
NORMA CUBANA

NC

1068: 2015

**AFORO DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO POR EL
MÉTODO VOLUMÉTRICO – MÉTODO Y EQUIPOS DE
MEDICION**

Capacity of tanks by the titrimetric method — Method and measurement equipment

ICS: 75.180.30

1. Edición Enero 2015
REPRODUCCIÓN PROHIBIDA

Oficina Nacional de Normalización (NC) Calle E No. 261 El Vedado, La Habana. Cuba.
Teléfono: 830-0835 Fax: (537) 836-8048; Correo electrónico: nc@ncnorma.cu; Sitio
Web: www.nc.cubaindustria.cu



Cuban National Bureau of Standards

Prefacio

La Oficina Nacional de Normalización (NC), es el Órgano Nacional de Normalización de la República de Cuba y representa al país ante las organizaciones internacionales y regionales de normalización.

La elaboración de las Normas Cubanas y otros documentos normativos relacionados se realiza generalmente a través de los Comités Técnicos de Normalización. Su aprobación es competencia de la Oficina Nacional de Normalización y se basa en las evidencias del consenso.

Esta Norma Cubana:

- Ha sido elaborada por el Comité Técnico de Normalización NC/CTN 2 de Metrología, integrado por representante las siguientes entidades:
 - Ministerio de la Industria Alimentaria
 - OSDE AZCUBA.
 - Ministerio de las Fuerzas Armadas Revolucionarias.
 - OSDE GESIME
 - Oficina Nacional de Normalización
 - Instituto Nacional de Investigaciones en Metrología
 - Ministerio de Comercio Interior
 - OSDE Unión Cubapetróleo
 - OSDE Unión Eléctrica
 - Corporación CIMEX S.A.
 - Laboratorio Cubacontrol.
- Se basa en la ISO 4269:2001 *Petroleum and liquid petroleum products – Tank calibration by liquid measurement – Incremental method using volumetric meters.*
- Sustituye a la NC 90-04-01:1988 Recipientes de almacenamiento. Método y medios de aforo volumétrico.

© NC, 2015

Todos los derechos reservados. A menos que se especifique, ninguna parte de esta publicación podrá ser reproducida o utilizada en alguna forma o por medios electrónicos o mecánicos, incluyendo las fotocopias, fotografías y microfilmes, sin el permiso escrito previo de:

Oficina Nacional de Normalización (NC)

Calle E No. 261, El Vedado, La Habana, Habana 4, Cuba.

Impreso en Cuba.

AFORO DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO POR EL MÉTODO VOLUMÉTRICO — MÉTODO Y EQUIPOS DE MEDICIÓN

1 Objeto

1.1 Esta Norma Cubana establece el método y los equipos para el aforo por el método volumétrico de los tanques de almacenamiento estacionarios, aéreos y soterrados, que se utilizan en calidad de equipos de medición para determinar el volumen de líquido contenido en ellos.

1.2 Este método se empleará también para determinar el volumen de llenado de la zona crítica de los tanques de almacenamiento cilíndricos verticales.

1.3 El aforo volumétrico se realiza adicionando o sustrayendo líquido como medio de transferencia de volumen, en cantidades medidas con exactitud con un contador volumétrico patrón o recipientes metálicos patrones.

2 Referencias normativas

Los siguientes documentos normativos contienen disposiciones que son aplicables para esta Norma Cubana. Para las referencias fechadas, sólo se toma en consideración la edición citada. Para las no fechadas, se toma en cuenta la última edición del documento de referencia (incluyendo todas las enmiendas).

NC 90-04-01:1988, Sistema de Normas de aseguramiento metrológico. Recipientes de almacenamiento. Método y medios de aforo volumétrico.

ISO 4269:2001, Petroleum and liquid petroleum products - Tank calibration by liquid measurement – Incremental method using volumetric meters.

NC- ISO 7507-1:2010, Petróleo y derivados líquidos – Aforo de tanques cilíndricos verticales. Parte 1 - Método de encintado.

OIML R 71:2008, Fixed storage tanks. General Requirements.

NC-ISO 8222:2009, Sistemas de medición del petróleo – Calibración – Correcciones por temperatura para calibración volumétrica con recipientes patrones.

ISO 91-1:1992, Petroleum measurement tables – Part 1: Tables based on reference temperature of 15 °C y 60 °F.

3 Equipos de medición empleados para el aforo

Para el aforo del tanque según el método contenido en esta Norma Cubana, se utilizará el siguiente equipamiento:

3.1 Contador volumétrico patrón de desplazamiento positivo o turbina con error máximo permisible menor o igual que 0,2 %, fabricado con materiales adecuados para trabajar con el líquido utilizado en el aforo y sin compensación por temperatura.

3.2 Recipientes metálicos patrones con error máximo permisible 0,1 %.

3.3 Cinta métrica de sondeo con plomada cuyas especificaciones están descritas en el Anexo A, apartados A.6 y A.7 de la NC-ISO 7507-1.

