

	CRITERIOS DE MEDICION	Documento Técnico
		Fecha de elaboración: 2025-01-15

1. INTRODUCCIÓN

La gestión precisa del combustible en operaciones marítimas representa un componente crítico para garantizar la eficiencia operativa, la trazabilidad de los recursos energéticos y el cumplimiento de estándares técnicos y normativos. En este contexto, se ha adoptado un enfoque sistemático mediante la implementación del Sistema de Administración Electrónico de Combustible (SAEC), el cual permite integrar, registrar y analizar datos asociados al consumo y suministro de combustible.

Este documento presenta los ***Criterios de Medición*** establecidos para dicho sistema, con el propósito de unificar las metodologías aplicadas a bordo, reducir la incertidumbre en los registros, y asegurar la fiabilidad de los datos generados. La correcta aplicación de estos criterios es indispensable para tomar decisiones informadas, prevenir pérdidas operativas y garantizar la transparencia ante auditorías internas o externas.

Asimismo, se busca reconocer y atender las posibles inconsistencias derivadas de la aplicación de diferentes métodos de medición, estableciendo reglas claras que permitan una lectura coherente del comportamiento del sistema energético de la embarcación. De esta forma, los presentes criterios contribuyen al fortalecimiento de las prácticas de control y al cumplimiento de los principios de calidad, seguridad y eficiencia operativa promovidos por FLOWTECH.

2. OBJETIVO

1. Considerar la inconsistencia de los distintos procedimientos de medición de combustible y la interrelación de los errores al combinar métodos.
2. Determinar las pautas de medición de combustible durante el periodo de suministro y el consumo.
3. Estandarizar y recopilar datos del proceso de medición según las condiciones normativas y las óptimas prácticas de la industria.

	CRITERIOS DE MEDICION	Documento Técnico
		Fecha de elaboración: 2025-01-15

3. ALCANCE

Este documento se actualizará anualmente para renovar las mejores prácticas de la industria. Para los busques, las operaciones en tierra y la maquinaria se contemplan las aplicaciones de medición que a continuación se enumeran:

- a) Medición de la transferencia entre el muelle (terminal) y la embarcación.
- b) Medición de la transferencia entre la embarcación y la plataforma
- c) Medición de la transferencia entre embarcaciones
- d) Medición de combustible utilizado
- e) Tanques de combustible de almacenamiento y de servicio sistema de sondeo electrónico

4. METODOLOGIAS DE LA MEDICIÓN

El método principal del Sistema de Administración Electrónico de Combustible (SAEC), son: medición y aforo de tanque (realizado mediante un sondeo electrónico). Se realiza sus mediciones mediante medidores masicos tipo Coriolis (que permiten medir el caudal másico de una forma más precisa); el sondeo del nivel del tanque se lleva a cabo mediante sensores hidrostáticos.

Sondeo de tanques (sistema de tipo manual) $\pm 0.1 - 0.3\%$ por tanque

Este tipo de método es inexacto debido a los resultados varían según la persona, entre $\pm 0.1 - 0.3\%$ por tanque. Las desviaciones se deben principalmente a la variación de las condiciones de estabilidad de los buques, los estados del mar y las gravedades específicas (densidad). La falta de cintas de sondeo o dispositivos manuales de calidad y la poca observancia del Sistema de Gestión de Mediciones (SGM) también causan desviaciones.

	CRITERIOS DE MEDICION	Documento Técnico
		Fecha de elaboración: 2025-01-15

Medidores Coriolis $\pm 0.05\%$ por medidor

Los medidores de Coriolis para medición de caudal tienen una mayor precisión en caudales máscos en comparación con los caudales volumétricos. Los caudalímetros volumétricos no tienen la capacidad para llevar a cabo una medición en función de la calidad o las especificaciones, por esto, los medidores masicos de tipo Coriolis tienen la ventaja si los comparamos. Los medidores de Coriolis pueden medir atributos como *masa, densidad y temperatura* que es utilizada por el sistema y determinar la cantidad y calidad de combustible a utilizar. Estos medidores son instalados en el suministro y retorno de aquellos equipos que consuman combustible dentro de la embarcación (motores de diésel, generadores, fifi, entre otros), midiendo de forma directa la masa, densidad y temperatura del combustible en tiempo real.

Junto a este, se pone un medidor en un punto fijo (entrado o salida) para apreciar el combustible transferido. Los medidores masicos utilizados tienen un mínimo error de $\pm 0.05\%$. La medición estándar del consumo con medidores Coriolis puede tener un error de hasta $\pm 0.075\%$ cuando se utilizan dos medidores. En operaciones de transferencia, el combustible consumido, tiene un error inherente al medidor de transferencias único de $\pm 0.10\%$ representando el potencial error máximo en condiciones nominales.

