

# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería de Petróleo, Gas Natural y Petroquímica



**“OPTIMIZACION DE LA METODOLOGIA PARA LA  
CALIBRACION DE TANQUES CILINDRICOS  
VERTICALES ATMOSFERICOS PARA EL  
ALMACENAMIENTO DE HIDROCARBUROS  
LIQUIDOS”**

**TESIS**

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO PETROQUIMICO**

**ELABORADO POR:**

**GUILLERMO ROLANDO LA ROSA ROMERO**

**PROMOCION 2006-2**

**LIMA – PERU**

**2011**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios, a mi madre, a mi hermano y amigos por todo el apoyo incondicional y el conocimiento necesario para la culminación de este proyecto.

De igual forma, agradezco a los profesores de mi alma mater por formarme humana y profesionalmente.

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a mis padres Rolando y Judith, a mi enamorada Yanina y a mis primos Antonio y Juan Manuel, quienes en todo momento me dieron su confianza y apoyo, valores que me impulsaron para finalizar una etapa más de mi carrera profesional.

## SUMARIO

El presente trabajo tiene como objetivo principal garantizar la confiabilidad en los cálculos reportados a través del método de la norma API MPMS capítulo 2, sección 2D para la elaboración de las Tablas de Capacidad de Tanques Cilíndricos Verticales que almacenan Hidrocarburos Líquidos. Esto, sumado a la mayor rapidez con la que se realiza la calibración de los tanques optimiza tanto el trabajo en campo así como en la entrega de los reportes que son las tablas de capacidad de los tanques.

La redacción del trabajo consta de catorce capítulos distribuidos en: soportes normativos (marco legal internacional y nacional), métodos, procedimientos, cálculos, resultados, conclusiones y recomendaciones.

En el capítulo uno se hace una breve introducción del trabajo, en el que se hace referencia a la importancia que tiene la medición de volumen en el comercio mundial de químicos, productos del petróleo y gases licuados.

Los capítulos segundo y tercero enfocan los estándares internacionales y nacionales respectivamente, como soportes normativos para la calibración de tanques cilíndricos verticales que almacenan hidrocarburos líquidos.

El capítulo cuarto define la clasificación de tanques de almacenamiento de hidrocarburos en base a la normativa nacional Decreto Supremo 052-93-EM del Reglamento de Seguridad para el Almacenamiento de Hidrocarburos.

En el quinto capítulo se detallan los métodos de calibración de los tanques, según la forma, tamaño, ubicación, condiciones de uso, etc.

El capítulo sexto detalla el procedimiento de calibración, así como también el procedimiento de cálculo mediante la norma API MPMS 2.2A "Medida y Calibración de Tanques Cilíndricos Verticales por el Método Manual del Strapping".

El capítulo séptimo detalla el procedimiento de calibración y cálculo mediante la norma API MPMS 2.2B “Medida y Calibración de Tanques Cilíndricos Verticales por el Método de la Línea Óptica de Referencia”.

El capítulo octavo detalla el procedimiento de calibración y cálculo mediante la norma API MPMS 2.2D “Medida y Calibración de Tanques Cilíndricos Verticales por el Método Electro – Óptico Interno de Determinación de Distancia”.

Para el capítulo noveno se introduce el proceso de cálculo en detalle, desarrollando las tablas de capacidad para los métodos API MPMS 2.2B (en conjunción con el API MPMS 2.2A) y API MPMS 2.2D.

En el capítulo décimo se realiza la comparación de resultados entre los métodos señalados anteriormente, mostrando los resultados junto con gráficos que permitirán un mejor entendimiento de los resultados.

Los capítulos décimo primero y décimo segundo hacen mención a las conclusiones del trabajo, así como también las recomendaciones necesarias para hacer más eficiente los trabajos de calibraciones de tanques.

En el capítulo décimo tercero se cita el material bibliográfico que sirvió como soporte para el desarrollo del trabajo.

Finalmente en el capítulo décimo cuarto se anexa el procedimiento a seguir para el cálculo de la incertidumbre en la calibración de tanques cilíndricos verticales, así como las directrices para la re calibración de los tanques.

**INDICE**

<b>AGRADECIMIENTO</b>	i
<b>DEDICATORIA</b>	ii
<b>SUMARIO</b>	iii
<b>INDICE</b>	v
<b>CAPITULO I.- INTRODUCCIÓN</b>	1
ANTECEDENTES	1
<b>OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION</b>	2
OBJETIVO GENERAL	2
OBJETIVOS ESPECIFICOS	2
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
HIPOTESIS	4
<b>CAPITULO II.- NORMATIVA INTERNACIONAL</b>	5
<b>2.1 ESTANDARES INTERNACIONALES DE CUANTIFICACION DE HIDROCARBUROS LIQUIDOS</b>	5
<b>CAPITULO III.- NORMATIVA NACIONAL</b>	6
<b>3.1 MARCO LEGAL NACIONAL</b>	6
<b>CAPITULO IV.- CLASIFICACION DE TANQUES PARA ALMACENAMIENTO DE HIDROCARBUROS LIQUIDOS</b>	7
<b>4.1 ALMACENAMIENTO DE HIDROCARBUROS LIQUIDOS</b>	7
<b>4.2. TIPOS DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO PARA HIDROCARBUROS</b>	7

4.2.1 TANQUES HORIZONTALES	8
4.2.2 TANQUES ATMOSFERICOS (CILINDRICOS VERTICALES)	9
4.2.3 TANQUES DE TECHO FIJO	10
4.2.4 TANQUES DE TECHO FLOTANTE	11
4.2.5 OTROS TIPOS DE TANQUES	12
<b>CAPITULO V.- METODOS DE CALIBRACION DE TANQUES VERTICALES PARA ALMACENAMIENTO DE HIDROCARBUROS LIQUIDOS</b>	15
5.1 METODO GEOMETRICO	15
5.2 METODO VOLUMETRICO	16
5.3 METODO GRAVIMETRICO	18
5.4 ESPECIFICACIONES PARA TANQUES ESPECIALES	18
5.4.1 TANQUES ESFERICOS	18
5.4.2 TANQUES ESFEROIDALES	19
5.5 RESUMEN DE LOS METODOS DE CALIBRACION SEGUN EL TIPO DE TANQUE	21
5.6 DEFINICION DE TERMINOS BASICOS	21
<b>CAPITULO VI.- PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN Y CALCULOS MEDIANTE EL MPMS 2.2.A.</b>	24
6.1 NORMA API MPMS CAPITULO 2.2.A “MEDIDA Y CALIBRACION DE TANQUES CILINDRICOS VERTICALES POR EL METODO MANUAL DEL STRAPPING”	24
6.1.1 SEGURIDAD	24
6.1.2 EQUIPOS	25

6.1.3 CINTAS PARA MEDICION DE LA CIRCUNFERENCIA	26
6.1.4 EQUIPOS Y ACCESORIOS	27
6.1.5 ESTADO DEL TANQUE ANTES DE LA CALIBRACION	29
6.1.6 TOLERANCIAS	33
6.1.7 ESPESOR DE PLANCHA DE LA CARCASA	33
6.1.8 MEDICIONES VERTICALES EN EL TANQUE	34
<b>6.2 MEDICIONES DE LA CIRCUNFERENCIA</b>	<b>44</b>
6.2.1 PREPARACION	44
6.2.2 MEDICIONES FISICAS	46
6.2.3 MEDICION DE LOS DESCUENTOS	47
6.2.4 FONDO DE TANQUES	48
6.2.5 TANQUES CON AISLAMIENTO	50
<b>6.3 DESARROLLO DE TABLAS DE CAPACIDAD DE TANQUES:</b>	
PROCEDIMIENTO DE CALCULO	53
6.3.1 REQUISITOS PARA TABLAS DE CAPACIDAD	54
6.3.2 CALIBRACION DE CINTAS MAESTRAS A 60 °F	55
6.3.3 CONVERSION DE CIRCUNFERENCIAS EXTERIORES A INTERIORES	56
6.3.4 DEDUCCION DE LA CIRCUNFERENCIA POR ELEVACIONES DE LA CINTA	56
6.3.5 EXPANSION Y CONTRACCION DE LA PARED DEL TANQUE DE ACERO DEBIDO AL NIVEL DEL LIQUIDO	62
6.3.6 EXPANSION Y CONTRACCION DE LA PARED DEL TANQUE DE ACERO DEBIDO A LA TEMPERATURA	65
6.3.7 EFECTO DE LA INCLINACION SOBRE LA PARTE CILINDRICA DEL TANQUE	66

**CAPITULO VII.- PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN Y CÁLCULOS****MEDIANTE EL MPMS 2.2B 68****7.1 NORMA API MPMS CAPITULO 2.2B “MEDIDA Y CALIBRACION**

**DE TANQUES CILINDRICOS VERTICALES POR EL METODO  
DE LA LINEA OPTICA DE REFERENCIA” 68**

**7.1.1 SEGURIDAD 68**

**7.1.2 EQUIPOS 69**

**7.1.3 PROCEDIMIENTO DE CALIBRACION OPTICA 69**

**7.1.3.1 ESTADO DEL TANQUE ANTES DE LA  
CALIBRACION 70**

**7.1.3.2 PREPARACION 70**

**7.1.4 PROCEDIMIENTOS DE CALIBRACION 72**

**7.1.5 PROCEDIMIENTO DE CALCULO 75**

**7.1.6 DESARROLLO DE LAS TABLAS DE CAPACIDAD 75**

**CAPITULO VIII.- PROCEDIMIENTO DE CALIBRACION Y CALCULO****MEDIANTE EL MPMS 2.2.D 82****8.1 NORMA API MPMS CAPITULO 2.2D “MEDIDA Y CALIBRACION**

**DE TANQUES CILINDRICOS VERTICALES POR EL METODO  
ELECTRO – OPTICO INTERNO DE DETERMINACION DE  
DISTANCIA” 82**

**8.1.1 SEGURIDAD 82**

**8.1.2 EQUIPOS 83**

**8.1.2.1 INSTRUMENTO ELECTRO - OPTICO DE  
DETERMINACION DE DISTANCIA 83**

**8.1.2.2 INSTRUMENTO DE MONTAJE 83**

**8.1.2.3 EMISOR DE RAYO LASER 83**

8.1.2.4 EQUIPOS AUXILIARES	84
8.1.3 SELECCION DE PUNTOS OBJETIVOS	84
8.1.4 PROCEDIMIENTO DE CALIBRACION	84
8.1.5 TOLERANCIAS	86
8.1.5.1 PUNTOS OBJETIVO DE REFERENCIA:	
VERIFICACION DE DISTANCIA	86
8.1.5.2 PUNTOS OBJETIVO DE REFERENCIA:	
VERIFICACION DE ANGULOS	
HORIZONTAL Y VERTICAL	86
8.1.6 OTRAS MEDIDAS	86
8.1.7 CALCULO Y DESARROLLO DE LAS TABLAS DE CAPACIDAD	89
<b>CAPITULO IX.- CALCULOS PARA LA ELABORACION DE LA TABLA DE CAPACIDAD</b>	90
<b>9.1 CALCULOS PARA ELABORACION DE LA TABLA DE CAPACIDAD MEDIANTE EL METODO DE LA LINEA OPTICA DE REFERENCIA EN CONJUNCION CON EL METODO DEL STRAPPING</b>	90
<b>9.1.1 CALCULO DE LOS FACTORES DE CORRECCION PARA LA OBTENCION DE LA TABLA DE CAPACIDAD POR EL METODO DE LA LINEA OPTICA DE REFERENCIA</b>	90
<b>1. CALCULO DE LONGITUDES DE CIRCUNFERENCIAS</b>	90
<b>2. CALCULO DE NIVELES CRITICOS Y VOLUMENES DE FONDO</b>	92
<b>3. CORRECCION DE LOS DIAMETROS INTERNOS DEL TANQUE</b>	102
<b>4. DESCUENTOS E INCREMENTOS</b>	109
4.1 DESCUENTOS	109
4.2 INCREMENTOS	109

<b>9.2 CÁLCULOS PARA LA ELABORACIÓN DE LA TABLA DE CAPACIDAD MEDIANTE EL METODO ELECTRO OPTICO INTERNO DE DETERMINACION DE DISTANCIA</b>	112
<b>9.2.1 CALCULO DE LOS FACTORES DE CORRECCION PARA LA OBTENCION DE LA TABLA DE CAPACIDAD POR EL METODO DE CALIBRACION ELECTRO-OPTICO DE DETERMINACION DE DISTANCIA</b>	112
<b>1. CALCULO DE LOS DIAMETROS Y LONGITUDES DE CIRCUNFERENCIAS</b>	112
<b>2. CALCULO DE NIVELES CRITICOS Y VOLUMENES DE FONDO</b>	117
<b>3. CORRECCION DE LOS DIAMETROS INTERNOS DEL TANQUE</b>	128
<b>4. DESCUENTOS E INCREMENTOS</b>	135
4.1 DESCUENTOS	135
4.2 INCREMENTOS	135
<b>CAPITULO X.- COMPARACION DE RESULTADOS ENTRE EL METODO DE LA LINEA OPTICA DE REFERENCIA EN CONJUNCION CON EL METODO DEL STRAPPING Y EL METODO ELECTRO OPTICO INTERNO DE DETERMINACION DE DISTANCIA</b>	138
<b>10.1 OBJETIVOS Y APLICACION DE LA INCERTIDUMBRE</b>	138
<b>10.2 VALOR DE LA INCERTIDUMBRE DEL TANQUE 8D-1 CALIBRADO POR EL METODO DE LA LINEA OPTICA DE REFERENCIA EN CONJUNCION CON EL METODO DEL STRAPPING</b>	139
<b>10.3 VALOR DE LA INCERTIDUMBRE DEL TANQUE 32-T3 CALIBRADO POR EL METODO ELECTRO OPTICO INTERNO DE DETERMINACION DE DISTANCIA</b>	140