3.4 Regla de medición de acero con valor de división 1 mm y longitud total no menor que 500 mm.

3.5 Termómetros digitales o de líquido en vidrio con intervalo de medición que incluya los valores de 10 °C a 40 °C y resolución 0,1 °C para instrumentos digitales o valor de división 0,2 °C para los de líquido en vidrio. Estos termómetros se utilizarán para medir la temperatura del líquido de trabajo en el contador patrón, en los recipientes metálicos patrones y en el tanque aforado.

3.6 Cronómetro con valor de división 0,2 s.

3.7 Pasta señalizadora para agua y combustible.

3.8 Toma muestras

3.9 Para la utilización de un contador volumétrico se requieren, por lo general, los siguientes equipos auxiliares:

- Eliminador de aire.
- Dispositivo de filtrado.
- Equipo de bombeo.
- Manómetro con valor de división no mayor que 50 kPa.
- Válvula de cierre rápido.

Todos los equipos de medición utilizados deben estar calibrados.

4 Condiciones para el aforo

4.1 Un tanque sólo será aforado después de llenarse al menos una vez hasta su capacidad de trabajo con un líquido de densidad igual o mayor que aquel que contendrá en servicio y se mantendrá en estas condiciones como mínimo 24 horas.

NOTA La prueba hidrostática que se realiza a los tanques nuevos o reparados satisface este requerimiento.

4.2 Los tanques que se aforan estarán totalmente instalados, vacíos, limpios y libres de residuos de productos en su interior.

4.3 Las características constructivas del tanque serán tales que este sea lo suficientemente resistente a los agentes atmosféricos y a la acción del líquido que almacena.

4.4 Debe garantizarse la limpieza de la fuente de líquido para el aforo y de las tuberías de conexión que se utilicen.

4.5 Antes de la ejecución del aforo se deben conocer las regulaciones acerca de la permanencia del personal en áreas de peligro, así como las instrucciones y medidas de seguridad en lo relacionado con:

- almacenamiento de líquidos inflamables,
- trabajos a grandes alturas,
- inspección y mantenimiento de los tanques,
- reglas correspondientes para el trabajo en zonas con peligro de explosión.

4.6 Se debe contar con pasta señalizadora para agua o combustible, de acuerdo con el líquido de trabajo que se utilice, para la medición de la altura del líquido en el tanque durante el aforo.

4.7 Se deben evitar las variaciones excesivas de temperatura en el líquido de trabajo para poder lograr la exactitud requerida. Fluctuaciones mayores que 1,5 °C dificultan la determinación de la temperatura promedio y provocan un aumento de la incertidumbre en la aplicación de las correcciones por efecto de la temperatura en el proceso de aforo del tanque.

5 Preparación para el aforo

5.1 Se deberán precisar los siguientes datos relacionados con los tanques que se aforan:

- Condiciones del lugar de instalación.
- Volumen nominal y dimensiones.
- Campo de utilización (líquido que almacenará el tanque en servicio, temperatura de trabajo, volumen mínimo que contendrá en servicio).
- Dispositivos de medición utilizados durante su explotación.

5.2 Antes de comenzar el aforo debe chequearse que no existan fugas de líquido en las mangueras que conectan el patrón utilizado con el tanque aforado. Cualquier fuga localizada debe ser eliminada.

5.3 Se tomarán las precauciones para evitar la entrada de aire al sistema cuando se utiliza un contador volumétrico en calidad de patrón. El contador, los equipos auxiliares y las mangueras estarán llenos de líquido antes de comenzar el aforo. Es conveniente utilizar a la entrada del contador un eliminador de aire.

5.4 Cuando se utiliza un contador volumétrico éste debe protegerse mediante un filtro de los daños que puedan causarle la presencia de materias extrañas en la tubería de entrada al mismo.

5.5 La manguera que conecta el contador con el tanque debe colocarse con una cierta pendiente positiva desde el contador hasta un punto próximo a la entrada del tanque con altura mayor que la del registro de sondeo del tanque. Esto garantiza que la línea permanezca llena con una cantidad constante de líquido y que la variación del volumen del líquido de trabajo en la misma durante las diferentes dosis sea despreciable.

5.6 La conexión de la manguera al tanque que se afora debe disponerse de tal forma que su extremo final quede cubierto de líquido lo antes posible, para de esta forma minimizar las turbulencias del líquido en el tanque durante su llenado.

5.7 Debe disponerse de una fuente adecuada del líquido de trabajo en la cantidad requerida acorde a la capacidad del tanque. Cuando se utiliza un contador volumétrico la presión del líquido de trabajo debe ser en todo momento la suficiente como para mantener el flujo dentro del intervalo en el cual el contador fue calibrado.

5.8 Debe identificarse de forma inequívoca la posición del punto superior de referencia que se utilizará para realizar las mediciones de altura durante el aforo del tanque. La posición de este punto debe quedar claramente marcada en el tanque para evitar errores posteriores en las mediciones durante su explotación.

