
NORMA CUBANA

NC

ISO 7507-1: 2010
(Publicada por la ISO en, 2003)

**PETRÓLEO Y DERIVADOS LÍQUIDOS — AFORO DE
TANQUES CILÍNDRICOS VERTICALES — PARTE 1:
MÉTODO DE ENCINTADO
(ISO 7507-1:2003, IDT)**

Petroleum and liquid petroleum products — Calibration of vertical cylindrical tanks — Part 1: Strapping method

ICS: 75.180.30

1. Edición Mayo 2010
REPRODUCCIÓN PROHIBIDA

Oficina Nacional de Normalización (NC) Calle E No. 261 Vedado, Ciudad de 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

NC-ISO 7507-1:2010

Prefacio

La Oficina Nacional de Normalización (NC), es el Organismo 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.

La NC-ISO 7507:

- Consta de las siguientes partes bajo el título general — Petróleo y derivados líquidos — Aforo de tanques cilíndricos verticales — Parte 1: Método de encintado.

Parte 1: Método de encintado

Parte 2: Método de la línea de referencia óptica

Parte 3: Método de triangulación óptica

Parte 4: Método de la distancia electro-óptica interna

Parte 5: Método de la línea de referencia electro-óptica externa

Esta Parte 1

- Ha sido elaborada por el NC/CTN2 Metrología, integrado por las instituciones siguientes:
 - Unión CUBA PETROLEO
 - Unión Nacional Eléctrica
 - Oficina Nacional de Normalización
 - Ministerio de las Fuerzas Armadas Revolucionarias
 - Ministerio de la Industria Básica
 - Ministerio de la Industria Alimenticia
- Es una adopción idéntica de la ISO 7507- 1:2003. Petroleum and liquid petroleum products – Calibration of vertical cylindrical tanks. Part 1 Strapping method.
- Sustituye a la NC-ISO 7507-1:2002 Petróleo y derivados líquidos. Calibración de tanques cilíndricos verticales. parte 1: Método de encintado.

© NC, 2010

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, Vedado, Ciudad de La Habana, Habana 4, Cuba.

Impreso en Cuba.

Índice

0 Introducción.....	5
1 Objeto	6
2 Referencias normativas	6
3 Definiciones	6
4 Precauciones	9
5 Equipamiento.....	11
6 Requisitos generales	12
7 Mediciones de circunferencia	12
8 Otras mediciones	15
9 Obra muerta	15
10 Fondo de los tanques	15
11 Medición de la inclinación	16
12 Tanque con techo flotante	16
13 Reaforo	17
14 Cálculo de las tablas de aforo. reglas generales	18
15 Formato de las tablas de aforo.....	18
16 Cálculo de la capacidad abierta	19
17 construcción de la tabla.....	23
Anexo A (normativo) especificaciones para el equipamiento de medición	29

Anexo B (informativo) recomendaciones para el monitoreo, el chequeo y la comprobación de la tabla de de aforo y la calibración del tanque	33
Anexo C (informativo) datos del aforo del tanque y registro de datos	42
Anexo D (informativo) incertidumbres en el aforo del tanque	43
Anexo E (informativo) determinación de la temperatura de la chapa del tanque.....	56
Anexo F (normativo) corrección por temperatura a la cinta.....	57
Anexo G expansión debido a la altura del líquido.	60
Anexo H (normativo) expansión debido a la temperatura	66
Anexo I (normativo) certificado de calibración	69

0 Introducción

Esta segunda edición de la parte 1 de la ISO/NC 7507 sustituye y cancela la versión del 2002, así como a la ISO 7507-6:1997y forma parte de una serie sobre aforos de tanques que incluye las siguientes:

ISO 7507-2:2005 Petroleum and liquid petroleum products –Calibration of vertical cylindrical tanks-Part 2: Optical reference line method.

ISO 7507-3 2006 Petroleum and liquid petroleum products -- Calibration of vertical cylindrical tanks Part 3: Optical-triangulation method.

ISO 7507-4:2010 Petroleum and liquid petroleum products - Calibration of vertical cylindrical tanks - Part 4: Internal electro-optical distance-ranging method.

ISO 7507-5:2000 Petroleum and liquid petroleum products - Calibration of vertical cylindrical tanks - Part 5: External electro-optical referente line method.

ISO 8311:1989- Refrigerated light hidrocarbon fluids-Calibration of membranes tanks and independent prismatic tanks in ships-Physical measurements.

ISO 9091-1:1991- Refrigerated light hidrocarbon fluids-Calibration of spherical tanks in ships-Part 1: Stereo-photogrammetry.

ISO 9091-2:1992- Refrigerated light hidrocarbon fluids-Calibration of spherical tanks in ships-Part 2: Triangulation measurement.

El método de encintado para el aforo de tanques cilíndricos verticales ha sido usado durante muchos años y es un método reconocido para la determinación de la capacidad de los tanques de almacenamiento a partir de las mediciones de las circunferencias de tanques a varias alturas. El método de encintado también es utilizado para establecer la circunferencia de referencia a la altura seleccionada como punto de datos en otros métodos de aforo de tanques.

PETRÓLEO Y DERIVADOS LÍQUIDOS — AFORO DE TANQUES CILÍNDRICOS VERTICALES — PARTE 1: MÉTODO DE ENCINTADO

1 Objeto

1.1 Esta parte de la NC-ISO 7507 especifica el método para el aforo de tanques sustancialmente cilíndricos verticales utilizando una cinta métrica.

1.2 Este método es conocido como método de encintado y es adecuado como método de trabajo de referencia y arbitraje.

NOTA: Para el método de referencia el número de encintados requeridos está especificado en esta parte de la NC- ISO 7507

1.3 La operación de encintado, las correcciones que se hacen y los cálculos que se llevan a cabo para la elaboración de la tabla de capacidad del tanque, se describen en esta parte.

1.4 Este método no es aplicable para tanques anormalmente deformados, por ejemplo: abollados o tanques no circulares.

1.5 Este método es adecuado para tanques inclinados con una desviación de hasta un 3% con respecto a la vertical, se realiza una corrección en los cálculos por la inclinación medida.

2 Referencias Normativas

En el momento de esta publicación las ediciones de las normas de referencia son válidas .Todas las normas están sujetas a revisión periódicas y se realizan investigaciones que pueden provocar modificaciones en ediciones más recientes. Los miembros de la IEC y la ISO mantienen un registro corriente de las normas internacionales válidas.

ISO 91-1:1992, Petroleum Measurement tables – Part: Tables based on reference temperatures of 15 °C and 60 degrees F.

ISO 3675:1998 Crude petroleum and liquid petroleum products-Laboratory determination of density or relative density- hidrometer method.

3 Definiciones

Las siguientes definiciones son aplicables para todas las partes de la norma.

NOTA: Se definen los términos preferidos solamente. Los términos alternativos están dados a los términos preferidos correspondientes

3.1 Argumento: Es la variable independiente de una función.

NOTA: A la tabla se entra con los valores de las variables independientes, los valores extraídos de la Tabla se conocen como valores dependientes.

3.2 Aforo del fondo

- (1) La determinación de las capacidades parciales de las porciones inferiores del tanque.
- (2) La cantidad de líquido que contiene el tanque por debajo del punto de sondeo.

3.3 Aforo: Proceso para determinar la capacidad del tanque, o las correspondientes capacidades parciales a diferentes alturas.

3.4 Capacidad: Volumen total del tanque.

3.5 Tabla de capacidad (aforo): La tabla, llamada frecuentemente como tabla del tanque o tabla de capacidad del tanque, que muestra las capacidades o los volúmenes en un tanque correspondientes a diferentes niveles del líquido medidos desde un punto de referencia.

3.6 Rolo: Anillo circular formado por las planchas del tanque.

3.7 Punto de referencia de datos: Punto usado como dato en la elaboración de la tabla de calibración.

NOTA La altura de los rolos y los niveles reales de las obras muertas se miden desde este punto, al cual también se refiere el aforo del fondo del tanque.

3.8 Obra muerta: Cualquier elemento que afecte la capacidad del tanque.

NOTA La obra muerta se considera positiva cuando la capacidad correspondiente a la misma se adiciona a la capacidad efectiva del tanque y negativa cuando su volumen reduce la capacidad efectiva del tanque.

3.9 Profundidad: Altura del líquido en el tanque:

NOTA El termino "innage" es sinónimo.

3.10 Registro de sondeo: Abertura en el techo del tanque a través de la cual se realizan las mediciones con la cinta.

3.11 Punto de sondeo: Punto ubicado en la placa de sondeo donde toca la plomada de la cinta de sondeo cuando se realizan las mediciones, desde el cual son tomadas las mediciones de las alturas del producto y del agua.

NOTA El punto de sondeo generalmente se corresponde con el punto de referencia de datos pero cuando no es así, la diferencia en nivel entre el punto de referencia de datos y el punto de sondeo debe ser considerada en la tabla de aforo (ver placa de sondeo).

3.12 Placa de sondeo: Bandeja (chapa o lámina) situada bajo la escotilla, cuya posición no debe afectarse por movimientos de la pared o el fondo.

3.13 Cinta de sondeo: Cinta de acero graduada, utilizada para medir la altura del combustible o el agua en el tanque ya sea directamente por inmersión o indirectamente por vacío.

3.14 Plomada: Peso que se coloca en el extremo de la cinta de sondeo con la suficiente masa para mantenerla tensada posibilitando su penetración en el líquido hasta alcanzar el punto de referencia.

3.15 Cubierta flotante pantalla: Pantalla ligera de plástico o metal que flota en la superficie del líquido.

NOTA La pantalla descansa en la superficie del líquido. Se utiliza para retardar la evaporación de productos volátiles en un tanque.

3.16 Tanque con techo flotante: Tanque en el cual el techo flota libremente sobre la superficie del líquido contenido, excepto cuando los niveles son bajos que descansa sobre sus patas o soportes.

3.17 Función: Cuando dos variables se interrelacionan, se dice que una de ellas es función de la otra.

NOTA En el contexto del aforo de un tanque, el volumen del líquido contenido, se dice que es función de la altura de dicho líquido o de la altura de la parte vacía.

3.18 Medición: Proceso de obtención de todas las mediciones necesarias en el tanque para determinar la cantidad de líquido que contiene.

3.19 Interpolación: Proceso de obtención del valor de una función correspondiente al valor del argumento intermedio entre dos valores dados.

3.20 Mordaza: Equipo abrazador que se puede fijar en cualquier punto a lo largo de toda la cinta de medición con una agarradera que permite tirar de la cinta con la tensión establecida.

3.21 Volumen abierto: Capacidad calculada del tanque o parte del tanque antes de cualquier corrección hecha por obra muerta.

3.22 Altura de referencia: Distancia vertical entre el punto de sondeo y el punto de referencia superior.

3.23 Altura total: Altura total externa desde el de la chapa a la base del tanque

3.24 Método de arbitraje: Aplicación del método por encintado en el aforo de un tanque para realizar un aforo para propósitos de custodia y transferencias seguras o como base para el estimado de la exactitud de otros métodos de calibración.

3.25 Método de referencia: Aplicación del método de encintado en el aforo de un tanque para la medición de una circunferencia de referencia para ser usado en otros métodos de aforo de tanques, por ejemplo, en el método de la línea óptica de referencia (ver ISO 7507-2).

3.26 Punto de referencia: Punto respecto al cual se refieren todas las mediciones.

3.27 Saltajuntas: Dispositivo usado en el encintado para la medición de distancias entre dos puntos de un arco de circunferencia que debido a la presencia de obstáculos no se puede medir directamente con la cinta de medición.

3.28 Constante del saltajuntas: Distancia entre los dos puntos de medición de un saltajunta determinado como medida el arco del rolo particular del tanque en cuestión.

3.29 Corrección del saltajuntas: Diferencia entre la distancia aparente entre dos puntos en la pared de un tanque y esa misma distancia medida con una cinta métrica pasando sobre el obstáculo y la distancia real del arco medida con el saltajuntas (constante del saltajuntas)

3.30 Cinta métrica de encintado: Cinta métrica de acero graduada en unidades de longitud especialmente diseñada y calibrada, la cuál se usa para realizar las mediciones abrazando al tanque durante el aforo.

3.31 Método de encintado: Método de aforo de un tanque en el cual las capacidades se calculan mediante las mediciones de las circunferencias exteriores, considerando las correcciones de la pared por el espesor de la chapa del tanque.

3.32 Posicionador de cinta: Guía para deslizar libremente la cinta de medición para tirar de ella y llevarla a la posición correcta en las mediciones.

3.33 Tirador: Asa atada a la cinta, utilizada para tirar de ella y colocarla en la posición correcta aplicando tensión.

3.34 Vacío: La capacidad del tanque no ocupada por el líquido

3.35 Punto de referencia superior: Punto claramente definido en el registro directamente sobre el punto de inmersión y desde el cual son ejecutadas las mediciones de la altura o el vacío del líquido.

3.36 Método de trabajo: Aplicación de un método de encintado para el aforo de un tanque por un procedimiento simplificado que puede resultar menos exacto y es inadecuado para comprobar otros métodos.

4 Precauciones

4.1 Introducción

4.1.1 Esta cláusula describe las precauciones que es necesario tomar cuando los tanques son aforados. Las precauciones necesarias para garantizar la seguridad del operario se dan separadamente de aquellas que se tienen que tomar para asegurar la precisión necesaria requerida en el aforo de los tanques.

4.2 Precauciones generales

4.2.1 Todas las operaciones deberán ejecutarse con sumo cuidado y atención.

4.2.2 Todas las mediciones serán cuidadosamente observadas y registradas y cualquier otra corrección que se requiera se registrará separadamente. Si se nota alguna incidencia inusual durante las operaciones, las mismas se documentarán y si es necesario, se repetirá el aforo.

4.2.3 Si el tanque está ligeramente deformado, se tomarán mediciones adicionales para permitir el cálculo satisfactorio de la tabla de capacidad. Si se requieren tales mediciones, en las notas del aforador se incluirán las razones para estas mediciones adicionales.

NOTAS:

11 También se recomienda que el aforador brinde un esquema dimensionado para mostrar cualquier anomalía del tanque o accesorios que afecten al aforo.

12 Los tanques seriamente deformados serán mejor aforados usando preferiblemente métodos de aforo con líquido similar al descrito en ISO 4269.

4.2.4 Para asegurar la exactitud y repetibilidad de las lecturas, se apartará todo lo que interfiera con las mediciones o se ajustará adecuadamente la posición del equipo de medición. Si los planos del tanque están disponibles todas las mediciones importantes se compararán con las dimensiones correspondientes mostradas en dichos planos. Cualquier medición que muestre una discrepancia significativa como resultado de esta comparación será reportada y si es necesario, repetida.

4.2.5 Si el aforo del tanque se interrumpe deberá tomarse en cuenta lo siguiente:

a) Si se realizan cambios en el equipamiento o en el personal deberá chequearse que los resultados obtenidos antes del cambio corresponden con las tolerancias permitidas en el método

b) Todas las anotaciones del trabajo realizado estén completas y ser legibles

c) El líquido se mantiene al mismo nivel

d) Las temperaturas promedio del líquido y el ambiente no se diferenciarán en más de 10 grados de los valores obtenidos antes de la interrupción.

4.3 Medidas de seguridad**4.3.1**

Las

medidas de seguridad que a continuación se relacionan constituyen una buena práctica, aunque el listado no es completo necesariamente. Deberá aplicarse conjuntamente con un código de seguridad del trabajo apropiado. Las medidas de seguridad en ningún caso estarán en contradicción con los requerimientos legales.

Todas las regulaciones referidas al acceso de áreas peligrosas deberán ser rigurosamente observadas.

4.3.2 Cuando el tanque que se afora contiene combustibles deberán cumplirse las medidas de seguridad correspondientes.

4.3.3 Antes de entrar a un tanque que ha estado en uso, se expedirá un certificado de acceso al mismo en concordancia con las regulaciones nacionales. Las líneas deberán ser desconectadas y bloqueadas. Deberán ser meticulosamente observadas las regulaciones referentes al acceso a tanques con combustibles que contienen plomo.

4.3.4 Las lámparas de mano deberán ser aprobadas para su uso en atmósferas explosivas.

4.3.5 Será de estricto cumplimiento lo siguiente:

a) Las escaleras deberán ser previamente inspeccionadas y utilizadas solamente de acuerdo a su alcance y siempre tendrán un apoyo seguro.

b) Cuando se utilicen bambas, cinturones de seguridad, etc. todos los elementos deberán ser comprobados y asegurados antes de iniciar el ascenso.

c) Donde el aforo no se puede llevar a cabo sin el uso de andamios, se erigirá un andamio de madera o tubos de acero apropiadamente contruidos. Para estos andamios no se usarán ladrillos en desuso, tambores, cajas, etc.

d) Cuando se justifique serán utilizados cinturones de seguridad.

5 Equipamiento

5.1 Cinta de medición para encintado

La cinta de medición cumplirá con lo establecido en el punto D.1. La cinta se engrasará antes de usarla.

5.2 Dinamómetro

El dinamómetro cumplirá con los requerimientos establecidos en D.2

5.3 Saltajuntas

El saltajuntas cumplirá con los requerimientos establecidos en D.3

5.4 Posicionador de cinta y cordeles

Serán fijados en la cinta de medición uno o más posicionadores de cinta como se describe en D4 provistos de cordeles. Los cordeles superiores e inferiores tendrán un largo suficiente para cubrir la altura del tanque.

5.5 Mordaza

Una mordaza Littlejhon que cumpla con los requerimientos establecidos en D.5 será provista para sostener la cinta sin doblarse y facilitar la tensión necesaria.

