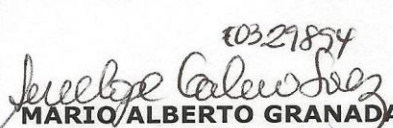
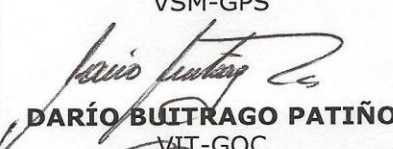

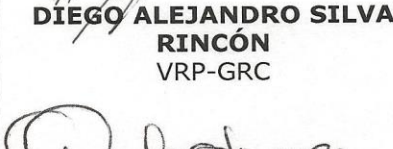
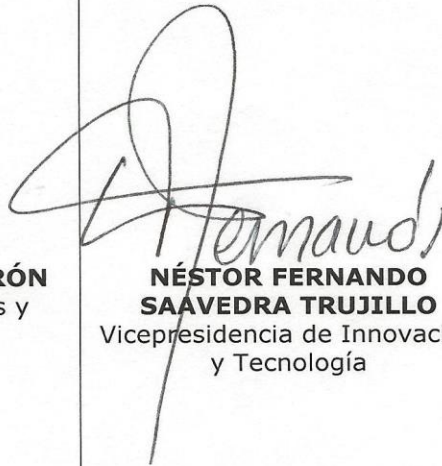
	MANUAL DE MEDICIÓN DE HIDROCARBUROS Y BIOCOMBUSTIBLES CAPITULO 2 – CALIBRACIÓN DE TANQUES	
	VICEPRESIDENCIA DE INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA CORPORATIVO DE NORMAS Y ESTÁNDARES	
	CÓDIGO CNE ECP-VIN-P-MBC-MT-002	Elaborado 24/04/2013

RELACIÓN DE VERSIONES

VERSIÓN	DESCRIPCIÓN	FECHA
1	Emisión del documento	24/04/2013

ELABORÓ	REVISÓ	APROBÓ
<p style="text-align: center;">  MARIO ALBERTO GRANADA CAÑAS VSM-GPS </p> <p style="text-align: center;">  DARÍO BUITRAGO PATIÑO VIT-GOC </p> <p style="text-align: center;">  ELKIN MAURICIO CLARO MARTÍNEZ VRP-GRB </p> <p style="text-align: center;">  DIEGO ALEJANDRO SILVA RINCÓN VRP-GRC </p> <p style="text-align: center;">  ANGELA PATRICIA ÁLVAREZ VPR </p> <p style="text-align: center;"> Grupo Extendido Especialidad Medición, Balances y Contabilización </p>	<p style="text-align: center;">  REYNALDO PRADA GRATERÓN Líder Corporativo de Normas y Estándares </p>	<p style="text-align: center;">  NÉSTOR FERNANDO SAAVEDRA TRUJILLO Vicepresidencia de Innovación y Tecnología </p>

Este documento es propiedad de ECOPETROL S.A. no debe ser copiado, reproducido y/o circulado sin su autorización

This document is property of ECOPETROL S.A. it shall not be copied, reproduced and/or circulated without authorization




	MANUAL DE MEDICIÓN DE HIDROCARBUROS Y BIOCOMBUSTIBLES CAPITULO 2 – CALIBRACIÓN DE TANQUES	
	VICEPRESIDENCIA DE INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA CORPORATIVO DE NORMAS Y ESTÁNDARES	
	CÓDIGO CNE ECP-VIN-P-MBC-MT-002	Elaborado 24/04/2013

TABLA DE CONTENIDO

	Página
1. OBJETO	4
2. ALCANCE.....	4
3. GLOSARIO	4
4. DOCUMENTOS DEROGADOS.....	5
5. REFERENCIAS NORMATIVAS	5
5.1. NORMATIVA INTERNA	5
5.2. NORMATIVA EXTERNA	5
6. CONDICIONES GENERALES.....	6
6.1. CONDICIONES ESPECIALES	6
6.2. TABLA DE AFORO	7
6.3. REVISIÓN DE LA TABLA DE AFORO	8
7. DESARROLLO	9
7.1. GENERALIDADES.....	9
7.1.1. Verificación de la calibración	9
7.1.2. Recalibración del tanque	9
7.1.3. Recálculo de la tabla de aforo del tanque.....	11
7.2. CALIBRACIÓN DE TANQUES	12
7.2.1. Fondo de los tanques	12
7.2.2. Tanques con techo Flotante.....	12
7.2.3. Tanques con aislamiento térmico	13
7.3. DESCRIPCIÓN	13
7.3.1. Método de “strapping” (MTSM) o método de medición manual de anillos.....	13
7.3.1.1. Prácticas generales.....	14
7.3.2. Método de calibración líquida (API STD 2555)	15
7.3.2.1. Equipos.....	15
7.3.2.2. Procedimiento con tanque volumétrico	15
7.3.2.3. Procedimiento con un medidor de flujo	16
7.3.2.4. Procedimiento con tanque estacionario.....	16
7.3.3. Método de la Línea Óptica de Referencia (ORLM).....	16
7.3.3.1. Equipos.....	17
7.3.3.2. Preparación	17

	MANUAL DE MEDICIÓN DE HIDROCARBUROS Y BIOCOMBUSTIBLES		
	CAPITULO 2 – CALIBRACIÓN DE TANQUES		
	VICEPRESIDENCIA DE INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA CORPORATIVO DE NORMAS Y ESTÁNDARES		
	CÓDIGO CNE ECP-VIN-P-MBC-MT-002	Elaborado 24/04/2013	Versión: 1

7.3.3.3. Procedimiento	18
7.3.3.4. Procedimiento de cálculo	20
7.4. ELABORACIÓN DE LA TABLA DE AFORO	20
7.5. AUDITORÍA AL PROCESO DE AFORO	21
7.6. CALIBRACIÓN DE BOTES, BARCAZAS Y BUQUETANQUES	22
7.6.1. Correcciones por asentamiento (trim) y escora (list)	24
7.7. CALIBRACIÓN DE CARROTANQUES	27
8. CONTINGENCIAS.....	28
9. REGISTROS.....	28
10. BIBLIOGRAFÍA	28
11. ANEXOS	28

	MANUAL DE MEDICIÓN DE HIDROCARBUROS Y BIOCOMBUSTIBLES CAPITULO 2 – CALIBRACIÓN DE TANQUES		
	VICEPRESIDENCIA DE INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA CORPORATIVO DE NORMAS Y ESTÁNDARES		
	CÓDIGO CNE ECP-VIN-P-MBC-MT-002	Elaborado 24/04/2013	Versión: 1

1. OBJETO

Establecer criterios de calibración de tanques de almacenamiento de hidrocarburos líquidos y biocombustibles y las premisas para la revisión y validación de los certificados de calibración (tablas de aforo) de estos, con el fin de garantizar la trazabilidad metrológica requerida en operaciones de transferencia de custodia y control de inventarios por medición estática, asegurando la confiabilidad de la información volumétrica.


2. ALCANCE

Aplica a las áreas operativas y técnicas que participan en los procesos de calibración de tanques de almacenamiento para transferencia de custodia, control de inventarios y fiscalización de hidrocarburos líquidos y biocombustibles, cubriendo desde la identificación de la necesidad de verificación o calibración hasta el recibo de la tabla de aforo por parte de la dependencia operadora del tanque.

3. GLOSARIO

- **Calibración (aforo) del Tanque:** Proceso mediante el cual se determina el volumen total del tanque, o capacidades parciales a diferentes niveles de líquido a las condiciones de operación existentes. El entregable del proceso de aforo es el Certificado de Calibración o tabla de aforo del tanque (ver Figura 3). Las tablas de aforo indican la cantidad de producto almacenado a un determinado nivel del mismo en el tanque, medidos desde un punto de referencia.
- **Recálculo de la tabla de aforo:** Es el proceso de desarrollo de una tabla revisada, basada en mediciones (diámetros) previamente establecidas. Se requiere cuando las variables de operación, tales como densidad del producto, temperatura promedio de almacenamiento, o la altura de referencia se hayan alterado, o que se haya producido modificación de los volúmenes muertos ("deadwoods"), o alteración de la masa aparente del techo o membrana flotante.
- **Recalibración:** Es el proceso de medición de las dimensiones del tanque, cuando se ha establecido que las mediciones originales no definen exactamente las dimensiones reales del tanque, es decir cuando dimensiones internas y variables estructurales del tanque cambian. Las variables medibles incluyen altura de referencia, diámetro del tanque, espesores de láminas y verticalidad; las variables estructurales incluyen cambios en volúmenes muertos, altura de referencia de la medición, estructura del tanque (interna, externa incluyendo techo flotante), y reparaciones al tanque y el fondo de este. En estas circunstancias se deben llevar a cabo nuevas mediciones y a partir de las mismas se emite un nuevo certificado de calibración (tabla de aforo).
- **Verificación de la tabla de aforo:** Proceso que permite confirmar la validez de la calibración original del tanque o que determina la necesidad de hacer una recalibración del mismo.

Para una mejor comprensión de los términos utilizados en este documento consulte el documento ECP-VSM-M-001 Manual de Medición de Hidrocarburos y Biocombustibles, Capítulo 1 - Condiciones Generales y Vocabulario, numeral 2 – Glosario.

	MANUAL DE MEDICIÓN DE HIDROCARBUROS Y BIOCOMBUSTIBLES CAPITULO 2 – CALIBRACIÓN DE TANQUES		
	VICEPRESIDENCIA DE INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA CORPORATIVO DE NORMAS Y ESTÁNDARES		
	CÓDIGO CNE ECP-VIN-P-MBC-MT-002	Elaborado 24/04/2013	Versión: 1

4. DOCUMENTOS DEROGADOS

- ECP-VSM-M-001 Manual de Medición de Hidrocarburos y Biocombustibles, capítulo 2 – Calibración de Tanques.