6 Ejecución del aforo

6.1 Examen exterior

En el examen exterior se comprueba que el tanque cumple con lo establecido en el apartado 4.2 y con los siguientes requerimientos técnicos:

6.1.1 El punto superior de referencia y el punto de sondeo utilizados para la medición de la altura del líquido en el tanque estarán hechos de tal manera que su posición sea prácticamente invariable, cualquiera que sea el estado de llenado del tanque.

6.1.2 La forma del tanque será tal que minimice la formación de bolsas de aire durante el llenado o de bolsas de líquido después del vaciado.

6.1.3 El tanque tendrá una posición estable sobre su cimentación, asegurada por un anclaje o por un período de estabilización de adecuada duración que garantice que su asiento no varíe sensiblemente en el tiempo.

6.2 Comprobación del funcionamiento

Se comprobará:

6.2.1 El buen funcionamiento de los dispositivos de medición y auxiliares instalados en el tanque para su explotación.

6.2.2 El registro de sondeo del tanque se encuentra claramente identificado, de forma que resulte inequívoco que por él se deben realizar las mediciones de la altura del líquido en el tanque durante su explotación.

6.2.3 Si durante el aforo del tanque se evidencia que existen salideros en el mismo o en sus conexiones, el aforo se suspenderá hasta tanto el tanque sea reparado y se le realice la prueba de hermeticidad.

6.3 Determinación de las características metrológicas

6.3.1 Medición de la altura de referencia

Se medirá con la cinta métrica con plomada la distancia vertical entre el punto de sondeo y el punto de referencia superior (altura de referencia) con aproximación de 1 mm. En cada medición que se realice de la altura del líquido en el tanque debe comprobarse que la altura de referencia se corresponde con el valor inicialmente medido.

6.3.2 Determinación de las dosis de líquido utilizadas para el aforo

6.3.2.1 El líquido de trabajo debe ser adicionado o extraído en dosis de volumen suficiente como para producir un cambio significativo de la altura del líquido con referencia a la sección del tanque aforado y sin menoscabar la incertidumbre de medición del nivel. En tanques con sección transversal variable un cambio en el nivel entre 2 cm y 5 cm se considera conveniente.

6.3.2.2 En los tanques verticales con área de la sección transversal aproximadamente constante, la variación de la altura de llenado en cada dosis puede incrementarse hasta 20 cm, pero en ningún caso será mayor que la altura del rolo en el cual se realiza la medición.

6.3.2.3 En los tanques que tienen forma de cilindro horizontal se recomienda establecer las dosis de llenado según la Tabla 1.

Tabla 1 — Dosis de llenado para tanques horizontales

Volumen de llenado del tanque en % del volumen total		Volumen de cada dosis en % del volumen total	Cantidad de etapas de llenado
Desde	Hasta		
0	1	0,5	2
> 1	5	1,0	4
> 5	25	2,0	10
> 25	75	5,0	10
> 75	95	2,0	10
> 95	99	1,0	4
> 99	100	0,5	2

NOTA 1 El cálculo de la tabla de capacidad a partir de las mediciones de campo depende del tamaño de las dosis adicionadas al tanque y de las técnicas de interpolación utilizadas para generar la tabla de capacidad. Especial cuidado debe tenerse para garantizar que las dosis adicionadas durante el aforo del tanque tienen el tamaño suficiente para provocar un cambio significativo del nivel del líquido, pero al mismo tiempo son lo suficientemente pequeñas como para minimizar la incertidumbre debida a la técnica de interpolación utilizada en el cálculo de la tabla de capacidad.

NOTA 2 En el cálculo de las dosis de llenado para tanques horizontales según la tabla 1, se utiliza en calidad de volumen total del tanque el valor informado por el cliente, que con cierta frecuencia no se corresponde con la realidad. En tal caso es necesario ajustar el número de dosis durante el proceso de aforo reduciendo la cantidad de las mismas.

6.3.3 Selección de los instrumentos patrones utilizados

6.3.3.1 La selección del instrumento patrón a utilizar depende del tipo y tamaño del tanque que va a ser aforado. Se recomienda que el patrón seleccionado y el procedimiento aplicado (llenado o vaciado) permitan realizar el aforo en el menor período de tiempo posible con vista a eliminar el efecto de los cambios de temperatura sobre el volumen del líquido.

6.3.3.2 El aforo con recipientes metálicos patrones puede aplicarse en particular para tanques pequeños con capacidad en el rango entre 5 000 L y 50 000 L. La capacidad de los patrones utilizados debe permitir que se cumpla lo establecido en el apartado 6.3.2.

6.3.3.3 El aforo con contador volumétrico se recomienda cuando se deben adicionar o sustraer dosis de volumen relativamente grandes (mayores de 200 L) o cuando estas tienen que variar su volumen con frecuencia acorde a la forma geométrica del tanque aforado. Además para tanques mayores de 50 000 L se debe utilizar preferiblemente un contador volumétrico para el aforo.

6.3.4 Precauciones que se deben tomar en el trabajo con los instrumentos patrones

Aforo con contador volumétrico:

6.3.4.1 El contador debe ser situado lo más cercano posible al tanque que va a ser aforado.

6.3.4.2 El sistema de conexión debe ser purgado de aire antes de comenzar el aforo y las tuberías de conexión deben estar rellenas con el líquido de trabajo antes de comenzar la misma, permaneciendo así durante todo el proceso de aforo.