5.6 Aparato para la medición de espesores

Regla de acero de longitud conveniente graduada en mm en toda la escala y los primeros 10 mm subdivididos en 0.5 mm o dispositivo medidor electrónico o de otro tipo.

5.7 Medidor de espesor de pintura

Se utiliza un instrumento adecuado para medir el espesor de la pintura.

5.8 Cinta de sondeo y plomada

Cumplirán con lo establecido en D.6 y D.7. La longitud de la cinta posibilitará las mediciones desde el techo del tanque y hasta el fondo del mismo.

5.9 Regla graduada

Deberá tener una longitud de 1 m, graduada en cm y mm. Se utilizará para las mediciones en las obras muertas. Si se usa una regla de madera deberá fijarse con un casquillo de bronce a cada extremo y estará libre de curvatura.

5.10 Escaleras y andamios

Ver 4.3.6

5.11 Equipamiento para medir la densidad y la temperatura

Descritos en la ISO 3675*

6 Requisitos generales

NOTA 13 De ser posible las mediciones deberán ser comparadas con las correspondientes dimensiones dadas por los planos del fabricante y deberá comprobarse la circularidad del tanque.

6.1 Antes del aforo, el tanque deberá haber sido llenado hasta su capacidad normal de trabajo al menos una vez y no puede haber realizado operaciones con su contenido por lo menos 24 horas antes.

Si durante el aforo existe líquido en el tanque, se tomará la altura, temperatura y densidad del mismo. Si la temperatura entre la parte vacía del tanque y la llena difiere en más de 10 grados deberá vaciarse o llenarse completamente. No se realizarán transferencias de líquido durante la calibración.

NOTA La temperatura ambiente deberá registrarse antes y después del aforo.

En el punto 7.2. se describen las mediciones de las circunferencias de referencia conjuntamente con otras mediciones necesarias para las correcciones por obstáculos en el encintado.

NOTA: Otras mediciones requeridas para la elaboración de las tablas de capacidad se describen en las cláusulas de la 8 a la 12.

6.2 Es necesario referir todas las alturas al punto de sondeo, el cual puede no coincidir con el punto de referencia de datos. Por ejemplo un punto sobre el ángulo del fondo, usado durante la calibración del tanque. Chequear que la placa de sondeo esté montada en una posición estable de forma tal que no se afecte por movimientos en el fondo o en la pared. Determine cualquier diferencia de nivel entre el punto de sondeo y el punto de referencia, ya sea por levantamiento físico o por otro medio adecuado y regístrela.

6.3 Mida de la altura total del punto de referencia superior por encima del punto de sondeo usando la cinta de sondeo con la plomada. Registre esta altura total con una aproximación correspondiente al valor de división de la cinta, en las condiciones de lleno o vacío, como y cuando se requiera.

7 Mediciones de circunferencia

7.1 Niveles de encintado

7.1.1 Si el aforo se realiza con propósito de arbitraje, se tomarán tres valores de encintado en cada rolo, a los siguientes niveles:

a) Para tanques remachados:

1) De 100 a 150 mm por encima del nivel del tope del ángulo del fondo del tanque y 100 a 150 mm por encima del borde superior de cada solapamiento horizontal entre rolos.

2) En el centro de cada rolo

3) De 100 mm a 150 mm por debajo del borde inferior de cada solapadura horizontal entere dos rolos y 100 a 150 mm por debajo del nivel de la parte inferior del ángulo superior.

b) Para tanques soldados:

Tres niveles como en a) pero el nivel superior y el inferior deben estar situados entre 270 mm y 330 mm de los ángulos superior, del fondo y de la pared del tanque o de las costuras horizontales.

7.1.2 Cuando el aforo se realiza como método de trabajo se tomarán las circunferencias solamente en dos niveles por rolo correspondiente a:

- De $1/5$ a $1/4$ sobre el cordón de soldadura inferior.
- De $1/5$ a $1/4$ bajo el cordón de soldadura superior.

7.1.3 Si por alguna razón no es posible realizar las mediciones al nivel normal, incluso con la utilización de un saltajuntas (ver 7.5), tome una medición lo más cerca posible a este nivel, pero no tan cerca al fondo o al ángulo superior o a alguna costura como se especifica en 7.1.1 a) o b). Registre la altura a la cual se midió la circunferencia y el motivo por el cual no se midió al nivel normal.

Si la cinta no está en contacto directo con la superficie del tanque en todo su recorrido, aplique el saltajuntas como se indica en 7.5 de forma tal que se pueda calcular la corrección por este efecto.

7.2 Procedimiento de encintado

7.2.1 El encintado del tanque se realizará por uno de los métodos descritos en 7.2.2 y 7.2.3 Se aplicará la tensión especificada en la cinta usando un tirador y el dinamómetro.

Para adherir la cinta a la pared del tanque se le impartirá un ligero movimiento oscilante o tirando de cordones unidos al posicionador de cinta, deslizando estos a lo largo de la cinta.

Coloque la cinta paralela a las costuras horizontales del tanque.

7.2.2 Si la cinta utilizada no tiene la longitud suficiente para abarcar completamente el tanque, seleccione un nivel para pasar la cinta y entonces mida la circunferencia por secciones. Dibuje líneas alejadas de las costuras verticales no menos de $1/3$ de la longitud de la plancha, que permitan realizar las mediciones convenientemente. Cuando la tensión del dinamómetro en el extremo final de la cinta alcance el valor especificado en 7.2.1 para cada sección por separado, registre las lecturas individuales. La circunferencia externa del tanque será entonces la suma de las mediciones realizadas por separado.

7.2.3 Si la cinta utilizada tiene la longitud suficiente para abarcar completamente el tanque seleccione un nivel para pasar la cinta sujetando fuertemente el trazo cero de la cinta que estará apretada contra la superficie de la chapa del tanque y sostenida de forma tal que la graduación cero se encuentre a no menos de alrededor de un tercio de la costura vertical. Lleve el otro extremo de la cinta a todo lo largo de la pared del tanque. Entonces aplique la tensión sobre el dinamómetro y asegure que esta es transmitida a través de toda la longitud de la cinta. Tome directamente en la cinta, la lectura opuesta a la marca cero cuando la tensión sobre el dinamómetro se encuentra como se describe en 7.2.1. Registre la lectura

NOTA : Cuando se usa una cinta subdividida solamente en el primer metro, tenga en cuenta al registrar la medición de la circunferencia, que debe sustraer de la lectura indicada por la graduación principal la lectura indicada en la parte subdividida.(ver Figura 1)

7.3 Repetición de las mediciones

Después de medir la circunferencia como se describe en 7.2.2 ó 7.2.3, libere la tensión y coloque la cinta en el nivel y a la tensión especificada en 7.2.1 Repita y registre las lecturas.

7.4 Tolerancias

Las mediciones se leerán con una aproximación de un milímetro y se considerarán satisfactorias si la repetición de acuerdo al 7.3 se encuentra entre las tolerancias siguientes:

Circunferencia	Tolerancia
m	mm
hasta 25	±2
mayor de 25, hasta 50	±3
mayor de 50, hasta 100	±5
mayor de 100, hasta 200	±6
mayor de 200	±8

Si lo anterior no se cumple, tome y registre las mediciones adicionales hasta que concuerden dos lecturas consecutivas. Tome el promedio de estas dos lecturas como la circunferencia. Si no concuerdan mediciones consecutivas, determine los motivos y repita el procedimiento de calibración hasta obtener.

7.5 Saltajuntas

7.5.1 Principios

Si la cinta atraviesa obstáculos tales como; salientes o cordones de soldaduras, causantes de una desviación de la verdadera superficie circular, resultará una medición errónea de la circunferencia. Con el objetivo de evitar este error, se usa un saltajuntas para medir la corrección que se aplicará a tales obstáculos.

La constante del saltajuntas variará con el diámetro del tanque y el rolo en cuestión, por lo que se determina sobre diferentes superficies curvas.

7.5.2 Uso del saltajuntas

7.5.2.1 Para cada rolo, estire la cinta como en la medición de la circunferencia del tanque (ver 7.1).

Aplique el punto de marcación del saltajuntas a la cinta cerca del centro de la chapa donde la cinta está completamente en contacto con la superficie del tanque. Lea la longitud entre los puntos medidos sobre la cinta con una aproximación de 0,2 mm.

Repita la lectura sobre cuatro chapas igualmente espaciadas alrededor del rolo. Tome el promedio de los resultados y regístrelo como la constante del saltajuntas para el rolo en cuestión. Para ayudar en la estimación de fracciones de división de la cinta, siempre tome las lecturas desde la misma posición en la marca de graduación, por ejemplo desde el borde derecho.

7.5.2.2 Sin mover la cinta y bajo la tensión usada en el encintado, aplique el saltajuntas a la cinta, sobre cada lado del obstáculo descansando en la cinta. Tome lecturas de las longitudes de la cinta

incluidas entre los puntos de marcación del saltajuntas con una aproximación de 0,2 mm (ver último párrafo 7.5.2.1) Anote todas las lecturas del saltajuntas para el subsiguiente uso en el cálculo.

7.5.2.3

7.5.2.4 La corrección del saltajuntas para el obstáculo en cuestión será la diferencia entre las lecturas obtenidas, como en 7.5.2.2 y la constante del saltajuntas obtenida como en 7.5.2.1.

7.5.2.5 Incluya todos los obstáculos para los cuales es necesaria una corrección por saltajuntas. En el caso de costuras verticales procure que la trayectoria de la cinta esté completamente libre de otros obstáculos, obtenga una corrección por saltajuntas, calculada como se describe en 16.1.2.

7.5.2.6 El total de las correcciones por saltajuntas para todos los obstáculos y costuras verticales redondeadas al milímetro más cercano, se resta de la circunferencia medida de acuerdo con 7.2 hasta 7.4.

8 Otras mediciones

8.1 Espesor de chapa y pintura

Mida el espesor de la chapa, pintura y cualquier revestimiento interno para cada rolo, siempre que sea posible, excepto en el caso de soldadura a tope, en el cual el espesor de la chapa puede ser tomado de los planos. Registre el espesor de la pintura y la chapa de cada rolo con una aproximación de 0.5 mm.

8.2 Altura de los rolos

Mida la altura externa de los rolos y registre las distancias verticales obtenidas con una aproximación de 5 mm. Haga correcciones por el efecto de cualquier costura solapada horizontal con el objetivo de dar la distancia entre borde sucesivos de los rolos tal como ellos están expuestos en el interior del tanque.

NOTA Las costuras de solapa se pueden obtener de los planos del tanque o por diferencias de la medición entre rolos sucesivos.

Medir la altura de los rolos en más de una posición alrededor de la periferia. Promediar el resultado obtenido y registrarlo. La altura total de los rolos por separado estará de acuerdo con la altura total de la pared del tanque que fue medida separadamente en una posición tan cerca como sea posible del punto de sondeo. Si es posible, también mida la altura del primer rolo internamente para asegurar que cualquier reparación o remodelación de la chapa del fondo del tanque no ha reducido la altura del primer rolo.

9 Obra muerta

Mida las dimensiones de la obra muerta, siempre que sea posible y la altura de los puntos más bajos y más altos de la misma, tomando como referencia el punto de referencia de datos del tanque. Anote estas mediciones con una aproximación de 5 mm.

Cuando no puedan obtenerse mediciones físicas tome los detalles de la obra muerta de los planos del tanque.

10 Fondo de los tanques

NOTA Esta cláusula se debe leer conjuntamente con 17.2.

Afore el fondo del tanque por uno de los siguientes métodos:

a) Por llenado con cantidades medidas de un líquido no volátil (preferentemente agua limpia), como se especifica en ISO 4269, a un nivel mínimo que cubra el fondo completamente, sumergiendo la placa de sondeo y eliminando el efecto de deformaciones del fondo; o

b) Si no es posible el aforo con líquido o si el fondo del tanque tiene forma regular se puede acometer levantamiento físico usando un plano de referencia. Asegúrese que el estudio describe adecuadamente los contornos del fondo del tanque. Para el estudio use tres puntos como mínimo por cada metro de diámetro.

NOTA El levantamiento físico del fondo se usa para determinar el contenido del fondo mediante mediciones a partir de un plano horizontal conocido que atraviesa el fondo del tanque. Este plano se obtiene realizando mediciones de nivel desde el punto más bajo (de descarga) utilizando la planimetría, teodolitos o niveles de agua (mangueras).

11 Medición de la inclinación

Realice mediciones para determinar la inclinación del tanque en grados.

NOTA Esto puede realizarse convenientemente durante el estudio interno del fondo ó utilizando una plomada suspendida desde el ángulo superior y midiendo una cantidad suficiente de puntos para determinar el ángulo máximo de la pendiente del fondo (ver 16.2).

NOTA Las alturas del rolo del fondo deben ser comprobadas también para asegurar que la inclinación, si existe, sea real.

12 Tanque con techo flotante

12.1 Se llevan a cabo las mismas mediciones que para los tanques con techo fijo.

NOTA Estas mediciones deberán preferiblemente incluir la calibración con líquido del fondo del tanque, la cual debe continuar hasta una altura suficiente en que el techo comience a flotar completamente, (ver anexo C).

12.2 Se deben llevar a cabo las siguientes mediciones adicionales:

a) La altura del punto más bajo del techo hasta el fondo (punto de referencia de datos) cuando el techo descansa completamente sobre sus soportes en el fondo. Si el techo tuviera otro nivel de trabajo realice las correspondientes correcciones.

b) Estando el techo descansando completamente sobre su soporte dibuje cuatro líneas blancas cortas horizontales de aproximadamente 40 mm de ancho en la pared interior del tanque, márquelas también en el techo flotante de forma equidistante y que sean visibles desde un punto definido del techo Bombee líquido en el tanque hasta que los bordes inferiores queden justamente encima de cuatro puntos de referencia fijos seleccionados a lo largo de la periferia del techo. Lentamente bombee líquido hacia el interior del tanque, cuando se vea que todos los puntos de referencia del techo se han movido igualmente hacia arriba considere que el techo está flotando completamente. Mida la altura del líquido a este nivel y regístrelo con una aproximación de 1 mm. Mida y registre, además, la densidad y temperatura del líquido.

NOTA: Los soportes del techo pueden ser utilizados para chequear el momento en que el techo esté flotando completamente. Esto tiene la ventaja de que la confianza no solamente se tiene en el movimiento de la periferia del techo. Puede existir una considerable flexibilidad de la superficie del techo justamente antes de que esta se convierta en un cuerpo flotante. Tan pronto como el techo comienza a flotar debido al empuje del líquido los soportes o patas quedan colgando sin tener que quitar el peso de sujeción.

A partir de los datos anteriores es posible calcular o deducir la masa aparente en el aire del techo si es medida la cantidad de agua desplazada.

Si no existen facilidades de aforo con líquido mida la forma del techo. Tome suficientes datos para facilitar el cálculo del desplazamiento del techo con una exactitud razonable y verifíquelo contra los planos.

c) Si la masa aparente en el aire del techo y sus accesorios son dados por el fabricante o aparecen en una inscripción, tome ese valor.

NOTA: La masa aparente en el aire del techo flotante incluye la mitad de la masa aparente en el aire de la escalera y de los accesorios acoplados a la parte inferior del techo y soportados parcialmente por el mismo. ej. tubo articulado de drenaje pluvial.

d) Si el aforo del tanque es requerido por encima del rango entre el nivel inferior del techo del tanque y el nivel de líquido en el cual el techo comienza a flotar completamente, use uno de los siguientes métodos (preferiblemente el primero) (vea la nota 25):

1) Cuando el líquido es bombeado hacia el tanque como en (12.2 b) hágalo por tiradas, mida cuidadosamente la cantidad de cada una de las tiradas, las cuales deben ser similares pero no necesariamente idénticas en volumen. Esto puede hacerse con exactitud utilizando un metro calibrado para el custodio y transferencia o a través de las mediciones hechas en un tanque de almacenamiento que esté provisto de una tabla de capacidad exacta. Registre las cantidades con una aproximación de un litro junto con la correspondiente altura del líquido por encima del punto de sondeo. Registre las alturas a la más pequeña graduación de la cinta de sondeo. Seleccione el tamaño de las tiradas de forma tal que se obtengan incrementos de aproximadamente 50mm. Anote la densidad y la temperatura del líquido.

A partir de los datos anteriores es posible calcular la masa aparente en el aire del techo

2) Si no existen facilidades para el aforo con líquido mida la forma del techo. Tome suficientes mediciones como para asegurar el cálculo del desplazamiento del techo en varios estadios de inmersión para ser calculados con una exactitud razonable y verificado contra los planos.

NOTA El aforo de esta región del tanque por uno u otro procedimiento es posible que no sea preciso (ver 17.3.6 y 17.3.11).

12.3 Las obras muertas fijas se miden como lo describe la cláusula 9. A las tuberías de desagüe y otros accesorios adheridos por dentro del techo se tratan como obra muerta fijada en la posición que ocupan cuando el techo descansa en su soporte.

13 Reaforo

Los tanques serán reaforados siempre que se dude del aforo anterior, o sea requerido por regulaciones nacionales, o porque el tanque llegue a deformarse físicamente, por ejemplo cuando el

tanque presenta movimiento en su cimiento, Igualmente, si se instala un nuevo equipamiento que afecta el volumen de la obra muerta, se recalcula la tabla de capacidad del tanque.(ver Anexo B)

14 Calculo de las tablas de aforo. Reglas generales

14.1 Todos los cálculos se harán de acuerdo con principios matemáticos aceptados.

NOTA Los errores en el cálculo se minimizarán y se facilitará su chequeo por la adopción de una forma de cálculo normalizado y hoja de datos. Se recomienda el llenado de esta hoja según se ilustra en el Anexo C

NOTA Las incertidumbres del aforo pueden ser calculadas según se describen en el Anexo D y el establecimiento de estas incertidumbres pueden ser adicionadas a la tabla de aforo calculada.