<b>CAPITULO XI.- CONCLUSIONES</b>	143
<b>CAPITULO XII.- RECOMENDACIONES</b>	146
<b>CAPITULO XIII.- BIBLIOGRAFIA</b>	148
<b>CAPITULO XIV.- ANEXOS</b>	149
<b>14.1 INCERTIDUMBRE DEL VOLUMEN EN LA CALIBRACION DE TANQUES CILINDRICOS VERTICALES</b>	149
14.1.1 INCERTIDUMBRE EN LA CALIBRACION DE TANQUES CILINDRICOS VERTICALES AL UTILIZAR EL METODO DE LA LINEA OPTICA DE REFERENCIA	149
14.1.2 SIMBOLOS	149
14.1.3 INCERTIDUMBRE DE CALIBRACION DE TANQUES CILINDRICOS VERTICALES AL UTILIZAR EL METODO ELECTRO OPTICO INTERNO DE DETERMINACION DE DISTANCIA	164
<b>14.2 CONSIDERACIONES PARA LA RECALIBRACION DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE HIDROCARBUROS LIQUIDOS</b>	173

# **CAPITULO I**

## **INTRODUCCION**

### **ANTECEDENTES**

La medición de volumen constituye la base crítica de unas buenas relaciones contractuales y reducción de pérdidas en el comercio mundial de químicos, productos del petróleo y gases licuados. La calibración es la técnica de la exacta determinación del volumen real de un sistema de almacenaje, correspondiente a ciertos valores de medición. Por lo tanto, la utilidad del mejor sistema de medición o la medición manual más precisa se invalida si los volúmenes equivalentes son extraídos de tablas de capacidades dudosas ó inexactas.

Las compañías líderes en calibraciones de tanques verticales de tierra están a la vanguardia de todo nuevo desarrollo tecnológico, adoptando técnicas tales como la Tecnología Láser a Distancia y Calibración Óptica, así como formas más tradicionales de calibración física. La Tecnología Láser a Distancia permite la calibración sin instalación de andamios, evitando por lo tanto cortes e interrupciones adicionales. Las tablas de capacidad, certificados de precisión y software de estas compañías garantizan determinaciones de volumen fiables y máxima confianza de las partes afectadas.

## **OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION**

### **OBJETIVO GENERAL**

El objetivo de este trabajo es brindar una síntesis de los principales métodos para el cálculo de las Tablas de Capacidad de los tanques destinados al almacenaje y trasiego de combustibles para luego realizar la comparación de resultados entre el Método de la Línea Óptica de Referencia en conjunción con el Método del Strapping y el Método Electro Óptico Interno de Determinación de Distancias, y dar a conocer la mayor precisión y velocidad en las mediciones al utilizar este último, haciendo énfasis en la importancia que tienen las mediciones que se realizan para conformar dicha tabla.

### **OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- La investigación estará enfocada exclusivamente a tanques cilíndricos verticales de techo fijo.
- Se establecerá también los criterios de verificación y calibración de tanques de almacenamiento de hidrocarburos líquidos, para el aseguramiento metrológico en transferencia de custodia y control de inventarios con el fin de garantizar la confiabilidad de la información volumétrica.

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

La necesidad de utilizar alta tecnología para la calibración de tanques es esencial ya que pequeños errores significativos en la confección de las Tablas de Capacidad, podrían introducir un error sistemático y repetitivo en el cálculo de volúmenes almacenados y/o transferidos, el cual podría causar serios problemas al usuario del tanque ó cliente.

Un método alternativo al Método de la Línea Óptica de Referencia y al Método del Strapping es el Método Electro Óptico Interno de Determinación de Distancia (norma API MPMS 2.2D), el cual hace referencia al uso de un Distanciómetro Laser como instrumento de medición para el cálculo del volumen del tanque.

## **HIPOTESIS**

El uso de la norma API MPMS 2.2D permitirá optimizar la velocidad en la calibración de los tanques, una mayor precisión en los cálculos obtenidos en el desarrollo de las tablas de capacidad , la posibilidad de reconstruir planos de las medidas internas y/o externas reales del tanque así como, la posibilidad de determinar volúmenes de geometrías complejas.

## **CAPITULO II**

### **NORMATIVA INTERNACIONAL**

#### **2.1 ESTANDARES INTERNACIONALES DE CUANTIFICACIÓN DE HIDROCARBUROS LIQUIDOS**

En los Estados Unidos de Norte América y en muchos otros países del mundo, incluyendo el nuestro, la Calibración de Tanques de Almacenamiento de Hidrocarburos, se basa en la publicación que realiza el “Instituto Americano de Petróleo”, al que esta institución designa como “MPMS API 2.2A” para el Método del Strapping, el “MPMS API 2.2B” para el Método de la Línea Óptica de Referencia y el “MPMS API 2.2D” para el Método Electro Óptico Interno de Determinación de Distancia, además del “MPMS API Capitulo 12” para el Cálculo de Cantidades de Petróleo, entre otros.

En los capítulos posteriores se detallará los procedimientos de cada una de las normas mencionadas, empleadas para la Calibración de Tanques Cilíndricos Verticales.

## **CAPITULO III**

### **NORMATIVA NACIONAL**

#### **3.1 MARCO LEGAL NACIONAL**

El Reglamento para la Comercialización de Combustibles Líquidos y Otros Productos Derivados de los Hidrocarburos (Decreto Supremo N° 030-98-EM), en su artículo 19 hace referencia a las Tablas de Cubicación de los Tanques debidamente aprobadas por Osinergmin, como requisito para la Autorización de Uso y Funcionamiento de los Tanques. La DGH (Dirección General de Hidrocarburos para Lima y Callao) o la DEM (Dirección de Energía y Minas) del departamento correspondiente (resto del país), luego de efectuada la evaluación correspondiente y en caso de no existir observaciones, emitirá la Resolución Directoral de Autorización de Uso y Funcionamiento, en un plazo no mayor de diez (10) días útiles, contado a partir de la fecha de recepción de la solicitud. De existir observación, dicha Resolución Directoral se expedirá dentro de los cinco (5) días útiles siguientes de recibida la subsanación, siempre y cuando ésta lo amerite.

Adicional a ello, El Reglamento de Seguridad para el Almacenamiento de Hidrocarburos (Decreto Supremo N° 052-93-EM), en su artículo 8 hace referencia al punto de inflamación de los combustibles y en base a ello realizar un almacenamiento seguro de los mismos; el artículo 16 del mismo reglamento hace referencia a los sistemas de almacenamiento “convencionales” y “no convencionales” a manera de clasificación de los tanques que almacenan hidrocarburos líquidos.

## **CAPITULO IV**

### **CLASIFICACION DE TANQUES PARA ALMACENAMIENTO DE HIDROCARBUROS LIQUIDOS**

#### **4.1 Almacenamiento de Hidrocarburos Líquidos.**

El almacenamiento constituye un elemento de sumo valor en la explotación de los servicios de hidrocarburos ya que:

- Actúa como un pulmón/resorte entre producción y transporte para absorber las variaciones del consumo.
- Permite la sedimentación de agua y barros del crudo antes de despacharlo por el oleoducto ó a destilación.
- Brindan flexibilidad operativa a las refinerías.
- Actúan como punto de referencia en la medición de despachos de producto.

#### **4.2 Tipos de Tanques de Almacenamiento para Hidrocarburos.**

Los tanques de almacenamiento se usan como depósitos para contener una reserva suficiente de algún producto para uso posterior y/o comercialización. Como se mencionó en el capítulo anterior, el Reglamento de Seguridad para el Almacenamiento de Hidrocarburos D.S. 052-93-EM en su artículo 16 clasifica los tipos de almacenamiento en “sistemas convencionales” y sistemas no convencionales”.

Dentro de los sistemas convencionales tenemos los tanques superficiales y los tanques enterrados. Los tanques superficiales son aquellos cuyas paredes laterales y techo están en contacto directo con la atmósfera.

El almacenamiento no convencional requiere consideraciones especiales en su proyecto, construcción y mantenimiento; pudiendo ser: almacenamiento en pozas abiertas, almacenamiento flotante, almacenamiento en cavernas, almacenamiento en tanques de concreto pretensado y almacenamiento en plataformas marinas.

#### **4.2.1 Tanques Horizontales.**

Los tanques cilíndricos horizontales, generalmente son de volúmenes relativamente bajos, debido a que presentan problemas por fallas de corte y flexión.

**Figura 4 - 1 Tanques Horizontales ubicados en la Estación 9 del ONP – Petroperú, localidad de Bagua**



#### 4.2.2 Tanques Atmosféricos (Cilíndricos Verticales).

Los tanques atmosféricos serán usados para líquidos que tienen hasta una máxima presión de vapor de  $0.914 \text{ Kg/cm}^2 \text{ abs}$  (13 psia) a nivel del mar. Por cada 300 metros de elevación la máxima presión de vapor deberá ser reducida en  $0.035 \text{ Kg/cm}^2 \text{ abs}$  (0.5 psia).

Los principales tipos de tanques atmosféricos son de techo flotante y de techo fijo.

La selección entre ellos depende de:

- Punto de inflamación; la menor temperatura a la que un hidrocarburo líquido con suficiente vapor puede inflamarse en la presencia de una fuente de ignición.
- Presión de vapor; la presión expresada en términos absolutos ejercida por un líquido a determinada temperatura, cuando el líquido esté en equilibrio con su vapor.

##### Notas:

1. Presión de Vapor Reid (Reid vapor pressure); Es la medida de la presión de vapor de las gasolinas en presencia de aire a una temperatura de  $37.8 \text{ °C}$  ( $100 \text{ °F}$ ).
2. Los hidrocarburos líquidos con punto de inflamación menor de  $37.8 \text{ °C}$  ( $100 \text{ °F}$ ), y una presión de vapor que no exceda los  $2.812 \text{ Kg/cm}^2$  (40 psia) a  $37.8 \text{ °C}$  ( $100 \text{ °F}$ ) se denominarán como Clase I, y se subdividen en:

Clase IA, cuando su punto de inflamación es menor de  $22.8 \text{ °C}$  ( $73 \text{ °F}$ ) y su punto de ebullición es menor de  $37.8 \text{ °C}$  ( $100 \text{ °F}$ ).

Clase IB, cuando su punto de inflamación es menor de  $22.8 \text{ °C}$  ( $73 \text{ °F}$ ) y tienen punto de ebullición igual o mayor de  $37.8 \text{ °C}$  ( $100 \text{ °F}$ ).

Clase IC, incluye a aquellos líquidos con punto de inflamación mayor a 22.8 °C (73 °F) pero menor de 37.8 °C (100 °F).

3. Los hidrocarburos líquidos que tienen punto de inflamación superior a los 37.8 °C (100 °F), se subdividen en:

Clase II, cuando tienen puntos de inflamación igual o mayor a 37.8 °C (100 °F), pero menor de 60 °C (140 °F).

Clase IIIA, cuando tienen punto de inflamación igual o mayor a 60 °C (140 °F), pero menor de 93 °C (200 °F).

Clase IIIB, se incluyen a aquellos líquidos que tienen punto de inflamación igual o mayor a 93 °C (200 °F).

#### 4.2.3 Tanque de Techo Fijo

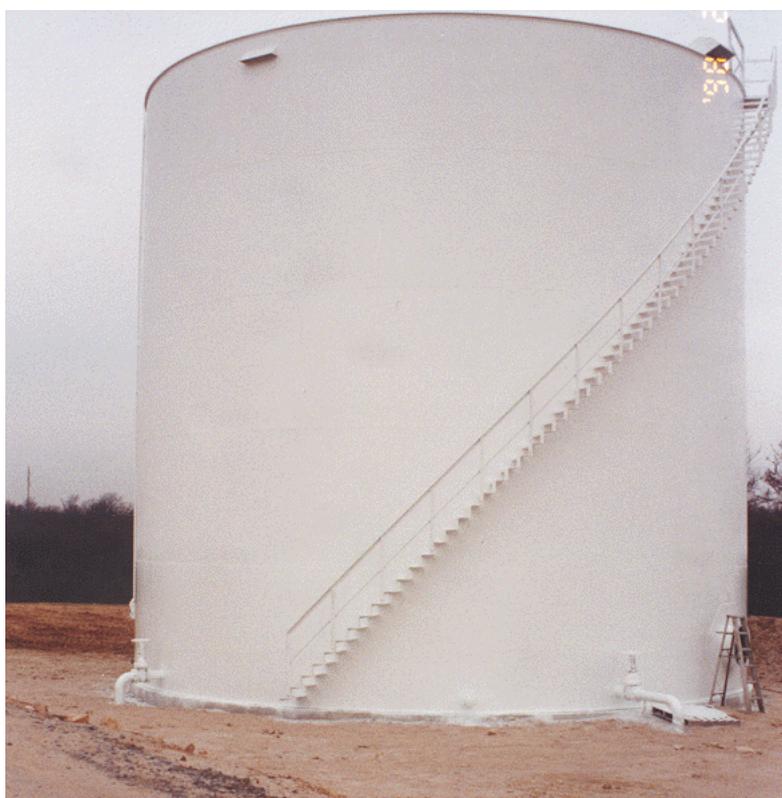
Los tanques atmosféricos de techo fijo, pueden tener techo: **autosoportado**, cuando las planchas del mismo techo, están diseñadas para resistir su propio peso y sobrecarga del techo ó **por columnas**, cuando se tiene una estructura metálica de vigas y columnas que transmiten su carga al cilindro y al suelo. Para diámetros mayores resulta más económico, los techos soportados.