5. REFERENCIAS NORMATIVAS

5.1. NORMATIVA INTERNA

CÓDIGO CNE	CÓDIGO ANTIGUO	TÍTULO
ECP-VIN-P-MBC-MT-001	ECP-VSM-M-001	Manual de Medición de Hidrocarburos y Biocombustibles. Capítulo 1 Condiciones Generales y Vocabulario.
ECP-VIN-P-MBC-PT-061	ECP-VSM-P-061	Procedimiento para Revisión de Tablas de Aforo de Tanques Cilíndricos Verticales.
No aplica	ECP-VSM-R-001	Reglamento para la gestión de la medición de hidrocarburos y biocombustibles.

5.2. NORMATIVA EXTERNA


Normas aplicables para calibración de tanques cilíndricos verticales:

AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE (API)

MPMS 2	Tank Calibration.
MPMS 2.2A	Measurement and Calibration of Upright Cylindrical Tanks by the Manual Tank Strapping Method.
MPMS 2B	Calibration of Upright Cylindrical Tanks Using the Optical Reference Line Method.
MPMS 2.2C	Calibration of Upright Cylindrical Tanks Using the Optical-Triangulation Method (ISO 7507-3:2007 (Modified), Petroleum and liquid petroleum products—Calibration of vertical cylindrical tanks — Part 3: Optical-triangulation method).
MPMS 2.2D	Calibration of Upright Cylindrical Tanks Using the Internal Electro-optical Distance-ranging Method (ISO 7507-4:1995 (Identical), Petroleum and liquid petroleum products—Calibration of vertical cylindrical tanks — Part 4: Internal electro-optical distance-ranging method).

Los tanques cilíndricos horizontales pueden ser aforados de acuerdo con las siguientes secciones del API MPMS Chapter 2 - Tank Calibration.

MPMS 2.2E	Petroleum and Liquid Petroleum Products - Calibration of Horizontal Cylindrical Tanks - Part 1: Manual Methods (ISO 12917-1:2002, Petroleum and liquid petroleum Products — Calibration of horizontal cylindrical tanks Part 1: Manual Methods).
MPMS 2.2F	Petroleum and Liquid Petroleum Products - Calibration of Horizontal

	MANUAL DE MEDICIÓN DE HIDROCARBUROS Y BIOCMBUSTIBLES CAPITULO 2 – CALIBRACIÓN DE TANQUES		
	VICEPRESIDENCIA DE INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA CORPORATIVO DE NORMAS Y ESTÁNDARES		
	CÓDIGO CNE ECP-VIN-P-MBC-MT-002	Elaborado 24/04/2013	Versión: 1

Cylindrical Tanks - Part 2: Internal Electro-Optical Distance-Ranging Method (ISO 12917-2, Petroleum and liquid petroleum Products – Calibration of horizontal cylindrical tanks, Part 2: Internal Electro-optical Distance-ranging Method).
Liquid Calibration of Tanks.

STD 2555

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO)

ISO 7507-1 Petroleum and liquid petroleum products – Calibration of vertical cylindrical tanks –Part 1: Strapping method.
ISO 7507-5 Petroleum and liquid petroleum products – Calibration of vertical cylindrical tanks –Part 5: External electro-optical distance-ranging method.

Las esferas y esferoides se aforan aplicando el estándar API 2552 Measurement and Calibration of Spheres and Spheroids.

Normas aplicables a carro-tanques de líquidos a presión atmosférica y cisternas para GLP.

Aplica el estándar API 2554 Measurement and Calibration of Tank Cars para todos los tipos de carrotanques y cisternas atmosféricos, presurizados y con aislamiento.

La calibración de cisternas de GLP, se debe realizar en porcentaje de llenado de roto gauge equivalente, en centímetros y milímetros de acuerdo con el API MPMS Chapter 2.2E Calibration of Horizontal Cylindrical Tanks - Part 1: Manual Methods.

Normas aplicables a botes, barcasas y buquetanques.

Según corresponda, aplican las secciones 2.7 Calibration of Barge Tanks y 2.8A Calibration of Tanks on Ships and Oceangoing Barges del API MPMS Chapter 2 Tank Calibration.


6. CONDICIONES GENERALES

El personal encargado de realizar las actividades de calibración de tanques debe estar capacitado, calificado y debe tener la competencia y experiencia necesarias para realizar la labor requerida.

6.1. CONDICIONES ESPECIALES

Todos los tanques deben contar con escotilla de medición, la cual debe tener una guía, pestaña o cuña que determina el Punto de Referencia, sobre la cual se ubica la cinta de medición y se toma la lectura de nivel de líquido. En caso de no existir esta guía, la misma se deberá instalar durante el proceso de verificación o calibración del tanque. Se recomienda que la escotilla de medición tenga una altura entre 900 y 1.200 mm sobre la superficie donde se ubica la persona que realiza la medición.

Todos los tanques de almacenamiento deben contar con una tablilla o placa informativa elaborada en acero inoxidable calibre 22, de 200 mm de lado; debidamente asegurada a la baranda superior del tanque (la cual se recomienda replicar en la zona de ingreso a las escaleras del tanque), que debe contener la siguiente información en alto o bajo relieve:

	MANUAL DE MEDICIÓN DE HIDROCARBUROS Y BIOCOMBUSTIBLES		
	CAPITULO 2 – CALIBRACIÓN DE TANQUES		
	VICEPRESIDENCIA DE INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA CORPORATIVO DE NORMAS Y ESTÁNDARES		
	CÓDIGO CNE ECP-VIN-P-MBC-MT-002	Elaborado 24/04/2013	Versión: 1

- 1) Encabezado de la placa: Logo y nombre de ECO PETROL S.A.
- 2) Número de identificación del tanque: Suministrado por ECO PETROL S.A.
- 3) Producto almacenado: Por ejemplo, crudos, destilados livianos, destilados medios.
- 4) Altura de referencia en milímetros [mm].
- 5) Capacidad nominal [barriles, galones, mts³, etc.].
- 6) Altura nominal [mm].
- 7) Norma utilizada para realizar el aforo.
- 8) Fecha del aforo.
- 9) Compañía que realizó el aforo.


Esta tablilla o placa debe ser instalada por la compañía aforadora luego que el certificado de aforo haya sido aprobado por el área contratante. La compañía aforadora deberá demarcar la altura de referencia en la parte superior del tanque con pintura reflectiva roja o utilizando película adhesiva de alta resistencia en un sitio visible determinado por el funcionario autorizado de ECO PETROL S.A., sobre un recuadro de color blanco de 150 x 450 mm. La altura debe especificarse en milímetros, sin punto separador de miles y con las letras "mm" al final. El ancho de las letras y números será de 30 mm y el trazo de 10 mm.

La empresa que brinde el servicio de calibración debe suministrar al contratante:

- 1) Acta de ejecución del trabajo firmada por las partes.
- 2) Informe de Aforo, el cual debe incluir como mínimo:
 - a) Datos de campo.
 - b) Memorias de cálculo (electrónica y en papel).
 - c) Presupuesto de la incertidumbre del proceso de aforo (tabla relacionando fuentes de incertidumbre y su influencia en el proceso de aforo), (electrónica y papel).
 - d) Gráficas de incrementos y gráficas comparativas con tabla anterior para verificaciones.
 - e) Tablas de aforo del tanque plastificada (cantidad mínima: 2), aprobada por el Ministerio de Minas y Energía.
 - f) Una copia electrónica que contenga el archivo de la tabla en formato Excel, para alimentar los sistemas de información y en formato PDF (con firmas) para futuras reproducciones.

6.2. TABLA DE AFORO


La tabla de aforo debe incluir la siguiente información:

	MANUAL DE MEDICIÓN DE HIDROCARBUROS Y BIOCOMBUSTIBLES CAPITULO 2 – CALIBRACIÓN DE TANQUES		
	VICEPRESIDENCIA DE INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA CORPORATIVO DE NORMAS Y ESTÁNDARES		
	CÓDIGO CNE ECP-VIN-P-MBC-MT-002	Elaborado 24/04/2013	Versión: 1

- 1) Logo y nombre de la empresa aforadora, dirección, ciudad y NIT.
- 2) Logo y nombre de ECOPETROL S.A.
- 3) Ubicación del tanque, Vicepresidencia, Gerencia, planta, ciudad y país.
- 4) Identificación del tanque.
- 5) Nombre del producto a almacenar.
- 6) Tipo de techo y fondo del tanque.
- 7) Altura de referencia [mm].
- 8) Diámetro promedio ([mm], altura efectiva [mm] y capacidad [barriles, galones, mts³, etc.]).
- 9) Niveles en unidades de centímetros-milímetros ([cm-mm] y los volúmenes en barriles, galones, mts³, etc.).
- 10) Gravedad API o densidad relativa del producto.
- 11) Temperatura base de lámina a la cual fue preparada (ver API MPMS 12.1.1 numeral 9.1.3, nota 2).
- 12) Presión de almacenamiento (aplica para tanques presurizados).
- 13) Peso del techo o membrana flotante (según aplique) [kg].
- 14) Ajuste volumétrico por el peso del techo (FRA).
- 15) Identificación de la zona crítica (aplica para tanques con techo o membrana flotante).
- 16) La norma mediante la cual se llevó a cabo el proceso de aforo del tanque y del fondo.
- 17) Incertidumbre expandida del proceso de aforo expresada en unidades de volumen y de manera relativa (porcentaje).
- 18) Especificar si el proceso de aforo constituye verificación, calibración, recalibración o recálculo.
- 19) Fecha de la calibración, recalibración o recálculo y la de expedición del certificado.
- 20) Firmas de la compañía aforadora (ejecutor y representante) y de un representante del Ministerio de Minas y Energía.

6.3. REVISIÓN DE LA TABLA DE AFORO

Para confirmar la validez del proceso de aforo se recomienda revisar la tabla de tal manera que la misma cumpla con los requerimientos señalados en los numerales 6.1 y 6.2 de este documento. Además se deben verificar los incrementos volumétricos por cm, comparándolos con la tabla anterior para confirmar coherencia de los resultados. Esto se debe hacer examinando las gráficas comparativas

	MANUAL DE MEDICIÓN DE HIDROCARBUROS Y BIOCOMBUSTIBLES CAPITULO 2 – CALIBRACIÓN DE TANQUES		
	VICEPRESIDENCIA DE INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA CORPORATIVO DE NORMAS Y ESTÁNDARES		
	CÓDIGO CNE ECP-VIN-P-MBC-MT-002	Elaborado 24/04/2013	Versión: 1

que hacen parte de los entregables de la compañía aforadora, requeridas en el numeral 6.1 de este documento.