14.2 Los métodos de cálculo mostrados a continuación, tienen los requisitos mínimos para la precisión, pero es permisible el uso de procedimientos alternativos los cuales den como resultado una tabla de capacidad final del tanque de similar o mayor precisión. Salvo que se especifique lo contrario, los volúmenes se expresarán con cinco cifras significativas.

14.3 La temperatura normalizada para la cual la tabla de capacidad del tanque se calcula, se registrará en el encabezamiento de la tabla. Además, debe registrarse la densidad del líquido almacenado en el tanque en servicio que se usará en el cálculo de la tabla de capacidad.

14.4 Como los tanques de almacenamiento se expanden bajo la presión del líquido que contiene, la corrección por este concepto se aplicará en el desarrollo de la tabla de capacidad del tanque. Las correcciones de temperatura a la cinta de medición deben aplicarse según se describe in Anexo F

NOTA 1 En el Anexo G se muestra un método conveniente para calcular las correcciones por expansión.

NOTA 2 Los tanques de almacenamiento también se afectan por cambios térmicos, al igual que las cintas métricas utilizadas para el encintado y para el sondeo, las cuales son calibradas para dar resultados corregidos a una temperatura de referencia , por ejemplo, 20 °C. LaS tablas de capacidad de los tanques se pueden calcular para dar resultados corregidos a cualquier temperatura normalizada, por ejemplo, 15°C, y por lo tanto se requiere de una corrección cuando la temperatura difiere de la temperatura de calibración de la cinta. Esto se discute con más detalles en el Anexo B.

15 Formato de las tablas de aforo

15.1 Siempre que las tablas de capacidad del tanque se calculen de acuerdo con lo expuesto en esta norma, el formato adoptado no afectará la exactitud matemática de las mismas. Sin embargo, los principios expuestos en esta cláusula se recomiendan para obtener una tabla en la forma más conveniente para su uso. Para cada tanque aforado de acuerdo con esta parte de la NC-ISO 7507 se emitirá un certificado de aforo como el especificado en el Anexo E.

15.2 Los intervalos de altura a los cuales se dan las tablas se elegirán de forma tal que permita la interpolación lineal para las alturas intermedias sin perder exactitud.

15.3 Los niveles afectados por las irregularidades del fondo, no linealidad de techos flotantes y obras muertas no se incluirán en el cálculo de la capacidad promedio por unidad de altura usada para elaborar la parte proporcional, y a esta tabla no se le aplicarán interpolaciones en estos rangos. Dichos rangos se marcarán claramente en la tabla de capacidad del tanque.

15.4 Las tablas se pueden presentar de forma detallada, esto se justifica en los casos en que se desee mayor rapidez en los cálculos. Sin embargo, una tabla presentada en una sola hoja es frecuentemente más cómoda para su uso cotidiano que la que ocupa varias páginas.

15.5 Para ciertos productos, como por ejemplo asfaltos (betunes) calientes es más conveniente señalar las tablas en términos de la altura no ocupada por el líquido, pero donde el proceso de aforo es en términos de la altura solamente, la tabla se empleará en correspondencia con su forma.

16 Calculo de la capacidad abierta

16.1 Correcciones a la medición de las circunferencias

16.1.1 Generalidades

Las correcciones que se deben hacer a las circunferencias medidas se presenta en detalles más adelante desde 16.1.2 hasta 16.1.4, La incorporación sistemática de estas correcciones se muestran en 16.2.

16.1.2 Saltajuntas

Para cada obstáculo, la lectura de la cinta métrica en el intervalo del obstáculo menos la constante del saltajuntas para el rolo dado debe sustraerse del valor de la circunferencia obtenida por el encintado. El resultado se asume como la circunferencia corregida, libre de error debido al desplazamiento de la cinta por los obstáculos en cuestión. (ver 7.5.2.)

El desplazamiento de la cinta por los obstáculos sobre la pared del tanque y la correspondiente corrección a la medición de la circunferencia medida se hace normalmente mediante el saltajuntas.

NOTA En el caso de costuras verticales en la chapa, la corrección se puede obtener por medición directa o por cálculos usando las fórmulas (1 ó 2) . Si la lámina de la chapa es fina y si la trayectoria de la cinta está libre de cualquier otro obstáculo que no sea la costura la exactitud de la medición se puede afectar y entonces es preferible usar la fórmula. Sin embargo dondequiera que se use un saltajuntas, se podrá incluir cualquier corrección (ver 7.5.2.4) y esto permitirá determinar el promedio de la corrección por saltajuntas para cada rolo de las mediciones tomadas en no menos tres costuras elegidas al azar. La corrección total para el rolo entonces se obtendrá por multiplicación de la corrección promedio por el número de costuras verticales en el rolo.

16.1.3 Obstáculos por ambos lados

Si la cinta se aparta de la superficie de la chapa del tanque a ambos lados de un pequeño obstáculo como lo muestra la figura 2b, la corrección en metros, que debe ser sustraída de la circunferencia medida, es:

$$\frac{2Ntw}{d} + \left(\frac{8Nt}{3} \right) \sqrt{\frac{t}{d}} \quad (1)$$

Donde:

N - número de costuras u obstrucciones por rolos

t - espesor de la costura u obstáculo, m

w - ancho de la costura u obstáculo, m

d - diámetro nominal del tanque, m

16.1.4 Obstáculos por un solo lado

Para costuras verticales donde la cinta se despega de la superficie de la pared solamente por un lado de la costura, como se ilustra en la figura 2 a) la corrección en metros, se deduce de la circunferencia medida como sigue:

$$\left(\frac{4Nt}{3}\right)\sqrt{\frac{t}{2d}} \quad (2)$$

NOTA La fórmula (2) se deriva de la (1) como sigue. En el caso mostrado en la figura 2A, no se necesita hacer corrección por obra muerta a la costura sino que se hace una obra muerta positiva en la otra cara de la costura que es equivalente a cancelar la obra muerta negativa en el otro lado como lo muestra la figura por las áreas sombreadas. La fórmula (1) entonces viene dada:

$$\left(\frac{8N}{3} \times \frac{t}{2}\right)\sqrt{\frac{t}{2d}} = \left(\frac{4Nt}{3}\right)\sqrt{\frac{t}{2d}}$$

16.1.5 Espesor de chapa y pintura

La medición del espesor de la chapa en milímetros se expresará en décimas de metros con una aproximación de 0.000 5 m. El espesor de la capa de pintura similarmente se convertirá y se adicionará al correspondiente espesor de la chapa en cálculos subsiguientes.

16.1.6 Temperatura

Las cintas que se utilizan para abrazar al tanque se calibran a la temperatura de referencia de 20°C normalmente.

Para propósitos prácticos, se asume la medición de encintado corregida a la temperatura de referencia de la cinta. La cinta está en contacto directo con la chapa del tanque y por tanto además se puede considerar a la misma temperatura de la chapa, Normalmente, el coeficiente de expansión lineal del metal de la chapa del tanque y del metal de la cinta, son prácticamente idénticos(ellos se expanden igualmente dentro de las incertidumbres esperadas) Las mediciones de la chapa del tanque pueden ser considerada correctas con la temperatura de la cinta de calibración sin tener en cuenta la temperatura a la cual fue tomada. Si la tabla de capacidad se requiere a una temperatura diferente a la temperatura de referencia de la cinta, los valores tabulados deben ser ajustados por el factor derivado como se describe en el Anexo H.

Si el coeficiente de expansión de la cinta y el metal de la chapa del tanque son diferentes por ejemplo, los metales son diferentes, la circunferencia encintada debe ser multiplicada por el siguiente factor de corrección:

$$C_{\text{exp}} = \left[1 - (\alpha_{st} - \alpha_{tk}) (T_{st} - T_{ref}) \right]$$

Donde:

α_{st} = coeficiente de expansión lineal de la cinta ($^{\circ}\text{C}^{-1}$)

α_{tk} = coeficiente de expansión lineal del material de la chapa del tanque ($^{\circ}\text{C}^{-1}$)

T_{ref} = temperatura de referencia del tanque y la cinta ($^{\circ}\text{C}$)

T_{st} = temperatura de medición (la misma para la cinta y el tanque) ($^{\circ}\text{C}$)

16.2 Cálculo sistemático

El siguiente método de cálculo se coordina para usarse en conjunto y sigue el orden de las columnas, la hoja de los datos y la hoja de cálculo dada en el anexo F.

a) La circunferencia externa media de cada nivel en cada rolo se calculará primero a partir de la repetición de las mediciones hechas a cada nivel en particular. Cada circunferencia media entonces se corregirá por saltajuntas como se especifica en 16.1.2.

b) La circunferencia externa media corregida para cada rolo se calculará de estas tres circunferencias medias corregidas de la circunferencia media calculado en a).

c) La circunferencia externa media para cada rolo se calculará de la correspondiente medición externa de la circunferencia calculada como en b) sustrayendo la corrección debido a la suma del espesor de la chapa y la pintura, ver 16.1.3. Esta corrección comienza con $2 \pi t_n$ redondeada a 0.000 1m, donde

t_n es la suma del espesor de la chapa y la pintura en metros.

d) La corrección de la circunferencia media interna obtenida en c) para cada rolo se elevará al cuadrado y el resultado se redondea en cada caso a 0.001m^2 .

e) El volumen abierto por unidad de altura para cada rolo se calculará como si fuera un cilindro vertical recto, a partir del cuadrado de la circunferencia interna media corregida (C^2) por cada rolo obtenido en d) por la multiplicación del factor ($1/4\pi = .079\ 577\ 5$), C se expresa en metros. El volumen abierto por unidad de profundidad se expresará en litros por milímetros al multiplicar el resultado por 1000.

f) El volumen por unidad de altura por cada rolo como se determinó en e) se corregirá por temperatura multiplicando por la constante apropiada (ver 16.1.4).

g) Para tanques que no son sustancialmente verticales, el volumen abierto por unidad de altura obtenido en e) debe multiplicarse por el siguiente factor para determinar el volumen corregido por inclinación:

Factor de inclinación del volumen

$$C_{ilt} = \sqrt{1+b^2}$$

Donde:

b - es el valor de inclinación, en metros por metros de la altura de la pared.

NOTA Esta corrección se puede ignorar para ángulos de inclinación por debajo de 1 en 70 (14 mm/ m) cuando el error resultante en el volumen sea menor que 0.01%.

h) La capacidad del tanque (volumen bruto), V_b a un nivel L dentro de n segmento de la chapa del tanque es determinado según la formula:

$$V_r = V_{bot} + [A_{1c} \cdot x(h_1 - \Delta h)] + (A_{2c} \cdot xh_2) + (A_{3c} \cdot xh_3) + \dots + [A_{nc} \cdot x(L + \Delta h - h_1 - h_2 - \dots - h_n)] [m^3]$$

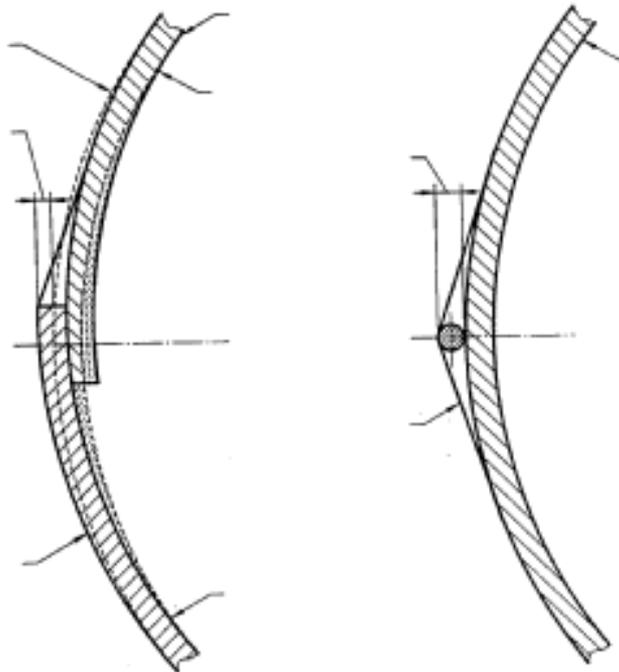
Donde:

$h_1, A_{1c}, h_2, A_{2c}, \dots$ son las alturas y las áreas de las secciones transversales (capacidades por unidad de profundidad) de los rolos individuales medidos en el interior del tanque.

L es el nivel por encima de la placa de medición para la que el volumen es calculado

Δh Es la diferencia entre la profundidad del punto de referencia y el punto de datos de referencia

V_b Volumen del fondo del tanque (bajo el punto de referencia de datos)



a) La cinta se separa en un lado de la costura

b) La cinta se separa en ambos lados del obstáculo

Figura 2 — Corrección del encintado externo para las costuras verticales

17 Construcción de la tabla

NOTA 32: Un tipo de cálculo similar al detallado en el punto 17.1 hasta el 17.3 se muestra en el anexo C.

17.1 Obra muerta

La capacidad abierta de cada rolo será ajustada por cualquier obra muerta y proporcionalmente, el volumen por unidad de altura a los niveles correspondientes.

a) El volumen total de cada pieza de la obra muerta será calculado con una aproximación de 0.1 l.

NOTA En este contexto, el término “pieza de obra muerta” puede incluir artículos tales como cabezas de remaches tomadas colectivamente como una sola “pieza” de obra muerta en el rolo particular.

b) El efecto de pequeñas piezas de obras muertas puede ser omitida. Sin embargo el efecto total de cualquiera de tales omisiones no conducirá a un error en la tabla de capacidad del tanque que sobrepase el 0,005 % de la capacidad total del rolo en el cual se encuentra la obra muerta. Tal obra muerta se omitirá solamente si está ubicada uniformemente, de un extremo a otro de la altura completa del rolo.

NOTA En el cálculo de la tabla, no obstante, es permisible incluir el efecto de cualquier obra muerta por muy pequeño que sea. Los cálculos de obra muerta son facilitados y minimizados por el uso de las disposiciones normalizadas recomendadas e ilustradas en el anexo F.

c) En el cálculo de la obra muerta el descuento del desplazamiento total de cualquier tubería interna en el tanque basado en el diámetro exterior se llevará a cabo cuando el tubo este cerrado al contenido del tanque. Cuando la tubería contiene líquido, ej. Tubo oscilante o una aspiradora flotante, el desplazamiento será calculado por la diferencia entre los diámetros interiores y exteriores, lo que dará el volumen de metal que conforma el tubo.

d) La corrección de la obra muerta por tubo oscilante, aspiradoras flotantes, desagües flexibles, etc. será deducido de la capacidad abierta del rolo a los niveles en los cuales estos accesorios ocupan su posición de trabajo más baja.

Ver también 17.3 para los aditamentos adicionales requeridos en el caso de los tanques de techo flotante.

17.2 Fondo de los tanques

El procedimiento usado para aforar el fondo del tanque, seleccionado de aquellos descritos en la cláusula 10, será reportado en el certificado de calibración (ver Anexo 1)

NOTA Si el fondo del tanque es substancialmente horizontal, ejemplo, cuando el tanque se encuentra sobre un cimiento de cemento nivelado o una estructura de acero, pueden ser obviadas las irregularidades del fondo.

Si el fondo del tanque ha sido aforado mediante medición de volúmenes conocidos de líquido o por un levantamiento físico de planos (ver cláusula 10), la tabla de capacidad del tanque de estos niveles será elaborada a partir de las mediciones descritas a continuación en a) ó b).

Esa parte de la tabla de capacidad del tanque calculada por encintado o diámetros interiores no tendrá discontinuidad con la porción calculada de los datos de aforos del fondo, comenzando al nivel más alto de aquella porción al que corresponde la capacidad que se muestra en la hoja de datos de aforo del fondo. (ver Anexo C)

a) Fondo plano

La corrección por el efecto de las características del fondo, se hará como sea necesario, de acuerdo con los siguientes principios:

- 1) Los fondos de los tanques los cuales son esencialmente planos y regulares en su contorno y que son estables bajo carga hidrostática variable no influirán en la capacidad del tanque determinada por consideraciones geométricas.
- 2) El volumen entre el plano principal que pasa a través del fondo del tanque y el plano que pasa a través del punto de sondeo, será calculado como un cilindro vertical recto.
- 3) Si los fondos de los tanques son de pendiente o forma irregular y/o existe inestabilidad y si la capacidad correcta no puede ser determinada convenientemente por levantamiento físico, será usado líquido para el aforo como se describe en ISO 4269.
- 4) El volumen bajo el punto de sondeo tanto si es calculado por planos o por medición de líquido será incluido en el primer incremento de la tabla de capacidad del tanque.
- 5) Si es realizado el aforo con líquido, según ISO 4269, se continuará hasta una profundidad suficiente para superar todas las formas irregulares o condiciones inestables.
- 6) Un tanque con una pendiente o fondo irregular puede ser aforado por la medición y suma del incremento del volumen de líquido introducido dentro del tanque desde el punto más bajo en el fondo hasta un punto a partir del cual los cálculos se pueden hacer mediante mediciones de altura y encintado. El registro del tanque a los intervalos requeridos de inmersión será calculado por el método de subdividir las diferencias o por otro proceso matemático.

b) Fondos de tanques cónicos, hemisféricos, semielipsoidales y segmento esférico

Los fondos de los tanques con forma geométrica regular tienen volúmenes los cuales pueden ser calculados por levantamientos físicos o preferiblemente por aforo con líquido mediante el llenado por dosis. Cuando los volúmenes son calculados por levantamiento físicos, éstas se harán a los puntos mostrados en la ilustración de la figura 3.a) hasta c). Cualquier diferencia detallada en la forma que influya en el volumen, tal como radio de curvatura será medida y registrada con suficiente detalle para permitir el cálculo del volumen real.

