP.

Con la aplicación del nuevo índice, se observa que en diferentes días han ocurrido pérdidas fuera del límite establecido, pero en el balance sumando esas pérdidas o ganancias, se obtiene un valor de -1 712 L, que es menor que el valor permisible hasta ese día de 2 773 L, resultado que se corresponde tanto con lo permitido por norma como con el inventario físico.

4. CONCLUSIONES

La aplicación de la metodología propuesta para la evaluación del proceso de recepción, almacenamiento y entrega del GLP, permitió estimar un nuevo índice de ganancias y pérdidas así como constatar los principales aspectos que afectan la calidad del mismo. Dentro de estos se encuentran el uso de instrumentos inadecuados, no determinar la trazabilidad ni considerar la incertidumbre de las mediciones para controlar periódicamente su desempeño.

REFERENCIAS

- ANSI/API MPMS 14.8., Natural Gas Fluid Measurement (GLP)., Sistemas de medición dinámicos y estáticos utilizados para medir gas el GLP, Estados Unidos, 2004, pp. 231-260.
- Barrera, A., Cespón, R., y Fietó, M., Evaluación de la incertidumbre de medición en el sistema de transporte por ducto Refinería-Termoeléctrica Cienfuegos., Universidad y Sociedad, Vol. 11. No. 1, 2019, pp. 107-115. <https://rus.ucf.edu.cu/index.php/rus/article/view/1097>
- Córdova, C., y Yataco, D., Impacto tributario de las mermas de GLP en las estaciones de servicio en el periodo de 2017., Tesis presentada en opción al título de Ingeniero

- Económico, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima, Perú. 2019. [https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle-Córdova CG.PDF](https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/Córdova_CG.PDF)
- Cortés, A., Guía para el control estadístico del proceso de acondicionamiento de formas farmacéuticas líquidas mediante cartas de control para datos individuales., Tesis presentada en opción al título de Ingeniero Industrial., Universidad Nacional Autónoma de México, México, 2013.
- Creus, A., Instrumentación Industrial., Edición 8, Editorial Marcombo, Ediciones Técnicas, 2011, pp. 3-26. https://www.academia.edu/14196268/Instrumentacion_industrial_Creus_8thc
- González, A., Herrador, M., & García, A., A Practical Way to ISO/GUM Measurement Uncertainty for Analytical Assays Including In-House Validation., Data.Intechopen Editorial, Chapter 8, 2018, pp. 1-81. <https://doi.org/10.5772/intechopen.72048>.
- González, S., Calibración de resistencias termoelectricas para la transferencia de custodia de hidrocarburos líquidos refinados., Tesis presentada en opción al título de Ingeniero Técnico en Minas, Universidad de Madrid, España, 2015. <https://oa.upm.es/40315/>
- Gutiérrez, H., y de la Vara, R., Control estadístico de calidad y 6 sigma., Mc Graw Hill, Capítulo 2, 2004, pp. 16-34. <https://www.uv.mx/ermeneses/files/2018/05>
- Gutiérrez, M., e Iturralde, S., Fundamentos Básicos de Instrumentación y Control., Editorial UPSE, Capítulo 1, 2017, pp. 1-11. <https://incyt.upse.edu.ec/libros/upse/catalog/book>
- La guía del ingeniero para la medición de tanques., Editorial Emerson, Edición, 2021, pp. 1-14. https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwikjf3k8an1AhXcRDABHUrLBu4QFnoECAIQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.emerson.com%2Fdocuments%2Fautomation%2Fgu%25EDa-la-gu%25EDa-de-inicio-r%25E1pido-del-ingeniero-para-la-medi%25F3n-de-tanques-rosemount-es-es-4261176.pdf&usg=AOvVaw0G0G1AVBELkJ1K_Cu6Hh1r
- Lora, I., y Sánchez, Y., Análisis de las posibles causas que intervienen en las pérdidas de GLP, en la UEB depósito de gas licuado., IX Conferencia Científica Internacional de Ingeniería Mecánica, 14-17 noviembre, 2016.
- Mosquera, S., Narváez, J., y Cabrera, J., Uso de cartas de control para el análisis de calidad en manufactura de sacos de polipropileno., Revista Facultad de Ciencias Agropecuarias, Vol. 4, No. 1, 2006, pp. 67-76.
- Muñoz, J., Aseguramiento metrológico y trazabilidad en la industria del gas licuado de petróleo., Tesis presentada en opción al título de Ingeniero Mecánico, Universidad industrial de Santander, Colombia, 2006. <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwi9gpj1yon1AhUWRjABHcq4CTYQFnoECAMQAQ&url=http%3A%2F%2Ftangara.uis.edu.co%2Fbiblioweb%2Ftesis%2F2006%2F121741.pdf&usg=AOvVaw2YhAnZ1HJ5iurl2FjKP9PV>
- Mustafá, A., Rodríguez, N., y Chauvet, S., Control de calidad: cartas de control por variables., Congreso Regional de Ciencia y Tecnología, 29 y 30 de agosto 2002, Universidad de Catamarca, Argentina, 2002.
- Nápoles, M., Análisis del impacto de la incertidumbre de los balances de masa y energía

de las fábricas de azúcar en los estudios previos inversionistas., Tesis presentada en opción al Grado Científico de Doctor en Ciencias Técnicas, especialidad Ingeniería Química, Universidad Ignacio Agramonte Loynaz, Camagüey, Cuba, 2004.

Pacheco, S., Las mermas y su incidencia tributaria en las plantas envasadoras de GLP en Lima Metropolitana., Tesis presentada para optar por el título profesional de Contador Público, Universidad de San Martín de Porres, Lima, Perú, 2009.

https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwie_GVzIn1AhXwTDABHcEnALoQFnoECAYQAQ&url=https%3A%2F%2Frepositorio.usmp.edu.pe%2Fbitstream%2F20.500.12727%2F365%2F1%2Fpacheco_so.pdf&usg=AOvVaw3ysAUFdyVtwrs0EkjqGHwA

Sánchez, D., Análisis de gastos para mejorar la rentabilidad de la empresa Servicios y Comercialización Rivera SAC 2017., Tesis presentada para optar por el título de Contador, Universidad Señor de Sipán, Perú, 2019.

<https://hdl.handle.net/20.500.12802/6136>

Sierra, C., y Covelli, G., Trazabilidad en medición dinámica para el sector GLP. MET & FLU, No 9, 2014, pp. 36-43.

https://www.academia.edu/34939152/Trazabilidad_de_Medicion_de_Gas_sector_GLP

Velarde, F., Las mermas de combustible y su incidencia tributaria en las estaciones de servicios en Lima Metropolitana., Tesis presentada en opción al título de ingeniero económico, Universidad del Callao, Lima, Perú, 2015.

<http://repositorio.unac.edu.pe/handle/20.500.12952/1558>

CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no existen conflictos de interés.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

- M.Sc. Yudiersy Sánchez Ramírez. Realizó parte del estudio, las corridas experimentales y colaboró con la escritura del trabajo
- Ing. Yanet Marquez Marrero. Realizó parte del estudio y colaboró con la escritura del trabajo
- Dra.C. Martha F. Nápoles García. Realizó la programación en Excel de los procedimientos y colaboró con el análisis de resultados y escritura del artículo.
- Dra.C. María de la Cruz Aragoneses. Colaboró con el análisis de resultados y escritura del artículo.