7. DESARROLLO

Las labores de calibración de un tanque de almacenamiento; verificación o recálculo de la tabla de aforo y recalibración del tanque, se deben realizar por personal experimentado, respaldado por una compañía acreditada ante el Organismo Nacional de Acreditación de Colombia (ONAC) para este tipo de actividades. La compañía deberá, además, poseer como mínimo certificación de su Sistema de Gestión de Calidad ISO 9001 con alcance en aforo de tanques.

7.1. GENERALIDADES

7.1.1. Verificación de la calibración

Según el API MPMS 2.2 Apéndice A, y el documento ECP-VSM-M-001 - Capítulo 1 Tabla 1 Rutinas de verificación/ajuste, mantenimiento y calibración, para tanques en servicio de transferencia de custodia, la verificación de la calibración debe realizarse una vez cada cinco (5) años; para los demás servicios esta verificación puede hacerse entre 5 y 10 años.

Durante la verificación se revisa el diámetro y espesor de lámina del primer anillo y la verticalidad del tanque. Si alguno de estos parámetros (diámetro, espesor y verticalidad) excede los criterios preestablecidos de variación en volumen de conformidad con lo señalado en las Tablas 1, 2 y 3 respectivamente, debe considerarse una recalibración (API MPMS 2.2A Apéndice A). La variación permisible del diámetro tolera un error de medición promedio de 6 mm en la circunferencia durante el "strapping" del anillo inferior del tanque.

Tabla 1. Variaciones del Diámetro Interno del Primer Anillo del Tanque.

(Fuente: API MPMS 2.2A, Apéndice A Tabla A-1)

Variación aproximada en volumen base, %	Diámetro nominal del tanque (pies), hasta:					
	50	100	150	200	250	300
	Variaciones permisibles en el diámetro, mm ^(a)					
0,01-0,02	3	4	4	5	6	7
0,02-0,03	4	5	7	9	10	12
0,03-0,04	4	7	10	12	15	18
0,04-0,05	5	9	12	17	20	24
0,05-0,06	6	10	15	20	25	30

(a) El diámetro del tanque es el diámetro interno en condición de esfuerzo cero por cabeza de líquido.

7.1.2. Recalibración del tanque

Desarrolle una nueva tabla de aforo cada 15 años para los tanques en servicio de transferencia en custodia. Para los demás tanques el intervalo de la recalibración podrá ser entre 15 y 20 años (API MPMS 2.2A, Apéndice A.6.3).


	MANUAL DE MEDICIÓN DE HIDROCARBUROS Y BIOCMBUSTIBLES CAPITULO 2 – CALIBRACIÓN DE TANQUES		
	VICEPRESIDENCIA DE INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA CORPORATIVO DE NORMAS Y ESTÁNDARES		
	CÓDIGO CNE ECP-VIN-P-MBC-MT-002	Elaborado 24/04/2013	Versión: 1

Tabla 2. Espesor de Lámina del Primer Anillo del Tanque.

(Fuente: API MPMS 2.2A Apéndice A Tabla A-2)

Diámetro nominal del tanque [Pies]	Variaciones de espesor de lámina [mm ^(a)]
50 - 300	1,5 - 3

(a) Valor promedio del espesor de lámina del primer anillo, medido en ocho puntos de la circunferencia.

Se debe hacer la recalibración del tanque cuando este se ve afectado mecánicamente por reparaciones o cambios estructurales originados por cambio en la inclinación, diámetro, altura de referencia o espesor de la lámina (ver API MPMS 2.2A Apéndice A Tablas A-1, A-2, A-3 y A-4). Como criterio, esta se debe efectuar si se presentan condiciones de variación permisibles en el diámetro que ocasionen variaciones de volumen entre 0,01% - 0,02%, una variación en volumen ocasionada por inclinación del tanque con respecto al aforo inicial de 0,005%. La máxima variación permisible en la inclinación de un tanque es de 0,024%, en volumen (2,2 pies/100 pies).

Tabla 3. Corrección del Volumen por Inclinación del Tanque.


(Fuente: API MPMS 2.2A Apéndice A Tabla A-3)

Inclinación [pie/100 pies]	Factor de corrección del volumen, %	Notas
1,4	0,010	<ul style="list-style-type: none"> • Mida la verticalidad en el mismo sitio. • Calcula la variación del volumen basado en la inclinación inicial y final. • La máxima variación permisible es de 0,024% en % de volumen. • Una variación del 0,005% originada en cambios de la verticalidad deberá considerarse significativa y requerirá recalibración.
1,6	0,013	
1,8	0,016	
2,0	0,020	
2,2	0,024	
2,4	0,029	
2,6	0,034	

Igualmente, es recomendable hacer la recalibración del tanque, cuando se excedan las siguientes variaciones en las variables estructurales del tanque:

- Si existe una variación en el volumen muerto que impacte el volumen del tanque en un valor predeterminado (por ejemplo 0,02%).
- Si se presentan alteraciones tales como modificaciones en las paredes del tanque, reemplazo de puertas de entrada, drenajes, resoldaduras.
- Si la altura de referencia de la medición es alterada por modificaciones en el plato de medición, resoldaduras, o modificaciones en la altura del mismo.
- Si se presentan trabajos de reparación en el techo flotante que alteren su peso, generando variaciones en el volumen del tanque por encima de un valor predeterminado (por ejemplo, 0,02%).

Si se presentan modificaciones mayores en el fondo del tanque.

	MANUAL DE MEDICIÓN DE HIDROCARBUROS Y BIOCMBUSTIBLES CAPITULO 2 – CALIBRACIÓN DE TANQUES		
	VICEPRESIDENCIA DE INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA CORPORATIVO DE NORMAS Y ESTÁNDARES		
	CÓDIGO CNE ECP-VIN-P-MBC-MT-002	Elaborado 24/04/2013	Versión: 1

7.1.3. Recálculo de la tabla de aforo del tanque

Las dos variables que causan mayor impacto en las tablas de aforo y hacen necesario el recálculo de las mismas, son la temperatura de lámina del tanque (T_s) y la densidad relativa del producto almacenado. Adicionalmente variaciones en la altura de referencia pueden requerir recálculo de la tabla.

Se debe efectuar teniendo en cuenta lo indicado en el API MPMS 2.2A Apéndice A Tablas A-4 y A-5 (ver Tablas 4 y 5), las cuales permiten establecer diferencias volumétricas por cambios en las condiciones operacionales comparadas con las condiciones teóricas en la elaboración de la tabla de aforo original.

Cambios en la temperatura del producto (T_L), temperatura ambiente (T_a) o ambas pueden afectar la temperatura neta de la pared del tanque (T_s). En consecuencia, para cambios superiores al $\pm 10\%$ en la temperatura del líquido, se deberá hacer el recálculo de la tabla de aforo, independientemente de cuál sea la variación en la temperatura ambiente. Este criterio aplica cuando la tabla de aforo es elaborada a una temperatura base de lámina diferente a 60 °F.

Tabla 4. Variaciones de la Temperatura de Lámina del Tanque.

(Fuente: API MPMS 2.2A Apéndice A Tabla A-4)

Variación en la temperatura de lámina T_s [°F]	Variación en la temperatura ambiente T_a [°F]	Variación en la temperatura del líquido T_L [°F]	Variación aproximada en volumen [%]
9	72	10	0,01
18	145	20	0,03
35		40	0,04
70	—	80	0,07


En operaciones de transferencia en custodia si se presenta cambios en la densidad relativa de $\pm 10\%$ se deberá hacer el recálculo de la tabla de aforo, independientemente de la capacidad del tanque.

Tabla 5. Variaciones en la Densidad Relativa del Producto.

(Fuente: API MPMS 2.2A Apéndice A Tabla A-5)

Variación en la densidad relativa [%]	Variación aproximada en volumen [%]
10	0,008 - 0,015
20	0,015 - 0,030
30	0,030 - 0,040
40	0,040 - 0,050
50	0,050 - 0,065

- **Por cambios en la altura de referencia:** Se deberá recalcular la tabla de aforo para variaciones superiores a 3 mm por encima o por debajo del valor establecido en la tabla de aforo. Si es factible, verifique el estado del plato de medición (datum plate) antes de la solicitud de recálculo.

	MANUAL DE MEDICIÓN DE HIDROCARBUROS Y BIOCMBUSTIBLES CAPITULO 2 – CALIBRACIÓN DE TANQUES		
	VICEPRESIDENCIA DE INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA CORPORATIVO DE NORMAS Y ESTÁNDARES		
	CÓDIGO CNE ECP-VIN-P-MBC-MT-002	Elaborado 24/04/2013	Versión: 1

7.2. CALIBRACIÓN DE TANQUES

La compañía de aforo debe suministrar los equipos de medición en buen estado físico-mecánico con sus respectivos certificados de calibración y/o verificación vigentes y trazables. Estos equipos se deben inspeccionar antes del inicio de los trabajos de aforo por el gestor técnico del contrato. Los equipos básicos requeridos (dependiendo del método de calibración) son:

- Cinta de medición de nivel (con certificado de verificación vigente).
- Cinta de medición de anillos (para verificar en campo).
- Cinta patrón de medición de anillos (con certificado de calibración vigente).
- Teodolito o plomada óptica (con certificado de calibración vigente) conforme al API MPMS 2.2B, parágrafo 2.2B.6 Equipment.
- Termómetro electrónico (PET) (con certificado de verificación vigente).
- Medidor de espesor de lámina (con certificado de verificación).
- Para calibración líquida usando medidor de flujo este deberá tener un certificado de verificación del factor del medidor resultado de dos o más pruebas consecutivas dentro del 0,02% de repetibilidad a una rata de flujo similar a la que se realizará la calibración del tanque o su fondo.
- Tanque probador (con certificado de calibración vigente, calibrado dentro del 0,02% de repetibilidad).