17.3 Tanques de techo flotante - Cálculos adicionales que deben realizarse

17.3.1 Deben definirse dos niveles, cada cierto número de milímetros encima del punto de sondeo a partir del cual se tomará la lectura de las alturas. El primer nivel, designado como A, debe estar a no menos de 40 mm y a no más de 60 mm por debajo del punto más bajo de las planchas del techo cuando este descansa sobre sus apoyos. El segundo nivel, designado como B, estará a no menos de 40 mm y a no más de 60 mm por encima de la superficie libre de combustible, cuando el techo está flotando completamente en el líquido de menor densidad que se almacenará en el tanque.

17.3.2 La corrección para el techo puede ser incorporada en una tabla suplementaria la cual se usará conjuntamente con la tabla de capacidad del tanque para todos los niveles por encima de B. Alternativamente, el techo puede ser considerado como una obra muerta e incorporado directamente en la tabla de capacidad del tanque. El desplazamiento parcial debido al techo, entre los niveles A y B

también puede ser incorporado en la tabla suplementaria o directamente en la tabla de capacidad del tanque. Ver también 17.3.10.

17.3.3 La masa aparente en el aire del techo y accesorios debe ser chequeada contra los planos plano del fabricante (ver nota en 12.2 C).

NOTA El desplazamiento del volumen del techo es calculado dividiendo la masa del techo en el aire entre la densidad promedio (en el aire) del producto a ser almacenado en el tanque, como se muestra en la tabla correspondiente en ISO 91-1.

17.3.4 La tubería de drenaje y otros accesorios incorporados a la parte baja del techo serán incluidos como anexos a la obra muerta en las posiciones que ellos ocupan cuando el techo descansa sobre su soporte.

17.3.5 Por debajo del nivel A, la corrección tolerada para la obra muerta será la suma algebraica de la obra muerta anexada calculada de acuerdo con los principios formulados en 17.1 más el volumen de la obra muerta asociado con el techo flotante y calculado de acuerdo con 17.3.4. La obra muerta total será designada de acuerdo con las alturas relativas que ocupan las componentes por separado por encima del nivel A.

17.3.6 Entre los niveles A y B, el desplazamiento adicional por si mismo del techo flotante tiene un efecto creciente. Esto será tratado de la misma manera como cualquier otra obra muerta y será distribuida proporcionalmente al volumen relativo ocupado por sucesivos cortes horizontales de la altura apropiada.

NOTA El volumen requerido puede ser calculado por las dimensiones del techo flotante. Alternativamente, los ajustes necesarios a la tabla de capacidad, en el rango comprendido entre los niveles A y B pueden ser calculados a partir determinadas dosis de líquido adicionadas al tanque y las correspondientes alturas del líquido medido por sondeo (ver apartados 10, 12.1 y 12.2) Esa parte de la tabla entre los niveles A y B, será marcada como "no exacta".

17.3.7 Por encima del nivel B, en el cual el techo se convierte en completamente flotante, el volumen de líquido desplazado por el techo será proporcional a la densidad del líquido en el cual está flotando y será calculado como en 17.3.3.

17.3.8 El desplazamiento total obtenido en 17.3.6 incluye el volumen del soporte del techo y el desplazamiento debido a la mitad de la masa aparente en el aire de la conexión de drenaje y el tubo oscilante.

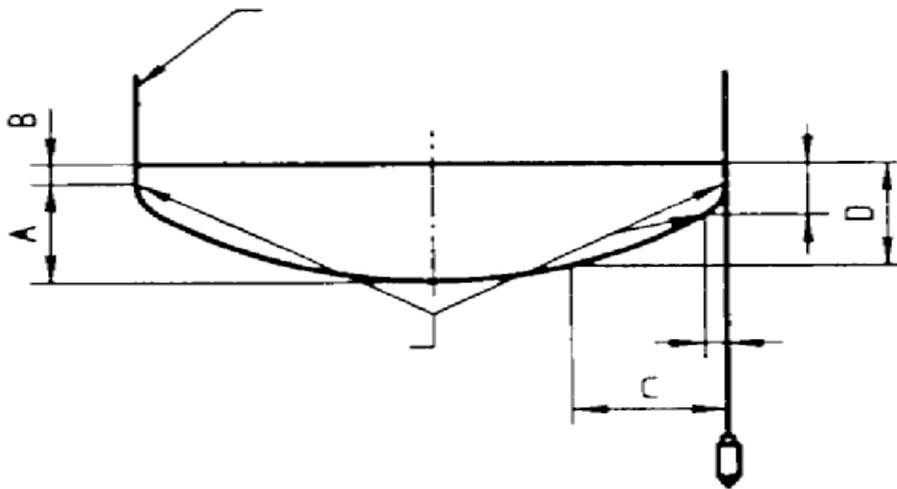
El soporte del techo ya ha sido incluido en el cálculo de la zona muerta por debajo del nivel A, el cual también incluye el desplazamiento total del tubo oscilante y de la conexión de drenaje. Por eso cuando los desplazamientos son calculados de las masas aparentes del techo en el aire y de mediciones de la obra muerta, la influencia por encima del nivel B de aquellas porciones de la obra muerta que han sido tomadas en cuenta previamente, será eliminada, por adición de ellas al volumen total al nivel B.

17.3.9 Si los desplazamientos parciales del techo han sido incluidos en la tabla de capacidad del tanque entre los niveles A y B como en 17.3.2, similarmente será eliminado el efecto de la suma de los desplazamientos parciales al nivel B antes de tomar en consideración el desplazamiento total del techo como en 17.3.6.

17.3.10 En la tabla de capacidad del tanque será registrada la densidad del líquido para la que ha sido calculado el desplazamiento del techo. Será adjuntada una tabla de correcciones dando valores

para ser adicionados o sustraídos del volumen de petróleo que aparece en la tabla de capacidad del tanque cuando la densidad del petróleo difiere de este valor fijado. La tabla será calculada para un rango de densidades apropiadas a la clase de petróleo que será almacenado en el tanque. Si el desplazamiento total del techo ha sido tomado en cuenta directamente en la preparación de la tabla de capacidad del tanque (ver 17.3.2) esta tabla de corrección será usada solamente por encima del nivel B.

Si el desplazamiento del techo no ha sido tomado en cuenta directamente en la preparación de la tabla de capacidad del tanque, la corrección apropiada será incorporada en la tabla suplementaria la cual se aplicará a cualquier nivel por encima del nivel A.



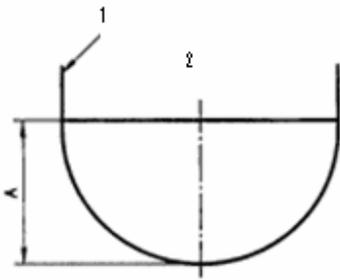
Leyenda

- 1 chapa del tanque
- 2 junta de la chapa del tanque
- 3 puntos tangentes

Se tomarán suficientes mediciones de A y B y mediciones adicionales de C y D para describir el perfil semicircular y el contorno del segmento esférico.

Para fondos convexos de contorno indefinido o con deformaciones localizadas, se tomarán y registrarán suficientes mediciones adicionales tales como C y D para definir el contorno del fondo y la extensión de las deformaciones. Serán incluidos en el registro de medición, dibujos mostrando la forma del fondo, deformaciones, si existen y la localización de las mediciones,

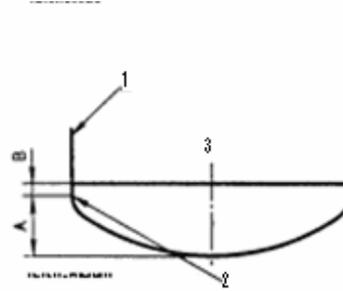
a) Fondos de segmento esférico (cóncavo), convexos y accesibles



Leyenda

- 1 chapa del tanque
- 2 junta de la chapa de la cabeza

Fondo Hemisférico



Leyenda

- 1 chapa del tanque
- 2 puntos tangentes
- 3 junta de la chapa de la cabeza

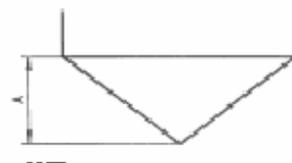
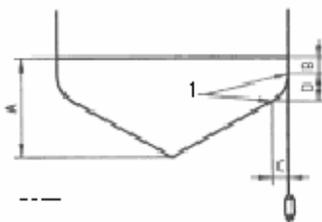
Fondo Semi-Elipsoidal

Se tomarán mediciones en A o en A y B para los fondos hemisféricos o semi-elipsoidal.

Se recomienda tomar mediciones exteriores adicionales en C y D como se muestra en la figura. 3a, para segmentos esféricos de los tanques deberán tomarse y anotarse como evidencia.

Las anotaciones del encintado deben incluir el tipo de fondo y mostrar las locaciones de las mediciones.

b) Fondos de tanque hemisférico y semi-elipsoidal, converso y accesible



Leyenda

- 1 puntos tangentes

Con radio truncado

Sin radio truncado

Las mediciones deben ser tomadas en A y B y mediciones externas en C y D suficiente para describir el truncamiento y el cono.

c) Fondos del tanque cónico y accesible

Figura 3 — Calibración de fondos de tanques cilíndricos verticales

17.3.11 Se considera poco práctico hacer correcciones en la tabla de capacidad del tanque por los efectos de materias extrañas retenidas por el techo, fricción variable de los calzos del techo y cualquier posible variación en la inmersión de los soportes del techo.

17.3.12 La influencia en la tabla de capacidad del tanque de pantallas flotantes es similar que la de los techos flotantes. No obstante, estas cubiertas son mucho más ligeras en construcción y su desplazamiento correspondientemente menor. Si se requiere un ajuste en la tabla de capacidad del tanque, éste será calculado de modo similar que en 17.3.1 hasta 17.3.11 a partir de la masa aparente en el aire de los componentes de la pantalla suministrado por el fabricante.

Las variaciones en la temperatura del líquido en el cual está flotando la pantalla son generalmente muy pequeñas debido a la protección de la radiación térmica proporcionada por el techo fijo y la cubierta por sí misma. Por eso pueden ser despreciadas las correspondientes variaciones en la densidad del líquido inmediatamente debajo de la cubierta. La densidad normalizada para la cual es calculada la corrección puede ser ajustada, si es necesario, a la temperatura media del tanque en el momento de la medición.

ANEXO A (Normativo)

ESPECIFICACIONES PARA EL EQUIPAMIENTO DE MEDICIÓN

A.1 Cinta de medición (para abrazar la tanque)

NOTA La cinta puede estar provista con una capa o estructura protectora.

A.1.1 La cinta estará hecha de acero de alto contenido de carbono, con un contenido de carbón entre 0,7% (m/m) y 1,0% (m/m). La cinta tendrá una fuerza de tensión entre 1 600 Nm⁻² y 1 850 Nm⁻² y un coeficiente de expansión térmica de $(11 \pm 1) \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$

A.1.2 La cinta habrá sido calibrada a 20 °C y bajo una tensión aplicada de 50 N, las condiciones de calibración estarán marcadas en el final o cerca del cero final de la cinta.

A.1.3 Las graduaciones tendrán una exactitud de hasta 1,5 mm cada 30 m de longitud cuando la cinta está completamente apoyada sobre una superficie lisa a 20 °C y sometida a una tensión de 50 N.

A.1.4 La cinta tendrá una longitud continua y graduada sobre una cara solamente. El punto cero de la cinta estará entre 10 cm y 15 cm del final de la cinta. La cinta estará graduada a intervalos de 1 m y también a intervalos de 1 dm, cm y mm.

Las longitudes de las graduaciones serán como sigue:

- a) A cada metro, cubriendo al ancho completo de la cinta.
- b) A cada decímetro, cubriendo el ancho completo de la cinta.
- c) A cada centímetro, cubriendo dos tercios del ancho completo de la cinta.
- d) A cada milímetro, cubriendo la mitad del ancho completo de la cinta
- e) A cada milímetro, diferente de cada 5 milímetro, cubriendo un tercio del ancho total de la cinta.

La distancia desde la marca a cada metro, decímetro y centímetro será marcada sobre un recuadro brillante. El tamaño de los números usados para denotar las graduaciones de los decímetros será mayor que aquellos usados para denotar las graduaciones en centímetros.

A1.5 Las cifras y graduaciones se incrementarán entre 0,01 mm y 0,03 mm y estarán coloreadas claramente sobre un fondo negro. Las grabaciones tendrán un ancho uniforme entre 0,20 mm y 5 mm y estarán perpendiculares al borde la cinta.

A.2 Dinamómetro.

A.2.1 El dinamómetro tendrá un cuerpo de metal y una agarradera con un resorte de acero y un gancho.

A.2.2 El dinamómetro será de tipo tubular con una agarradera en forma de lazo en uno de sus extremos a través del cual se puede aplicar la tensión y en el otro extremo un gancho para sujetar la

cinta métrica de encintado. El gancho se fijará con un seguro de cierre automático para prevenir que la cinta se desprenda del dinamómetro si la tensión disminuye.

A.2.3 El dinamómetro tendrá una escala graduada marcada desde 0 hasta 100 N a intervalos de 1 N y tendrá una exactitud de ± 1 N.

A.3 Saltajuntas

El saltajuntas tendrá una estructura rígida con dos puntos de marcaje de un tamaño tal que los puntos puedan ser bien aplicados sobre la cinta libres de cualquier obstáculo sin ninguna afectación en el trayecto de la cinta y de forma tal que la estructura no toque ninguna obstrucción o el cuerpo del tanque. El saltajuntas será de una construcción rígida.

NOTA: El saltajuntas puede ser de madera o metal.

A.4 Posicionador de cinta y cuerdas.

A.4.1 El posicionador de cinta estará conformado por una barra guía de metal, de al menos 120 mm de longitud, provisto de un puente de metal, los extremos de la barra guía formarán un ángulo de 45° y estarán provistos de agujeros a cada extremo para atar una cuerda. El puente estará dimensionado de forma tal que la cinta de medición pueda pasar libremente a través de ella, pero que no pueda girar cuando se encuentra debajo.

A.4.2 Las cuerdas estarán hechas de un material que no produzca o acumule una carga electrostática, ejemplo algodón u otra fibra natural.

NOTA Las cuerdas deben ser de construcción trenzada preferiblemente.

A.5 Mordaza Littlejhon

NOTA Una mordaza Littlejhon es un dispositivo usado para unir un dinamómetro a posiciones intermedias sobre una cinta métrica de encintado.

A.5.1 La mordaza estará hecha de un metal más blando que la cinta métrica de encintado.

A.5.2 La mordaza será construida de forma tal que pueda sostener la cinta métrica de encintado sin deslizamiento cuando se aplica a la cinta una fuerza de 100 N.

A.5.3 La mordaza incorporará un mecanismo de abertura rápida.

A.6 Cinta de sondeo

A.6.1 La cinta de sondeo estará hecha de acero de alto contenido de carbono, teniendo un contenido de carbono 0,7 (m/m) y 1,0 (m/m).

La cinta tendrá una fuerza de tensión entre $1\ 600\ \text{Nm}^{-2}$ y $1\ 850\ \text{Nm}^{-2}$ y un coeficiente de expansión térmica de $(11 \pm 1) \times 10^{-6}\ \text{°C}^{-1}$.

A.6.2 La cinta habrá sido calibrada a $20\ \text{°C}$ y bajo una tensión aplicada de 15 N. Las condiciones de calibración serán marcadas sobre la cinta al final o cerca del cero de la cinta.

A.6.3 Las graduaciones tendrán una exactitud de hasta 1,5 mm cada 10 m de longitud cuando la cinta está apoyada completamente sobre una superficie lisa a 20 °C y sometida a un estiramiento de 15 N.

A.6.4 La cinta tendrá una longitud continua y graduada sobre una cara solamente. El punto cero de la cinta estará entre 10 cm y 15 cm del final de la cinta. La cinta estará graduada a intervalos de 1 m y también a intervalos de 1 dm, cm y mm.

Las longitudes de las graduaciones serán como sigue:

- a) A cada metro, cubriendo al ancho completo de la cinta.
- b) A cada decímetro, cubriendo el ancho completo de la cinta.
- c) A cada centímetro, cubriendo dos tercios del ancho completo de la cinta.
- d) A cada milímetro, cubriendo la mitad del ancho completo de la cinta
- e) A cada milímetro, diferente de cada 5 milímetro, cubriendo un tercio del ancho total de la cinta.

La distancia desde la marca a cada metro, decímetro y centímetro será marcada sobre un recuadro claro. El tamaño de los números usados para denotar las graduaciones de los decímetros será mayor que aquellos usados para denotar las graduaciones en centímetros.

A.6.5 Un gancho giratorio estará permanentemente asegurado (ejemplo; por medio de un remache) al final de la cinta para permitir el enganche de la plomada. El gancho será de forma tal que no se torcerá durante el uso y estará equipado con un dispositivo para prevenir un desacople accidental de la plomada.

NOTA Se prefieren los ganchos hechos de latón.

A.6.6 La cinta no será barnizada o tratada de otra manera que pueda perder el aislamiento eléctrico.

NOTA La cinta debe estar cubierta para su protección contra la corrosión durante el almacenamiento.

A.6.7 La cinta estará enrollada sobre una estructura de latón con una agarradera de madera.