6.3.4.3 El contador volumétrico debe utilizarse en el aforo del tanque con un valor de flujo que esté dentro del intervalo en el cual se realizó la calibración del contador según su certificado de calibración. El valor del flujo debe medirse y controlarse durante el aforo del tanque.

Aforo con recipientes metálicos:

6.3.4.4 Los recipientes patrones utilizados para el aforo del tanque deben ser ubicados lo más cerca posible del tanque a aforar, firmemente soportados y nivelados, instalándose a una altura adecuada respecto al tanque para garantizar el flujo libre del líquido de trabajo.

6.3.4.5 La conexión entre los recipientes patrones y el tanque tendrá una pendiente adecuada de forma que el líquido de trabajo fluya sin obstáculos. La línea de conexión deben ser drenada totalmente antes de cada dosis añadida y debe ser lo más corta posible.

6.3.4.6 Los recipientes patrones deben llenarse al menos 2 veces con el líquido de trabajo antes de comenzar el aforo, con vista a estabilizar la temperatura del sistema completo.

6.3.4.7 Cada vez que se vacía el recipiente patrón utilizado se observará el tiempo de escurrido a partir del momento en que cesa el flujo principal del líquido y comienza el goteo, el cual normalmente debe corresponderse con el establecido en el proceso de calibración del recipiente que es de 30 s.

6.3.5 Mediciones a realizar después de transferir cada dosis de líquido al tanque:

6.3.5.1 La altura del líquido en el tanque una vez que la superficie del líquido se haya aquietado, medida desde el punto superior de referencia hasta el punto de sondeo. Para ello se utilizará la cinta métrica con plomada, midiendo y registrando la altura del líquido con aproximación de 1 mm. Se tomarán dos lecturas de la altura, las cuales no deben diferenciarse en más de 1 mm. Si esta condición no se cumple se repetirán las mediciones hasta que dos lecturas consecutivas cumplan dicha condición. En la medición de la altura del líquido se utilizará pasta señalizadora de agua o combustible según el líquido de trabajo utilizado en el aforo.

6.3.5.2 Después que cada medición de la altura del líquido se haya realizado, se medirá la temperatura del líquido en el instrumento patrón y en el tanque aforado con aproximación de 0,1 °C. El número de lecturas de la temperatura puede ser reducido a 1 cada 5 dosis de líquido transferida si se observa que el valor de la misma no varía.

6.3.5.3 Deben realizarse como mínimo 4 mediciones de la temperatura ambiente en las proximidades del tanque aforado a intervalos de tiempo regulares durante el período de aforo, calculando finalmente el valor promedio de las lecturas realizadas.

6.3.6 Mediciones a realizar si se interrumpe el aforo del tanque

6.3.6.1 El aforo del tanque debe ser realizado sin interrupción, siempre que sea posible. Si la tarea se interrumpe, la altura del líquido en el tanque puede cambiar debido al efecto de la temperatura.

6.3.6.2 Debe indicarse claramente en el registro de aforo la interrupción del trabajo y al reanudar el aforo debe medirse y anotarse en el mismo la altura del líquido en el tanque y su temperatura.

6.3.6.3 Antes de continuar el aforo se aplicará una corrección al volumen del líquido en el tanque (referido a la temperatura de referencia de la tabla de calibración t_{sq}) antes de la interrupción para llevarlo a la temperatura en el tanque al reanudarse el aforo (Ver apartado 6.3.7.3.1 y apartado A.2 del anexo A).

6.3.6.4 La relación entre la variación de volumen por efecto de la temperatura con respecto a la variación de la altura del líquido no debe superar el 0,05 % de la variación de volumen con respecto a la variación de la altura correspondiente a la última dosis adicionada antes de interrumpir el aforo. Si esta condición no se cumple hay que iniciar el trabajo de aforo nuevamente.

6.3.7 Correcciones a los volúmenes observados

6.3.7.1 Se deben aplicar correcciones a los volúmenes observados debido a los siguientes efectos sistemáticos:

- a) Efecto de las variaciones de temperatura en los instrumentos patrones utilizados.
- b) Efecto de las variaciones de temperatura en el líquido de trabajo utilizado.
- c) Efecto de las variaciones de temperatura en el tanque aforado.
- d) Efecto de las variaciones de temperatura sobre la cinta de medición.

Estas correcciones deben ser calculadas y aplicadas cuando se calcula la tabla de capacidad del tanque.

Se seguirán los siguientes criterios para la aplicación de estas correcciones:

6.3.7.2 Cambios de temperatura en los instrumentos patrones utilizados.

6.3.7.2.1 Los recipientes metálicos patrones son generalmente calibrados a una temperatura de referencia de 20°C. Si la temperatura medida durante el aforo en estos recipientes se encuentra en

el intervalo $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$, la corrección por el efecto de la temperatura sobre el cuerpo del instrumento patrón puede despreciarse. Si la temperatura es diferente a estos valores se debe aplicar una corrección según se describe en el apartado A.1 del anexo A.