7.2.1. Fondo de los tanques


Los tanques cilíndricos verticales tienen generalmente fondos en forma de cono (normal o invertido). Algunos otros poseen fondos semiesféricos, con pendiente, o semi-elípticos, los cuales se presentan usualmente en tanques de poca capacidad.

La calibración del fondo del tanque se puede realizar así:

- 1) Por levantamiento topográfico o método geométrico (bottom survey) (API MPMS 2.2A, numeral 2.2A.16.6).
- 2) En tanques nuevos o recién reparados es usual la calibración líquida (API Standard 2555).
- 3) Para tanques en servicio, por planos "as built" entregados por ECOPETROL S.A., a la compañía aforadora.

7.2.2. Tanques con techo Flotante

El techo o la membrana flotante dan origen a deducciones volumétricas ocasionadas por el volumen desplazado por dicho techo o membrana.

	MANUAL DE MEDICIÓN DE HIDROCARBUROS Y BIOCOMBUSTIBLES CAPITULO 2 – CALIBRACIÓN DE TANQUES		
	VICEPRESIDENCIA DE INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA CORPORATIVO DE NORMAS Y ESTÁNDARES		
	CÓDIGO CNE ECP-VIN-P-MBC-MT-002	Elaborado 24/04/2013	Versión: 1

- **Peso del techo flotante:** Cuando el techo flota desplaza una cantidad de líquido igual en volumen al de la parte sumergida del techo en el líquido. El peso flotante deberá incluir el peso del techo más el de todos los accesorios anexos que son transportados arriba y abajo en el tanque con él, incluyendo el 50% del peso de la escalera de acceso al techo. El peso del techo es calculado por el fabricante del tanque y debe ser reportado por el aforador.
- **Determinación de volúmenes muertos:** Cuando todo o parte del techo está descansando en sus soportes, el techo y sus accesorios deben deducirse como volúmenes muertos inmersos en el líquido. Estos incluyen uniones, drenajes y otros accesorios que están unidos a la pared del techo o a su fondo, o que eventualmente se mueven con el techo. El techo mismo es un volumen muerto y como el nivel de líquido se incrementa a su alrededor, su forma geométrica determina cómo debe deducirse. La forma geométrica deberá tomarse de los planos del fabricante del tanque o medida en campo mientras el techo esta reclinado sobre sus soportes.

Existen dos métodos para deducir el efecto del desplazamiento del techo flotante de las tablas de aforo: calibración líquida o por cálculo matemático.

7.2.3. Tanques con aislamiento térmico

La calibración del tanque con aislamiento puede efectuarse antes que el aislamiento sea aplicado. Si el tanque tiene aislamiento en el momento de realizar la calibración aplican los siguientes procedimientos:


- a) **Calibración Líquida:** Los tanques con aislamiento pueden ser calibrados mediante el llenado de cantidades de líquido medidos de acuerdo con el estándar API Standard 2555.
- b) **Calibración basada en Mediciones Internas:** En este caso use el API MPMS 2.2B.
- c) **Calibración basada en planos:** En caso que los métodos a. y b., no puedan utilizarse, la calibración puede hacerse con base en los planos constructivos "as-built". Este método es el menos preferido y no es recomendado en aplicaciones de transferencia en custodia.
- d) **Otros métodos:** Usar tecnologías tales como el método de triangulación óptica API MPMS Chapter 2.2C o el método EODR, API MPMS Chapter 2.2D.

7.3. DESCRIPCIÓN

La selección del método de calibración dependerá del tipo y tamaño del tanque, la disponibilidad de tiempo, personal y equipo disponible. A continuación se presenta una breve descripción de tres métodos aplicables a tanques cilíndricos verticales.

7.3.1. Método de "strapping" (MTSM) o método de medición manual de anillos

El término strapping de tanque es comúnmente aplicado al procedimiento por el cual se determinan las dimensiones de un tanque, necesarias para calcular la tabla de aforo del mismo. En cada anillo se miden las circunferencias por medio de una cinta metálica graduada y calibrada contra una cinta patrón. El número de mediciones por anillo depende de las uniones y arreglo de las láminas de los anillos del tanque.

	MANUAL DE MEDICIÓN DE HIDROCARBUROS Y BIOCMBUSTIBLES		
	CAPITULO 2 – CALIBRACIÓN DE TANQUES		
	VICEPRESIDENCIA DE INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA CORPORATIVO DE NORMAS Y ESTÁNDARES		
	CÓDIGO CNE ECP-VIN-P-MBC-MT-002	Elaborado 24/04/2013	Versión: 1

7.3.1.1. Prácticas generales


El strapping del tanque se debe realizar solo después que el tanque haya sido llenado al menos una vez en el sitio con un líquido tan denso como el líquido que se espera va a almacenar. La prueba hidrostática con agua, durante 24 horas es lo usual y cumple con el requerimiento.

- a) **Tanques de 500 barriles o menos:** Pueden ser aforados en cualquier condición de llenado, siempre y cuando previamente se haya cumplido el requisito anterior. Pequeños movimientos de producto (recibos o despachos) son permitidos durante el strapping.
- b) **Tanques de 500 barriles o más:** Los tanques atornillados (bolted joint) deben haber sido llenados por lo menos una vez antes del strapping y pueden ser aforados estando llenos hasta con 2/3 de su capacidad. Se permiten pequeños movimientos de producto (recibos o despachos) durante el strapping.

Tanques con láminas soldadas o remachadas (welded/riveted joints), se pueden aforar en cualquier condición de llenado, pero habiendo sido llenados completamente en su sitio actual por lo menos una vez. Movimientos de producto en el tanque no están permitidos durante el proceso.

Durante el strapping se debe registrar la siguiente información:

- Nivel del líquido durante el proceso de aforo.
- Gravedad API del producto almacenado durante el strapping.
- Temperatura promedio del líquido al momento del strapping.
- Temperatura ambiente en el área de localización del tanque.
- Nivel de inclinación del tanque.
- Altura total del tanque.
- Altura de cada anillo.
- Altura de referencia.
- Ubicación del punto de referencia.
- Determinación de volúmenes muertos externos e internos.
- Forma del fondo del tanque y sus dimensiones.
- Peso del techo flotante o membrana.
- Espesor de láminas de todos los anillos.
- Localización y altura del plato de medición (datum plate).
- Detalles adicionales de interés y valor que puedan influir en el aforo.

	MANUAL DE MEDICIÓN DE HIDROCARBUROS Y BIOCOMBUSTIBLES CAPITULO 2 – CALIBRACIÓN DE TANQUES	
	VICEPRESIDENCIA DE INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA CORPORATIVO DE NORMAS Y ESTÁNDARES	
	CÓDIGO CNE ECP-VIN-P-MBC-MT-002	Elaborado 24/04/2013

En la Figura 1., se muestran las posiciones para medición de circunferencias en tanques soldados.

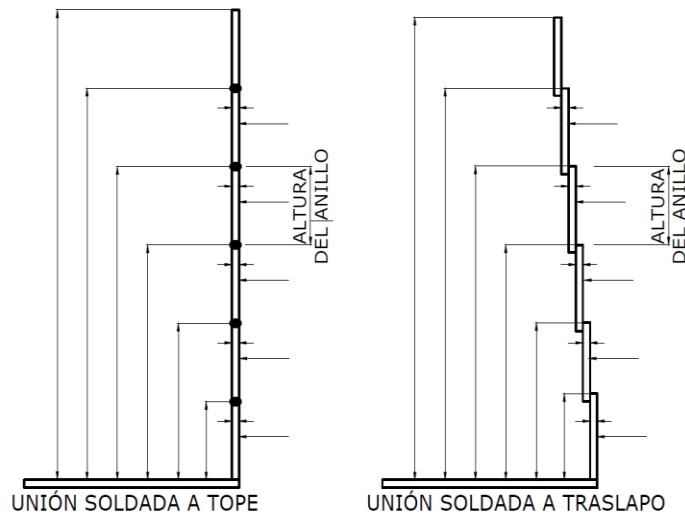


Figura 1. Posiciones para Medición de Circunferencias en Tanques Soldados.

7.3.2. Método de calibración líquida (API STD 2555)

Es un método para determinar los incrementos de volúmenes y capacidades de tanques u otros recipientes, transfiriendo cantidades conocidas de líquido hacia o desde un recipiente. Este método establece los pasos requeridos para determinar con exactitud los incrementos volumétricos para elaborar tablas de aforo para tanques de cualquier forma o diseño excepto probadores de medidores. Este método se ejecuta en lapsos de tiempo muy largos, por lo tanto se usa para tanques pequeños, tanques horizontales, para el aforo de los fondos de tanques grandes, tanques subterráneos, o para tanques cuya forma no permite la utilización de un método geométrico.


7.3.2.1. Equipos

Los equipos utilizados en el aforo son:

- Tanque volumétrico aforado.
- Medidores de flujo calibrados.
- Tanques estacionarios.

7.3.2.2. Procedimiento con tanque volumétrico

El tanque(s) volumétrico(s) debe(n) situarse tan cerca como sea posible al tanque que va a ser aforado y será nivelado(s) con respecto a la superficie de soporte. Se deben revisar y verificar la condición de llenado de las líneas antes que se inicie el aforo para asegurar una entrega positiva de tanque a tanque. Se debe registrar la temperatura del líquido en tanque volumétrico calibrador así como la del

	MANUAL DE MEDICIÓN DE HIDROCARBUROS Y BIOCMBUSTIBLES		
	CAPITULO 2 – CALIBRACIÓN DE TANQUES		
	VICEPRESIDENCIA DE INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA CORPORATIVO DE NORMAS Y ESTÁNDARES		
	CÓDIGO CNE ECP-VIN-P-MBC-MT-002	Elaborado 24/04/2013	Versión: 1

tanque a ser calibrado después de cada llenado y el volumen ajustado si hay cambio de temperatura. La condición de llenado de las líneas debe ser la misma antes y después de cada medición.