A.7 Plomada

NOTA: La plomada está destinada para ser usada junto con y formando una parte integral de la cinta de sondeo (D.6).

A.7.1 La plomada estará hecha de latón u otro material de densidad similar que no produzca chispas.

A.7.2 La plomada tendrá un agujero taladrado en su parte superior, el agujero tendrá un diámetro variable para acomodarlo en el gancho giratorio (ver D.6.5). Cuando esté unida a la cinta de medición, la plomada y la cinta constituirán un dispositivo de medición continua.

NOTA La punta y el tope de la plomada estarán biseladas preferiblemente. La punta plana será preferiblemente de un diámetro aproximado de 13 mm.

A.7.3 Si la plomada es fabricada con una cara plana sobre un lado y si esta cara está graduada a intervalo de 1 cm y 1 mm, las marcas de graduación de cada centímetro serán más largas que las de 1 mm y estarán numeradas.

ANEXO B (Informativo)

RECOMENDACIONES PARA EL MONITOREO, EL CHEQUEO Y LA COMPROBACIÓN DE LA TABLA DE DE AFORO Y LA CALIBRACIÓN DEL TANQUE

B.1 Introducción

Los tanques cilíndricos verticales son utilizados ampliamente en todo el mundo para el almacenamiento de petróleo y sus derivados. La medición de niveles líquidos y el uso de la tabla de aforo permite conocer el volumen de líquido almacenado o transferido. Los tanques cilíndricos verticales, como otros dispositivos de medición, están sujetos a cambios en los resultados de su aforo. Anteriormente tales alteraciones fueron consideradas como no significativas y su magnitud nunca había sido valorada seriamente. Esta parte de de la ISO 7507 es la base en los resultados de una investigación llevada en los Estados Unidos de América (ver [1] en la Bibliografía).

Los datos actualmente disponibles indican que los tanques están sujetos a una reparación primaria que se realiza generalmente durante los primeros cinco o diez años de servicio. La reparación secundaria se realiza a partir de los 10- 20 años de la vida del tanque. Durante toda su vida en servicio, los tanques están sujetos a cambios graduales en el diámetro, el grosor de la chapa y la inclinación. Estos factores afectan el aforo del tanque y por consiguiente la exactitud de las valoraciones que se realicen utilizando las tablas de aforo.

B.2 Alcance

Este anexo sirve de guía para monitorear la exactitud del aforo y de la tabla de aforo de un tanque cilíndrico vertical.

B.3 Reaforo y recálculo

Lo valoración de la naturaleza y el alcance de los factores que influyen en los cambios en la capacidad del tanque determina si un tanque debe ser recalibrado o su tabla de aforo recalculada. Resulta impracticable determinar de forma concluyente dichos factores.

El reaforo es el proceso de medición del tanque cuando se establece que las mediciones originales no definen las dimensiones del tanque con exactitud. En estos casos el tanque debe ser reaforado completamente y la tabla de aforo calculada según las nuevas mediciones.

El recálculo de la tabla de aforo se requiere cuando cambian las variables operativas, como la densidad del producto, la temperatura promedio de almacenamiento, la altura de referencia, o la obra muerta son modificadas. En este caso, el recálculo de la tabla de aforo se realiza sobre la base de las dimensiones tomadas anteriormente.

B.4 Criterios para determinar la trascendencia del cambio

Para establecer los límites aceptables en las mediciones y en las variables operativas que afectan la capacidad del tanque es necesario determinar la variación total en el volumen del tanque que debe ser considerada como significativa. Como una regla general, una diferencia en el volumen de tanque de 0,01 % o mayor debe ser considerada como significativa.

Cambios desde 0,01 % hasta para 0,05 % en la capacidad del tanque se muestran en las tablas desde B.1 hasta B.5. Las tablas B.1, B.2 y B.3 proveen los criterios para recalibración, y B.4 y B.5 para el recálculo.

Respecto a la inclinación, el criterio recomendado es un cambio de 10 mm / m de la altura de tanque.

Aunque la afectación a la capacidad de tanque es relativamente menor, el cambio en la inclinación puede ser considerado más importante que su efecto sobre la capacidad. Un cambio significativo del grado de inclinación puede ser una señal de serios problemas estructurales en los cimientos del tanque y debe ser investigado.

B.5 Reaforo del tanque

B.5.1 Factores influyentes en la necesidad del reaforo

El reaforo de un tanque puede ser requerido si alguna de las dimensiones o características siguientes son modificadas:

- a) diámetro del tanque;
- c) grosor de la chapa del tanque;
- d) inclinación de tanque;
- e) obra muerta
- f) altura de referencia del tanque;
- g) y además, si las reparaciones ejecutadas en la estructura del tanque modifican su capacidad significativamente.

B.5.2 Recomendaciones para la valoración de la necesidad del reaforo

Las siguientes recomendaciones son una base para determinar el reaforo.

- a) la comprobación del diámetro del rolo inferior, el grosor de la chapa y la inclinación del tanque deben ser realizadas llevados cada cinco años. Si los cambios en las dimensiones exceden el nivel mínimo significativo (ver B.4), el reaforo debe ser realizado.
- b) el reaforo total debe ser realizada cada 15 años rutinariamente, incluso si los chequeos de comprobación efectuados cada 5 años no indican diferencia alguna fuera de los límites dados en B.4.

B.5.3 Modificaciones estructurales en los tanques

El reaforo puede ser requerido si se realizan modificaciones estructurales al tanque. Ejemplos de tales modificaciones son las siguientes:

- a) cambios importantes extensivos en la obra muerta;
- b) modificaciones a la altura de referencia debido a cambios el la altura del punto de referencia de datos;

c) reparaciones del fondo.

B.6 Recálculo de las tablas de aforo debido a cambios operacionales

B.6.1 Existen algunos factores que cuando son modificados o alterados generan la necesidad de recalcular las tablas de aforo. Los dos primeros son factores operacionales, los otros son cambios mecánicos:

a) cambios en la temperatura operativa media de la chapa del tanque;

g) cambios en la densidad del producto a almacenar en el tanque;

h) modificaciones en la vertical del punto de referencia de datos;

NOTA: Podría requerir el recálculo de las tablas de aforo (b.6.5).

i) alteraciones en la masa del techo flotando;

e) cambios sencillos en la obra muerta del tanque.

B.6.2 Temperatura de la chapa del tanque

Solamente en el supuesto caso que exista un procedimiento que incluya una rutina para procesar las tablas de aforo de los tanques tomando en cuenta el efecto de las variaciones de temperatura sobre la capacidad del tanque, los cambios en la temperatura promedio operativa de la chapa del tanque no se requerirá que las tablas de aforo de tanque sean recalculadas. En caso contrario se realizará el recálculo según el anexo E.

En la Tabla B.4 se muestran las diferencias en la capacidad de tanque debido a las diferencias en la temperatura de la chapa del tanque, del ambiente y del líquido para determinar si es necesario recalcular las tablas.

B.6.3 Cambios de densidad

Las tablas de aforo están calculadas para una condición no sometida a esfuerzo, por ejemplo vacío, o con líquido de una densidad determinada que se muestra en las tablas de aforo.

Solamente en el supuesto que exista un procedimiento que incluya una rutina para procesar las tablas de aforo de los tanques tomando en cuenta el efecto de las variaciones de densidad sobre la capacidad del tanque, no se requerirá que las tablas de aforo de tanque sean recalculadas. En caso contrario se realizará el recálculo de acuerdo con esta parte de ISO 7507.

B.6.4 Correcciones por techo flotante – Estas correcciones son afectadas por la densidad del producto en que flota el techo. Si las correcciones por el techo flotante son incorporadas a la tabla de aforo deberá ser realizado el recálculo si la densidad del líquido almacenado varía. En estos casos el efecto de las variaciones de la densidad del líquido puede ser significativo si el techo es agrandado.

El recálculo también debe ser realizado si ha variado la masa del techo.

B.6.5 Cambios en la profundidad del punto de regencia de datos

Las modificaciones en la posición vertical del punto de referencia de datos pueden requerir de una completa recalibración o un recalcu completo.

Si el punto de referencia de datos es desplazado hacia abajo es necesaria la recalibración de la parte inferior de tanque con el propósito de que la capacidad debajo del mismo sea recalculada.

Si el punto de referencia de datos ha sido cambiado de lugar hacia arriba, las tabla de capacidad puede ser recalculada cambiando el valor de la altura vertical entre el punto de referencia de datos para el aforo y el punto de sondeo.

B.6.6 Cambios en la obra muerta del tanque

Por los cambios no considerables se introducirán correcciones para recalcular la tabla de aforo. Para los cambios considerables en la obra muerta se prefiere el reaforo.

Tabla B.1 — Variación en la capacidad de tanque (%) con la variación del diámetro

Diámetro de tanque normal m	Variación aproximada en capacidad (%)					
	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06
	Producida por el cambio en el diámetro de tanque (mm)					
5	—	—	1	1	1	1
10	—	1	1	2	2	3
15	(1)	1	2	3	4	4
20	(1)	2	3	4	5	6
25	(1)	2	4	5	6	7
30	(1)	3	4	6	7	9
35	(2)	3	5	7	9	10
40	(2)	4	6	8	10	12
45	(2)	4	7	9	11	13
50	(2)	5	7	10	12	15
55	(3)	5	8	11	14	16
60	(3)	6	9	12	15	18
65	(3)	6	10	13	16	19
70	(3)	7	10	14	17	21
75	(4)	7	11	15	19	22
80	(4)	8	12	16	20	24
85	(4)	8	13	17	21	25
90	(4)	9	13	18	22	27
95	(5)	9	14	19	24	28
100	(5)	10	15	20	25	30
105	(5)	10	16	21	26	31
110	(5)	11	16	22	27	33
115	(6)	11	17	23	29	34
120	(6)	12	18	24	30	36

NOTA: Los valores entre paréntesis están dentro de la tolerancia para la medición por encintado de referencia.

Deben utilizarse estos datos con precaución como indicadores de la necesidad para reaforo.

Tabla B.2 — Variación en la capacidad (%) debido a variaciones en el grosor de la chapa del tanque

Diámetro del tanque normal m	Variación en la capacidad (%) del rolo inferior (altura: nominal 2 m)por reducciones en el grosor de la chapa de 1,5 mm hasta 3 mm			
	1,5 mm	2,0 mm	2,5 mm	3,0 mm
10	0,38	0,50	0,63	0,76
15	0,25	0,34	0,42	0,50
20	0,19	0,25	0,31	0,38
25	0,15	0,20	0,25	0,30
30	0,13	0,17	0,21	0,25
35	0,11	0,14	0,18	0,22
40	0,09	0,13	0,16	0,19
45	0,08	0,11	0,14	0,17
50	0,08	0,10	0,13	0,15
55	0,07	0,09	0,11	0,14
60	0,06	0,08	0,10	0,13
65	0,06	0,08	0,10	0,12
70	0,05	0,07	0,09	0,11
75	0,05	0,07	0,08	0,10
80	0,05	0,06	0,08	0,09
85	0,04	0,06	0,07	0,09
90	0,04	0,06	0,07	0,08
95	0,04	0,05	0,07	0,08
100	0,04	0,05	0,06	0,08
105	0,04	0,05	0,06	0,07
110	0,03	0,05	0,06	0,07
115	0,03	0,04	0,05	0,07
120	0,03	0,04	0,05	0,06

NOTA El grosor de la chapa de nota debe ser medido en ocho puntos de la circunferencia del rolo inferior y se toma el promedio.

Tabla B.3 — Corrección a la capacidad por la inclinación de tanque

Inclinación mm/m	Factor de corrección a la capacidad %
14	0,010
16	0,013
18	0,016
20	0,020
22	0,024
24	0,029
26	0,034
28	0,039
30	0,045

Tabla B.4 — Efectos en la capacidad del tanque por las variaciones de la temperatura de la chapa, del aire y del líquido

Variación en la temperatura de la chapa. T_{ch} °C	Variación en la temperatura ambiental, T_a °C	Variación en la temperatura del líquido T_L °C	Variación aproximada en la capacidad %
5	10	10	0,01
10	20	20	0,03
15	30	30	0,04
20	45	45	0,05

NOTA :Un cambio en T_{ch} , T_a y T_L dará el aumento a la variación en la capacidad mostrada.

Tabla B.5 — Efecto sobre la capacidad de tanque del cambio en la densidad del líquido

Diferencia en la densidad %	Variación aproximada en la capacidad %
10	0,008 to 0,015
20	0,015 to 0,030
30	0,030 to 0,040
40	0,040 to 0,050
50	0,050 to 0,065

**Anexo C
(Informativo)**

Empresa:
Tanque N° : 10

Ubicación:
Tipo : Techo fijo

Col. 1	Col. 2	Col. 3	Col. 4	Col. 5	Col. 6	Col. 7	Col. 8	Col. 9	Col. 10	Col. 11	Col. 12	Col. 13	Col. 14		Col. 15	Col. 16
Altura interior del rolo (mm)	Altura del rolo por encima de el punto de sondeo (mm)	Espesor de la chapa (mm)	Circunferencia exterior (mm)	Co-recc. por costuras y otros obstaculos (mm)	Circunferencia exterior corregida (mm)	Circunferencia exterior promedio (mm)	Correción por espesores de chapa y pintura (mm)	Correc. por liquido en el tanque durante la medición (mm)	Correción por temperatura (factor)	Circunferencia interna promedio corregida (mm)	Volumen abierto del rolo (L)	Correción por presión de líquido en servicio (L/mm)	Corrección por obra muerta	por obra	Volumen neto Por unidad de altura (L/mm)	Volumen neto hasta el tope del rolo (L)
													Volumen (L/mm)	Altura efectiva por encima del punto de sondeo, (mm)		
													Desde	Hasta		
	(11)															
	(10)															
	(9)															
	11952		143426	8	143418											
11942	1520 (8)	9	143433	8	143425	143423	75	-	.99991	143335	1634.90820	3.48277	NIL		1638.39097	1969163 3
	10431		143433	8	143425											
			143433	8	143425											
10421	1476 (7)	9	143426	8	143418	143420	75	5	.99991	143327	1634.74092	2.96633	NIL		1637.70725	1720131 8
	8955		143426	8	143418											
			143420	8	143412											
8945	1512 (6)	9	143408	8	143400	143404	75	31	.99991	143285	1633.77548	2.45067	NIL		1636.22615	1478406 2
	7443		143408	8	143400											
			143408	8	143400											
7433	1484 (5)	9	143408	8	143400	143400	75	58	.99991	143254	1633.06868	1.93446	NIL		1635.00314	1231008 8
	5959		143408	8	143400											
			143408	8	143400											

Datos del aforo del tanque y registro de datos

Calibración del fondo	
Altura (mm)	Volumen (L)
0	124085
1	125677
2	127227
3	128787
4	130363
5	131951
6	133551
7	135163
8	136784
9	138414
10	140050

Obras muertas			
Objeto	Volumen (L)	Desde (mm)	Hasta (mm)
2x Registro boca hombre			
610 mm	+ 119	400	1010
1 entrada			
300 mm	+ 14	250	550
1 entrada			
150 mm	+ 3	250	400

Aforado por:

Fecha:

Calculado por:

ANEXO D
(Informativo)

INCERTIDUMBRES EN EL AFORO DEL TANQUE

D.1 Introducción

Este anexo describe los cálculos usados en el cálculo de las incertidumbres del aforo de un tanque utilizando el método de encintado.

Los cálculos siguen las indicaciones de la Guía para la expresión de la incertidumbre en la medición (GUM)^[2]

D.2 Símbolos

Los siguientes términos y sus abreviaturas han sido usados en este anexo.