6.3.7.2.2 Por lo general los efectos de los cambios de temperatura sobre el volumen entregado por los contadores volumétricos utilizados en el aforo puede despreciarse. Sin embargo es importante revisar este aspecto en la documentación técnica del contador.

6.3.7.3 Cambios de temperatura en el líquido de trabajo.

6.3.7.3.1 Debe aplicarse una corrección al volumen de líquido de cada dosis por la diferencia entre la temperatura medida en el instrumento patrón utilizado y en el tanque aforado y cuando se interrumpe por cierto tiempo el trabajo de aforo y varía la temperatura del líquido de trabajo. Esta corrección se aplica según lo descrito en el apartado A.2 del anexo A.

6.3.7.3.2 Si el líquido de trabajo usado es un derivado del petróleo, el volumen de la dosis de líquido debe ser corregido debido a la diferencia de temperatura entre el instrumento patrón y el tanque aforado aplicando el factor de corrección volumétrico (VCF) según la ISO 91-1:1992.

6.3.7.3.3 Si el líquido de trabajo es agua, el volumen de la dosis de líquido debe ser corregido usando la fórmula para la densidad del agua según la NC- ISO 8222:2009 [5]. La corrección puede despreciarse si la diferencia de temperatura del líquido para la dosis dada medida en el instrumento patrón y en el tanque aforado no es mayor que 2°C .

6.3.7.4 Cambios de temperatura en la pared del tanque.

6.3.7.4.1 Una corrección por la diferencia entre la temperatura de la pared del tanque durante el aforo y su temperatura promedio en servicio, o entre la temperatura de aforo y una temperatura de referencia dada, por ejemplo 15°C , debe aplicarse según se describe en el apartado A.3 del anexo A.

6.3.7.4.2 Si esta diferencia de temperatura provoca una variación de la sección transversal del tanque que no supera $0,05\%$, la corrección puede despreciarse.

6.3.7.5 Efecto de la temperatura sobre la cinta de medición.

6.3.7.5.1 Las cintas de medición por lo general son calibradas para una temperatura de referencia de 20°C , por lo que ellas dan valores correctos para esa temperatura aunque sean usadas a otra. Si la temperatura a la cual se utiliza la cinta está comprendida en el intervalo $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ la corrección por temperatura puede ser despreciada.

6.3.7.5.2 Fuera de estas condiciones, una corrección a la medición de la cinta debe aplicarse según el apartado A.4 del anexo A.

6.3.8 Requerimientos para los cálculos de la tabla de capacidad

6.3.8.1 Los errores en el cálculo se minimizarán y se facilitará su chequeo por la adopción de una hoja de cálculo normalizada. Se recomienda el uso de la hoja y el procedimiento de cálculo que se muestra en el anexo D.

6.3.8.2 La tabla de capacidad debe ser calculada por interpolación a partir de los volúmenes acumulados corregidos de las dosis.

6.3.8.3 Los factores de corrección cuyos valores se toman de tablas deben ser usados sin redondeo. Aquellos factores de corrección que se obtienen mediante cálculos deben ser correctos con 5 cifras significativas.

6.3.8.4 Todos los valores calculados para generar la tabla de capacidad deben ser correctos al menos con 5 cifras significativas.

6.3.8.5 Las mediciones de altura del líquido deben registrarse y corregirse con aproximación de 1 mm.

6.3.8.6 Los volúmenes finales en la tabla de capacidad obtenidos por interpolación deben redondearse con aproximación de 1 L.

6.3.8.7 La tabla de capacidad se elaborará a intervalos de altura que permitan una interpolación para profundidades intermedias sin pérdida de la exactitud requerida.

6.3.8.8 La temperatura de referencia para la cual la tabla de capacidad del tanque da valores correctos y la altura de referencia para las mediciones en el tanque se registrarán en el encabezamiento de la tabla.

7 Registro y presentación de los resultados

Todas las operaciones que se realicen en el aforo de un tanque así como los resultados obtenidos en cada una de ellas se asientan en el registro del Anexo B.

Se emitirá un Certificado de Verificación el cual debe conformarse según lo establecido en la DG 06:2011 Uso de los sellos y certificados de verificación, calibración y reporte de mediciones, reportándose.

7.1 Sellado de los tanques

No procede.

Anexo A (normativo)

Correcciones por efectos térmicos

A.1 Corrección por efectos térmicos cuando se utilizan recipientes metálicos patrones

Los recipientes metálicos patrones tienen su capacidad referida a una temperatura dada, por lo general 15 °C ó 20 °C, la cual se reporta en su certificado de calibración. Si la temperatura a la cual se realizan las mediciones con el recipiente difiere de la de referencia, el volumen corregido por el efecto de la contracción o dilatación del cuerpo del recipiente metálico con la temperatura, está dada por la siguiente fórmula:

$$V_{tp} = V_{ts} [1 + \gamma(t_p - t_s)]$$

donde:

V_{tp} : Volumen del líquido de trabajo a la temperatura t_p .

t_p : Temperatura medida en el recipiente patrón durante el aforo del tanque.