El trabajo de calibración debe iniciarse y completarse, en lo posible, sin interrupción. Donde se presenten interrupciones que generen cambios en la temperatura del líquido, se puede continuar con el procedimiento aplicando los factores de corrección pertinentes.

Se obtienen mejores resultados cuando la temperatura ambiente y la del líquido son similares. Se debe realizar la calibración tan rápido como sea posible para que el cambio de temperatura sea mínimo.

7.3.2.3. Procedimiento con un medidor de flujo

El medidor debe estar instalado siguiendo recomendaciones del fabricante, localizado tan cerca como sea posible del tanque a calibrar. El medidor deberá ser probado previamente con el mismo líquido que se utilizará en la calibración del tanque o con otro de densidad similar.

El flujo de líquido hacia o desde el tanque a ser calibrado debe comenzar en puntos predeterminados, que dependen del tipo de tanque, distribución de volúmenes muertos, o tamaño y forma de la zona a ser calibrada. En cada parada se deberá registrar la lectura del medidor, temperatura del líquido en el tanque, temperatura promedio del líquido entregado por el medidor, nivel de líquido en el tanque.

7.3.2.4. Procedimiento con tanque estacionario


Se utilizará un tanque aforado previamente, el cual debe estar adyacente o cercano al tanque que se va a calibrar. El diámetro de este tanque debe ser más pequeño que el del tanque a ser aforado.

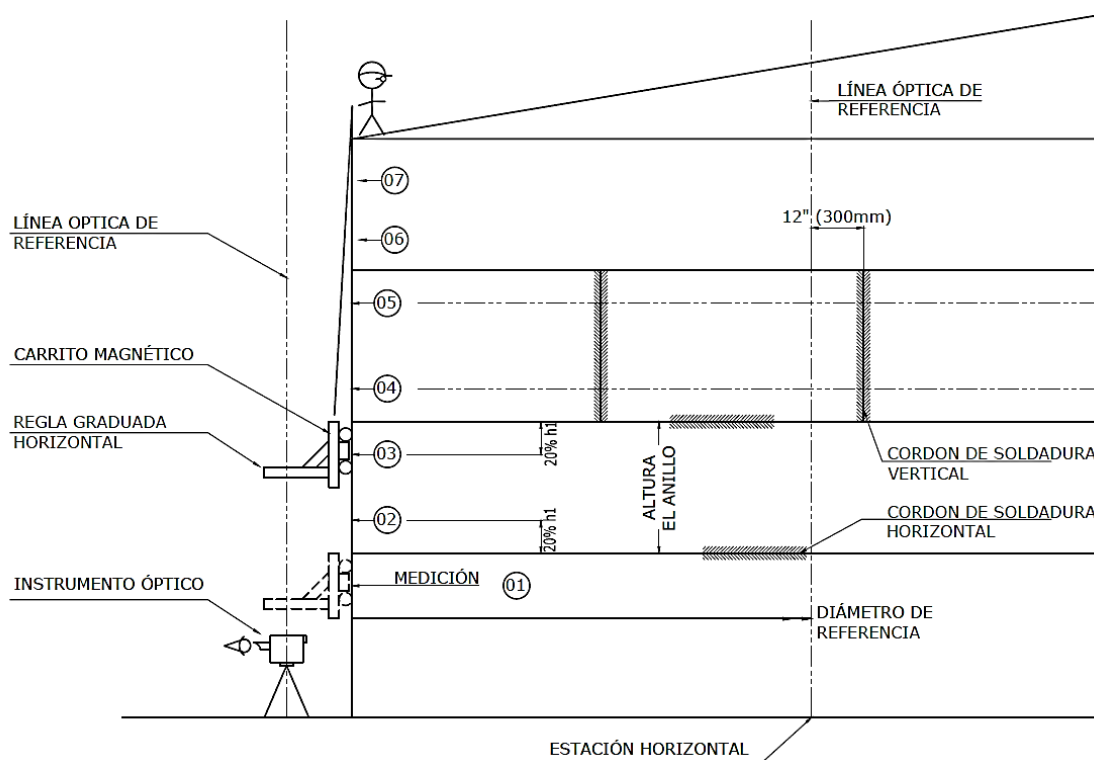
Como medio de calibración es preferible utilizar agua, aunque se puede utilizar otro líquido no volátil. Luego de verificar las condiciones de hermeticidad y llenado de las líneas de suministro, se da inicio a la transferencia entre tanques. Los incrementos de volumen serán determinados por el tipo del tanque, volúmenes muertos, etc. Luego de cada parada se hará la medición de cada tanque, registrando también temperatura del líquido en cada uno.

7.3.3. Método de la Línea Óptica de Referencia (ORLM)

Este es un método alternativo al de strapping, para la determinación del diámetro del tanque. La diferencia primaria entre los dos métodos, es el procedimiento para la medición del diámetro de los anillos del tanque superiores al primero. Se mide el diámetro del primer anillo del tanque, según el método de strapping, el cual se utiliza como diámetro de referencia. En los anillos superiores se miden las desviaciones con respecto al diámetro de referencia, utilizando un instrumento óptico en estaciones horizontales y verticales predeterminadas.

Las demás mediciones, procedimientos y herramientas analíticas para el desarrollo de la tabla de aforo son las mismas establecidas en el API MPMS 2.2A.

	MANUAL DE MEDICIÓN DE HIDROCARBUROS Y BIOCOMBUSTIBLES		
	CAPITULO 2 – CALIBRACIÓN DE TANQUES		
	VICEPRESIDENCIA DE INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA CORPORATIVO DE NORMAS Y ESTÁNDARES		
	CÓDIGO CNE ECP-VIN-P-MBC-MT-002	Elaborado 24/04/2013	Versión: 1



(Fuente: API MPMS Chapter 2.2B Figura 2).

Figura 2. Elevación del Tanque.

7.3.3.1. Equipos


Los equipos utilizados normalmente en el ORLM son los siguientes:

- Un dispositivo óptico, montado sobre un soporte, el cual debe tener una línea de visión perpendicular (línea de vista a 90°), con mecanismos de nivelación en tres ejes diferentes.
- Un carro desplazador magnético, con una regla horizontal graduada (incrementos de 1 mm), el cual se utiliza para la medición de las desviaciones en las estaciones verticales.

7.3.3.2. Preparación

La ubicación de las estaciones horizontales se debe escoger de manera que el recorrido vertical del carro desplazador magnético se encuentren por lo menos a 300 mm de distancia de cualquier unión vertical soldada.

El número mínimo de estaciones horizontales se debe seleccionar de acuerdo con la Tabla 6. Es posible tomar estaciones adicionales, pero siempre deberá ser un número par. Las estaciones deberán estar espaciadas lo más equidistante posible a lo largo de la circunferencia del tanque.

	MANUAL DE MEDICIÓN DE HIDROCARBUROS Y BIOCOMBUSTIBLES CAPITULO 2 – CALIBRACIÓN DE TANQUES		
	VICEPRESIDENCIA DE INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA CORPORATIVO DE NORMAS Y ESTÁNDARES		
	CÓDIGO CNE ECP-VIN-P-MBC-MT-002	Elaborado 24/04/2013	Versión: 1

Para cualquier estación horizontal, se debe establecer por lo menos dos estaciones verticales, excepto para el primer anillo, en el cual se tomará solamente una estación vertical localizada a un 20% de altura por debajo del cordón de soldadura superior, o a una altura tal que el alcance focal del instrumento óptico permita hacer la lectura con nitidez.

Si estos dos criterios se contradicen la localización se determinará por la distancia focal del instrumento.


Tabla 6. Diámetro del Tanque vs Número Mínimo de Estaciones.
(Fuente: API MPMS 2.2B Tabla 1).

Diámetro del tanque		Número mínimo de estaciones
Pies	Metros	
50	15	8
100	30	12
150	50	16
200	70	20
250	85	24
300	100	30
350	120	36

7.3.3.3. Procedimiento

Las mediciones se deben realizar de la siguiente manera:

- a) La circunferencia de referencia en el primer anillo debe medirse utilizando una cinta patrón y se tomará a la altura determinada para la primera estación vertical, o lo más cercana a ella (ver Figura 2). Para la medición de la circunferencia se debe seguir el procedimiento indicado en el API MPMS Capítulo 2.2A.
- b) Se debe verificar que el instrumento óptico permanezca en una posición estable y no se debe mover o ser perturbado en cualquier estación horizontal, durante el recorrido del desplazador desde el primer anillo hasta el último de los anillos superiores.
- c) Verifique la perpendicularidad (API MPMS 2.2B, numeral 2.2B.7.3 — Instrument Verification) y mida la desviación de la primera estación horizontal.
- d) El carrito desplazador se debe movilizar verticalmente hasta la siguiente estación en cada anillo y leer la desviación respectiva. Este procedimiento debe repetirse secuencialmente en cada una de las estaciones verticales.
- e) Luego de haber determinado la desviación en el último anillo, el carro debe bajarse hasta el primer anillo y repetir la medición de la desviación. Las lecturas inicial y final en cada estación horizontal no deben tener una diferencia superior a 1 mm una de la otra, si no es así se deberá repetir todo el procedimiento a partir del paso c.
- f) Los pasos b) al e) deben repetirse para cada estación horizontal.

	MANUAL DE MEDICIÓN DE HIDROCARBUROS Y BIOCOMBUSTIBLES CAPITULO 2 – CALIBRACIÓN DE TANQUES		
	VICEPRESIDENCIA DE INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA CORPORATIVO DE NORMAS Y ESTÁNDARES		
	CÓDIGO CNE ECP-VIN-P-MBC-MT-002	Elaborado 24/04/2013	Versión: 1

g) Después de completar las mediciones alrededor de todo el tanque, se debe repetir la medición de la circunferencia de referencia (paso a.), utilizando la misma cinta. Las lecturas no deben diferir en más de 1 mm, si la diferencia es superior se deberán repetir todas las mediciones.