Se debe tomar en cuenta que estos datos en los errores de medición, son tomando el promedio de calibración de la cantidad total de medidores del sistema, permitiendo que se obtenga una mejor interpretación en los resultados finales del sistema.

	CRITERIOS DE MEDICION	Documento Técnico
		Fecha de elaboración: 2025-01-15

Sondeo de tanques (sistema de sondeo electrónico) $\pm 0.30\%$ por tanque

Los sensores de nivel del tanque son basados en tablas de sondeo de los tanques de las embarcaciones realizando una conversión que toma en cuenta la altura del fluido en volumen del tanque. Las tablas de sondeo siempre deben estar actualizadas y ser sumamente precisas para garantizar la exactitud en la medición. Existen otros factores como los errores que son producidos en escenarios de mar en ascenso, donde la altura y la profundidad del fluido son difíciles de captar mediante sensores.

Con relación al error permitido en los sensores de nivel, el laboratorio toma en consideración las especificaciones del fabricante, puesto que, al no contar con la acreditación en el apartado de presión y temperatura, se considera el error que el fabricante describe en su producto; como el error máximo permitido, considerando que cuando el laboratorio ya cuente con la acreditación en el área que corresponde, se pueda afinar el error, cabe mencionar que el error dado por el fabricante es de $\pm 0.30\%$ respetando la referencia mencionada en ***“Manual de Estándares de Petróleo 3.1 B” (página 5).***

Para poder obtener lecturas óptimas en la medición se debe considerar que los sensores colocados en los tanques de combustible, no estarán ubicados en el fondo de los tanques, por lo que las lecturas tendrán una discrepancia de medición respecto a la altura que se encuentre el sensor respecto al volumen que se almacene por debajo del punto al que esté instalado el sensor. Es por ello que ante esta problemática se deberá considerar que dentro de los tanques de almacenamiento se conserve el volumen mínimo de combustible que el sensor pueda medir tomando como referencia la altura a la que el sensor se localice, y siendo a partir de este, el punto inicial que el sensor hidrostático colocado en cada tanque mida.

	CRITERIOS DE MEDICION	Documento Técnico
		Fecha de elaboración: 2025-01-15

Sondeos manuales de tanques $\pm 0.1 - 0.3\%$ por tanque

A medida que una embarcación sufre cambios ambientales, la variabilidad en la altura del fluido impide una medición exacta, aumentando el error que puede tener una persona al tomar lecturas de sondas. Al mismo tiempo, la profundidad es otra variable a tomar en cuenta al puntualizar los errores que pueden sufrirse. En las embarcaciones, las tablas de sondeo suelen ser calculadas con un ajuste a cero, lista cero y una densidad de producto preestablecida. Las embarcaciones con ajuste múltiple tienen mediciones de altura de fluido y volumen de tanque que han sido calculadas para diferentes ajustes del casco.

El aumento o la disminución del ajuste de la embarcación, hace que el fluido del tanque se desplace (adelante o atrás) por efectos de gravedad, así el cálculo de la altura y el volumen se ve comprometida. Aquellas embarcaciones que no cuentan con tablas de sondeo múltiples no pueden tomar en cuenta la diferencia entre la altura del fluido, creando errores en los cálculos volumétricos. Si se cuenta con tablas de densidades múltiples, la embarcación tiene en cuenta los cambios resultantes en el producto almacenado.

Las variaciones en la densidad de un producto indican una expansión o una contracción del fluido que afecta al cálculo en el volumen en distintos estados. Si no se cuentan con cintas de sondeo o dispositivos que ayuden a medir la calidad y la poca observancia del **Sistema de Gestión de Mediciones (SGM)** se crean errores involuntarios en el proceso de sondeo. Dichos errores aumentan de acuerdo con los tanques medidos.

Se recomienda que, al momento de realizar el sondeo manual en la embarcación, se capture la información en el sistema SAEC, ya sea al momento de obtener los resultados del sondeo, o en un horario no mayor a una hora, permitiendo tener una mejor comparativa de valores entre el sondeo manual y el valor de los medidores SAEC en igual condiciones ambientales, o climatológicas, puesto que, al tener comparativa en mismas condiciones, tanto

	CRITERIOS DE MEDICION	Documento Técnico
		Fecha de elaboración: 2025-01-15

el sondeo manual, como los valores de los sensores medición, la discrepancia no será mayor como si se comparara con los resultados al final del día, ya que al estar en horarios muy diferentes, las condiciones de medición no serán las misma, pudiendo causar una mayor desviación, por el balanceo de la embarcación.