La presencia de columnas de los techos soportados, son obstáculos en la utilización del área interior y representan un elemento más que preservar de los efectos de la corrosión.

La superficie del techo puede tener forma de domo o cono. La **forma cónica** es más fácil de construir. En cambio, el **domo ó casquete esférico**, es estructuralmente superior y será, por consiguiente, de espesores menores.

El tanque opera con un espacio para los vapores, el cual cambia cuando varía el nivel de los líquidos. Ventilaciones en el techo permiten la emisión de vapores y que el interior se mantenga aproximadamente a la presión atmosférica pero produciéndose pérdidas de respiración. Los tanques de techo fijo son usados para almacenar líquidos en los cuales los tanques de techo flotante no son exigidos.

**Figura 4 - 2 Tanque cilíndrico vertical con Techo Fijo**



#### **4.2.4 Tanques de Techo Flotante**

Los tanques atmosféricos de techo flotante, son aquellos en los que el techo flota sobre la superficie del líquido, eliminándose el espacio para los vapores. Los principales tipos de techo flotante son: Techos de cubierta simple con pontones, techos de cubierta doble con pontones, y techos

flotantes internos que a su vez puede diferenciarse en techos flotantes internos rígidos y en sábanas flotantes. Los tanques atmosféricos de techo flotante serán utilizados en:

- Almacenamiento de líquidos con Presión de Vapor Reid mayor a 0.281 Kg/cm<sup>2</sup> abs (4 psia).
- Cuando el líquido es almacenado a temperaturas cercanas en 8.3 °C (15 °F) a su punto de inflamación o a temperaturas mayores.
- En tanques cuyo diámetro excede los 45.0 metros y sean destinados a almacenar líquidos de bajo punto de inflamación.
- Almacenamiento de líquidos con alta presión de vapor que son sensitivos a degradación por oxígeno.

#### **4.2.5 Otros Tipos de Tanques.**

Los artículos 19 al 21 del Reglamento de Seguridad para el Almacenamiento de Hidrocarburos D.S. 052-93-EM hacen referencia a:

- Tanques a presión, los cuales son utilizados para líquidos con presión de vapor mayor o igual a 0.914 Kg/cm<sup>2</sup> abs (13 psia) a nivel del mar, los principales tipos de tanques a presión son recipientes cilíndricos y esferas.

a) Los recipientes cilíndricos son de acero, se usan para almacenar cualquier gas licuado a su temperatura crítica y presión requerida. Su montaje en posición horizontal se hace sobre dos o más apoyos y si es en posición vertical se hace sobre un fuste. Se consideran económicos almacenamientos con dimensiones de hasta 4.50 metros de diámetro y capacidades de agua de hasta 800 metros cúbicos.

b) Las esferas son otra forma de almacenar líquidos similares. Consisten de un recipiente esférico formado por gruesas paredes de acero, con seis o más soportes ó columnas. Se consideran económicas las esferas con capacidad de agua a partir de los 800 metros cúbicos.

-Los Tanques de Almacenamiento refrigerados son utilizados para almacenar gases licuados, en rangos del metano al butano, que tienen un punto de ebullición entre -167,7°C a -1,1°C (-270°F a + 30°F). Los principales tipos de Tanques refrigerados consisten en recipientes a presión, esferas a presión y Tanques cilíndricos verticales.

a) Los recipientes a presión refrigerados se utilizan para el almacenamiento de gases a alta presión como GLN u otros gases criogénicos para los que el almacenamiento a presión a temperatura ambiente no es factible. Límites prácticos de estos recipientes son de 4.5 metros de diámetro.

b) Las esferas a presión refrigeradas se utilizan para almacenar volúmenes intermedios de líquidos.

c) Tanque cilíndrico vertical refrigerado es la forma más común de almacenar grandes volúmenes de líquidos refrigerados. Puede ser de paredes simples o dobles. El de pared simple es similar a los Tanques atmosféricos, excepto que dispone un fondo plano; la cara exterior del cilindro tiene un aislamiento térmico y el techo puede ser en forma de domo o de sombrilla, para operar con presiones ligeramente mayores a la atmosférica de 0.035 a 0.105 Kg/ cm<sup>2</sup> (0.5 a 1.5 psig). Los tanques de pared doble se asemejan a los Tanques atmosféricos, excepto que el cilindro está compuesto por dos paredes concéntricas con un material aislante que ocupa el espacio anular, el que se encuentra a una ligera presión positiva mediante el uso de un gas inerte o con los vapores del hidrocarburo que se está

almacenando, siempre y cuando un adecuado procedimiento de purga garantice que no se formarán mezclas explosivas.

d) Tanques térmicos son instalaciones para mantener una adecuada temperatura que permita el flujo de líquidos de alta viscosidad. Se recomienda que los líquidos sean mantenidos a una temperatura mayor a  $8.3\text{ }^{\circ}\text{C}$  a la de su punto de escurrimiento o que la viscosidad cinemática sea mayor a 300 cSt.

-Los tanques enterrados se utilizarán cuando los requerimientos de almacenamiento por producto son relativamente pequeños. En caso que estos volúmenes excedan aproximadamente los  $57\text{ m}^3$  (1,500 galones) por productos, el almacenamiento en tanques superficiales es el más adecuado.

## **CAPITULO V**

### **MÉTODOS DE CALIBRACIÓN DE TANQUES CILÍNDRICOS VERTICALES PARA ALMACENAMIENTO DE HIDROCARBUROS LIQUIDOS**

La calibración de un tanque puede realizarse por uno de los siguientes métodos:

- a. Método geométrico.
- b. Método volumétrico.
- c. Método gravimétrico.

La selección del método está relacionada con la capacidad nominal del tanque, su forma, su ubicación, las condiciones de uso, etc.

#### **5.1 Método Geométrico.**

Los métodos geométricos consisten en una medición directa ó indirecta de las dimensiones exteriores ó interiores del tanque, de las obras muertas positivas y negativas y del techo flotante, si son acoplados.

Para la calibración geométrica se emplean los siguientes métodos:

- Método del strapping (ó del encintado) para tanques cilíndricos verticales.
- Método de la línea de óptica de referencia.
- Método de triangulación óptica, para tanques cilíndricos verticales.
- Método electro – óptico de determinación de distancia mediante mediciones internas.
- Método electro – óptico de determinación de distancia mediante mediciones externas.

Notas:

El procedimiento de medición interna por medio de una cinta con un dispositivo para tensar, generalmente no se admite para la calibración de tanques que contienen líquidos involucrados en el comercio internacional, excepto cuando otro mejor no pueda ser aplicado (por ejemplo, en el caso de tanques aislados térmicamente).

En cada uno de estos métodos es necesaria una corrección por temperatura, debido a que en el momento de la calibración del tanque es común que exista producto en su interior, por lo que se ve afectada su estructura debido a la deformación que este provoca en la carcasa.

Los métodos geométricos pueden ser usados en tanques con una capacidad nominal de alrededor de 50 m<sup>3</sup> y más, que posean forma geométrica regular y que no presenten deformaciones.

## **5.2 Método Volumétrico.**

En general se usa para cualquier tipo de tanque aunque se recomienda según la norma API 2555 para capacidades entre 8 y 80 m<sup>3</sup> (como restricción volumétrica).

Las mediciones se realizan con ayuda de una instalación patrón que cuenta con un caudalímetro que garantice la exactitud requerida y una cinta metálica patrón con plomada, ambos calibradas y certificadas por el organismo metrológico estatal, preferentemente acreditado.

La calibración puede realizarse con combustible o agua, prefiriéndose este último como líquido de trabajo debido a que garantiza mayor seguridad (líquido poco volátil y no inflamable).

El método volumétrico es generalmente usado para la calibración de tanques de las siguientes categorías:

- Tanques soterrados, de cualquier tipo.
- Tanques a nivel del suelo ó elevados sobre el suelo.
- Tanques, de forma no adecuada para la utilización de un método geométrico.

La Tabla de Capacidad resultante puede emplearse, como en los otros métodos, como referencia para la instalación de equipos de sondeo apropiados para la determinación de la capacidad del tanque de manera automatizada.

La calibración volumétrica puede hacerse mediante dos procedimientos:

- Por llenado.
- Por vaciado.

El primero es aconsejable para tanques soterrados debido a su posición con respecto al suelo, la cual sería poco práctica en el procedimiento de vaciado. En ambos casos se utiliza un caudalímetro o tanque patrón, ya sea este último portátil ó estacionario.

Consiste en llenar (ó vaciar) por etapas el tanque a calibrar y empleando una cinta con plomada se van midiendo los niveles de llenado, conformándose una tabla de volumen contra nivel (Tabla de Capacidad del Tanque). Estas etapas estarán en correspondencia con la capacidad y forma del tanque.

El diámetro del tanque patrón de prueba deberá ser menor que el del tanque a calibrar con el objetivo de obtener una buena precisión en las mediciones. En el caso específico de tanques de prueba estacionarios estos deberán ser calibrados mediante mediciones críticas (mediciones que se realizan con instrumentos patrones para garantizar la mejor precisión posible) ó a través de un caudalímetro máster.

En muchas ocasiones es necesario calibrar los fondos de los tanques cilíndricos verticales utilizando este método debido a las deformaciones irregulares que suelen sufrir estos debido a la presión del líquido durante el servicio.

### **5.3 Método Gravimétrico.**

Consiste en determinar la masa del tanque a calibrar primeramente lleno de agua y después de vaciado con básculas de elevada precisión. La diferencia entre ambas mediciones permite calcular el volumen del tanque mediante la densidad del producto utilizado en la calibración (agua).

Para confeccionar la Tabla de Capacidad se procede de igual manera que el método volumétrico, o sea, mediante etapas de llenado o de vaciado se obtienen las capacidades parciales a diferentes niveles utilizando la masa como parámetro intermedio.

Se realizan las correcciones correspondientes por efecto de la temperatura sobre la densidad del agua así como las propias debido al proceso de pesada.

### **5.4 Especificaciones para Tanques Especiales.**

#### **5.4.1 Tanques Esféricos.**

##### **Método Geométrico.**

Debido a la propia forma esférica del tanque la medición externa usando el procedimiento descrito en el Método de Encintado se torna extremadamente difícil de ejecutar. Es por ello que se procede a calcular el volumen total de la esfera tomándose fundamentalmente tres medidas. La primera consistirá en medir con una cinta métrica el ecuador de la esfera y las siguientes dos mediciones pasando verticalmente por los polos y formando en este punto un ángulo de  $90^{\circ}$ . El cálculo de volúmenes parciales a diferentes alturas de medición se hará mediante fórmulas

o una tabla de Volumen parcial vs. Nivel de líquido medido en el interior de la esfera.

En este tipo de tanque se establecen dos líneas de capacidad principales. Una de ellas se denomina **línea de capacidad de fondo** situada en el punto inferior interno del tanque que pasaría tangencialmente y otra en el punto superior del interior del tanque denominada **línea tope de capacidad**. En estos tanques no existe agua libre en el fondo.

#### **Método Volumétrico.**

Como primer paso el tanque debe llenarse con agua hasta alcanzar su capacidad total. Posteriormente se irá descargando esta agua en tanques patrones ya calibrados utilizados con este fin y luego efectuar las mediciones de volumen en el mismo por cada pulgada que baje el nivel en el interior del tanque esférico en las zonas que comprenden el 1/4 inferior y el 1/4 superior de su línea central y cada 2 pulgadas (5.08) cm en la zona intermedia quedando establecida de esta forma la Tabla de Capacidad del Tanque.

#### **5.4.2 Tanques Esferoidales.**

##### **Método Volumétrico.**

Son un caso bastante semejante a los esféricos a la hora de construir la tabla de capacidad aplicando el método volumétrico con la diferencia de que estos poseen las líneas de capacidad superior e inferior de manera diferente por lo que las etapas de llenado o vaciado se establecen de la manera siguiente:

Se debe introducir agua hasta alcanzar la línea de capacidad superior e ir descargándola en los tanques patrones, de manera que queden registrados los volúmenes drenados por cada pulgada comprendida entre el 1/4 inferior y el 1/4

superior de la distancia entre las líneas de capacidad superior y de fondo, y cada 2" (5.08 cm.) en el tramo intermedio. Como paso final construir la tabla de capacidad mostrando los volúmenes parciales contra altura de llenado.

### **Método Geométrico**

Debido a que estos tanques en el Perú no existen, si se desea conocer la calibración por este método referirse a la norma API 2552 (Medición y Calibración de Esferas y Esferoides).

### **Caso específico de tanques horizontales para almacenar gas licuado (sistema de circuito cerrado o tanque presurizado).**

La tabla de capacidad en este caso quedará conformada según el método volumétrico pero con la especificidad de trabajar ya no con mediciones de altura basada en unidades de longitud contra volumen parcial, sino con el Tanto por Ciento de las Etapas de Llenado vs. Volumen parcial debido a que el equipo encargado de realizar el inventario de nivel indica la proporción de líquido en el interior del tanque con relación a la altura total del mismo, por lo que al introducir la lectura del equipo en la tabla de capacidad, esta nos dará el volumen correspondiente al tanto por ciento ocupado por el producto en el tanque.