Si por alguna circunstancia no se pueden tomar las mediciones con el instrumento óptico en alguno de los anillos, se deberá emplear el método de strapping para medir la circunferencia.

Para tanques cilíndricos verticales, los datos de campo para el método de la línea óptica de referencia deben incluir:

- Número de estaciones horizontales de acuerdo al diámetro del tanque (mínimo ocho).
- Medida de la circunferencia de referencia (primer anillo) corregida con la cinta patrón.
- Medida de la desviación de referencia del instrumento óptico para el primer anillo.
- Medida de las desviaciones para los anillos superiores.
- Descripción de los anillos (tipo de junta, altura).
- Altura total del tanque.
- Medida de la altura de referencia.
- Localización del plato de medición (datum plate).
- Descripción y dimensiones de los volúmenes muertos (deadwoods).
- Descripción y aforo del fondo indicando método de calibración (geométrico, líquido, "as-built").
- Espesores de lámina para cada anillo.

En las memorias de cálculo se debe incluir la siguiente información:

- Verticalidad del tanque.
- Circunferencias externas a internas (indicando todas las correcciones aplicadas).
- Efectos de la altura de líquido sobre las circunferencias.
- Volumen incremental bruto por anillo.
- Incremento volumétrico adicional por cada unidad de nivel de líquido encima de cada anillo.
- Cálculo de volúmenes muertos (deadwoods).
- Incremento volumétrico neto.
- Desplazamiento de líquido para tanques con techo o membrana flotante.

	MANUAL DE MEDICIÓN DE HIDROCARBUROS Y BIOCMBUSTIBLES		
	CAPITULO 2 – CALIBRACIÓN DE TANQUES		
	VICEPRESIDENCIA DE INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA CORPORATIVO DE NORMAS Y ESTÁNDARES		
	CÓDIGO CNE ECP-VIN-P-MBC-MT-002	Elaborado 24/04/2013	Versión: 1

- Corrección volumétrica por efecto del techo o membrana flotante (FRA).
- Resumen con corrida general de cálculos y volúmenes acumulados por anillo para generar la tabla de aforo.

7.3.3.4. Procedimiento de cálculo

Consulte el API MPMS 2.2.B, numeral 2.2B.8, para la determinación del diámetro de referencia y de los anillos superiores. El desarrollo de la tabla de aforo se hará de acuerdo con las indicaciones establecidas en el API MPMS 2.2A.

7.4. ELABORACIÓN DE LA TABLA DE AFORO


En Colombia las tablas de aforo se elaboran a la temperatura base de 60 °F y deben considerar correcciones a las circunferencias internas por efecto de la altura del líquido almacenado, volúmenes muertos, inclinación del tanque, volumen del fondo y el ajuste volumétrico (FRA) por efecto del techo o membrana flotante, si aplica.

Para el ajuste por expansión o contracción del tanque debido al efecto de la temperatura de lámina se debe aplicar un factor de corrección (CTSh), de manera separada.

Los pormenores para la generación de la tabla de aforo se indican en el API MPMS 2.2A numeral 2.2A.19, Tank Capacity Table Development: Calculation Procedure. La Figura 3., muestra un modelo típico de tabla de aforo.

A continuación se indica un resumen de los pasos de este proceso:

- Calibración de la cinta patrón a 60 °F:** La lectura de la cinta patrón que generalmente se encuentra calibrada a una temperatura de 68 °F, debe ser corregida a 60 °F, según se indica en el numeral 2.2A.19.2.2.
- Conversión de las circunferencias externas en internas:** Las dimensiones de las circunferencias externas tomadas en campo deben ser llevadas a circunferencias internas deduciendo el espesor de lámina de cada anillo (numeral 2.2A.19.3).
- Deducciones por irregularidades en la trayectoria de la cinta:** Si durante las mediciones se presentó condición de pérdida de contacto de la cinta con la superficie del tanque por obstáculos presentes en la trayectoria de la cinta, se deberá incluir una corrección deduciendo la suma de estos incrementos en la circunferencia (los numerales 2.2A.19.4.3 y 2.2A.19.4.4 indican la metodología para la deducción).
- Expansión y contracción de la lámina del tanque debido a la altura de líquido:** La expansión o contracción de las láminas de acero del tanque por efecto de la altura de líquido debe tomarse en consideración; este ajuste no es necesario en tanques con capacidades menores a 500 barriles. El efecto de la altura del líquido puede introducirse en la tabla de aforo aplicando la metodología descrita en el numeral 2.2A.19.5.3 o realizando el strapping del tanque con máximo nivel de líquido y tomando medidas del tanque a medida que disminuye el nivel del líquido.
- Expansión y contracción de la lámina del acero debido a la temperatura:** La expansión y contracción de la lámina del acero del tanque deberán calcularse. Puede ser necesario estimar la

	MANUAL DE MEDICIÓN DE HIDROCARBUROS Y BIOCOMBUSTIBLES		
	CAPITULO 2 – CALIBRACIÓN DE TANQUES		
	VICEPRESIDENCIA DE INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA CORPORATIVO DE NORMAS Y ESTÁNDARES		
	CÓDIGO CNE ECP-VIN-P-MBC-MT-002	Elaborado 24/04/2013	Versión: 1

temperatura de servicio y calcular la corrección del volumen por expansión del tanque debido al incremento en la temperatura. Los valores estimados de temperatura deberán verificarse después que el tanque se encuentra en servicio. El procedimiento de corrección para calcular el volumen adicional que será agregado al volumen total calculado sin calentamiento se encuentra descrito en el numeral 2.2A.19.6.

NOTA: El factor CTSh se aplicará al hacer la liquidación de cantidad a los volúmenes obtenidos de la tabla de aforo (ver MMH Capítulo 12). Este factor no se considera en la rutina de cálculo de la tabla de aforo. El API MPMS Capítulo 2.2A señala la aplicación de estos factores en sus numerales 2.2A.19.6.

- f) **Efecto de la verticalidad en la porción cilíndrica del tanque:** El valor de la inclinación a la altura máxima debe medirse. Sí la inclinación del tanque es menor que $1/70$, el error en la tabla vertical de capacidad para la porción cilíndrica será menor que 0,01% del volumen y su efecto puede despreciarse. Sí la inclinación es mayor o igual que $1/70$ su efecto sobre la tabla vertical deberá corregirse para obtener una tabla de aforo con inclinación cero (ver numeral 2.2A.19.7).
- g) **Tanques con techo o membrana flotante:** Para estos tanques se debe considerar el efecto del desplazamiento de volumen ocasionado por el peso del techo o la membrana y la tabla debe señalar claramente la zona de desplazamiento parcial (zona crítica).


El API MPMS Chapter 2.2.A indica dos procedimientos para dar cuenta del volumen desplazado por el techo en la tabla de aforo:

- 1) **Tabla de aforo tratando el techo como un volumen muerto:** En este tipo de tabla, el peso del techo flotante se tiene en cuenta sustrayendo a la capacidad bruta del tanque el volumen desplazado por el mismo, basado en la gravedad API asumida con la que operará el tanque. Cuando la gravedad API real sea diferente al valor operativo asumido en la preparación de la tabla de aforo, se incluirá el ajuste volumétrico adicional señalado en la tabla de aforo (ver API MPMS 2.2A numeral 2.2A19.8.4).
- 2) **Tabla de aforo con capacidad bruta o abierta:** En este tipo de tabla no se deduce el efecto del desplazamiento del techo, por ello es necesario al utilizar la tabla calcular el volumen desplazado y deducirlo del valor bruto indicado en la misma (ver API MPMS 2.2A numeral 2.2A19.8.5).

7.5. AUDITORÍA AL PROCESO DE AFORO

Para garantizar la confiabilidad del proceso de aforo, el contratante deberá verificar los siguientes ítems:

- Selección de la compañía aforadora. La empresa deberá estar acreditada por el Organismo Nacional de Acreditación de Colombia (ONAC), para llevar a cabo labores de aforo de tanques. Esta documentación se deberá aportar como parte de los documentos requeridos al contratista.
- Los trabajos de campo deberán ser dirigidos por personal con las competencias necesarias para llevar a cabo dicha labor. Deberán ser profesionales en ingeniería con experiencia específica no menor de tres (3) años o tecnólogos que demuestren por lo menos cuatro (4) años de experiencia específica. Este personal deberá demostrar conocimientos básicos de Metrología, con las certificaciones pertinentes. La compañía aforadora deberá aportar las hojas de vida con los respectivos soportes.

	MANUAL DE MEDICIÓN DE HIDROCARBUROS Y BIOCMBUSTIBLES		
	CAPITULO 2 – CALIBRACIÓN DE TANQUES		
	VICEPRESIDENCIA DE INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA CORPORATIVO DE NORMAS Y ESTÁNDARES		
	CÓDIGO CNE ECP-VIN-P-MBC-MT-002	Elaborado 24/04/2013	Versión: 1

- Según el tipo de tanque a ser aforado se validará con el contratista alguno de los métodos señalados en el numeral 7.3 de este Capítulo.
- Los equipos y elementos de medición deben cumplir con los requerimientos metrológicos indicados en cada método de aforo y contar con los respectivos certificados de calibración y/o verificación vigentes (ver numeral 7.2). La verificación en campo de la cinta de strapping deberá ser aprobada por la gestoría técnica mediante acta firmada por las partes.

El cumplimiento y validación de los puntos anteriores es el indicador que permitirá la iniciación de los trabajos de campo. Durante la realización del trabajo de campo se deberán controlar los siguientes hitos:

- Resultado de la verificación de la cinta de strapping con la cinta patrón (método MTSM).
- Verificación del número de estaciones verticales (Tabla 6), determinadas según el diámetro del tanque (método ORLM).
- Si se emplea calibración líquida, verificar el procedimiento de calibración del medidor.
- Confirmar método de calibración del fondo, si aplica.
- Finalizados los trabajos de campo se deberá emitir un Acta de entrega/recepción a satisfacción de las partes.

Recepción de la tabla de aforo: El certificado de calibración del tanque o tabla de aforo, debe cumplir con los requisitos indicados en el numeral 7.2 de este Capítulo.