V_{ts} : Volumen del líquido de trabajo a la temperatura t_s .

t_s : Temperatura de referencia de calibración del recipiente patrón.

γ : Coeficiente de dilatación cúbico del metal del cual está fabricado el recipiente patrón. Los siguientes valores del coeficiente de dilatación cúbico corresponden a los tipos de materiales que más comúnmente se usan para tal fin:

Acero de bajo contenido de carbono	0,0000330 °C ⁻¹
Acero inoxidable	0,0000510 °C ⁻¹
Aleación de Aluminio	0,0000690 °C ⁻¹

NOTA: El valor del coeficiente de dilatación volumétrico será igual a 3 veces el coeficiente de dilatación lineal.

Por tanto, el factor de corrección que se debe aplicar al volumen de líquido medido en el recipiente metálico patrón para corregir este efecto será:

$$C_{tsM} = 1 + \gamma(t_p - t_s)$$

A.2 Corrección debida a la diferencia de temperatura en el líquido de trabajo

A.2.1 Se debe aplicar una corrección para convertir el volumen de líquido medido en el contador volumétrico patrón o el recipiente metálico patrón a la temperatura t_p , al volumen del líquido en el tanque que está siendo aforado que se encuentra a la temperatura t_q . Esta corrección es igual:

$$C_{td} = \frac{\text{Densidad del líquido a } t_p}{\text{Densidad del líquido a } t_q}$$

Para el caso en que el líquido de trabajo sea agua los valores de la densidad se calcularán según la fórmula que aparece en la NC- ISO 8222:2009 [5].

Cuando se utilice en calidad de líquido de trabajo un derivado del petróleo, el factor de corrección C_{td} se calcula a partir de los valores del factor de corrección volumétrica (VCF) de acuerdo a la densidad del líquido de trabajo referida a 15 °C, acorde a lo establecido en la ISO 91-1:1992 [6]:

$$C_{td} = \frac{\text{VCF a la temperatura } t_p}{\text{VCF a la temperatura } t_q}$$

NOTA Debe recordarse que el factor de corrección volumétrico (VCF) de las tablas de la ISO 91-1:1992 es equivalente a:

$$\text{VCF} = \frac{\text{Densidad del líquido a la temp. observada}}{\text{Densidad del líquido a la temp. de referencia}}$$

Por lo que:

$$C_{td} = \frac{\text{VCF a la temperatura } t_p}{\text{VCF a la temperatura } t_q} = \frac{\text{Densidad del líquido a } t_p}{\text{Densidad del líquido a } t_q}$$

A.2.2 También se debe aplicar una corrección al volumen de líquido contenido en el tanque cuando el trabajo de aforo se interrumpe y existe diferencia entre la temperatura del líquido antes de la interrupción (t_1) y cuando se reanuda el aforo (t_2). En tal caso el volumen de líquido contenido en el tanque cuando se reanuda el trabajo (V_2) se obtiene aplicando la siguiente corrección al volumen de líquido que existía en el tanque en el momento de la interrupción (V_1):

$$V_2 = V_1 \times C_{td}$$

donde:

$$C_{td} = \frac{\text{Densidad del líquido a } t_1}{\text{Densidad del líquido a } t_2}$$

A.3 Corrección por efecto de la temperatura sobre la pared del tanque

Se debe realizar una corrección por la diferencia entre la temperatura del cuerpo del tanque durante el aforo y su temperatura promedio en servicio, o entre la temperatura del cuerpo del tanque durante el aforo y una temperatura de referencia dada, por ejemplo 15 °C. El factor por el que se debe multiplicar el volumen es el siguiente:

$$C_{tsq} = 1 + 2 \cdot \alpha_q (t_{sq} - t_{pq})$$

Donde:

α_q : Coeficiente de dilatación lineal del material del tanque aforado. Si el material es acero con bajo contenido de carbono (mild steel) $\alpha_q = 0,000011 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$.

t_{sq} : Temperatura de referencia de la tabla de capacidad o temperatura promedio del tanque en servicio.

t_{pq} : Temperatura de la pared del tanque.

La temperatura de la pared del tanque debe ser determinada por el método especificado en el Anexo A de la NC- ISO 7507:2010.

A.4 Corrección por efecto de la temperatura sobre la cinta de medición

La ecuación dada en A.3 corrige la capacidad del tanque para llevarla a la temperatura de referencia de la tabla de capacidad t_{sq} , pero sólo por expansión superficial. La tercera dimensión es el nivel del líquido medido por la cinta de sondeo. Esta medición debe ser corregida para llevarla a la temperatura de referencia de la tabla de capacidad o a la temperatura promedio en servicio del tanque, aplicando la siguiente expresión:

$$L_{tsq} = L_{tc} \left[1 + \alpha_c \times (t_c - t_{sq}) \right]$$

donde:

L_{tsq} : Lectura corregida de la cinta a la temperatura de referencia de la tabla de capacidad del tanque.