### 5.5 Resumen de los Métodos de Calibración según el Tipo de Tanque.

**Tabla N° 5.1 Método de Calibración más usado según tipo de tanque.**

<b>Tipo de tanque</b>	<b>Método de Calibración</b>
Cilíndricos Verticales	Geométrico*
Cilíndricos Horizontales	Volumétrico
Esferas	Volumétrico**
Esferoides	Volumétrico***
Carros Cisternas	Volumétrico
Ferro Cisternas	Volumétrico

\* También podrá usarse el Método Volumétrico cuando la capacidad del tanque sea pequeña.

\*\* En casos específicos se utilizará el método geométrico.

\*\*\* Si se desea calibrar mediante el método geométrico ver norma API 2552 (Medición y Calibración de Esferas y Esferoides).

### 5.6 Definición de Términos Básicos.

**Tabla de Capacidad:** Una tabla de capacidad muestra las capacidades ó volúmenes en un tanque para varios niveles de líquido, medidos desde el punto de referencia de medición.

**Deadwood:** Se refiere a cualquier objeto dentro del tanque, incluyendo un techo flotante, el cual desplaza líquido y reduce la capacidad del tanque; también cualquier accesorio permanente en el exterior del tanque, como por ejemplo los Manhole, los cuales incrementan la capacidad del tanque.

**Doble Fondo:** Se refiere generalmente a un nuevo fondo instalado en la parte superior del fondo de un tanque, el cual reducirá la altura del anillo inferior y la altura verdadera del interior del tanque.

**Cinta Maestra:** Cinta que es usada para calibrar cintas de trabajo para mediciones de tanques y está identificada con un Reporte de Calibración a 68 °F (20 °C) y a una tensión específica designada por el National Institute of Standards and Technology (NIST) ó una organización estándar internacional equivalente.

**Strapping al Tanque:** Es el término comúnmente aplicado al procedimiento para medición de tanques que proporciona las mediciones necesarias para los cálculos las tablas de capacidad, que reflejarán la cantidad de producto en un tanque para cualquier nivel de profundidad dado.

**Altura de Referencia de Medición:** Es la distancia vertical entre el punto de referencia en la escotilla de medición y el punto de golpe en el piso del tanque ó en el plato de medición.

**Estación Horizontal:** Es una ubicación preestablecida en el plano horizontal a nivel del suelo a lo largo de la circunferencia del tanque.

**Estación Vertical:** Es una ubicación preestablecida en el plano vertical a lo largo de la pared del tanque, correspondiente a una estación horizontal dada.

**Offset:** Es la medida en escala horizontal observada a través de un dispositivo óptico de un carro magnético atravesado en cada estación vertical.

**Offset de Referencia:** Es la medida observada en escala horizontal sobre la plancha inferior, a través de un dispositivo óptico de un carro magnético atravesado en la estación vertical.

**Circunferencia de Referencia:** Es la circunferencia de un tanque medido mediante el Método Manual del Strapping en el anillo inferior.

**Radio de Referencia:** Es el radio de la circunferencia de referencia dividida entre  $2\pi$ , donde  $\pi = 3.141593$ .

**Dispositivo Óptico:** Es una plomada óptica ó un teodolito equipado con nivel de precisión.

**Punto Objetivo de Referencia:** Fijar el punto claramente en la superficie interior de la pared del tanque.

**Distancia Pendiente:** Distancia medida desde el instrumento electro – óptico de alcance de distancia hasta el punto objetivo en algún curso de la pared del tanque.

**Punto Objetivo:** Uno de una serie de puntos sobre la superficie interior de la pared del tanque a cierta distancia de la pendiente, cuyos ángulos horizontal y vertical son medidos usando el instrumento electro – óptico de alcance de distancia.

## **CAPITULO VI**

### **PROCEDIMIENTO DE CALIBRACION Y CALCULOS**

#### **MEDIANTE EL MPMS 2.2.A.**

##### **6.1 Norma API MPMS Capítulo 2.2A “Medida y Calibración de Tanques Cilíndricos Verticales por el Método Manual del Strapping”**

Este estándar describe los procedimientos para calibrar tanques cilíndricos verticales usados principalmente para el almacenamiento de petróleo líquido. La sección 2A primero define los procedimientos para llevar a cabo las mediciones necesarias para determinar los volúmenes totales e incrementales del tanque y luego presenta los procedimientos recomendados para el cálculo de volúmenes.

Tanto las unidades SI (métricas) como las acostumbradas son apropiadamente presentadas en esta norma. Las conversiones SI y las habituales no necesariamente son exactas. Las unidades SI frecuentemente están disponibles en equipos comerciales.

El estándar también provee directrices para la recalibración y cálculos de las tablas de capacidad.

##### **6.1.1 Seguridad**

Antes de ingresar a cualquier tanque, se debe obtener el permiso del Supervisor del Terminal, funcionario autorizado, u otra persona responsable. Esta persona responsable debe suministrar información con respecto a materiales y condiciones particulares, o la Hoja de datos de Seguridad pertinente (MATERIAL SAFETY DATA SHEET → MSDS).

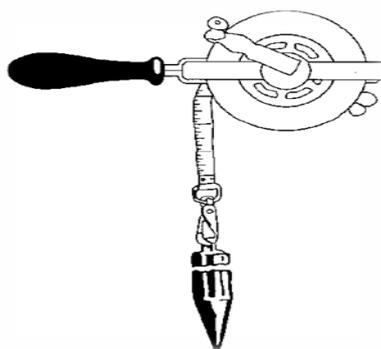
El inspector asignado al trabajo de calibración del tanque debe contar con:

- Zapatos de seguridad, con punta de acero.
- Casco de Seguridad.
- Guantes de cuero.
- Lentes de seguridad.
- Respiradores
- Arnés de seguridad, con línea de vida incluida.

Por otra parte, una persona debe estar vigilando en la entrada del tanque durante el período de trabajo, y sonar la alarma si ocurriera una emergencia. Se debe usar ropa y equipo de protección adecuado. Las precauciones normales de seguridad con respecto a la puesta en escena, así como las escaleras, también deben ser observadas.

### **6.1.2 Equipos**

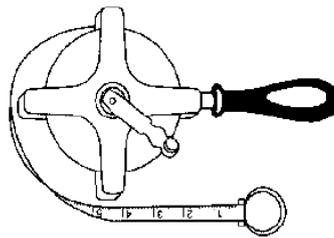
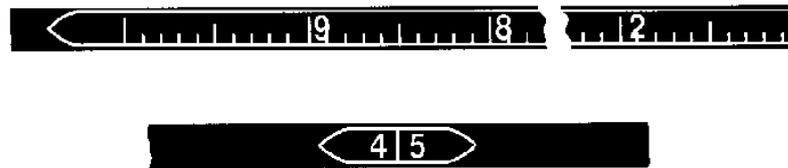
**Para mediciones de altura**, se recomienda una cinta de acero (ver figura 6 - 1), de longitud conveniente  $\frac{3}{8}$  ó  $\frac{1}{2}$  de pulgadas de ancho y 0.008 a 0.012 pulgadas de espesor, graduado en pies, pulgadas y octavos de pulgada, ó en pies, décimas y centésimas de un pie. Las graduaciones deberán ser exactas dentro de  $\frac{1}{16}$  de pulgada ó 0.005 pies (ó cercano al milímetro) a lo largo de toda la porción de cinta que será usada.

**Figura 6 – 1 Cintas de medición de altura**

### 6.1.3 Cintas para medición de la Circunferencia

**Para la medición de la circunferencia**, se recomienda una cinta de acero ligera (ver figura 6 - 2) con una longitud adecuada a la circunferencia del tanque. La cinta de trabajo es usualmente de 100, 200, 300 ó 500 pies de longitud y no debería tener más de  $\frac{1}{4}$  de pulgada de ancho y aproximadamente 0.01 pulgadas de espesor. La cinta puede estar graduada en pies, décimas y centésimas de un pie, con un extra de 1 pie de longitud en el cero final de la cinta. Todas las cintas de trabajo deben estar calibradas con una cinta maestra.

**Figura 6 – 2 Cintas para strapping para la medición de Circunferencias.**



#### **6.1.4 Equipos y Accesorios**

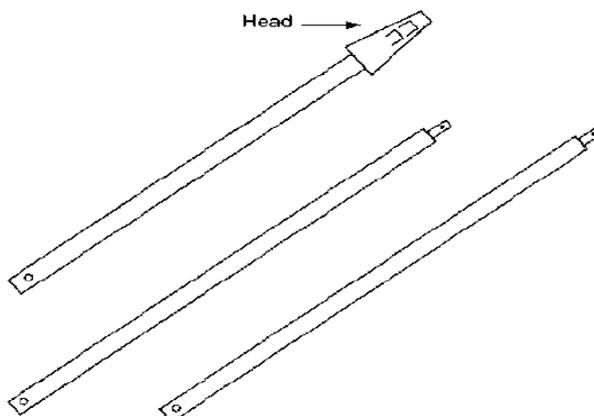
El equipo de medición adicional se lista abajo. Se puede usar equipos similares, siempre que entreguen los mismos resultados:

- a. Carretes y cintas deberán estar equipadas con bobinas y asas apropiadas.
- b. Abrazaderas de cintas; para garantizar el mejor agarre en la cinta, se debe utilizar una abrazadera.
- c. Se necesita un resorte con tensión a escala.
- d. Cuerda y anillo: dos longitudes de cuerda equipados con agarre y anillo se utilizarán para subir y bajar la cinta de medición de la circunferencia. Alternativamente se puede utilizar una barra articulada guía. (ver figura 6-3).
- e. Se necesitan escaleras para facilitar la manipulación de las cintas y la eliminación de la escala, óxido, suciedad, etc., de la ruta de medición.
- f. Se utiliza un dispositivo ultrasónico de medición de espesor.
- g. Se necesita una plomada.

- h. Medidor de espesores: se necesita un medidor de espesores de acero templado, 6 pulgadas de longitud, graduado a 1/64 pulgadas (1 milímetro de resolución y lectura cercana a 0.5 milímetros) para la determinación del espesor de las placas de acero.
- i. Vernier y abrazaderas especiales, para soldaduras verticales, remaches ó traslapes en la toma de medida de las circunferencias, se recomiendan las siguientes:
  - i.1 Pinzas de expansión máxima de 6 pulgadas (ó 15 centímetros) para medir los obstáculos pequeños, tales como bridas verticales, cabezas de pernos, etc.
  - i.2 Pinzas de expansión máxima de 18 pulgadas (45 centímetros) ó 24 pulgadas (61 centímetros) para medir los obstáculos grandes.

Los siguientes equipos pueden ser útiles, una regla de seis pies para mediciones generales, documentos de registro y equipos de limpieza, tales como espátula y un pincel de cerda dura para eliminar la suciedad, grasa, pintura, partículas de óxido, etc., de la ruta de la medición de circunferencia.

**Figura 6 – 3 Guías de Cintas Articulas.**



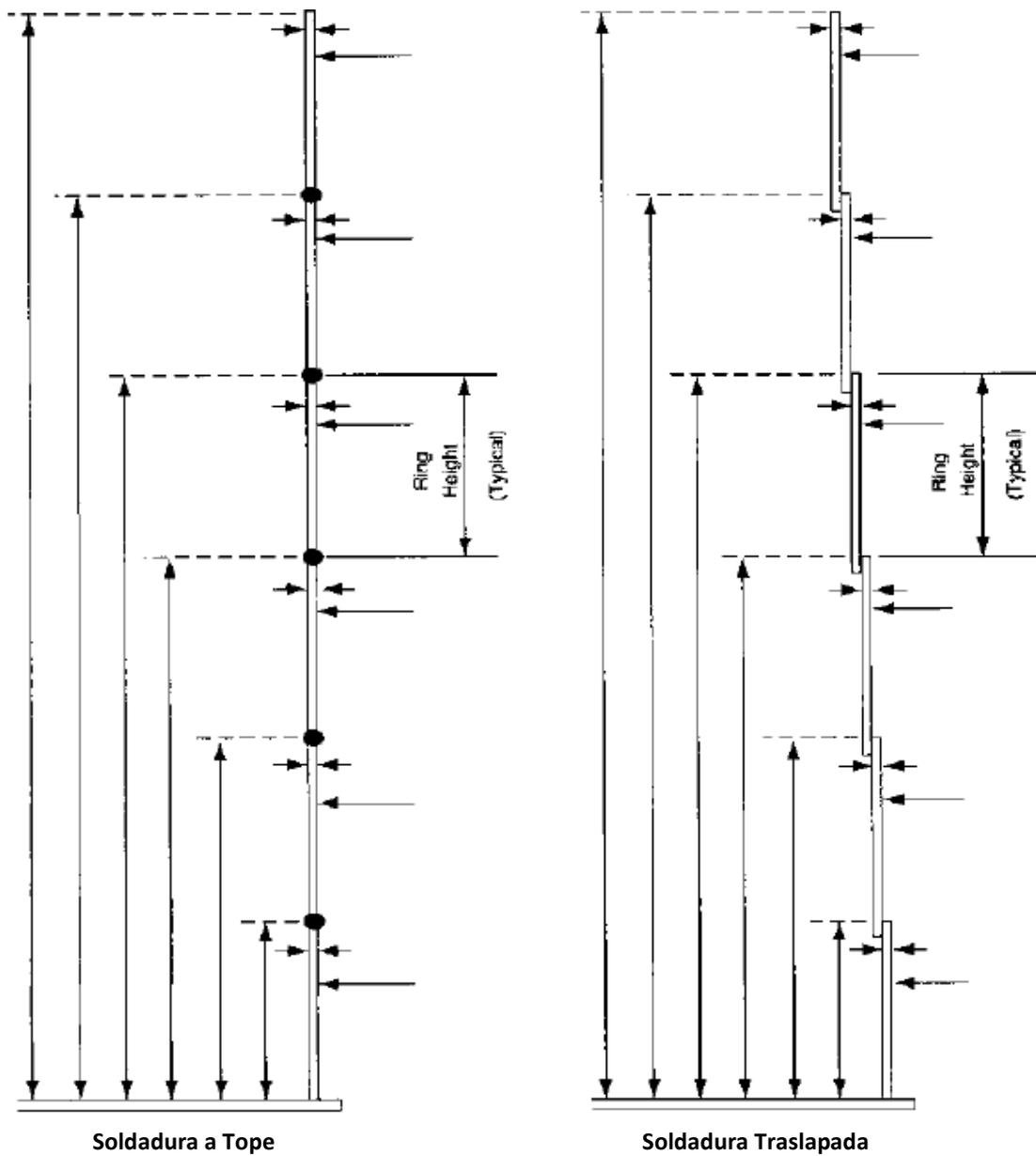
### **6.1.5 Estado del Tanque antes de la Calibración**