Se deberá revisar la tabla de aforo aplicando el procedimiento corporativo ECP-VSM-P-061 Procedimiento para la verificación de tablas de aforo. El resultado de la revisión indicará si se recibe la tabla al contratista o si la misma estará sujeta a modificaciones, que impidan la recepción de la misma. Finalmente se valida y aprueba la tabla de aforo con el equipo de operaciones, teniendo presente el resultado de la revisión anterior.

7.6. CALIBRACIÓN DE BOTES, BARCAZAS Y BUQUETANQUES

Todo buquetanque o bote debe poseer tablas de aforo vigentes impresas de todos sus tanques de carga, las cuales se utilizan para verificar las cantidades resultantes del sistema de cálculo de carga a bordo. Las tablas deben incluir correcciones aplicables por asentamiento, escora, efectos térmicos (gases refrigerados o GLP) y ajustes adicionales para equipos de medición que sean aplicables, tales como los sistemas portátiles electrónicos de medición (PEGD) si el buquetanque se encuentra equipado con los mismos.


	MANUAL DE MEDICIÓN DE HIDROCARBUROS Y BIOCOMBUSTIBLES CAPITULO 2 – CALIBRACIÓN DE TANQUES		
	VICEPRESIDENCIA DE INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA CORPORATIVO DE NORMAS Y ESTÁNDARES		
	CÓDIGO CNE ECP-VIN-P-MBC-MT-002	Elaborado 24/04/2013	Versión: 1


Tabla 7. Resumen Métodos de Calibración.


Método calibración	Ventajas	Desventajas	Equipos necesarios
Líquida	Más exacto de todos, se complementa utilizando en el fondo método lineal. Uso indicado en los tanques con formas irregulares.	Ver numeral 7.3.2 de este documento.	Medidor de flujo y demás indicados en el API STD 2555.
Método lineal	Recomendado para tanques centrales, que no presentan variaciones de forma.	No indicado en tanques que presenten formas irregulares como los extremos laterales.	Cintas de medición para longitudes y alturas, equipo para medición de niveles, cinta patrón, software de diseño asistido por computador.
Planos	Aplicable si es imposible realizar el método líquido o el lineal, por inaccesibilidad.	Debe complementarse con mediciones lineales siempre que sea posible. Alta incertidumbre.	Software de diseño asistido por computador.

Cada tabla de aforo debe indicar claramente la altura de referencia y el 100% de la capacidad del tanque.

Las normas aplicables mencionadas en el numeral 7.2.3 recomiendan tres métodos de aforo: calibración líquida, calibración por mediciones lineales y calibración por planos del buquetanque o bote. Generalmente se utiliza una combinación de dos o de los tres métodos de calibración, ya que cada método presenta ventajas y desventajas (Tabla 7).

La recalibración es necesaria si se produce algún cambio de tipo físico, que pueda alterar la capacidad de los tanques. Tales cambios pueden incluir, pero no se limitan a: relocalización de la altura de referencia, alteraciones estructurales o alteraciones en los volúmenes muertos.

	MANUAL DE MEDICIÓN DE HIDROCARBUROS Y BIOCOMBUSTIBLES CAPITULO 2 – CALIBRACIÓN DE TANQUES		
	VICEPRESIDENCIA DE INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA CORPORATIVO DE NORMAS Y ESTÁNDARES		
	CÓDIGO CNE ECP-VIN-P-MBC-MT-002	Elaborado 24/04/2013	Versión: 1


NOMBRE Y LOGO DE EMPRESA AFORADORA Dirección, teléfono, correo electrónico, página web, NIT, etc.	 ECOPETROL S.A. VICEPRESIDENCIA DE (TRANSPORTE) GERENCIA DE (POLIDUCTOS) PLANTA (PUERTO SALGAR) PUERTO SALGAR (CUNDINAMARCA)	TANQUE K-XXX * PRODUCTO: Nombre del producto								
FONDO	CILINDRO PRINCIPAL								FRACCIONES	
NIVEL cm VOLUMEN Bls INCREMENTO Bls / mm	NIVEL cm VOLUMEN Bls	NIVEL cm VOLUMEN Bls	NIVEL cm VOLUMEN Bls	NIVEL cm VOLUMEN Bls	NIVEL cm VOLUMEN Bls	NIVEL cm VOLUMEN Bls	NIVEL cm VOLUMEN Bls	NIVEL cm VOLUMEN Bls	NIVEL cm VOLUMEN Bls	
0 1,38 0,1 1,48 0,9 3,70 1,7 7,85 2,7 15,44 4,6 34,29 6,0 50,00	6 50,00 10 95,44 20 210,78 30 325,62 40 440,47 50 555,31 60 670,15 70 784,99 80 899,84 90 1014,68	240 2.737,32 250 2.852,16 260 2.967,01 270 3.081,86 280 3.196,70 290 3.311,55 300 3.426,39 310 3.541,24 320 3.656,09 330 3.770,93	480 5.493,62 490 5.608,47 500 5.723,32 510 5.838,17 520 5.953,03 530 6.067,88 540 6.182,73 550 6.297,59 560 6.412,44 570 6.527,30	720 8.250,10 730 8.364,96 740 8.479,83 750 8.594,72 760 8.709,61 770 8.824,49 780 8.939,38 790 9.054,26 800 9.169,15 810 9.284,04	960 11.007,33 970 11.122,21 980 11.237,07 990 11.351,92 1000 11.466,76 1010 11.581,61 1020 11.696,46 1030 11.811,31 1040 11.926,15 1050 12.041,00	1 11,48 2 22,97 3 34,45 4 45,94 5 57,42 6 68,91 7 80,39 8 91,88 9 103,36				
TANQUE CILINDRICO VERTICAL SOLDADO										
ALTURA DE REFERENCIA, m DATO CAPACIDAD NOMINAL, bls DATO DIAMETRO DEL CILINDRO, m DATO ALTURA EFECTIVA, m DATO ESFUERZO POR CABEZA DE LÍQUIDO, GRAV APÍA 60 °F DATO TEMPERATURA BASE DE LÁMINA, °F DATO TIPO DEL TECHO: DATO TIPO DEL FONDO: DATO	100 1.129,52 110 1.244,36 120 1.359,21 130 1.474,05 140 1.588,89 150 1.703,74 160 1.818,58 170 1.933,42 180 2.048,26 190 2.163,11 200 2.277,95 210 2.392,79 220 2.507,63 230 2.622,48	340 3.885,78 350 4.000,62 360 4.115,47 370 4.230,31 380 4.345,16 390 4.460,01 400 4.574,85 410 4.689,70 420 4.804,54 430 4.919,39 440 5.034,24 450 5.149,08 460 5.263,93 470 5.378,77	580 6.642,15 590 6.757,00 600 6.871,86 610 6.986,71 620 7.101,56 630 7.216,42 640 7.331,27 650 7.446,13 660 7.560,98 670 7.675,83 680 7.790,69 690 7.905,54 700 8.020,39 710 8.135,25	820 9.398,92 830 9.513,81 840 9.628,69 850 9.743,58 860 9.858,47 870 9.973,35 880 10.088,24 890 10.203,12 900 10.318,01 910 10.432,90 920 10.547,78 930 10.662,67 940 10.777,55 950 10.892,44	1060 12.155,85 1070 12.270,69 1080 12.385,54 1090 12.500,39 1100 12.615,24 1110 12.730,08 1120 12.844,93 1130 12.959,78 1140 13.074,62 1150 13.189,47 1160 13.304,32 1170 13.419,17 1180 13.534,01 1190 13.648,86	NIVEL mm VOLUMEN Bls	1 1,15 2 2,30 3 3,44 4 4,59 5 5,74 6 6,89 7 8,04 8 9,18 9 10,33			
INCERTIDUMBRE ESTIMADA										
FACTOR DE COBERTURA 2 NIVEL DE CONFIANZA 95% INCERTIDUMBRE EXPANDIDA 0,xx% INCERTIDUMBRE RELATIVA 0,xx%	La aplicación del nivel de la tabla es para medir a fondo. La calibración del tanque y los cálculos fueron realizados según API PPM S Capítulo 2, sección 2A "Measurement and Calibration of Upright Cylindrical Tanks by the Manual Tank Strapping Method" Primera Edición febrero de 1995, reconfirmada febrero 2.007 y Sección 2B, "Optical Reference Line Method" Primera Edición, marzo 1989, reconfirmada marzo de 2.007									
FECHA DE CALIBRACIÓN DD/MM/AAAA										
AFORADO POR:			REVISADO POR:			REP. MINISTERIO MINAS Y ENERGÍA:				
NOMBRE TÉCNICO/INGENIERO			Responsable verificación			NOMBRE/FIRMA INSPECTOR				
Matrícula Profesional			Matrícula Profesional							

* Dependiendo de la Vicepresidencia Operativa, el tanque tendrá un prefijo diferente con su respectivo número.

Figura 3. Tabla de Aforo.

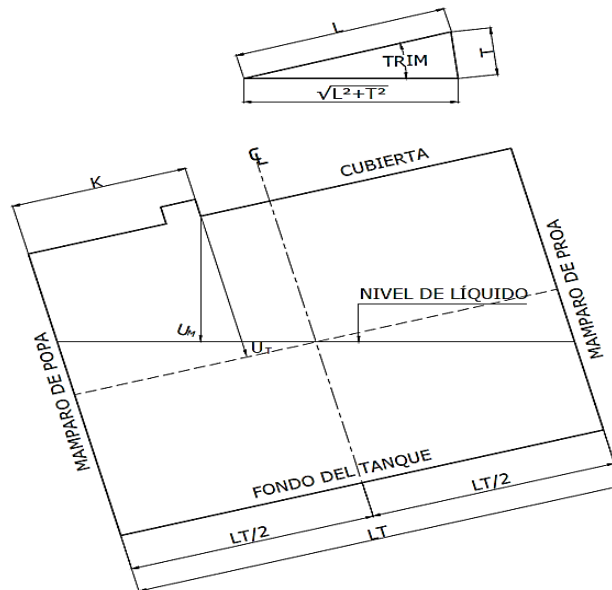
7.6.1. Correcciones por asentamiento (trim) y escora (list)

La mayoría de los buquetanques tienen sistemas para la medición del asentamiento y/o la escora por medio de dispositivos mecánicos tales como los inclinómetros. Tales dispositivos deben verificarse, cuando la nave se encuentre en dique seco o contra mediciones manuales de calados. Las tablas de aforo deben tener correcciones aplicables a las mediciones observadas, cuando la nave no se encuentra en posición de calados iguales (even keel) longitudinal o transversalmente y el líquido tiene contacto con los cuatro mamparos, pero no con el lado inferior de la cubierta.

