

CALIBRACIÓN VOLUMÉTRICA DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO VERTICALES

José Carmen Pérez Flores, Marco A. García Urgell, Hugo H. Pérez Flores
FUJISAN SURVEY, S.A. de C.V.
Av. Revolución 1008
C.P. 96400
Coatzacoalcos, Ver.
52 (921) 212 51 52, 212 68 90, 212 06 05
admong@fujisansurvey.com

Resumen: Descripción del método de calibración volumétrica en tanques de almacenamiento verticales como unidades de control de proceso y transferencia de custodia aplicando normas, procedimientos y equipos recomendados por éstas. El método considera la clasificación de los tanques para su calibración según su estado físico estructural y análisis estadístico, lo cual resulta en una alternativa confiable para medición volumétrica alterna.

1. INTRODUCCIÓN

Este trabajo ha sido realizado con el propósito de enfatizar la importancia de la calibración volumétrica a tanques de almacenamiento verticales, con un método confiable.

La eficacia del método presentado reside en las correcciones que se hacen a las mediciones por lo que se muestra en la primera parte la serie de lecturas que se toman en un tanque vertical de almacenamiento; posteriormente, se describen las correcciones que se efectúan y, por último, el modelo matemático para una estimación típica de incertidumbre.

En la segunda parte, siguiendo a los resultados, se presenta una comparación con un método de medición alterno, lo que finalmente conduce a concluir que el método de calibración volumétrica es confiable.

2. CALIBRACIÓN VOLUMÉTRICA A TANQUES DE ALMACENAMIENTO VERTICALES.

La calibración Volumétrica consiste en determinar la capacidad o los volúmenes en un recipiente atmosférico a diferentes niveles de producto, en un mismo punto de referencia, a una temperatura base, de acuerdo con su forma geométrica en grandes volúmenes. Esta medición está basada en la aplicación de métodos y normatividades a nivel internacional, con equipos de alta resolución y trazabilidad a patrones vigentes, nacionales e internacionales, y

certificados de acuerdo a normas internacionales aceptadas y sus equivalentes nacionales, para proveer las dimensiones necesarias para el cálculo de las Tablas de Calibración que muestran el volumen de producto milímetro a milímetro en cualquier nivel del tanque.

2.1 Equipo

Los equipos utilizados en la calibración volumétrica deben ser equipos con características de la más alta calidad metroológica. En este método, el equipo básico a usar será: cinta de longitud; cinta con plomada; plomada óptico-vertical; medidor de espesores; termómetro; escala imantada; densímetro y dinamómetro.

2.2 medición de un tanque vertical

La determinación de los volúmenes a diferentes niveles se hace a través de una serie de mediciones físicas las cuales se describen a continuación.



Fig. 1 Tanque de almacenamiento vertical

2.2.1 Alturas.

Medición de circunferencias usando equipo óptico. Este método está referido como ASTM-D-4738 (O.R.L.M.) para determinar las circunferencias de tanques verticales mediante el uso de un equipo óptico, de alta precisión y de una escala móvil con la característica de deslizarse sin perder contacto en la pared del tanque en forma vertical.

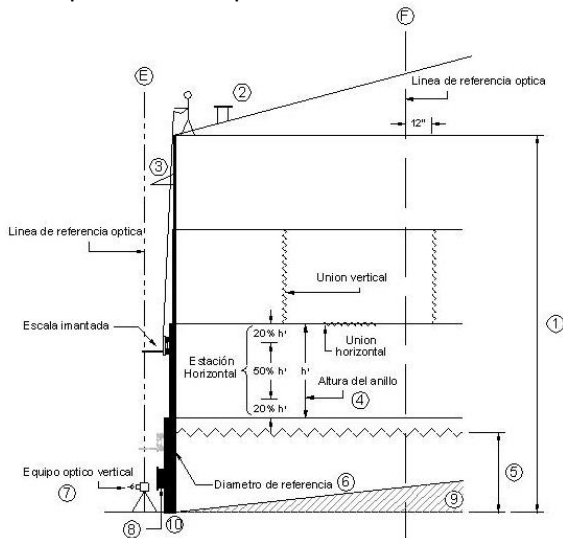


Fig. 2 Representación gráfica ORLM

Las alturas a medir son:

- ① Altura de la coraza.- Distancia entre la placa adherida al primer anillo hasta el ángulo superior en el cual descansa la cúpula y debe medirse en un punto cercano a la escotilla de medición.
- ② Altura de referencia del tanque.- Distancia vertical desde el punto de referencia en la escotilla de medición hasta el fondo del tanque.
- ③ Altura segura de llenado.- Altura a la cual se puede llenar el tanque sin llegar a derramarse, dejando margen para la expansión del producto por cambio de temperatura.
- ④ Altura de cada anillo.- Se determina midiendo cada anillo componente del tanque, se efectúa a cada mitad de la unión. Para fines de cálculo cada anillo se considera de forma independiente.
- ⑤ Nivel de líquido.- Se toma con la finalidad de calcular la expansión del cuerpo del tanque por efecto de la presión, coeficiente de elasticidad.

- ⑥ Circunferencia de referencia.- Tomada en el primer anillo y en la altura correspondiente al 80% de la altura del anillo.

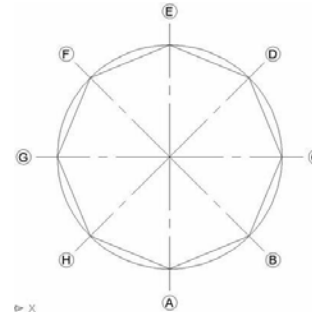


Fig. 3 Lecturas ópticas

- ⑦ Lecturas ópticas verticales pares y equidistantes, en los anillos subsiguientes (Fig. 3)
- ⑧ Incrementos o decrementos de volumen
- ⑨ Forma geométrica del fondo

2.2.2 Medición de espesores

Puesto que el cálculo de volumen de los tanques está basado en su diámetro (Fig.1- ⑩), es necesario determinar el espesor promedio de cada anillo, realizando un mínimo de ocho lecturas igualmente espaciadas alrededor de la circunferencia, y tomando el promedio aritmético.

2.2.3 Medición de temperatura ambiente

2.2.3 Adiciones y sustracciones

Consiste en dimensionar todos los objetos externos e internos que alteren la capacidad volumétrica del tanque.

2.3 Correcciones.

Será parte importante de este método tomar en cuenta que no estamos calibrando un tanque perfecto sin defecto alguno, por el contrario está sujeto a deformación por diversos factores lo que hace necesario incluir en los cálculos una serie de correcciones, las cuales intervienen en el mencionado cálculo. Estas correcciones son parte fundamental de la confiabilidad de la medición. A continuación se describen las correcciones que intervienen en el cálculo volumétrico de un tanque **medido externamente.**

2.3.1 Corrección de cinta a temperatura base.

La circunferencia tomada con cinta debe ser corregida a temperatura base de referencia

$$C_{ct} = [1 + (T_o - T_c)\gamma_c] [1 + (T_b - T_o)\gamma_s] \tag{1}$$

donde:

- T_c = Temperatura de referencia
- T_o = Temperatura observada
- γ_c = coeficiente de expansión térmica (cinta)
- γ_s = coeficiente de expansión lineal (tanque)
- T_b = temperatura base de calibración

2.3.2 Corrección de circunferencia a tanque vacío.

La carga hidrostática ejerce sobre las paredes (envolvente) del tanque una presión y por lo tanto la expansión de la circunferencia.

Esta corrección es aplicable cuando el tanque es medido con producto para llevarlo a tanque vacío como primer paso.

$$C_c = \frac{\rho h C^2}{2\pi E t} \tag{2}$$

donde:

- ρ = densidad del liquido
- h = altura arriba de la medición de referencia
- C = circunferencia
- E = modulo de elasticidad
- t = espesor de placa.