Antes de la calibración, el tanque habrá sido llenado al menos una vez en su ubicación actual, con un líquido al menos tan denso como se espera que contenga. La prueba hidrostática (por un período de aproximadamente 24 horas) usualmente cumplirá con este requerimiento. Cualquier prueba hidrostática debe ser ejecutada de acuerdo con estándares aplicables de construcción y operación (API Standard 650 y 653). Cuando sea posible, se debe permitir que el líquido permanezca quieto aproximadamente 24 horas antes de que la calibración se lleve a cabo.

A los tanques con una capacidad nominal de 500 barriles o menos se les puede realizar mediciones de strapping en cualquier condición de llenado, siempre que los tanques hayan sido llenados al menos una vez en su actual ubicación. Están permitidos pequeños movimientos de petróleo dentro o fuera de tales tanques durante el strapping.

Los tanques con una capacidad nominal de más de 500 barriles deben ser manejados de la siguiente manera:

- a. Tanques empernados (normalmente es Servicios de Producción) deben haber sido llenados una vez en su ubicación actual y se debe haber llenado al menos dos terceras partes del total del tanque cuando se realice el strapping. Están permitidos pequeños movimientos de petróleo dentro ó fuera de tales tanques durante el strapping.
- b. Tanques fijos y/o tanques soldados deben haber sido llenados al menos una vez en su ubicación actual. A ellos se les puede realizar el strapping en cualquier condición de llenado. No se permite movimiento de petróleo dentro ó fuera de tales tanques durante la operación del strapping.

**Figura 6 – 4 Lugares de Medición para Tanques Verticales Soldados**

**Figura 6 – 5 Lugares de Medición para una Estructura Cubierta de Remaches**

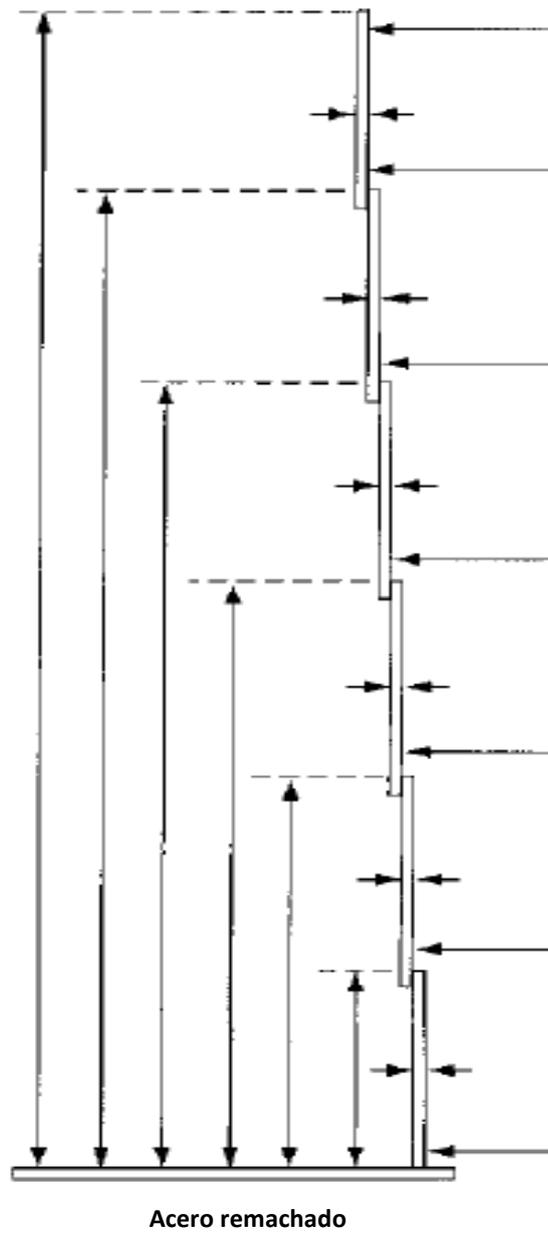
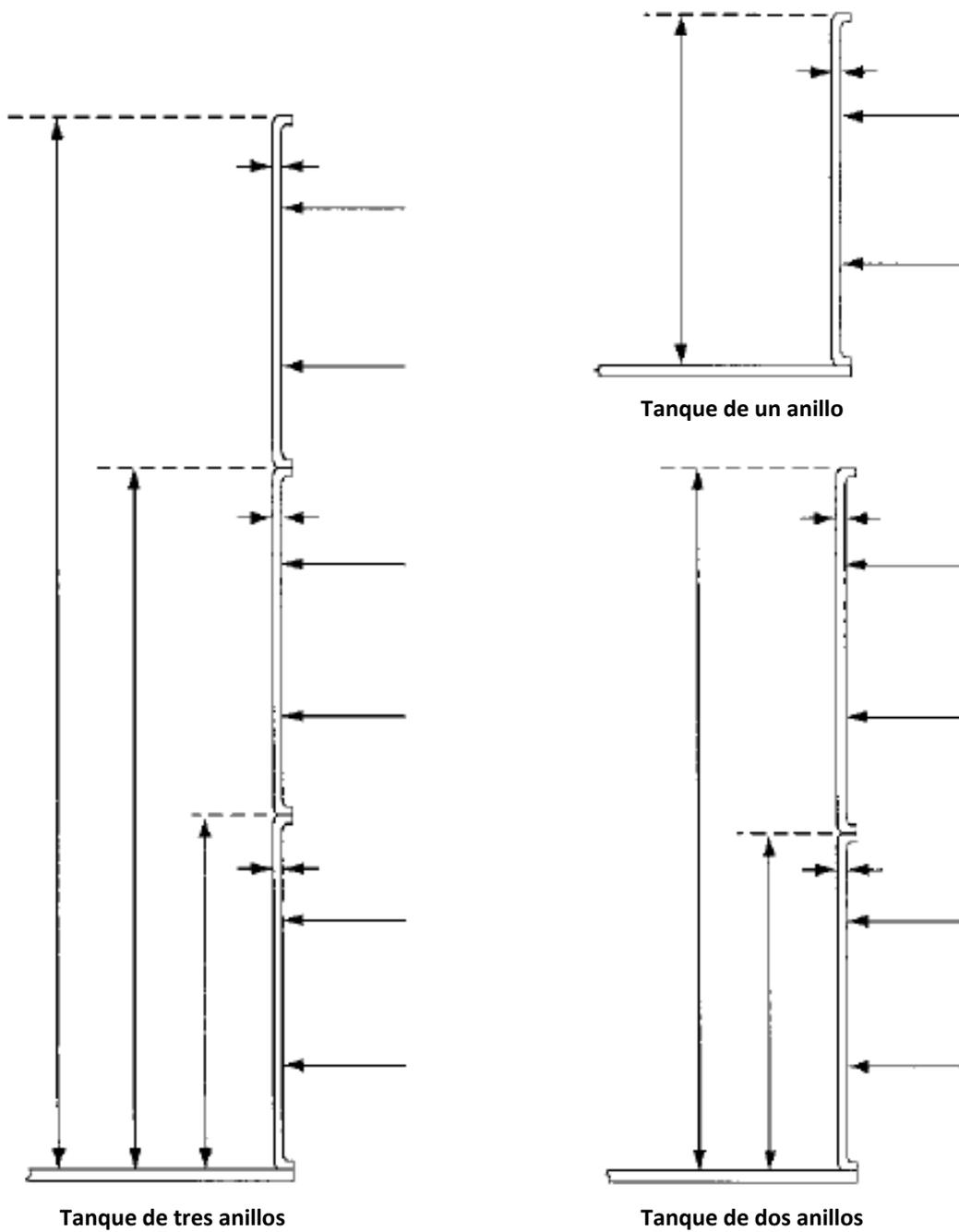


Figura 6 – 6 Lugares de Medición para Tanques Empernados



### **6.1.6 Tolerancias**

Las mediciones de circunferencia individuales deberán leerse y registrarse con una precisión de 0.005 pies (ó cercana al milímetro). Por lo tanto, todas las mediciones de circunferencia deberán ser registradas usando la tercera cifra decimal.

Las mediciones verticales del tanque deberán leerse y registrarse con una precisión de 1/16 de pulgada (ó cercana a 1 milímetro).

Los termómetros deberán leerse con una precisión de 1 °F (ó 0.5 °C).

El espesor de la plancha del tanque se debe determinar con una precisión de 1/64 de pulgada (con una resolución de 1 milímetro y lectura con precisión de 0.5 milímetros).

Los descuentos deberán ser determinados y ubicados por mediciones con lecturas de precisión de 1/8 de pulgada (ó 3 milímetros).

### **6.1.7 Espesor de Plancha de la Carcasa.**

El espesor de la plancha se deberá medir mediante un dispositivo de medición ultrasónico como método preferido. Se deberá obtener un mínimo de dos mediciones por anillo.

Se pueden aceptar las mediciones del espesor de las planchas obtenidas antes o durante la construcción y registrarlos en un documento ó formato, debidamente identificados. En ausencia de cualquier medición directa del espesor de la plancha obtenida y registrada antes o durante la construcción, el método menos indicado es usar el espesor de la plancha mostrado en los dibujos del fabricante y así identificarlos en el registro de cálculo.

El método alternativo de medición del espesor de plancha es mediante el medidor de profundidad. Donde el tipo de construcción deja los bordes de la plancha expuestas, se deben realizar un mínimo de dos mediciones de espesor en cada

anillo. La media aritmética de las mediciones para cada anillo debe ser registrada; todas las mediciones del espesor, adecuadamente identificadas, deben ser anotadas en una hoja de datos suplementaria, la que debe formar parte del registro de mediciones.

#### **6.1.8 Mediciones Verticales en el Tanque.**

La altura de la carcasa es la distancia vertical entre la parte inferior del ángulo inferior (ó parte superior de la plancha del piso) y la parte superior del ángulo superior y debe ser medida en un punto cercano a la escotilla de referencia (ver figuras 6 - 11, 6 – 12 y 6 - 13).

**Figura 6 – 7 Altura total de la Pared del Tanque**



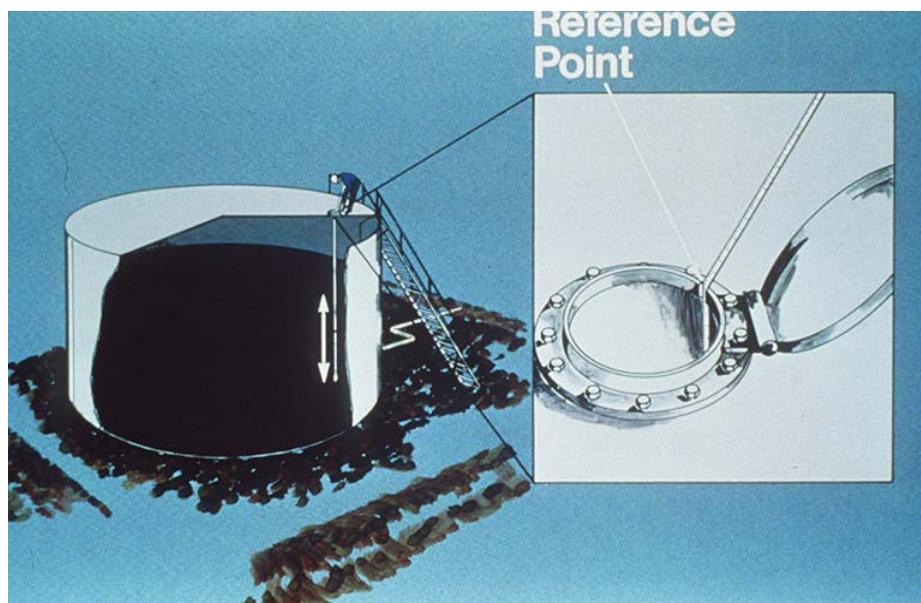
Se deben hacer mediciones adicionales, cuando sea necesario, en otros puntos identificados para investigar y describir condiciones conocidas o sospechosas en el tanque, tales como inclinación ó falso fondo. Las ubicaciones de las mediciones deben estar marcadas en un boceto suplementario.