L_{tc} : Lectura de la cinta a la temperatura de la cinta en el tanque t_c .

t_c : Temperatura de la cinta de medición. El valor de t_c se puede asumir igual a la temperatura medida del líquido en el tanque t_q .

t_{sq} : Temperatura de referencia de la tabla de capacidad del tanque.

α_c : Coeficiente de dilatación lineal del material de la cinta de medición.

Si el tanque aforado y la cinta son del mismo material, los coeficientes de expansión lineal del metal del tanque y de la cinta se pueden considerar equivalentes, por tanto, cualquier medición del nivel del líquido es una medición a la temperatura de referencia de la cinta de medición, o sea a 20°C. De tal forma cualquier corrección de la altura del líquido medida para llevarla a la temperatura de referencia de la tabla de capacidad, debe ser calculada con una temperatura de la cinta $t_c = 20$ °C.

Si el tanque aforado y la cinta están contruidos de distintos materiales, el coeficiente de expansión lineal del metal del tanque y del metal de la cinta de medición son diferentes y, por tanto, la corrección se calculará a partir de la temperatura de la cinta de medición en el tanque.

Acorde a lo analizado el factor de corrección que se debe aplicar a las mediciones de la altura del líquido en el tanque con la cinta de medición para referirlas a la temperatura de referencia de la tabla de capacidad está dado por la expresión:

$$C_h = \left[1 + \alpha_c \times (t_c - t_{sq}) \right]$$

Anexo B
(normativo)

Registro de Aforo

AFORO VOLUMÉTRICO DE TANQUES

Registro No. _____ No. del tanque: _____ Fecha: _____

Pertenece a : _____

Ubicación: _____ Provincia: _____

Nombre del técnico: _____ Firma: _____

Instrumentos de medición utilizados (patrones y cinta):

Contador patrón: Marca: _____ No. de serie: _____ e.m.p. (%): _____

Recipientes metálicos patrones: e.m.p. (%): _____

No. de Serie	Capacidad Nominal (L)	Valor de división (L)	Material	Coefficiente de dilatación cúbico ($^{\circ}\text{C}^{-3}$)

Cinta metálica con plomada: Longitud nominal (m): _____ No. de serie: _____

Coefficiente de dilatación lineal ($^{\circ}\text{C}^{-1}$): _____ Temp. de referencia _____

No. de Certificado emitido: _____

Temperatura de referencia de la tabla ($^{\circ}\text{C}$): _____ Altura de referencia (cm): _____

CARACTERÍSTICAS DEL TANQUE

Tipo de tanque:

Sobresuelo Horizontal Vertical Inclinado

Soterrado Otros

Material de la pared del tanque:

Acero/Carbono - Coeficiente de Expansión Lineal: 0,000011 $^{\circ}\text{C}^{-1}$

Otros (Indicar) - Coeficiente de Expansión Lineal: _____ $^{\circ}\text{C}^{-1}$

METODO UTILIZADO EN EL AFORO: Llenado Vacía

LIQUIDO UTILIZADO

Denominación _____ Densidad referida a 15 $^{\circ}\text{C}$ (Combustible) _____

MEDICIONES DEL VOLUMEN TRANSFERIDO Y ALTURAS DEL LÍQUIDO EN EL TANQUE

Dosis No.	Dosis de líquido adicionada	Volumen acumulativo adicionado	Temp. del líquido en el instrumento patrón, t _p	Temp. del líquido en el tanque, t _q	Altura del líquido en el tanque, h	Temp. ambiente
	L	L	°C	°C	mm	°C

Anexo C
(informativo)

Hoja y Procedimiento de Cálculo

C.1 Descripción del procedimiento de cálculo para obtener la tabla de capacidad.

C.1.1 Aforo con contador volumétrico patrón

El procesamiento de las mediciones se realizará a partir de la secuencia establecida en la Tabla C.3 de la siguiente forma:

Tabla C.1

Columna tabla C.3	Contenido
1	Número consecutivo de orden de cada transferencia de líquido realizada.
2	Volumen acumulativo indicado por el contador después de cada transferencia.
3	Volumen neto transferido calculado como la diferencia entre el volumen acumulativo sucesivamente registrado en la columna 2.
4	Temperatura del líquido en el contador (t_p).
5	Temperatura del líquido en el tanque (t_q).
6	Densidad a la temp. t_p para agua o VCF a la temp. t_p para derivado del petróleo
7	Densidad a la temp. t_q para agua o VCF a la temp. t_q para derivado del petróleo
8	Factor para convertir el volumen de líquido transferido por el contador a la temperatura t_p a volumen en el tanque a la temperatura t_q (C_{td})
9	Volumen corregido por diferencia de las temperaturas t_p y t_q (Col. 6 x Col. 3).
10	Volumen acumulativo en el tanque a la temperatura t_q . (Col. 7 + Col. 8(n-1)).
11	Factor para referir los volúmenes de líquido a cierta temperatura de referencia de la tabla de capacidad t_{sq} (C_{tsq}).
12	Volumen final acumulativo a la temperatura de referencia (Col. 8 x Col. 9).
13	Altura del líquido medida con la cinta sin corrección por temperatura.
14	Factor para la corrección de la lectura de la cinta de la temperatura en el tanque t_c a la temperatura de referencia de la tabla de capacidad del tanque (Ver apartado
15	Altura del líquido en el tanque referida a t_{sq} .