A_i	Área corregida de la sección transversal interna a la altura de encintado	m^2
A_n	Área (interior) del tanque para el para el rolo n	m^2 Cem
	Circunferencia exterior medida	m
C_{et}	Circunferencia externa corregida por temperatura	m
C_i	Circunferencia interna del tanque	m
E	Modulo de de Young de elasticidad de la chapa de la de pared de tanque	N/m ³
$e_{\alpha st}$	Error máximo en la estimación del coeficiente de expansión lineal de la cinta para encintado	$^{\circ}C^{-1}$
$e_{\alpha tk}$	Error máximo en la estimación del coeficiente de expansión lineal de la chapa del tanque	$^{\circ}C^{-1}$
e_{Lta}	Error máximo de alineación de un par de cintas.	M
e_{Tst}	Error máximo de estimación de la temperatura de la cinta	$^{\circ}C$
g	Aceleración local atribuible a la gravedad	m
h_n	Altura el (interior) del tanque para el rolo n	m
L	Nivel (de líquido) en el tanque	m
R_i	Radio interno del tanque	m
r_{Ltr}	Resolución de la lectura de la cinta	m
t_{Ltp}	Tolerancia para la tensión de la cinta y el tirador	m
t_{mp}	Grosor de la pintura y del material de la chapa del tanque	
T_{ref}	Temperatura de referencia del tanque y de la cinta .	$^{\circ}C$

Tst	Temperatura de la cinta y la chapa del tanque durante el encintado	°C
uAi	Incertidumbre típica para la sección transversal interna del tanque a la altura de encintado	m ²
uAnc	Incertidumbre típica del interior la área de represa para el rolo <i>n</i>	m ²
u α st	Incertidumbre típica del coeficiente de la expansión lineal de la cinta	°C ⁻¹
u α tk	Incertidumbre típica del coeficiente de la expansión lineal de la chapa de la pared del tanque.	°C ⁻¹
uCem	Incertidumbre típica de la circunferencia externa medida	m
uCet	Incertidumbre típica de la circunferencia externa medida corregida por la temperatura	m
uCi	Incertidumbre típica de la circunferencia interna del tanque	m
uE	Incertidumbre del modulo de Young de la elasticidad	N/m ³
ug	Incertidumbre de la aceleración local atribuible a la gravedad	m/s ²
uhn	Incertidumbre típica de la altura el (interior) del tanque para el rolo <i>n</i>	m
uL	Incertidumbre típica del nivel (de líquido) en el tanque	m
uLst	Incertidumbre típica de la cinta	m
ULst	Incertidumbre expandida de la longitud de la cinta.	m
uLta	Incertidumbre típica de la alineación de la cinta	m
uLtp	Incertidumbre típica de la tensión de la cinta y el tirador	m
uP	Incertidumbre en las mediciones de la densidad de líquido	kg/m ³
uPref	Incertidumbre de la densidad de referencia	kg/m ³
uLtr	Incertidumbre típica de la lectura de la cinta	m
uRi	Incertidumbre típica del radio interno del tanque	m
utmp	Incertidumbre típica del grosor de metal de la pared del tanque y la pintura	m
uTst	La incertidumbre típica de la temperatura en el encintado (la misma para la cinta y el tanque)	°C
UV	Incertidumbre del volumen en la tabla del tanque	m ³
UVc	Incertidumbre expandida del volumen en las condiciones de calibración	m ³
uVad	Incertidumbre típica del volumen causada por los factores adicionales generales	% vol
uVb	Incertidumbre típica del volumen de la parte inferior de tanque	% vol
uVcal	Incertidumbre típica relacionada con la corrección de volumen debido a la presión hidrostática	m ³

uV_{dis} La incertidumbre típica del volumen desplazado por el techo flotante / pantalla y la obra muerta
% vol

uV_h Incertidumbre típica del volumen causada por los factores relacionada con la expansión hidrostática
% vol

uV_o Incertidumbre típica del volumen causado por la deformación de la parte inferior del tanque debido a la presión hidrostática
 m^3

uV_r Incertidumbre típica del volumen bruto en el tanque
 m^3

uV_{sh} Incertidumbre típica del volumen causada por la chapa del tanque
% vol

uV_t Incertidumbre típica de la corrección para el volumen por expansión térmica del tanque
% vol

V El volumen contenido en el tanque correspondiente a la altura para la que la incertidumbre es calculada
 m^3

V_b Volumen en el fondo de tanque
 m^3

V_{dis} Volumen desplazado por el techo flotante / pantalla y la obra muerta
 m^3

V_h Volumen expandido causado por la presión hidrostática
 m^3

V_r Volumen bruto (de líquido) en el tanque
 m^3

V_t Volumen de la expansión térmica del tanque
 m^3

W_{tmp} Incertidumbre máxima del grosor del metal de la pared del tanque y de la pintura
m

α_{st} Coeficiente de expansión lineal de la cinta
 $^{\circ}C^{-1}$

α_{tk} Coeficiente de la expansión lineal del material de la chapa del tanque
 $^{\circ}C^{-1}$

ρ Densidad observada del de líquido contenido durante en la calibración
 kg/m^3

ρ_{ref} Densidad de referencia (la densidad del aire ambiental)
 kg/m^3

D.3 Cálculos

Los métodos para los siguientes cálculos son dados en esta parte de la ISO 7507:

- _ Encintado y correcciones por obstáculos;
- _ circunferencia externa;
- _ correcciones por temperatura para la cinta.

D.4 Fuentes de incertidumbres

Todos los componentes de las incertidumbres son asumidos estadísticamente independientes.

D.4.1 Longitud de la cinta

La incertidumbre expandida UL_{st} se toma del certificado para la cinta completa o una incertidumbre estimada de la parte de la cinta que fue utilizada con un factor de corrección k (generalmente de $k=2$

correspondiente a un nivel de confianza de 95 %, obtenemos:

$$uL_{st} = UL_{st}/k \text{ [m]}$$

D.4.2 Lectura de la cinta

Si rL_{tr} es la resolución de la cinta (generalmente, $rL_{tr} = 1 \text{ mm}$), la incertidumbre usual correspondiente lo es:

$$uL_{tr} = rL_{tr}/(2 \times 3^{1/2}) \text{ [m]}$$

NOTA 1 El factor $3^{1/2}$ corresponde a una distribución rectangular.

NOTA 2 Si son realizadas múltiples lecturas, el valor de uL_{tr} debe ser multiplicado por el número de las mismas.

D.4.3 Tensión de la cinta y el tirador

La incertidumbre en la tensión de la cinta y del posicionador incluye los siguientes componentes:

- la incertidumbre de la tensión sobre el dispositivo que mide la longitud (cinta);
- la incertidumbre de la distribución de esta tensión a lo largo de la cinta, atribuible al rozamiento contra el tanque;
- la incertidumbre atribuible que la cinta puede no estar en un plano;
- incertidumbre debido que el plano de la cinta no sea perpendicular al eje de tanque.

$$uL_{tp} = tL_{tp}/(2 \times 3^{1/2}) \text{ [m]}$$

NOTA El que el factor $3^{1/2}$ corresponde a una distribución rectangular.

tL_{tp} es la tolerancia como medida (con el rechazo de outliers obvios) o leer en la tabla D.1 (ver 7.4), cualquiera que sea mayor.

Tabla D.1 — Tolerancias para la circunferencia del tanque

Circunferencia del tanque m	Tolerancia tL_{tp} mm (m)
< 25	2 (0,002)
> 25 ≤ 50	3 (0,003)
> 50 ≤ 100	5 (0,005)
> 100 ≤ 200	6 (0,006)
> 200	8 (0,008)

D.4.4 Incertidumbres de alineación de la cinta

Si son utilizadas varias cintas para medir la circunferencia del tanque, los errores en su alineación resultan incertidumbre adicionales.

Si eL_{ta} es el error máximo de la alineación para un par de cintas (típicamente, $eL_{ta} = 1$ milímetros), la correspondiente incertidumbre típica de alineación de $(n - 1)$ alineaciones entre n cintas lo es:

$$uL_{ta} = (n - 1)^{1/2} \times eL_{ta} / (2 \times 3^{1/2}) \text{ [m]}$$

D.4.5 Incertidumbre por obstáculos

Las correcciones a la longitud del encintado por pasar por encima de obstáculos son sujetos de incertidumbre (por ejemplo, incertidumbre por las dimensiones de los obstáculos) ver (7.5).

La incertidumbre típica a la longitud de la cinta debido a obstáculos no es calculada pero es incluida en "incertidumbres adicionales" (uV_{ad}).

D.5 Incertidumbres de la circunferencia interna en las condiciones de aforo

Todos los componentes de las incertidumbres son asumidos como estadísticamente independientes.

D.5.1 Circunferencia externa medida

Partiendo de que todos los errores de medición son aditivos, la incertidumbre de la circunferencia externa es obtenida como media de la raíz cuadrada (RMS) de todas las fuentes de incertidumbre.

La incertidumbre típica de la circunferencia externa medida:

$$uC_{em} = [(uL_{st1}^2 + uL_{st2}^2 + \dots + uL_{stn}^2 + uL_{tr}^2 + uL_{tp}^2 + uL_{ta}^2) / m]^{1/2} \text{ [m]} \quad \text{Si todas las cintas son diferentes}$$

$$uC_{em} = [(n^2 \times uL_{st}^2 + uL_{tr}^2 + uL_{tp}^2 + uL_{ta}^2) / m]^{1/2} \text{ [m]} \quad \text{Si una cinta es usada } n \text{ veces}$$

Dónde:

n - es el número de cintas usadas para medir la circunferencia;

m - es el número de las circunferencias medidas por cada rolo del tanque.

D.5.2 Incertidumbres del volumen en las condiciones de aforo (el volumen bruto expandido)

D.5.2.1 Fuentes de incertidumbre

Todos los componentes de las incertidumbres son supuestos como estadísticamente independientes.

D.5.2.2 Incertidumbre del promedio del rolo

Las incertidumbres son debido a que una circunferencia media es atribuida a cada rolo del tanque. Si el rolo no es cilíndrico, partes de él serán diferentes al promedio. Los estimados de la incertidumbre del promedio pueden ser obtenidos evaluando las desviaciones de las circunferencias medidas con su promedio.

Las incertidumbres usuales de las circunferencias de tanque atribuibles al promedio no están calculadas pero están incluidas en "incertidumbres adicionales" (uVad).

D.5.2.3 Incertidumbre de la forma de tanque

Las incertidumbres son debido a que el tanque podría no ser un cilindro ideal.

La incertidumbre típica normalizada $uVsh = 0,05\%$ de el volumen, basado en datos experimentales.

NOTA: Un factor adicional de uVad (vea D.5.2.4) es aplicable a todos métodos de calibración; pero el encintado necesita otra adición, ya que no se produce un cálculo aproximado de la deformación de tanque, mientras que los métodos de calibración basados en coordenadas lo hacen.

D.5.2.4 Incertidumbre de la inclinación de tanque

La incertidumbre típica de la inclinación de tanque depende de la exactitud de las mediciones de las distancias. No está calculado pero es incluido en "Incertidumbres adicionales" (uVad).

D.5.2.5 Fondo del tanque

La incertidumbre típica del fondo del tanque puede ser calculada. Un valor típico puede ser calculado como:

$UVb = 0.25\%$ para 1.5% [% de volumen Vb del fondo], dependiendo del tamaño de la parte inferior, el método de calibración y la distorsión de la forma de la parte inferior

NOTA 1 Las incertidumbres más pequeñas generalmente se aplican a tanques con fondos más grandes y vice versa.

NOTA 2 La deformación del fondo del tanque atribuible a la fuerza hidrostática no es incluida en el valor anterior.

D.5.2.6 Incertidumbre debido al techo flotante / pantalla y a la obra muerta

La incertidumbre típica $uVdis$, sobre la base de la experiencia es calculado como $1,5\%$ de volumen desplazado.

D.5.2.7 incertidumbres adicionales

Las influencias de las siguientes correcciones son incluidas en las incertidumbres adicionales:

- correcciones por la inclinación de tanque;
- correcciones relacionadas con deformaciones del tanque (no las deformaciones hidrostáticas) ;
- aproximaciones numéricas;
- otras influencias no cuantificables.

La incertidumbre típica adicional u_{Vad} , sobre la base de la experiencia, es estimada, para tanques cilíndricos verticales, como 0,02 % de el volumen.

D.5.2.8 Incertidumbres por grosor del metal y de la pintura

Con una incertidumbre máxima (el ancho de la distribución rectangular = w_{tmp}), la incertidumbre típica del metal y del grosor de pintura t_{mp} es:

$$U_{t_{mp}} = w_{tmp} / (2 \times 3^{1/2}) [m]$$

Dónde, típicamente:

$w_{tmp} = 0,0005 \text{ m}$ (= 0,5 mm), si es tomado de los dibujos del fabricante original, o

$w_{tmp} = 0,001 \text{ m}$ (= 1 milímetros), si se toman las mediciones

D.5.2.9 Circunferencia interna

La incertidumbre típica de la circunferencia interna (corregido para el grosor de metal y la pintura) es:

$$u_{C_i} = [u_{C_{et}}^2 + (2\pi \times u_{t_{mp}})^2]^{1/2} [m]$$

D.5.2.10 radio interno

La incertidumbre típica del radio interno es:

$$u_{R_i} = u_{C_i} / 2\pi [m]$$

D.5.2.11 Área de la sección transversal interna

La incertidumbre usual de cross interno - la área seccional lo es:

$$u_{A_i} = 2 \times u_{C_i} \times A_i / C_i [m^2]$$

D.5.2.12 Volumen bruto

La incertidumbre adicional en el volumen atribuible a las incertidumbres en las mediciones de nivel en el aforo y en el servicio, ocurre solamente cuando el área de la sección transversal cambia, por ejemplo, en los límites entre rolos individuales.

Volumen bruto calculado:

$$V_r = (A_{1c} \times h_1) + (A_{2c} \times h_2) + (A_{3c} \times h_3) + \dots + [A_{nc} \times (L - h_1 - h_2 - \dots - h_n)] [m^3]$$

Donde:

- $h_1, A_{1c}, h_2, A_{2c}, \dots, h_n, A_{nc}$ Son las dimensiones de rolos individuales, medidos en el interior del tanque;
- L Es el nivel por debajo de la placa para el cual el volumen es calculado.
- h_1 Es la altura (interna) del primer rolo por encima de la placa de medición.

NOTA 1 El solapamiento entre rolos define las alturas de los rolos individuales.

Incertidumbre típica del volumen bruto

$$uV_r = \{(uA_{1c} \times h_1)^2 + (uA_{2c} \times h_2)^2 + \dots + [uA_{nc} \times (L - h_1 - h_2 - \dots - h_n)]^2\}^{1/2} [m^3]$$

NOTA 2: No es incertidumbre adicional debido a la inclinación de tanque.

NOTA 3: La tabla del tanque muestra volúmenes como función del nivel. Las incertidumbres de la tabla de aforo de la que los volúmenes son solamente las de la sección transversal del área. Las incertidumbres de las alturas; u_h, y niveles, u_L, están incluidas en las de la medición de profundidades incluidas en medir.

D.5.2.13 Tablas de aforo del tanque

Las tablas de capacidad abierta de los tanques son desarrolladas a partir de las circunferencias del tanque medidas en las alturas seleccionadas haciendo las siguientes correcciones:

- _añadir la capacidad de la parte inferior de tanque;
- _añadir / retirar los volúmenes de la obra muerta;
- _incluir los parámetros del techo (si existe).

Las incertidumbres por la obra muerta y el techo flotante son incluidas en las incertidumbres adicionales del volumen bruto.

D.5.2.14 Incertidumbre expandida del volumen en las condiciones de aforo

La incertidumbre expandida del volumen en las condiciones de calibración, incluyendo las incertidumbres del volumen del fondo del tanque, las incertidumbres causadas por su forma y por otros factores adicionales son iguales que:

$$UV_r = k\{uV_r^2 + (uV_{sh} \times V_r)^2 + (uV_b \times V_b)^2 + (uV_{ad} \times V_r)^2 + (uV_{dis} \times V_{dis})^2\}^{1/2} [m^3]$$

Donde k es el coeficiente de expansión, generalmente k = 2 de.

D.5.3 Incertidumbres del volumen en las condiciones de referencia

D.5.3.1 Fuentes de incertidumbres

Todos los componentes de las incertidumbres son supuestos como estadísticamente independientes.

D.5.3.2 Mediciones y cálculos

Las siguientes correcciones son especificadas en esta parte de de la ISO 7507 para corregir las dimensiones de la tabla de capacidad abierta para:

- la deformación hidrostática atribuible a la altura del líquido, a la temperatura y a la densidad (presión hidrostática); esta corrección genera una tabla para un tanque vacío;
- la dilatación térmica de la chapa del tanque desde la temperatura de aforo a la temperatura de referencia.

D.5.3.3 Deformación debida a la presión hidrostática en las condiciones de referencia

La incertidumbre es una combinación de las contribuciones de las incertidumbres de los siguientes parámetros involucrados en la corrección de hidrostática:

R_i = El radio interno; la incertidumbre, uR_i , es calculado en D.5.2.10;

ρ = La densidad observada del líquido contenido en la calibración; el valor de la incertidumbre típica de las mediciones de densidad u_ρ , puede ser calculadas como $5/3^{1/2}$ kg / m³;

E = El modulo de elasticidad del material de la pared del tanque; el valor típico de la incertidumbre, uE , puede ser estimado como $5 \times 109/31/2$ N / m²;

t_{mp} = El grosor del metal de la pared de tanque y la pintura; la incertidumbre, ut_{mp} , es calculado en D.5.2.8. Las incertidumbres de las siguientes variables son asumidas como cero y sus efectos serán desestimados:

uL = Incertidumbre del nivel (efectivo) de líquido en el tanque;

ug = Incertidumbre de la aceleración local atribuible a la gravedad;

$u\rho_{ref}$ = Densidad de referencia (la densidad del aire ambiental).

La incertidumbre típica UV_h de la expansión el volumen causado por la presión hidrostática es:

$$uV_h = V_h \times \{(3 \times uR_i/R_i)^2 + [u\rho/(\rho - \rho_{ref})]^2 + (uE/E)^2 + (ut_{mp}/t_{mp})^2\}^{1/2} [m^3]$$

D.5.3.4 Corrección para la expansión térmica del tanque y la cinta en las condiciones de referencia

La incertidumbre de la circunferencia externa corregida para la expansión térmica diferencial de la cinta y de la chapa del tanque incluye:

La a) la incertidumbre usual de los coeficientes de la expansión de la cinta y la tanque, y

La b) la incertidumbre usual de las temperaturas robustas (suponer ser lo mismo para la cinta y el tanque Concha).

α_{st} = Coeficiente de expansión lineal de la cinta y del tanque [°C⁻¹]

α_{tk} = Coeficiente de expansión lineal del material de la chapa del tanque [°C⁻¹]

T_{ref} = Temperatura de referencia del tanque y de la cinta (incertidumbre cero) [°C⁻¹]

T_{st} = La temperatura de encintado (la misma para la cinta y el tanque) [°C⁻¹]

Asumiendo la distribución rectangular, la incertidumbre típica de la temperatura de encintado es :

$$uT_{st} = eT_{st} / (2 \times 3^{1/2}) \text{ [°C]}$$

Donde:

eT_{st} - es el error máximo del cálculo aproximado de la temperatura (para una locación típica)

$eT_{st} = 5 \text{ °C}$).