El grado de inclinación de la altura de la carcasa se debe medir y registrar. Las mediciones para posibles inclinaciones pueden ser hechas junto con mediciones de la altura de la carcasa usando un teodolito y una plomada óptica, ó una plomada

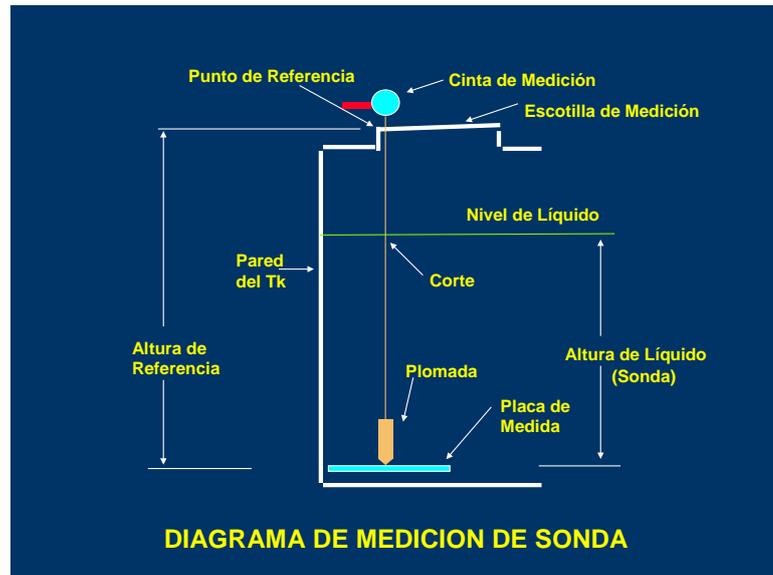
Se debe incluir en el registro una descripción del punto indicador de referencia, por ejemplo: labio superior de 8 pulgadas (ó 20 centímetros) de diámetro de escotilla, frente a la bisagra

Se debe hacer una comparación inmediata de la altura de referencia con la suma de la altura de la carcasa más la altura de la parte superior del ángulo superior de la carcasa del tanque hasta el nivel del punto de referencia en el borde de la escotilla. Todo esto con el fin de investigar la posible existencia de una placa de referencia ó falso fondo.

**Figura 6 – 8 Escotilla de Medición y Punto de Referencia**



**Figura 6 – 9 Altura de Referencia**



El resultado de esta investigación de campo se debe registrar mediante la identificación de la altura de referencia como la distancia hasta el suelo o a la placa de referencia. Las mediciones y cálculos involucrados deberían estar juntos y llegar a ser parte del registro de mediciones.

Si se conoce de un falso piso o se sospecha de su presencia, el registro debería indicarlo.

**Figura 6 – 10 Placa de Medición**

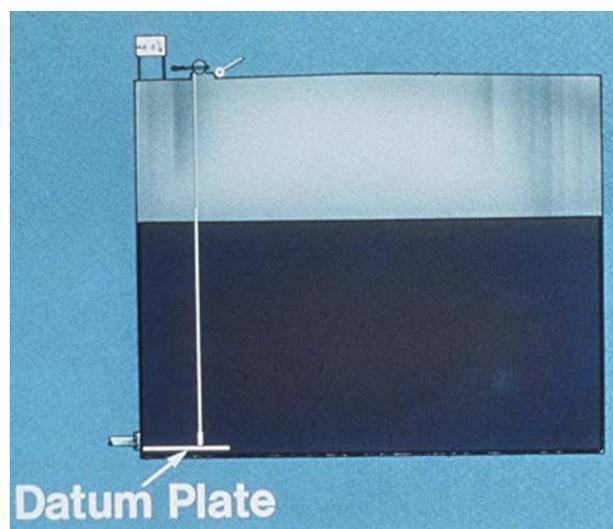


Figura 6 – 11 Medición de Tanque Vertical Soldado

Altura a Punto de Referencia

Punto de Referencia

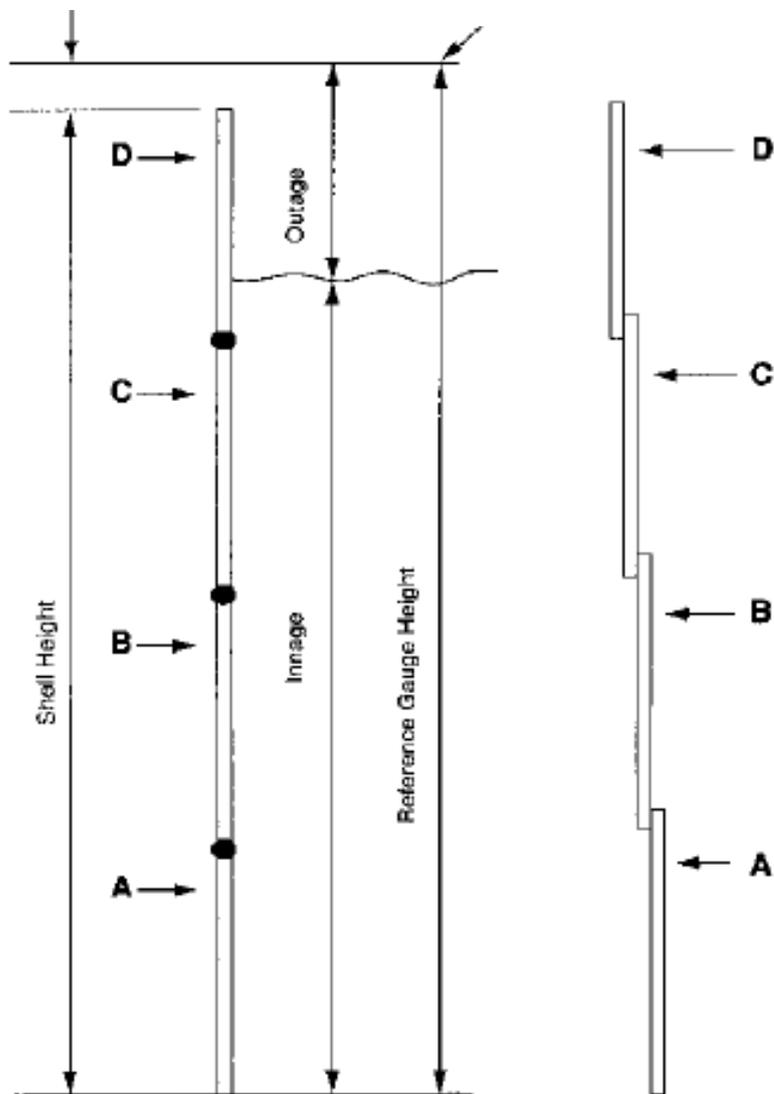


Figura 6 – 12 Mediciones de un Tanque Vertical Empernado

Altura del punto de referencia por encima de la carcasa del tanque

Punto de Referencia

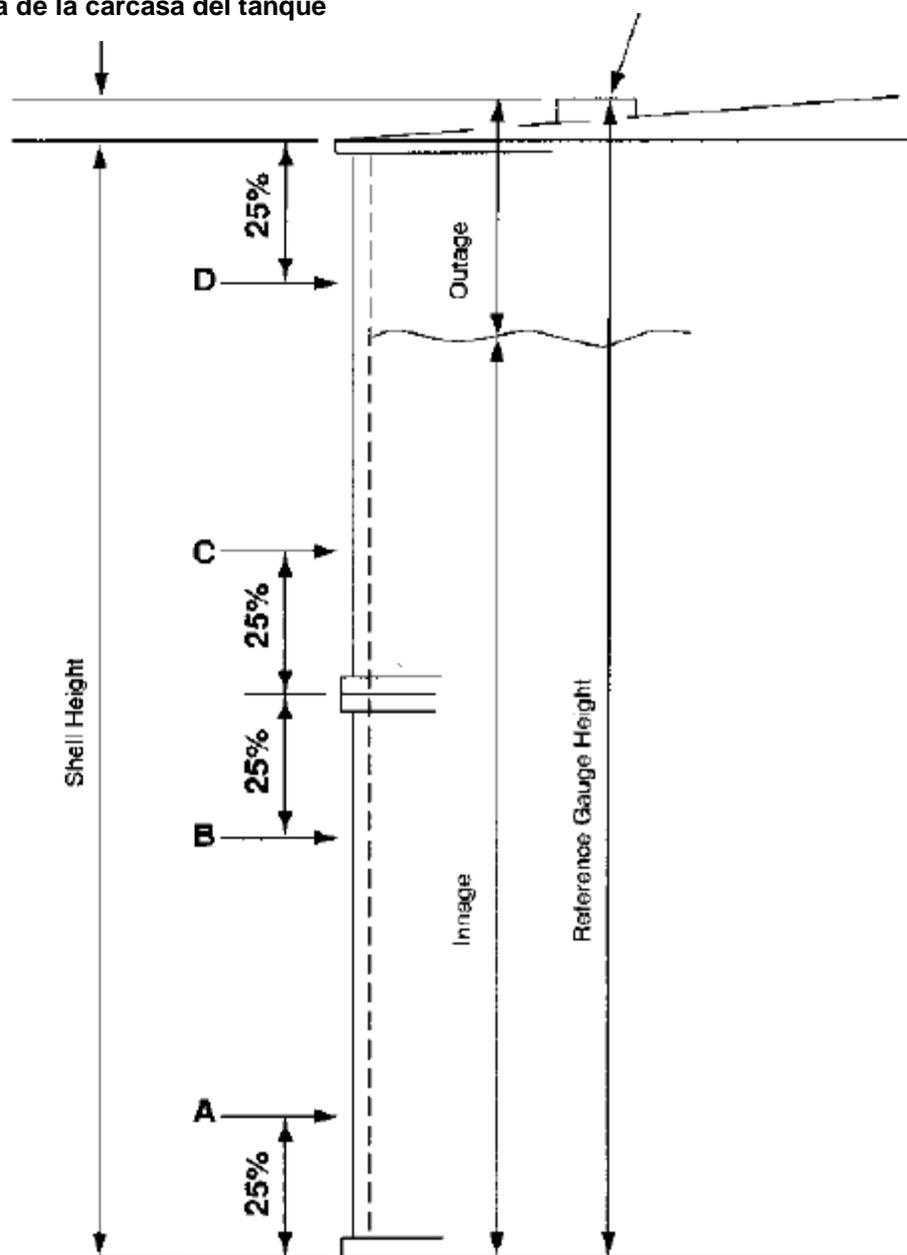
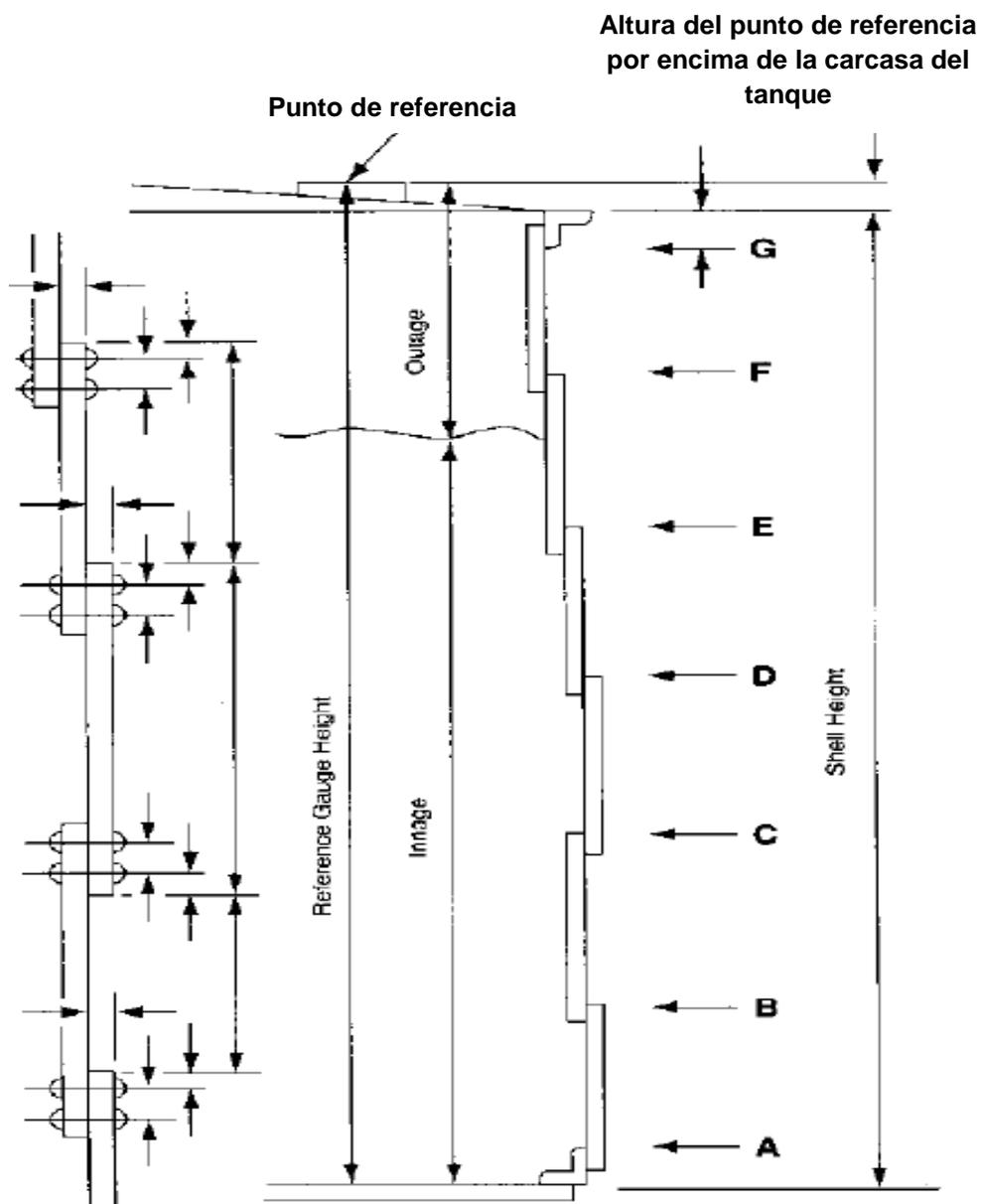


Figura 6 – 13 Medición de Tanques Verticales con Traslapes



Dimensiones históricas de las  
juntas

La altura efectiva interior del tanque es una distancia vertical a lo largo de la ruta de medición (ver figuras 6 - 14 y 6 - 15). Esto es de primera necesidad para los cálculos de las Tablas de Capacidad, que establece los límites superior e inferior de los indicadores de variable a ser entregadas a la Tabla de Capacidad.