2.3.3 Corrección por elevación de cinta.

Los cordones de soldadura y juntas a traslape originan una elevación en la cinta, la cual debe corregirse por la ecuación siguiente:

$$C_j = \frac{2Ntw}{d} + \left(\frac{8Nt}{3}\right) * \sqrt{\frac{t}{d}} \tag{3}$$

donde:

- N = Numero de cordones de soldadura o juntas a traslape.
- t = Elevación del cordón de soldadura o junta a traslape.
- w = Ancho de la cinta
- d = Diámetro del tanque

2.3.4 Corrección de circunferencia por espesor de placa.

La circunferencia externa debe ser corregida a circunferencia interna. Los espesores muestreados por cada anillo deben ser tomados con equipo de ultrasonido que incluya el espesor del recubrimiento.

$$C_w = \frac{t \pi}{6} \tag{4}$$

donde:

- t = espesor de placa promedio por anillo.

2.3.5 Incremento de volumen por anillo o referencia definida.

El volumen del tanque es corregido por el incremento de volumen expresado en las tablas de calibración por efecto de la carga hidrostática.

a) *Corrección por cabezal liquido.* Corrección de la carga hidrostática desde la circunferencia de referencia hasta el nivel superior de cada anillo o altura definida.

$$C_s = \frac{\rho h C^2}{t} \tag{5}$$

donde:

- ρ = densidad del producto
- h = distancia desde la circunferencia de referencia hasta el nivel superior de cada anillo o altura definida.
- t = espesor promedio de cada anillo.
- C = circunferencia del tanque

b) *Incremento por cabezal liquido arriba de cada anillo.* La carga hidrostática a un nivel determinado afecta los anillos arriba de este nivel. Calculados como sigue:

$$C_u = \frac{\rho_a \pi D^3 h}{4Et} \tag{6}$$

donde:

- ρ_a = densidad del agua a temperatura base
- D = diámetro interno promedio densidad del producto
- h = Altura del anillo
- t = Espesor de placa
- E = Modulo de elasticidad

2.3.6 Deduciones e incrementos de volumen

a) *Corrección por inclinación.* La inclinación de los tanques tiene un efecto importante en la integración de volumen en las tablas de calibración.

$$100\sqrt{1+m^2} - 1 = \% \text{ Volumen} \tag{7}$$

donde:

m = inclinación del tanque referido a escotilla en pies

b) *Corrección de volumen por temperatura.*

$$C_{t_l} = [1 + \alpha(t_l - t_s)] [1 + 2\alpha(t_t - t_s)] \tag{8}$$

donde:

- α = coeficiente de expansión lineal de la placa
- t_s = temperatura base
- t_l = temperatura del líquido
- t_t = temperatura de la placa del tanque

2.3 Incertidumbre

Sabemos que el resultado de cualquier medición es incierto y a lo más que podemos aspirar es a estimar su incertidumbre. Mientras menor sea ésta, menor será el intervalo de valores que puedan ser atribuidos al mensurando. Es por ello que el cálculo de la incertidumbre es de vital importancia en la confiabilidad de la medición de tanques verticales.

El mesurado al que haremos el estimado de incertidumbre es el volumen a condiciones base

(V_{base}) partiendo de la fórmula para la obtención de este tenemos:

$$V_{base} = \sum_{i=1}^N TC^2 \times \nabla \tag{9}$$

donde:

- TC^2 = tensión completa del anillo
- ∇ = factor de multiplicación para incrementos por unidad de volumen.

Desarrollamos el modelo físico identificando las fuentes de incertidumbre (Fig. 4). Una vez definidas todas las fuentes, procedemos al desarrollo del modelo matemático.

$$V_{tanque} = \sum_{i=1}^N TC^2 \times \nabla \tag{10}$$

donde:

$$TC^2 = \left(\frac{\text{anillo n} + \text{anillo m}}{2} \right)^2 \tag{11}$$

siendo:

$$\text{anillo n} = \left(\frac{k_n G_n h C_n^2}{t_n} \right) - \left(\frac{2N_n t_n w_n}{d_n} \right) - (\rho_n h_n) - \frac{t \pi_n}{6} \tag{12}$$

y

$$\text{anillo m} = \left(\frac{k_m G_m h C_m^2}{t_m} \right) - \left(\frac{2N_m t_m w_m}{d_m} \right) - (\rho_m h_m) - \frac{t \pi_m}{6} \tag{13}$$

tomando a:

- k = constante
- G = gravedad
- h = altura del líquido
- C = circunferencia
- t = espesor de placa
- N = número de secciones
- w = peso del líquido
- d = diámetro del tanque
- ρ = densidad patrón
- T_c = temperatura ambiente