Asumiendo una distribución rectangular, las incertidumbres típicas del coeficiente de expansión lineal de la cinta y del material de la chapa del tanque son:

$$u\alpha_{st} = e\alpha_{st} / (2 \times 3^{1/2}) \text{ [°C}^{-1}\text{]}$$

$$u\alpha_{tk} = e\alpha_{tk} / (2 \times 3^{1/2}) \text{ [°C}^{-1}\text{]}$$

Donde:

$e\alpha_{st}$ y $e\alpha_{tk}$ son los errores máximos del estimado de los coeficientes de expansión de lineal respectivamente (típicamente, $e\alpha_{st} = e\alpha_{tk} = 2 \times 10^{-8} \text{ °C}^{-1}$).)

La incertidumbre típica de la circunferencia externa corregida es:

$$uC_{et} = \{ [uC_{em} \times (\alpha_{st} - \alpha_{tk}) \times (T_{st} - T_{ref})]^2 + [uT_{st} \times C_{em} \times (\alpha_{st} - \alpha_{tk})]^2 + (u\alpha_{st}^2 + u\alpha_{tk}^2) \times [C_{em} \times (T_{st} - T_{ref})]^2 \}^{1/2} \text{ [m]}$$

La incertidumbre típica de la corrección para la expansión térmica del volumen es:

$$uV_t = 2 \times uC_{et} / C_{em} \times 100 \text{ [% V]}$$

D.5.3.5 incertidumbres hidrostáticas adicionales

La influencia de las siguientes cantidades es incluida en las incertidumbres hidrostáticas adicionales:

- _ deformación hidrostática del fondo del tanque en las condiciones de referencia;
- _ incertidumbre del modelo de la corrección hidrostática.

La incertidumbre típica uV_o causada por la deformación del fondo del tanque debido a la presión hidrostática depende de condiciones como son el tamaño y el estado del fondo del tanque.

No es calculada, pero un valor típico puede ser estimado como:

$uV = 0.25/L \text{ (%)}$,donde L es la altura del llenado efectivo, en metros con L menor igual que 1.

La incertidumbre típica uV_{cal} relacionada con la corrección al volumen por la presión hidrostática no se calcula pero, reduciendo el error usando el modelo matemático simplificado tomado del Anexo G la incertidumbre adicional del volumen calibrado puede ser estimado como 1.25×10^{-4} del volumen.

D.5.3.6 La incertidumbre expandida del volumen en la tabla de aforo

La incertidumbre expandida de los valores dados en la tabla (con un factor de cobertura $k=2$), incluyendo las incertidumbres de las correcciones del volumen bruto como es la deformación debido a la presión hidrostática y la expansión térmica y las incertidumbres hidrostáticas adicionales, lo son por lo tanto:

$$UV = 2 \times [uV_r^2 + uV_h^2 + uV_{cal}^2 + uV_t^2 \times V^2 + uV_o^2 \times V^2]^{1/2} [m^3]$$

Donde:

V es el volumen contenido en el tanque correspondiente a la altura h para la cual la incertidumbre es calculada.

NOTA: Debido a la variación de uV_r , UV variará el volumen del líquido.

D.5.3.7 Ejemplos

Las Tablas D.2 y D.3 dan un ejemplo del cálculo del volumen de tanque y las incertidumbres asociadas.

Tabla D.2 — Cálculo del volumen de tanque

Parámetros	Tanque								Cinta (para circunferencia)		Condiciones de calib				
	Punto de Profundidad	10 mm	E = 2x10 ¹¹ N/m ²	Longitud = 20 m	Nivel del líquido L = 9.950 m	Espesor de la pintura	1 mm	$\alpha_{tk} = 10^{-5 \circ C^{-1}}$	A _{st} = 2x10 ⁵ °C ⁻¹	Densidad = 1 000 kg/m ³	Media de la profundidad del fondo	10 mm	Inclinación = 3.0%	Temperatura de la cinta T _{st} = -	Densidad del aire $\rho_a = 1.21$ kg
	Volumen del fondo	15.88 m ³	Temperatura referencia = 15°C	G = 9.806 65 m/s ²											
No.	Altura			Espesor del metal (mm)	Circunferencia				Diámetro Interno (mm)	Área					
	Curso (mm)	Punto de referencia de datos (mm)	Punto de profundidad (mm)		Cem (mm)	T-cor	Cem Promedio (mm)	H-exp (mm)		Circunferencia Interior (mm)	Área interior (m ²)	T-comp (m ²)	Inclinación comp ^d (m ²)		
1 549	10 173	12 183	9	141	0.999	141 290	0	141 228	44 954	1 587	1 589	1 590			
1 505	10 634	10 634	9	385 141 392	0.999	141 288	14	141 211	44 949	1 587	1 589	1 589			
1 541	9 119	9 129	9	141 392 141	0.999	141 272	41	141 168	44 935	1 586	1 588	1 588			
1 513	7 578	7 588	9	385 141 385	0.999	141 268	67	141 138	44 926	1 585	1 587	1 588			
1 531	6 065	6 075	9	141 379 141	0.999	141 272	93	141 116	44 918	1 585	1 587	1 587			
1 523	4 534	4 544	10	367 141 367	0.999	141 272	108	141 095	44 912	1 584	1 586	1 587			
1 511	3 011	3 021	11	141 367 141	0.999	141 258	119	141 063	44 902	1 583	1 585	1 586			
1 500	1 500	1 510	13	367 141 367 141 373 141 373 141 371 141 372 141 370 141 360 141 354 141 357 141 366 141 372 141 372	0.999	141 271	119	141 064	44 902	1 584	1 585	1 586			

Promedio de la altura del curso (m) = 1 522
 Circunferencia interior nominal (m) = 141

Parámetros	Tanque				Cinta (para circunferencia)				Condiciones de calibración		
	Punto de Profundidad	10 mm	E = 2x10 ¹¹ N/m ²	Longitud = 20 m	Nivel del líquido L = 9.950 mm						
Espesor de la pintura	1 mm	$\alpha_{tk} = 10^{-5 \pm 0.1}$	$A_{st} = 2 \times 10^{5 \pm 0.1} \text{C}^{-1}$	Densidad = 1 000 kg/m ³							
Media de la profundidad del fondo	10 mm	Inclinación = 3.0%	G = 9.806 65 m/s ²	Temperatura de la cinta T _{st} = -							
Volumen del fondo	15.88 m ³	Temperatura de referencia = 15°C		Densidad del aire $\rho_a = 1.21 \text{ kg/m}^3$							

No.	Altura			Espesor del metal (mm)	Circunferencia				Diámetro Interno (mm)	Área		
	Curso (mm)	Punto de referencia de datos (mm)	Punto de profundidad (mm)		C _{em} (mm)	T-cor	C _{em} Promedio (mm)	H-exp (mm)		Circunferencia Interior (mm)	Área interior (m ²)	T-comp (m ²)
Diámetro interno nominal (m) = 45												
Compensación por inclinación nominal (m ³) = 1 566												

Tabla D.3- Cálculos de incertidumbre

Objeto	Altura (mm)	Valor E	U-tipo	Notas	En la calibración									
					Rolo	Circunferencia externa		Parámetros internos			Volumen			
Objeto	Espesor del metal + pintura	(mm)	0.5	0.144		Promedio (mm)	u _{Cem} (mm)	u _{Cet} (mm)	u _{Ci} (mm)	u _{Ri} (mm)	A _i (m ²)	Bruto (m ³)	Volumen abierto (m ³)	Tab (m ³)
Tanque	temper. fondo t-exp.	(°C) (%R) (°C ⁻¹)	5 1 2x10 ⁻⁵	1.443 6x10 ⁻⁷		2.3	4.8	5.5	5.5	0.9	0.12	10.07	10.09	20.90
Cinta	longitud lectura posición alineación	(mm) (mm) (mm) (mm)	2 1 6 1	2 0.259 1.732 0.764 1.443	Cintas diferentes (de la tabla) 8 cintas	4.7	5.4	5.9	6.0	1.0	0.13	8.81	8.82	18.25
Condiciones	Temperatura de la cinta/tanque Tanque-exp. h-stat forma otros	(°C) (°C ⁻¹) (%R) (%R) (%R)	5 2x10 ⁻⁵ 0.01% 0.003 0.01%	6x10 ⁻⁷		0.0	4.6	5.3	5.4	0.9	0.16	3.79	3.81	12.24
						2.0	4.8	5.4	5.5	0.9	0.12	2.51	2.53	8.34
						1.0	4.7	5.3	5.4	0.9	0.12		1.49	5.74
						3.0	5.0	5.6	5.6	0.9	0.12	0.26	0.30	3.63
						2.0	4.8	5.4	5.6	0.9	0.12	0.18	0.20	1.51
Resultados -peor caso:														21

ANEXO E
(Informativo)

DETERMINACIÓN DE LA TEMPERATURA DE LA CHAPA DEL TANQUE

E.1 General

Los criterios dados en E.2 y la tabla B.4 indican los requisitos para recalculer la tabla de aforo si la temperatura promedio de operaciones de la chapa cambio con respecto a la temperatura de referencia impresa en la tabla de aforo.

La determinación de la temperatura promedio operativa de la chapa del tanque podría estar basada en alguno de los supuestos siguientes:

- a) Una temperatura asumida como temperatura promedio operacional de la chapa del tanque, o
- b) Algunas mediciones reales de los parámetros detallados en E.2 que determinan esa temperatura y calculan un promedio de las temperaturas.

E.2 Determinación de la temperatura de la chapa del tanque

La determinación de la temperatura de la chapa del tanque puede ser calculada usando la siguiente ecuación:

$$T_s = \frac{T_l + (K \times T_a)}{K + 1}$$

Donde:

T_s es la temperatura de la chapa, en grados Celsius;

T_l es la temperatura del liquido en grados Celsius, para de $T_l < 66$

T_a es la temperatura ambiental, en grados Celsius

$$K = [(T_l \times 7,2) + (324 \times V \times \mu^{0,5}) + (3121 \times \mu^{0,32}) - (222 + D \times 3,05)] \times 10^{-4}$$

μ es la viscosidad, pascal por segundo, por $10^{-3} < \mu < 1$

D es el diámetro de tanque, en los metros, por $15 < D < 85$;

V es la velocidad de viento, en kilómetros por hora, para $0 < V < 19$.

E.3 Ecuación simplificada para la temperatura de la chapa del tanque

En la práctica, la determinación de la viscosidad, la velocidad de viento y la temperatura de la chapa del tanque pueden ser difíciles. Sin embargo, la ecuación en E.2 que involucraría estos parámetros podría estar simplificada usando la siguiente ecuación:

$$T_s = \frac{(7 \times T_l) + T_a}{8}$$

ANEXO F (Normativo)

CORRECCIÓN POR TEMPERATURA A LA CINTA

F.1 Introducción

La temperatura del producto tiene un efecto sobre la chapa del tanque por la expansión y la contracción de la pared y genera cambios al volumen de tanque. La cinta de inmersión y la altura de referencia del tanque también están sujetos al efecto de expansión térmica que provocan cambios en el volumen del tanque. El efecto de la temperatura sobre la cinta de inmersión está cubierto al detalle en el documento del Instituto de medición del Petróleo de petróleo (IP). Paper No 11 [3].

Este anexo describe los procedimientos simplificados para la corrección de la cinta de inmersión, que están basados en el Instituto de medición del Petróleo de petróleo (IP). Paper No 11 [3], y presupone que el coeficiente de expansión es el mismo para la chapa y para la cinta de inmersión. Estos procedimientos simplificados son considerados suficientes para determinar el efecto de la corrección de la temperatura de la cinta de inmersión sobre los volúmenes de tanque.

F.2 Procedimientos de cálculo

F2.1 General

Los tanques en custodia y servicio de existencias pueden ser categorizados en general de la siguiente manera:

- a) tanques sin aislamiento;
- b) tanques con aislamiento; y
- c) tanques que tienen sistemas automáticos de no-contacto y no invasivos, namely radar

Este Anexo provee los procedimientos para determinar las correcciones a la cinta de inmersión necesarias para cada uno de estas categorías de tanque.

F2.2 Tanques sin aislamiento

Para tanques sin protección, la suposición básica es que la sección de la chapa del tanque que está en contacto con el líquido (el nivel de inmersión, L_i) está en equilibrio térmico con el líquido y que solamente esta sección de la chapa del tanque se dilatará verticalmente. También, la altura de referencia de tanque (ART de la tabla de aforo) también incrementará solamente la parte que está en contacto con el nivel líquido (L_i), no la altura total.

Sobre la base de las suposiciones anteriores, pueden ser realizados los siguientes cálculos

- Nivel de inmersión: L_i
- La altura de referencia de la tabla de aforo: RHC

- El coeficiente de expansión lineal: α
- Temperatura del líquido: T
- Temperatura de referencia de la tabla de aforo: TR

Nivel de vacío real: L_n

Expansión de la altura de referencia $RHE = L_i \times \alpha \times \Delta T$

Donde $\Delta T = T - TC$

Altura de referencia ampliada total $RHT = RHC + RHE$
 $RHT = RHC + (L_i \times \alpha \times \Delta T)$

- $$L_i = RHT - L_U \text{ or, } L_i \times [1 + (\alpha \times \Delta T)] = RHC - L_U$$

$$= RHC + (L_i \times \alpha \times \Delta T) - L_U$$

Pero, $1 + (\alpha \times \Delta T) = 1/[1 - (\alpha \times \Delta T)]$ (aproximadamente)

Por lo tanto, $L_i = (RHC - L_U) \times [1 + (\alpha \times \Delta T)]$ tan sólo quiere decir que el valor de la inmersión es calculado del vacío medido real usando la altura de referencia y multiplicando por una expansión el factor, que es igual a $[1 + (\alpha \times \Delta T)]$.

F.2.3 Tanques con aislamiento

Para tanques con aislamiento se parte del supuesto que el espacio de vapor y el espacio líquido están en equilibrio térmico y por lo tanto la altura de referencia de tanque (RHC de la tabla de capacidad) crecerá completamente y no parcialmente como en los tanques sin aislamiento según F.2.2.

También, el vacío, L_u , se dilatará con la temperatura. Asumiendo que el vacío expandido es L_{EU} y usando la misma anotación usada en F.2.2, se pueden realizar los siguientes cálculos.

$$RH_T = RHC \times [1 + (\alpha \times \Delta T)]$$

$$L_{EU} = L_U \times [1 + (\alpha \times \Delta T)]$$

$$\begin{aligned} \text{Inmersión calculada } L_i &= RH_T - L_{EU} \\ &= (RHC - L_U) \times [1 + (\alpha \times \Delta T)] \end{aligned}$$

Esto sólo quiere decir que la inmersión se calcula partiendo del vacío real medido y usando la altura de referencia y multiplicándola por un coeficiente de expansión que es igual a $[1 + (\alpha \times \Delta T)]$.

F.2.4 Tanques que tienen sistemas automáticos sin contacto y no invasivos, por ejemplo radar. Los tanques con sistemas automáticos sin contacto y no invasivos (ATG) no son afectados por la temperatura del espacio que contiene vapor. Los tanques con aislamiento y sin el tienen que ser tratados de forma diferente, de la siguiente manera.

- a) Para tanques sin protección pero con un ATG, de no contacto, el factor de rectificación será lo mismo que en F.2.2, por ejemplo igual a $[1 + (\alpha \times \Delta T)]$.
- b) Para tanques con protección, la altura de referencia crecerá en su totalidad mientras que el vacío, tan medido por el calibrador de radar no será afectado.

$$RH_T = RH_C \times [1 + (\alpha \times \Delta T)]$$

Inmersión calculada $L_I = \{RH_C \times [1 + (\alpha \times \Delta T)]\} - L_U$

Esto sólo implica corregir la altura de referencia primero con el factor de expansión y luego restar el vacío medido realmente.

ANEXO G

EXPANSIÓN DEBIDO A LA ALTURA DEL LÍQUIDO

G.1 General

G.1.1 El efecto de la altura de cualquier líquido se introducirá en las tablas de capacidad de los tanques por medio de un método que abarque el cálculo de los efectos expansivos con el incremento progresivo de los niveles del líquido.

NOTA: Esta corrección puede no ser necesaria si la calibración del tanque es para ser usada en sistemas computarizados de contabilidad del combustible almacenado, en los cuales el cálculo de la expansión debido a la altura del líquido se basa en el nivel del líquido medido y su densidad en el momento del cálculo.

G.1.2 El método de corrección consta de dos partes:

- a) La eliminación del efecto de la expansión debido a la columna del líquido en el tanque en cada rolo en el momento del encintado. (en casos donde está vacío durante la calibración, no es necesario este ajuste).
- b) El ajuste por el efecto sobre cada rolo de la expansión debido a la columna del líquido que estará contenido en el tanque en servicio.

G.2 Eliminar el efecto de la expansión en el momento del encintado

G.2.1 Las mediciones habrán sido hechas con una altura del nivel del líquido en el tanque la cual habrá sido anotada por el calibrador (ver 6.1). Las mediciones se tabularán, preferiblemente usando una forma normalizada de cálculo y la hoja de datos recomendada en 14.1 e ilustrada en el Anexo F.

G.2.2 Las mediciones de la circunferencia entonces será ajustada a “tanque vacío”, o sin tensiones, por medio de la siguiente ecuación, sustituyendo en la ecuación el promedio de la circunferencia corregida para cada rolo (ver 16.2).

$$\Delta C_n = \frac{g \cdot C_n^2 \cdot (\rho - 1.1) \cdot H}{2 \cdot \pi \cdot E \cdot t_n \times 10^3}$$

Donde:

ΔC_n es la corrección de la circunferencia, en milímetros, para dar la condición de tanque vacío o sin deformación para la circunferencia considerada.

g es la aceleración de la gravedad, expresada en metros por segundo cuadrado.