El máximo límite superior de la Tabla de Capacidad puede ser uno de los siguientes dos ítems:

- a. La altura interior efectiva del tanque.
- b. La máxima altura de llenado solicitada por el propietario del tanque, así como la parte inferior de un rebose.

Si la altura interior efectiva del tanque puede ser obtenida directamente en el tanque, esta altura debe ser medida y registrada como tal. Si la altura interior efectiva del tanque no puede ser medida directamente, la persona responsable de obtener las medidas debería obtener los planos de construcción para permitir el cálculo de la altura interior efectiva del tanque.

En algunas instalaciones, una Línea de Rebose se conecta a la carcasa del tanque por debajo del ángulo superior y proporciona un potencial nivel de desbordamiento de líquido en algún punto debajo de la parte superior de la carcasa.

El registro de mediciones debería incluir una descripción completa de este tipo de conexión, incluyendo tamaño y ubicación, y si se incluye ó no en la línea una válvula que puede ser cerrada y sellada. Si tal válvula está presente, su ubicación se debería incluir en el registro.

Si la conexión que evita el rebose no puede ser cerrada y sellada, entonces la altura interior efectiva del tanque será la distancia vertical desde el punto de referencia en el piso del tanque ó placa de referencia, hasta la parte superior del nivel en el que el contenido del tanque empezará a desbordarse; la capacidad del

tanque entre el punto de rebose y el techo del tanque no se debe tener en cuenta en la Tabla de Capacidad.

Si la conexión que evita el rebose puede ser cerrada y sellada, entonces la altura interior efectiva del tanque se debe extender hasta la parte superior del ángulo superior y la tabla de capacidad se debe ampliar.

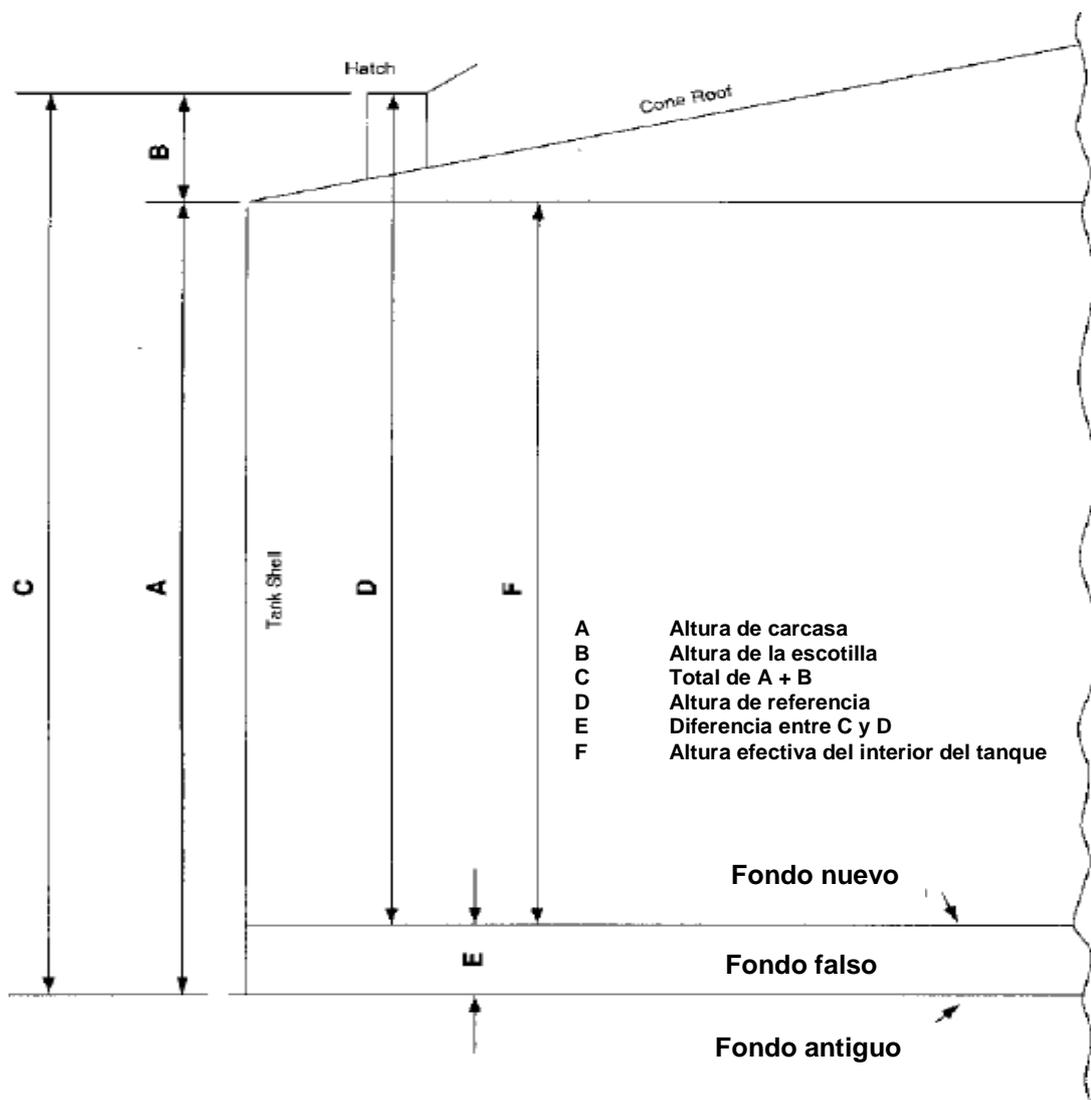
En este último caso, en el que la tabla de capacidad se amplía hacia arriba más allá de la conexión, la tabla de capacidad debería incluir una nota sobre la elevación de la conexión citando su presencia y estipulando la condición bajo la que esa porción de la tabla de capacidad puede ser usada.

Cuando se necesite indicar la altura de llenado seguro en la tabla de capacidad, esta debe ser hecha de una manera muy específica por el propietario. La altura de llenado seguro en la mayoría de casos será menor que la altura de máximo llenado.

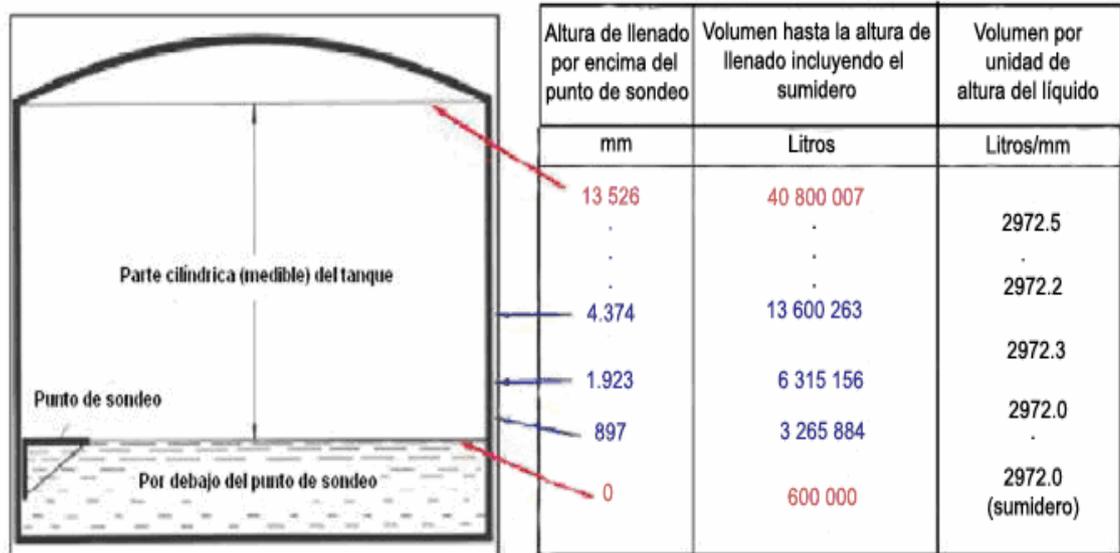
Cada altura de anillo deberá ser medida y registrada. (Ver Cuadro N° 14.2 de la parte de Anexos).

Donde los anillos se han solapado en sentido horizontal, el solapamiento debe ser registrado de modo que la altura interior del anillo se pueda desarrollar por medio de cálculos.

Figura 6 – 14 Altura Efectiva del Interior del Tanque – Techo Cónico



**Figura 6 – 15 Ejemplo de tabla de capacidad (de llenado) de un tanque que muestra la asignación de volumen a alturas de llenado específicas**



## 6.2 Mediciones de la Circunferencia.

### 6.2.1 Preparación.

El inspector de calibración responsable de la medición del tanque deberá determinar primero donde se deben realizar las mediciones de circunferencia. Un resumen de elevaciones para mediciones de circunferencias en varios tipos de tanques cilíndricos verticales se muestra en la Tabla N° 6.1.

**Tabla N° 6.1 Elevaciones para Medición de Circunferencia en Varios Tipos de Tanques Cilíndricos Verticales**

Tipo de Construcción de Tanque	Elevaciones para Medición de Circunferencia
Soldadura de acero, uno o más anillos.	20 por ciento de la parte superior de cada anillo. <sup>a</sup>
Remaches de acero, estructura de tejas.	Punto más bajo de cada anillo y 1 pie (ó 300 milímetros) por debajo de la parte superior del anillo superior. <sup>b</sup>
Remaches de acero, estructura interna y externa.	Punto más bajo por encima de las filas horizontales de remaches en cada anillo, y 1 pie (ó 300 milímetros) por debajo de la parte superior del anillo superior. <sup>b</sup>
Remaches de acero, combinación de estructura de tejas y estructura interna y externa.	Punto más bajo por encima de las filas horizontales de remaches en cada anillo, y 1 pie (ó 300 milímetros) por debajo de la parte superior del anillo superior. <sup>b</sup>
Tanque de acero de anillo elevado, articulaciones con remaches en la parte inferior de la carcasa.	25 y 75 por ciento por encima.
Pernos de acero, articulaciones verticales solapadas.	25 y 75 por ciento por encima de la parte inferior de cada anillo.
Pernos de acero, articulaciones verticales con brida.	75 por ciento por encima de la parte inferior de cada anillo.

<sup>a</sup> Para tanques con un anillo, se deben tomar dos mediciones de circunferencia al 20 por ciento y al 80 por ciento por debajo de la soldadura superior del anillo. Para tanques de más de un anillo, si los obstáculos bloquean el recorrido de la cinta en el punto que está al 20 por ciento por debajo del nivel de la parte superior del anillo, la medición se puede hacer en un punto 80 por ciento por debajo. Si la toma de medidas de las circunferencias en sucesivos anillos indica variaciones ó distorsiones inusuales, se deben tomar mediciones adicionales suficientes para satisfacer los requerimientos de todos los interesados.

<sup>b</sup> Cuando el ángulo inferior está soldado, tomar la circunferencia más baja a 1 pie (300 milímetros) por encima del fondo del anillo inferior. Donde la carcasa de los tanques es de construcción compuesta, tomar las mediciones de acuerdo con las instrucciones que se dan arriba para cada tipo de construcción.

**Figura 6 – 16 Mediciones de la Circunferencia – Strapping**



Las rutas circunferenciales de la cinta ubicadas en las elevaciones se muestran en las Figuras 6 - 4, 6 - 5, 6 - 6, 6 - 11, 6 - 12 y 6 - 13 deben ser examinadas para detectar obstrucciones y tipos de articulaciones verticales. La suciedad, la escala y el aislamiento deben ser removidos a lo largo de cada ruta.

Ocasionalmente, alguna característica de construcción, tal como un manhole puede hacer poco práctico el uso de la elevación de circunferencia prescrito en la ilustración. En ese caso se puede elegir una ruta sustituta para la cinta ubicada

cerca al centro del anillo. El registro del strapping debe incluir la ubicación de la ruta sustituta y la razón de dicha sustitución.

El tipo y características de las articulaciones verticales se deben determinar mediante un examen minucioso con la finalidad de establecer el procedimiento de medición y los equipos necesarios.