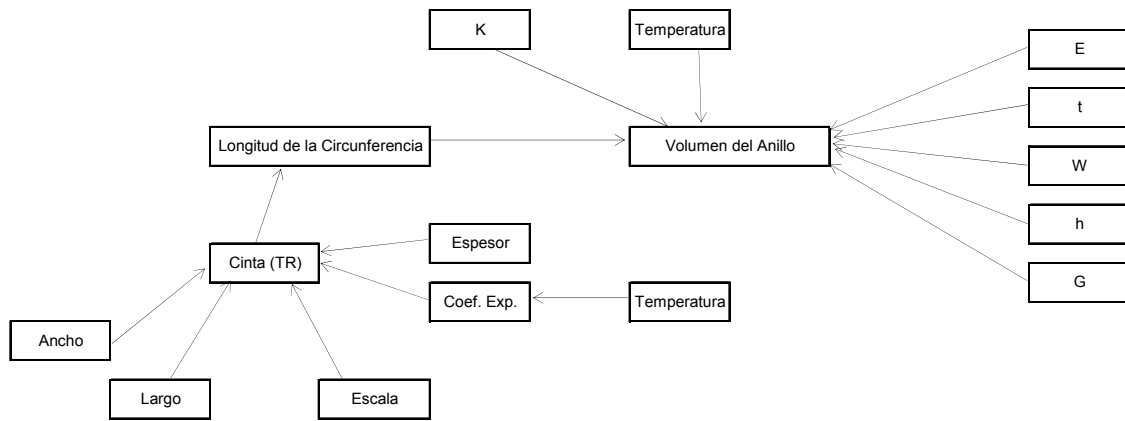


Fig. 4 Fuentes de incertidumbre

3. RESULTADOS

En la actualidad la tecnología abrevia los caminos, así, las lecturas tomadas son ingresados a una base de datos, la cual se encarga de hacer las correcciones pertinentes y da como resultado una tabla con las diferentes cantidades de volumen que corresponde a una altura determinada de la columna de líquido, que es nuestro objetivo.

Una de las maneras en las que se valida un método es a través de la comparación. A continuación se presenta un caso típico en el que se muestra el comportamiento del método descrito en el presente trabajo y el conocido como medida líquida.

En la Figura 4 se presenta un ejemplo de la comparación de los métodos óptico-húmedo, donde se muestra la confiabilidad de la calibración volumétrica por el método de referencia óptica. El gráfico muestra los incrementos de volumen por cada centímetro contra diferentes niveles de líquido de tanque. La diferencia entre ambos métodos es menor al 0,3 % en volumen

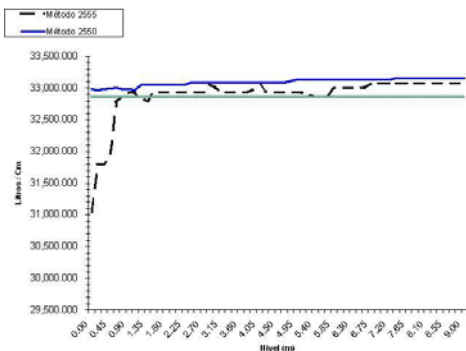


Fig. 4 Gráfico comparativo de los métodos

4. CONCLUSIONES.

El método de calibración por referencia óptica es altamente confiable principalmente para tanques de grandes volúmenes. Sus principales ventajas son:

- Aplicable para tanques de grandes volúmenes en donde la aplicación de otros métodos resulta impráctico (técnica y económicamente).
- Calibración volumétrica del tanque con nivel de líquido del tanque.
- Determinación de la zona de máxima estabilidad cilíndrica del tanque, inclusive siendo esta aplicable como unidad volumétrica de referencia.
- Detección de la inclinación con facilidad
- Versatilidad en el cambio de tablas de calibración con diferentes productos a partir de la densidad de este.

4. REFERENCIAS

[1] ISO 7507-2, 1993
 [2] ISO 4269, 2001
 [3] CENAM, Guía para estimar la incertidumbre de la Medición, México 2000
 [4] MPMS, Cap. 2.2B; ASTM D 4738, Optical Reference Line Method; 2002