El resultado del sondeo manual se capturará en el apartado “tanques”, del software SAEC, para que todo resultado de medición al momento de capturarlo en el sistema se refleje en el reporte emitido mensualmente, mostrando los resultados del sondeo manual, los resultados capturados por los sensores y la hora en el que se realizó las mediciones, colocando la desviación porcentual con respecto a la desviación máxima permitida. El error permitido para sondeo manuales en tanques abarca un rango de 0.1% - 0.3% de acuerdo con la norma **ISO 12917-1:2017 (sección 5.2) y el “Manual de Estándares de Medición de Petróleo 3.1 A” (página 11) respectivamente.**

Nota: Cuando se tenga una condición atmosférica no favorable para la embarcación (mal tiempo, lluvia), se deberá considerar que el sondeo manual, así como el sondeo por sensores; no será exacto, por lo que las discrepancias serán elevadas y las variaciones mostradas en el sistema serán constantes.

5. INDICACIONES EN LA MEDICIÓN

Cuando aumenta el número de tanques utilizados, también se aumenta el error intrínseco resultante, comparando los totales de sondeos y medidores. Los caudalímetros de Coriolis reparten el error inherente de dichos equipos en la medición de volúmenes de fluido entre los tanques transferidos dentro o fuera del sistema que estén consumiendo combustible.

Puntos clave para las mediciones de transferencia

- En las embarcaciones siempre se debe de asegurar que se utilicen las tablas de sondeo correctas, que la embarcación este posicionada de

	CRITERIOS DE MEDICION	Documento Técnico
		Fecha de elaboración: 2025-01-15

forma correcta para que las tablas de sondeos sean correctas y minimicen el error de los sondeos manuales y electrónicos. Abordo se debe de mantener el Sistema de Gestión de Mediciones que implemente los procedimientos y requisitos aprobados por el personal a cargo. Los sondeos realizados deben ser hechos antes y después de la transferencia para verificar el total de estás.

- Para obtener resultados coherentes e ininterrumpidos, que eviten condiciones de proceso negativos o erróneos es necesario que las transferencias sean correctas. Es importante que siempre exista un plan de transferencia para optimizar y corroborar que los depósitos tienen el combustible necesario para garantizar el cambio entre tanque antes de que el tanque quede vacío: de esta manera se evita la posibilidad de entrada de aire. Al momento de vaciar un tanque necesariamente no deberá ser en transferencia para evitar tiempo sin caudal o un mínimo de este.
- Para aumentar la precisión de los medidores se recomienda que la transferencia sea dentro de los caudales deseados.
- Al minimizar los tiempos en lo que se alcanza el caudal recomendado baja la posibilidad de errores en la medición, debido a las condiciones de proceso negativo y la incertidumbre de esta.
- Una transferencia que comienza con mangueras vacías debe finalizar su proceso “soplado” estas con aire, o en su defecto, drenarlas para evitar la desviación total por combustible retenido.

Inicio de la transferencia

Antes de iniciar la transferencia, se debe corroborar que el totalizador de combustible este en cero. Se deben registrar los sondeos previos a la transferencia y las mediciones de ajuste como referencia.

El caudalímetro debe ser usado con cuidado, tomando en cuenta todas las medidas necesarias al empacar de forma rápida al inicio y durante todo el procedimiento de suministro. La incertidumbre de medición va en aumento de acuerdo a los tiempos de rampa de flujo. El personal a cargo debe corroborar que la tasa de bombeo sea la indicada por ambas partes en el margen de las prácticas operativas. Se recomienda que esta tasa nunca deberá ser inferior al 20% del rango de medición de la escala del caudalímetro másico.

Durante la transferencia

- En la mayoría de las aplicaciones, entre el 20% y el 50% del valor de la escala de medición pueden considerarse caudales ideales.

TAMAÑO DEL CAUDALÍMETRO	20% DE CAUDAL		50% DE CAUDAL	
1-1/2	2,800 g/h	10,600 l/h	7,000 g/h	26,500 l/h
2	4,200 g/h	15,900 l/h	10,500g/h	39,750 l/h
3	11,150 g/h	42,000 l/h	22,850 g/h	105,400 l/h
4	22,000 g/h	84,000 l/h	55,000 g/h	209,000 l/h

- De ser necesario y para minimizar el tiempo de vaciado es necesario mantener un ajuste en popa suficiente, al momento de realizar la entrega no se efectúa simultáneamente el vaciado de tanques de suministro designado.
- Durante una transferencia se necesitan tomar todas las medidas pertinentes para poder evitar la interrupción o limitación del flujo. Para mantener un caudal óptimo los tanques deben de estar ciclados.