C.1.2 Aforo con recipientes metálicos patrones

El procesamiento de las mediciones se realizará a partir de la secuencia establecida en la Tabla C.4 de la siguiente forma:

Tabla C.2

Columna tabla C.4	Contenido
1	Número consecutivo de orden de cada transferencia de líquido realizada.
2	Volumen nominal del recipiente metálico patrón.
3	Temperatura del líquido en el recipiente patrón (t_p).
4	Factor de corrección debido a la diferencia entre la temperatura medida en el recipiente patrón y la temperatura de referencia de su calibración (C_{tsM}).
5	Volumen de líquido en el recipiente patrón corregido por temperatura. (Col.2xCol.4).
6	Temperatura del líquido en el tanque aforado (t_q).
7	Densidad a la temp. t_p para agua o VCF a la temp. t_p para derivado del petróleo
8	Densidad a la temp. t_q para agua o VCF a la temp. t_q para derivado del petróleo
9	Factor para convertir el volumen de líquido transferido desde el recipiente patrón a la temperatura t_p a volumen en el tanque a la temperatura t_q (C_{tdw}).
10	Volumen corregido por diferencia de las temperaturas t_p y t_q (Col. 5 x Col. 9).
11	Volumen acumulativo en el tanque a la temperatura t_q . (Col. 10 + Col. 11(n-1)).
12	Factor para referir los volúmenes de líquido a la temperatura de referencia de la tabla de capacidad del tanque t_{sq} (C_{tsq}).
13	Volumen final acumulativo a la temperatura de referencia t_{sq} (Col. 11 x Col. 12).
14	Altura del líquido medida con la cinta sin corrección por temperatura.
15	Factor para la corrección de la lectura de la cinta de la temperatura en el tanque t_c a la temperatura de referencia de la tabla de capacidad del tanque (Ver apartado A.4).
16	Altura del líquido en el tanque referida a t_{sq} .

La tabla de capacidad será obtenida por interpolación de los datos contenidos en las columnas 12 y 15 de la tabla C.1 y las columnas 13 y 16 de la tabla C.2 según proceda.

En el Certificado de Aforo debe ser declarado que la relación altura/capacidad establecida es únicamente válida para las alturas del líquido medidas con respecto al punto de referencia, el cual debe ser claramente marcado en el tanque. La altura de este punto respecto a la chapa de medición debe ser registrada como "altura de referencia" en el encabezamiento de la tabla de capacidad.

Los intervalos de altura a los cuales se emite la tabla de capacidad dependen del tipo de tanque. Para tanques cilíndricos verticales, que tienen esencialmente una sección transversal regular en la mayor parte del tanque, el intervalo de altura debe seleccionarse de forma que permita la interpolación lineal para alturas intermedias. Es conveniente que estos intervalos no sean mayores que 50 mm con una pequeña tabla de proporcional que permite determinar el volumen para alturas comprendidas en ese intervalo cada 1 mm (la tabla proporcional se calcula mediante el promedio contenido en el tanque por unidad de profundidad).

En los tanques horizontales y tanques inclinados, tanques esféricos y semiesféricos, fondos de tanques cilíndricos verticales con irregularidades por piezas de obra muerta y fondo, así como aquellos tanques en los que existe un rápido cambio de su sección transversal, son preferibles intervalos de altura de 1 cm .

Tabla C.3 — Aforo con contador volumétrico

Temperatura de referencia de la tabla de capacidad

No.	Lectura acumul. del contador	Vol. neto de cada dosis	Temp. en el contador t_p	Temp. en el tanque aforado o t_q	Densidad o VCF a t_p	Densidad o VCF a t_q	C_{td}	Vol. Correg. por factor C_{td} (3) x (8)	Vol. Acum. del tanque (9)+(10) _{n-1}	C_{tsq}	Vol. del tanque referido a t_{sq} (8x(9))	Altura del líquido en el tanque	Factor de corr. para la cinta	Altura del líquido correg.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

Tabla C.4 – Aforo con recipientes patrones

Temperatura de referencia de la tabla de capacidad (t_{sq}): _____

No.	Volumen nominal del recip. patrón	Temp. en el recip. patrón t_p	C_{tsM}	Volumen corregido en el recip. patrón (2) x (4)	Temp. en el tanque aforado t_q	Dens. o VCF a t_p	Dens. o VCF a t_q	C_{td}	Vol. Correg. por factor C_{td} (5) x (9)	Vol. Acum. del tanque (10)+(11) _{n-1}	C_{tsq}	Vol. del tanque referido a t_{sq} (11x(12))	Altura del líquido en el tanque	Factor de corr. para la cinta	Altura del líquido correg.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16