	MANUAL DE MEDICIÓN DE HIDROCARBUROS Y BIOCMBUSTIBLES CAPITULO 2 – CALIBRACIÓN DE TANQUES		
	VICEPRESIDENCIA DE INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA CORPORATIVO DE NORMAS Y ESTÁNDARES		
	CÓDIGO CNE ECP-VIN-P-MBC-MT-002	Elaborado 24/04/2013	Versión: 1

Las tablas de aforo de los botes (navegación fluvial), no muestran estas correcciones, ya que usualmente deberán ser atracados en condición de calados iguales y sin escora.

Para un buque que se encuentre en condición de asentamiento al realizar las mediciones, las mismas se deben corregir según se ilustra en la Figura 4.



(Fuente: API MPMS Chapter 2.8A Fig. 9).


Figura 4. Corrección por Asentamiento (Trim).

La corrección por asentamiento a la medida de vacío observada, se puede expresar en pies o metros según la siguiente ecuación:

$$U_T = \left\{ U_M * \frac{\sqrt{(L^2 + T^2)}}{L} \right\} \pm \frac{T}{L} * \left\{ \frac{L_T}{2} - K \right\} \quad \text{Ecuación 1}$$

En donde:

- U_T , medida de vacío (ullage) corregida.
- U_M , medida de vacío (ullage) observada.
- L , longitud entre las marcas de calados.
- L_T , longitud del tanque.
- K , distancia del punto de referencia al mamparo de popa.
- T , diferencia de calados (trim).

	MANUAL DE MEDICIÓN DE HIDROCARBUROS Y BIOCOMBUSTIBLES	
	CAPITULO 2 – CALIBRACIÓN DE TANQUES	
	VICEPRESIDENCIA DE INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA CORPORATIVO DE NORMAS Y ESTÁNDARES	
CÓDIGO CNE ECP-VIN-P-MBC-MT-002	Elaborado 24/04/2013	Versión: 1

La segunda parte de la expresión en la ecuación 1, es positiva cuando el punto de medición está localizado hacia la dirección de popa en la longitud media del tanque. Cuando el punto de medición se localiza hacia la dirección de proa, el signo será negativo.

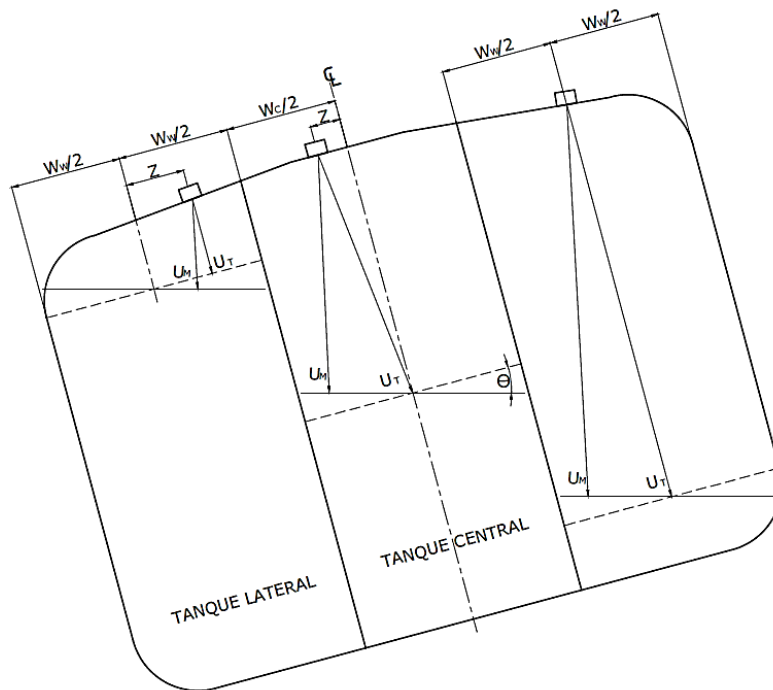
La medida de vacío observada se debe también corregir por escora, si la nave presenta esta condición, de acuerdo a lo ilustrado en la Figura 5. Esta corrección se puede expresar según la siguiente ecuación:

$$U_T = \frac{U_M}{\cos\theta} \pm Z * \tan\theta \quad \text{Ecuación 2}$$

En donde:


- U_T , medida de vacío (ullage) corregida.
- U_M , medida de vacío (ullage) observada.
- Z , distancia del punto de referencia a la línea central del tanque.
- θ , ángulo de escora.

El signo para la segunda porción de la ecuación 2, será positivo cuando la escora es hacia el lado en el cual está localizado el punto de medición y negativo, cuando la escora se presenta hacia el lado opuesto al punto de medición.



(Fuente: API MPMS Chapter 2.8A Fig. 10)

Figura 5. Corrección por Escora (List).

	MANUAL DE MEDICIÓN DE HIDROCARBUROS Y BIOCOMBUSTIBLES CAPITULO 2 – CALIBRACIÓN DE TANQUES		
	VICEPRESIDENCIA DE INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA CORPORATIVO DE NORMAS Y ESTÁNDARES		
	CÓDIGO CNE ECP-VIN-P-MBC-MT-002	Elaborado 24/04/2013	Versión: 1

7.7. CALIBRACIÓN DE CARROTANQUES

Aunque el estándar API aplicable para la calibración de carrotanques atmosféricos y/o presurizados es el API STD 2554 Measurement and Calibration of Tank Cars, la práctica usual en nuestro país es utilizar el estándar de calibración líquida API STD 2555 Method for Liquid Calibration of Tanks.

El estándar API 2554 propone tres métodos de calibración para carrotanques atmosféricos:

- a) Llenado del tanque con cantidades medidas de agua mediante recipientes calibrados (procedimiento de calibración en planta con agua).
- b) Llenado del tanque con agua y pesado del mismo antes y después del llenado (método gravimétrico).
- c) Medición de las dimensiones externas y deducción de espesores de lámina y deadwoods (strapping).

CAPACIDADES DE HIDROCARBUROS A GRANEL (BARRILES POR PULGADA)


BOTE NAVIERA : 96

BODEGAS : 1 - 2 - 3 - 4 - 5 - 6 - 7 - 8

Dimensiones de las bodegas (Mts.) : 10.45 x 5.50

FRACCIÓN		1/8	1/4	3/8	1/2	5/8	3/4	7/8
PULGADA		1,14	2,27	3,41	4,55	5,68	6,82	7,95
1	9,09	10,23	11,36	12,50	13,64	14,77	15,91	17,04
2	18,18	19,32	20,45	21,59	22,73	23,86	25,00	26,13
3	27,27	28,41	29,54	30,68	31,82	32,95	34,09	35,22
4	36,36	37,50	38,63	39,77	40,91	42,04	43,18	44,31
5	45,45	46,59	47,72	48,86	50,00	51,13	52,27	53,40
6	54,54	55,68	56,81	57,95	59,08	60,22	61,36	62,49
7	63,63	64,77	65,90	67,04	68,17	69,31	70,45	71,58
8	72,72	73,86	74,99	76,13	77,27	78,40	79,54	80,67
9	81,81	82,95	84,08	85,22	86,36	87,49	88,63	89,76
10	90,90	92,04	93,17	94,31	95,45	96,58	97,72	98,85
11	99,99	101,13	102,26	103,40	104,54	105,67	106,81	107,94
12	109,08	110,22	111,35	112,49	113,63	114,76	115,90	117,03
13	118,17	119,31	120,44	121,58	122,72	123,85	124,99	126,12
14	127,26	128,40	129,53	130,67	131,81	132,94	134,08	135,21
15	136,35	137,49	138,62	139,76	140,90	142,03	143,17	144,30
16	145,44	146,58	147,71	148,85	149,99	151,12	152,26	153,39
17	154,53	155,67	156,80	157,94	159,08	160,21	161,35	162,48
18	163,62	164,76	165,89	167,03	168,17	169,30	170,44	171,57
19	172,71	173,85	174,98	176,12	177,26	178,39	179,53	180,66
20	181,80	182,94	184,07	185,21	186,35	187,48	188,62	189,75
21	190,89	192,03	193,16	194,30	195,44	196,57	197,71	198,84
22	199,98	201,12	202,25	203,39	204,52	205,66	206,80	207,93
23	209,07	210,21	211,34	212,48	213,61	214,75	215,89	217,02
24	218,16	219,30	220,43	221,57	222,70	223,84	224,98	226,11

Figura 6. Modelo de Tabla Típica de Aforo de un Bote.

	MANUAL DE MEDICIÓN DE HIDROCARBUROS Y BIOCOMBUSTIBLES CAPITULO 2 – CALIBRACIÓN DE TANQUES	
	VICEPRESIDENCIA DE INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA CORPORATIVO DE NORMAS Y ESTÁNDARES	
	CÓDIGO CNE ECP-VIN-P-MBC-MT-002	Elaborado 24/04/2013

8. CONTINGENCIAS

No aplica.

9. REGISTROS

No aplica.

10. BIBLIOGRAFÍA

No aplica.

11. ANEXOS

No aplica.

Para mayor información sobre este documento dirigirse a:

Líder Corporativo de Normas y Estándares: Reynaldo Prada Graterón – NormasyEstandares@ecopetrol.com.co
Teléfono: ++ 57 - 1 - 2344473 - 2344871 South América
Dependencia: VIN