C_n es la circunferencia promedio, en milímetros, corregido por el espesor de la chapa y la pintura.

ρ es la densidad a la temperatura observada, del líquido en el momento del encintado. en kilogramos por metro cúbico, del líquido en el momento del encintado.

NOTA: Una corrección para la densidad del aire de 1.1 kg / m^3 se incluye en la ecuación para convertir la densidad en densidad aparente en el aire.

H Altura del líquido por encima del nivel medida en milímetros, en la circunferencia durante el encintado.

π se toma como 3.141596

E Módulo de Young de elasticidad, en newton por metro cuadrado.

t_n Espesor de la chapa, , de cada rolo. en milímetros.

Si

$$g = 9.80665 \text{ m/s}^2, E = 200 \times 10^9 \text{ N/m}^2 \text{ y } \pi = 3.141596$$

la ecuación anterior se reduce a:

$$\Delta C_n \cong \frac{0.78}{10^{14}} C_n^2 \cdot W \frac{H}{t_n}$$

Donde:

W es la densidad aparente en el aire del líquido en el momento del encintado a la temperatura observada, en kilogramos por metro cúbico

G.2.3 El cálculo del volumen del tanque entonces se realiza, sustrayendo el valor obtenido en A.2.2 de la circunferencia media corregida de cada rolo.

G.2.4 Un método alternativo para eliminar el efecto de la expansión en el momento de la medición es ajustar el volumen calculado a la condición de sin tensión por medio de la fórmula dada en A.3 y aplicando las correcciones negativamente. Sin embargo, este método alternativo requerirá que sea calculado un volumen abierto "con tensión", la corrección del volumen aplicada y la circunferencia "sin tensión" calculada a partir del volumen resultante "con tensión".

G.3 Adición de los efectos de la expansión en servicio

G.3.1 Las capacidades, corregidas como se describe en A.2 si es apropiado, son ajustas por la expansión que ocurrirá debido a la presión hidrostática ejercida por el líquido que el tanque contendrá en servicio. El ajuste se realiza por medio de las siguientes ecuaciones:

$$1^{\text{er}} \text{ rolo: } V_1 = K \left(\frac{0.8 \cdot h_1}{2 \cdot t_1} \right)$$

$$2^{\text{do}} \text{ rolo: } V_2 = K \left(\frac{0.8 \cdot h_1}{t_1} + \frac{h_2}{2 \cdot t_2} \right)$$

$$3^{\text{er}} \text{ rolo: } V_3 = K \left(\frac{0.8 \cdot h_1}{t_1} + \frac{h_2}{t_2} + \frac{h_3}{2 \cdot t_3} \right)$$

$$\text{enésimo rolo: } V_n = K \left(\frac{0.8 \cdot h_1}{t_1} + \frac{h_2}{t_2} + \frac{h_3}{t_3} + \dots + \frac{h_n}{2 \cdot t_n} \right)$$

Donde:

V_1, V_2, V_3, V_n son el incremento en el aumento de la capacidad del tanque, en litros por milímetros de altura del rolo, del 1^{er}, 2^{do}, 3^{er} y enésimo rolo causado por la altura del líquido.

h_1, h_2, h_3, h_n son las alturas, del 1^{er}, 2^{do}, 3^{er} y enésimo rolo, en milímetros.

t_1, t_2, t_3, t_n son los espesores, en milímetros de las chapas, del 1^{er}, 2^{do}, 3^{er} y enésimo rolo.

K es una constante para cualquier rolo, dada por la siguiente ecuación:

$$K = \frac{\pi \cdot g \cdot D^3 (\rho - 1.1)}{4 \cdot E \cdot 10^9}$$

Donde:

D es el diámetro del rolo, en milímetros (C_n / π).

ρ es la densidad, del líquido que contendrá el tanque en servicio, en kg/m^3

π se toma como 3.141596.

E es el Módulo de Young de elasticidad, en N / m^2 .

g es la aceleración de la gravedad en m / s^2 .

NOTA Una corrección por la densidad del aire de $1.1 \text{ kg} / \text{m}^3$ está incluida en la ecuación que convierte la densidad en la densidad aparente del aire.

Si

$g = 9.80665 \text{ m} / \text{s}^2$ y $E = 200 \times 10^9 \text{ N} / \text{m}^2$ la ecuación anterior se reduce a:

$$K \cong \frac{1.92}{5 \cdot 10^{19}} D^3 \cdot W$$

Donde:

W es la densidad aparente en el aire, en kg / m^3 , del líquido que contendrá el tanque en servicio ($\rho - 1.1$).

G.3.2 Los cálculos del volumen del tanque entonces se hacen adicionando el valor obtenido en A.3.1 a los volúmenes por unidad de altura obtenidos en 16.2.

G.3.3 Un método alternativo para el cálculo del efecto de la expansión debido al líquido que contendrá el tanque en servicio se da más abajo. Este es un método no lineal y da la expansión total debido al líquido a cualquier nivel L en el tanque.

Este se puede usar como una alternativa del método descrito en A.3.1 y es especialmente para el uso en sistemas computarizados de contabilidad de combustible.

$$\text{1er rolo: } (0 < L < h_1): V_t = \frac{0.8 \cdot K \cdot L^2}{t_1}$$

$$\text{2do rolo } (h_1 < L < h_2): V_t = \left[\frac{h_1^2}{t_1} + \frac{2 \cdot h_1 (L - h_1)}{t_1} \right] + K \left[\frac{(L - h_1)^2}{t_2} \right]$$

$$\text{3er rolo } (h_2 < L < h_3): V_3 = 0.8 \cdot K \cdot \left[\frac{h_1^2}{t_1} + \frac{2 \cdot h_1 (L - h_1)}{t_1} \right] + \left[\frac{h_2^2}{t_2} + \frac{2 \cdot h_2 (L - h_1 - h_2)}{t_2} \right] + K \left[\frac{(L - h_1 - h_2)^2}{t_3} \right]$$

$$\text{enésimo rolo } (h_3 < L < h_n): V_3 = 0.8 \cdot K \cdot \left[\frac{h_1^2}{t_1} + \frac{2 \cdot h_1 (L - h_1)}{t_1} \right] + \left[\frac{h_2^2}{t_2} + \frac{2 \cdot h_2 (L - h_1 - h_2)}{t_2} \right] + \dots + K \left[\frac{\left(L - \sum_{j=1}^{j=n-1} h_j \right)^2}{t_n} \right]$$

Donde:

V_t es el incremento total en la capacidad del tanque, en litros, debido a la presión ejercida por la altura del líquido al nivel L.

h_1, h_2, h_3, h_n son las alturas, en milímetros, del 1^{er}, 2^{do}, 3^{er} y enésimo rolo.

t_1, t_2, t_3, t_n son los espesores, en milímetros de las chapas, del 1^{er}, 2^{do}, 3^{er} y enésimo rolo

L es la altura del líquido, en milímetros.

K es una constante para cualquier tanque dado, dada la siguiente ecuación:

$$K = \frac{\pi \cdot g \cdot D^3 \cdot (\rho - 1.1)}{8 \cdot E \cdot 10^9}$$

Donde:

D es el diámetro del tanque, en milímetros (C_n / π).

Si

$$g = 9.80665 \text{ m/s}^2, \quad E = 200 \times 10^9 \text{ N/m}^2 \quad \text{y} \quad \pi = 3.141596$$

la ecuación de arriba se reduce a : $K \cong \frac{1.92}{10^{20}} \cdot D^3 \cdot W$

Donde:

W es la masa aparente en el aire, en kg / m³, del líquido que el tanque contendrá en servicio ($\rho - 1.1$).

G.3.4 El cálculo de la capacidad del tanque se hace entonces por la adición del valor obtenido en G.3.3 a la capacidad “sin tensiones” del tanque al nivel L.

G.3.5 Cuando el tanque ha sido calibrado por mediciones internas, es necesario solamente la corrección por el efecto de la expansión en servicio. El cálculo se hace entonces como en el caso del tanque calibrado por encintado (ver A.4.3).

G.4 Ejemplo del calculo de las correcciones por la expansión bajo la presión del líquido

G.4.1 Calibración por encintado

En este ejemplo, se asume un diámetro de 45.6 m para un tanque que ha sido calibrado por encintado cuando contiene agua. Los datos requeridos para la sustitución en la fórmula se da en A.2.2 y A.3.1 son los siguientes:

Altura del agua en el momento del encintado	= 9 950 mm
Densidad del aire	= 1.1 kg / m ³
Densidad del agua en el momento del encintado	= 1 000 kg / m ³
Densidad aparente del agua en el aire	= (1 000-1,1)Kg/ m ³
	= 998,9 kg/ m ³
Densidad del combustible contenido en el tanque en servicio	= 850 kg / m ³
Densidad aparente del combustible en el aire	= (850-1,1)kg/m ³
	= 848,9 kg/ m ³
Circunferencia corregida del tanque	= 143 397 mm

G.4.2 Eliminación del efecto de la expansión en el momento de la medición.

El número de niveles a los cuales se realizará esta corrección de la circunferencia dependerá del grado de exactitud requerida. En prácticas normales se debe calcular la corrección para cada nivel al cual se midió la circunferencia. Para este ejemplo sin embargo es considerado más simple y más claro tomar el valor de la altura del líquido en el medio de cada rolo, la corrección de la circunferencia se aplica a toda la medición de encintado dentro del mismo rolo.

ΔC_n es calculado mediante la siguiente ecuación:

$$\Delta C_n = \frac{0,78}{10^{14}} * C_n^2 * W * \frac{H}{t_n}$$

Para el primer rolo $C_n = 143\,397$ mm

$$W = 998,9 \text{ kg/m}^3$$

Entonces

$$\Delta C_n = \frac{0,78}{10^{14}} \times 143\,397^2 \times 998,9 \times \frac{H}{t_n}$$

$$= 0,160\,212\,6 * \frac{H}{t_n}$$

Los cálculos subsiguientes se muestran en la Tabla A.1

A.4.3 Adición de los efectos de la expansión en servicio.

La constante K para el rolo 1 está dada por:

$$K = \frac{1,92}{5 \times 10^{19}} W D^3$$

Donde:

$$D = 45\,644,88 \text{ mm}$$

$$W = 848,9 \text{ kg/m}^3$$

Entonces:

$$K = \frac{1,92}{5 \times 10^{19}} \times 45\,644,68^3 \times 848,9$$

$$= 0,003\,100\,0$$

Los cálculos subsiguientes se muestran en la Tabla A.2

Tabla G.1: Ejemplo de la rutina de cálculo por la expansión durante el encintado. (ver original)

Tabla G.2: Ejemplo de la rutina de cálculo por la expansión en servicio (ver original)

ANEXO H
(Normativo)

EXPANSIÓN DEBIDO A LA TEMPERATURA

H1 Introducción

Este anexo muestra los métodos de cálculo usados para la corrección por expansión debido a la temperatura.

H2 Generalidades

H2.1 Las tablas de capacidad del tanque, calculadas de acuerdo con el método descrito en 16.2, han sido corregidas para dar un volumen para las siguientes condiciones:

- a) Chapa del tanque a la temperatura t_{st} .
- b) Altura del líquido medida con una cinta de sondeo, calibrada a t_{dt} , así como el líquido y la cinta a la temperatura t_1 .

Donde:

t_{dt} es la temperatura a la cual está certificada la cinta de sondeo.

t_{st} es la temperatura a la cual está certificada la cinta de medición

t_1 es la temperatura del líquido en el tanque en el momento de la medición

H2.2 La corrección por expansión debido a la temperatura consta de dos partes

- a) La preparación de la tabla de capacidad del tanque a cualquier temperatura normalizada, esto se lleva a cabo por la aplicación de un factor de corrección F_t (derivado de una fórmula básica) al "volumen neto por unidad de altura", antes de que estos sean acumulados para elaborar en la tabla de capacidad.
- b) El cálculo de un volumen específico a una temperatura observada mediante la aplicación de un factor F_0 al volumen acumulado dado en una tabla de capacidad que ha sido certificada a una temperatura normalizada.

H3. Preparación de la tabla de capacidad del tanque a cualquier temperatura normalizada de certificación.

H3.1 El factor F_t que se aplica al "volumen neto por unidad de altura" se obtiene de la siguiente ecuación:

$$F_t = 1 + 3\alpha (t - t_{st})$$

Donde:

α es el coeficiente de expansión lineal del metal de la pared del tanque

NOTA El coeficiente expansión lineal del acero de bajo contenido de carbono es $0,000\ 011\ ^\circ\text{C}^{-1}$

t es la temperatura de certificación requerida para la tabla de capacidad del tanque (diferente a t_{st})

t_{st} es la temperatura de certificación de la cinta métrica de encintado y así mismo, la temperatura de certificación de la tabla de capacidad.

La tabla de capacidad del tanque se prepara multiplicando del “volumen neto por unidad de altura” por el factor F_t y acumulando el resultado. La tabla de capacidad del tanque entonces muestra el volumen corregido para las siguientes condiciones:

- a) Pared del tanque a temperatura t_t , °C.
- b) Altura del líquido medida con una cinta de sondeo calibrada a t_{qt} , °C, asumiendo que el líquido y la cinta están a t_t , °C.

H4 Corrección aplicada al volumen obtenido en una tabla de capacidad certificada a una temperatura normalizada t_s

H4.1 Principio

La determinación de un volumen específico a una temperatura observada t_t se efectúa aplicando un factor F_0 al volumen correspondiente a una altura del líquido dada obtenido de una tabla de capacidad certificada a una temperatura normalizada t_s .

H4.2 Tanques con paredes aisladas térmicamente

H4.2.1 Para tanques con aislamiento térmico se asume que la temperatura del líquido, de la cinta de sondeo y de la pared del tanque son las mismas.

Para tanques con aislamiento térmico, el factor F_0 se obtiene de la siguiente ecuación:

$$F_0 = 1 + \alpha (t_1 - t_s)$$

Donde:

α es el coeficiente de expansión lineal del metal de la pared del tanque

t_s es la temperatura de certificación de la tabla de capacidad del tanque

t_1 es la temperatura observada (promedio) del líquido contenido, de la cinta de sondeo y de la pared del tanque.

H4.2.2 Con la profundidad del líquido, medida con la cinta de sondeo, se entra en la tabla de capacidad del tanque y se obtiene el volumen apropiado. Se multiplica este volumen por F_0 y se obtiene el volumen corregido para una pared del tanque, cinta y líquido a una temperatura t_1 .

H4.3 Tanques sin aislamiento térmico

Para tanques sin aislamiento térmico, el factor F_0 se obtiene de la siguiente ecuación:

$$F_0 = [1 + \alpha (t_1 - t_s)][1 + 2\alpha (t_t - t_s)]$$

Donde:

- α es el coeficiente de expansión lineal del metal de la pared del tanque
- t_s es la temperatura de certificación de la tabla de capacidad del tanque
- t_1 es la temperatura observada de la cinta de sondeo (la misma que la del líquido)
- t_t es la temperatura de la pared del tanque

H4.3.1 Existen varias fórmulas para la determinación de la temperatura promedio de las chapas de los tanques sin aislamiento térmico las cuales expresan t_t en términos de temperatura del líquido y temperatura ambiente (al sol y a la sombra). La exactitud de la evaluación de t_t puede depender, entre otros, de los siguientes factores:

- a) El número y la exactitud de los termómetros colocados sobre la superficie exterior de la pared del tanque y la efectividad de su contacto con la chapa del tanque;
- b) La diferencia entre la temperatura del líquido contenido en el tanque y la temperatura ambiente.
Se recomienda que la temperatura de la chapa de la pared del tanque t_t se tome como la media entre la temperatura del líquido y la temperatura ambiente en el momento de la medición.

ANEXO I
(Normativo)

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

Cada certificado de calibración incluirá los siguientes aspectos:

- a) El número de serie del certificado y el número de páginas de la tabla de capacidad del tanque.
- b) La identificación del tanque, incluyendo el sitio o el número de instalación del tanque (el cual será único en el lugar de instalación).
- c) El nombre del propietario u operador.
- d) El nombre y dirección de la autoridad de calibración o compañía que ha llevado a cabo la calibración.
- e) La fecha de la medición.
- f) El método de calibración usado (con referencia a esta parte de la NC- ISO 7507, con referencia específica al método de calibración aplicado en la calibración del fondo del tanque).
- g) La fecha de expedición del certificado.
- h) La altura nominal y el diámetro del tanque.
- i) La altura(s) total(es) del punto(s) de sondeo con respecto al cual está basada la tabla y también la posición(s) de el punto(s) referido a algún punto fijo en la parte superior del tanque [la altura(s) total(es) será dada con el tanque vacío y si es posible con el tanque lleno con un líquido de aproximadamente la misma densidad que la del líquido que el tanque contendrá en servicio].
- j) La altura(s) del punto de sondeo y del punto de referencia de datos con respecto a la unión de la pared del tanque y la chapa del fondo.
- k) Si está instalado un sistema de medición automático, la altura del punto de referencia con respecto a la unión de la pared del tanque y el fondo del tanque.
- l) Por conveniencia del cálculo y la verificación los siguientes datos usados en el cálculo de la tabla de capacidad:
 1. Módulo de Young de elasticidad.
 2. El coeficiente de expansión lineal del metal de la pared del tanque.
 3. El coeficiente de expansión lineal del metal de la cinta métrica de encintado.
 4. La temperatura de certificación de la cinta métrica de encintado.

NOTA El contenido de esta lista representa la información mínima requerida para incluirla en el certificado, pero la lista no es exhaustiva y cualquier otra información que pueda ser útil debe ser incluida.

Cada página del certificado estará firmada por la autoridad de calibración o compañía.