Fin de la transferencia

- El vaciado de tanques se realizará independientemente siempre y cuando no haya otro tanque, reduciendo la entrada de aire en el proceso. Para vaciar y drenar las mangueras de combustible sólo se llevan a cabo al finalizar la operación de bombeo.

	CRITERIOS DE MEDICION	Documento Técnico
		Fecha de elaboración: 2025-01-15

- Al finalizar el proceso de drenaje, cuando no haya reflujo de combustible y el medidor deje de medir, el personal a cargo asumirá que es el fin de la entrega. Una vez detenido todo el flujo y asegurado las mangueras e totalizador del medidor terminará.
- Todos los sondeos de poste y las mediciones de ajuste serán tomados como referencia.

Puntos clave para la medición de consumo

- Deben tomarse todas las medidas necesarias para evitar fugas u obstrucciones en las líneas de combustible y medidores de consumo. Es vital el mantenimiento preventivo para evitar irregularidades o caídas de presión en el sistema. Las caídas de presión por fugas o las contrapresiones pueden modificar caudales que circulan por el sistema de consumo afectando la medición de consumo.
- Prevenir condiciones negativas ayuda a una medición de consumo efectiva. Para cualquier sugerencia o solución de ingeniería puede contactarse con el equipo de [FLOWTECH](http://www.flowtechmexico.com).

Puntos clave para la medición de tanques

- Una embarcación bien posicionada utiliza sondeos correctos y minimiza el error en los sondeos manuales o electrónicos.
- Para poder realizar sondeos o mediciones de tanques debe asegurar condiciones de mar tranquilas o, preferentemente, realizarse en muelle al menos cinco meses.
- Los tanques en niveles mínimos deben vaciarse a otro tanque para minimizar volúmenes perdidos. Los niveles mínimos en los tanques

	CRITERIOS DE MEDICION	Documento Técnico
		Fecha de elaboración: 2025-01-15

deben mantenerse con una capacidad adecuada para no realizar mediciones en condiciones de alta mar.

6. Desviación admisible

Estimación de la diferencia máxima admisible entre los sistemas de medición en los puntos de medición fiscal, de transferencia o de funcionamiento. Se toma en cuenta para la creación de la fórmula la guía ISO/IEC 98-3 primera edición 2008 (sección 4.2 y 4.3), en los cuales se especifica e indican los puntos a tomar en cuenta para calcular la desviación de los sensores en los tanques.

$$DMP = 2 \times \sqrt{u_A^2 + u_B^2 - 2 \times u_A \times u_B \times r}$$

Donde

u_A : Incertidumbre de la medición A (existencia manual)

u_B : Incertidumbre de la medición B (medición en los sensores)

r : Coeficiente de correlación entre las dos mediciones (puede variar entre -1 y 1)

El factor 2 indica un nivel de confianza del 95.45% (asumiendo una distribución normal y dos sigmas)

Nota: Es importante observar las mediciones, esto ayuda a disminuir la desviación evitando que las condiciones de proceso adversas afecten los medidores. Si en algún momento se registra una desviación de ± 400 galones, el personal a cargo tiene la facultad de llamar a la asistencia de **FLOWTECH** para poder examinar el suceso de transferencia y ofrecer una solución.

	CRITERIOS DE MEDICION	Documento Técnico
		Fecha de elaboración: 2025-01-15

7. REFERENCIAS

ISO/IEC GUIDE 98-3:2008(E)- Uncertainty of measurement — Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995)

OIML R 85-3:2008 (E)- Automatic level gauges for measuring the level of liquid in stationary storage tanks Part 3: Report format for type evaluation

ISO 12917-1:2017(E)- Petroleum and liquid petroleum products — Calibration of horizontal cylindrical tanks — Part 1: Manual methods

Manual de Estándares de Medición de Petróleo Capítulo 3.1B- Práctica Estándar para la Medición del Nivel de Hidrocarburos Líquidos en Tanques Estacionarios mediante Medidores Automáticos de Tanques. CUARTA EDICIÓN, OCTUBRE DE 2021

ISO 10012– Metodología para la implementación del Sistema de Gestión de la Medición