### 6.2.2 Mediciones Físicas

Para las mediciones descritas en 6.2.1, se puede usar una cinta de circunferencia de suficiente longitud para envolver completamente el tanque, en cuyo caso se deberá tomar la medida total de la circunferencia con una lectura. En el caso de que la circunferencia del tanque sea demasiado grande para ser envuelta completamente por la cinta, se pueden adoptar métodos alternativos.

Todos los puntos en los que se hayan tomado medidas de la circunferencia se deben ubicar al menos a dos pies (ó 600 milímetros) de una articulación ó junta vertical. Después de que se haya tomado una medida circunferencial, la tensión debe ser reducida suficientemente para permitir que la cinta sea cambiada. Se debe verificar la posición de la cinta antes de una lectura. A continuación, debe ser devuelta a la posición y tensión necesaria, y se deben tomar dos lecturas sucesivas dentro de las tolerancias especificadas en la Tabla N° 6.2. Se debe registrar el promedio de las dos lecturas como la medida de circunferencia en esa ubicación.

**Tabla N° 6.2 Tolerancias de Circunferencia**

<b>Acostumbrado</b>	<b>SI</b>
Hasta 150 ft ± 0.01	Hasta 30 m ± 2mm
150 a 300 ft ± 0.02	30 a 50 m ± 4 mm
Sobre 300 ft ± 0.03	50 a 70 m ± 6 mm
Sobre 90 m ± 10 mm	70 a 90 m ± 8 mm

Nota: ft = feet (pies); m = metros; mm = milímetro

Cuando la cinta ó soldaduras causan vacios uniformes entre la cinta y la carcasa del tanque en cada soldadura, las mediciones de circunferencia deben ser hechas de acuerdo con lo mencionado en el primer párrafo de 6.2.2. El procedimiento apropiado es medir y registrar el ancho y espesor soldaduras, y registrar el número de soldaduras en cada anillo.

En el caso de traslapes, se debe medir y registrar el espesor de la plancha traslapada expuesta (ver Figura 6 - 13) en cada anillo alrededor de la circunferencia y registrar el número de traslapes en cada anillo. Las circunferencias medidas, debidamente comprobadas y registradas, deben ser corregidas más adelante para la subida de la cinta.

### **6.2.3 Medición de los Descuentos**

La superficie interior de los tanques verticales y los elementos de apoyo del techo, tales como columna y tirantes en el tanque, deberían estar limpias y libres de cualquier sustancia extraña, así como también residuos de productos adheridos a los lados, óxido, suciedad, emulsiones y parafinas. El examen e inspección de un tanque puede indicar la necesidad de una limpieza a fondo si se desea lograr exactitud en la calibración.

Los descuentos deben ser representados con exactitud, así como su tamaño y ubicación, con una exactitud de 1/8 de pulgada (ó 3 milímetros), con la finalidad de permitir lo siguiente:

- a. Adecuada tolerancia para los volúmenes de líquido desplazados ó admitidos por las diversas partes.
- b. Asignación adecuada de efectos a diferentes alturas dentro del tanque.

Los descuentos deben medirse, si fuera posible, dentro del tanque. Las dimensiones mostradas en los dibujos de construcción ó las dimensiones

proporcionadas por el propietario del tanque pueden ser aceptadas si se hace imposible realizar mediciones reales.

Las mediciones de los descuentos deben mostrar el máximo y mínimo nivel, medido desde el fondo del tanque adyacente a la carcasa, con los que los accesorios afectan la capacidad del tanque (ver Cuadro N° 14.1 de la parte de Anexos). Las mediciones deben ser de tal manera que permitan una tolerancia a los distintos efectos de los accesorios sobre la capacidad del tanque a distintas alturas.

Las hojas de trabajo en la que los detalles de los accesorios han sido esbozados, dimensionados y ubicados, deben ser claramente identificadas y llegar a ser parte del registro de campo.

#### **6.2.4 Fondo de Tanques**

Fondos de tanques planos y estables bajo diferentes cargas líquidas no tendrán ningún efecto sobre la capacidad del tanque.

Fondos de tanques que se ajustan a formas geométricas, como por ejemplo: con pendiente, cónico hacia abajo, hemisférica, semi elipsoidal y segmento esférico, tienen un volumen que puede ser calculado a partir de mediciones lineales ó de mediciones de calibración adicionando líquido, según lo deseado.

Cuando se calculan los volúmenes, las mediciones deben hacerse en los puntos que se muestran en las Figuras 6 – 18 y 6 - 19.

Donde las condiciones del fondo del tanque, pendiente, forma irregular y/o existe inestabilidad y en la que la capacidad correcta no puede determinarse con precisión a partir de mediciones lineales, se prefiere la calibración por líquido.

Si la calibración líquida se utiliza, el volumen para el llenado se introduce progresivamente en el tanque, desde el punto más bajo en el fondo hasta un punto por encima donde los cálculos se pueden hacer a partir de mediciones

dimensionales. El procedimiento debe continuar hasta una profundidad en el tanque suficiente para superar todas las formas irregulares o condiciones inestables como se describe en la norma API 2555 “**Método de Calibración Líquida para Tanques**”.

Para tanques que operan con el fondo completa y continuamente cubiertos de agua, cualquier pendiente o irregularidad del fondo, pero no así alguna inestabilidad, puede ser pasada por alto.

Un método alternativo para calibrar la zona inferior es tomando elevaciones de nivel en varios puntos de la parte inferior a través de una inspección del fondo. Se puede hacer una inspección física del fondo del tanque, siempre que sea posible, después de que el tanque haya pasado la prueba hidrostática, con el fin de establecer la pendiente de la carcasa del tanque hacia el centro del tanque. Se debe medir también la elevación en el punto de referencia, ubicada directamente bajo la escotilla de medición.

**Figura 6 – 17 Tomando Mediciones Ópticas con Nivel en el Fondo del Tanque**



Debido a la naturaleza muy irregular de algunos fondos, las lecturas de inspección deberían ser tomadas en varios puntos para determinar mejor la forma. Cuando se ejecuta una inspección completa del fondo, se deben avistar elevaciones a lo largo

del radio cada 45 grados. A lo largo de estos radios, obtener las elevaciones en intervalos igualmente espaciados de no más de 10 pies (ó 3 metros) desde el centro del tanque a su carcasa.

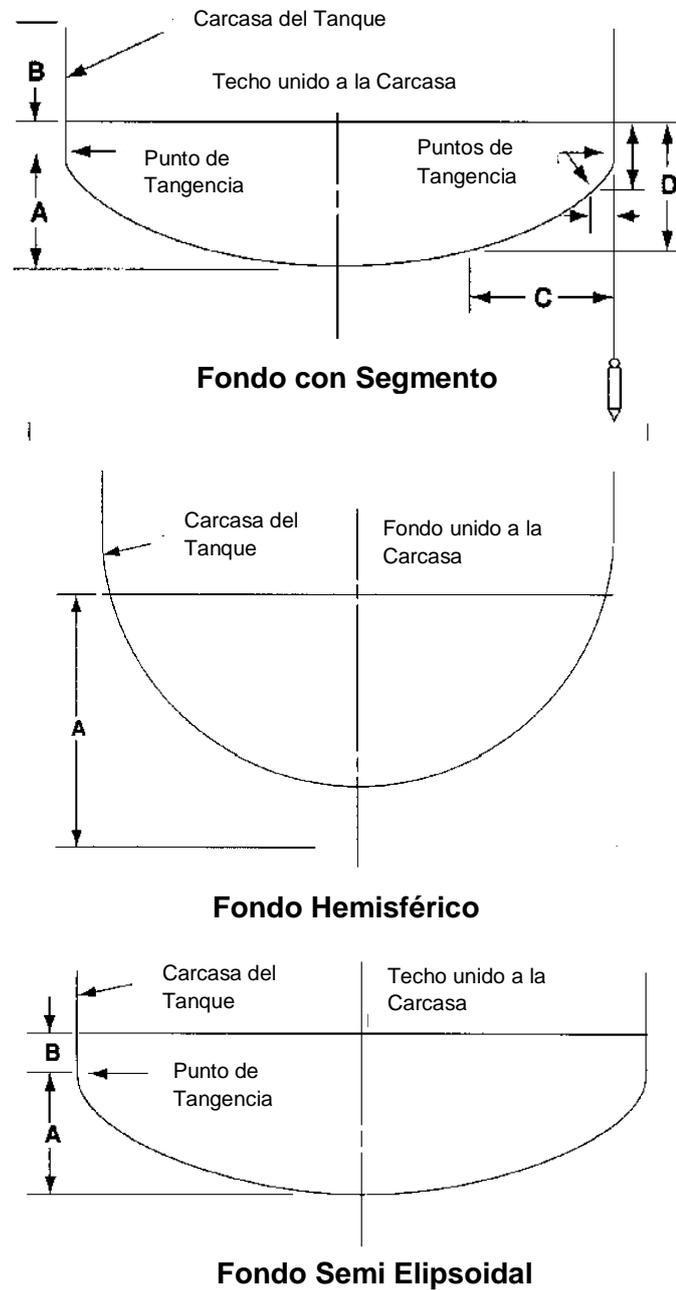
#### **6.2.5 Tanques con Aislamiento**

Se pueden usar los siguientes procedimientos para determinar los datos necesarios para la preparación de las tablas de capacidad. La calibración del exterior de los tanques con aislamiento puede ser completada antes que se aplique el aislamiento siguiendo los procedimientos para medición de exteriores especificados en este estándar.

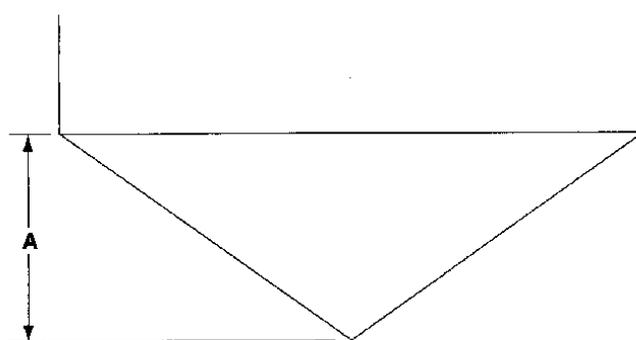
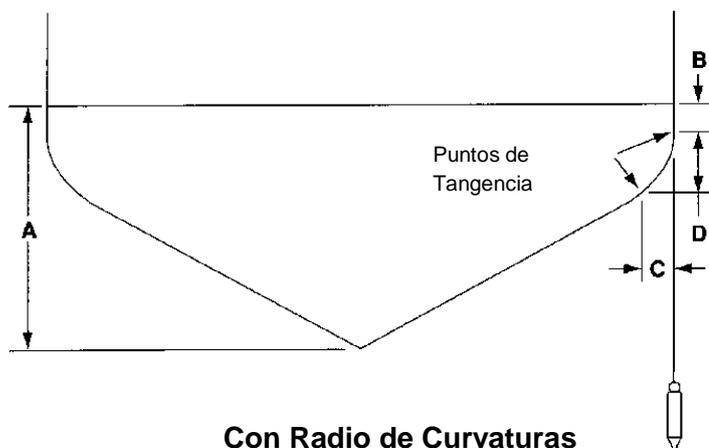
Si el tanque está aislado, se aplica lo indicado líneas arriba. Sin embargo, se pueden aplicar procedimientos alternativos, como se indica aquí:

- a. **Calibración con Líquido:** Los tanques con aislamiento pueden ser calibrados mediante la introducción de cantidades medidas de líquido de acuerdo con el estándar API 2555.

**Figura 6 – 18 Fondos con Segmento Esférico (cóncavo), Hemisféricos y Semi Elipsoidales, Fondos Convexos y con Mediciones Accesibles de Tanques Verticales**



**Figura 6 – 19 Fondos con Conicidad hacia Abajo y con Mediciones Accesibles de Tanques Verticales**



- b. **Calibración basada en Mediciones Interiores:** La calibración de tanques aislados podrá basarse en la medición interior por aplicación del API capítulo 2.2B.
- c. **Calibración basada en los Dibujos:** La calibración puede basarse en los datos que figuran en los dibujos y en las especificaciones del constructor del tanque si ninguno de los métodos anteriores pueden ser utilizados. Esta alternativa es el menos preferido y no se recomienda para tanques utilizados en transferencia de custodia.

- d. **Aplicación de Nuevas Tecnologías:** Nuevas tecnologías como método de triangulación óptica, electro óptico de alcance de distancia (método EODR).

### **6.3 Desarrollo de Tablas de Capacidad de Tanques: Procedimiento de Cálculo.**

Se deberían utilizar sólidos principios matemáticos y de ingeniería en todos los cálculos para el desarrollo de las Tablas de Capacidad. Estos principios deberían incluir los que figuran en este documento para la aplicación a este tipo particular de trabajo:

- a. Las tablas de capacidad deben estar preparadas a 60 °F (15 °C) y debe tener en cuenta la corrección por esfuerzo (tensión) del líquido, los descuentos, corrección por inclinación, y si fuera el caso descuento por techo flotante.

**Nota:** Aunque la temperatura base de los tanques es 60 °F (ó 15 °C), la densidad del líquido utilizado para calcular la corrección por esfuerzo (tensión) del líquido y el incremento por techo flotante debe ser el promedio observado de la densidad del tanque.

- b. Para el incremento de Temperatura, el factor de expansión debe ser aplicado como un factor independiente.
- c. Se deberían llevar todos los cálculos de volúmenes adicionales o totales a siete cifras significativas.
- d. Todos los descuentos deben ser registrados con exactitud en cuanto a volumen y su ubicación, para permitir el incremento adecuado de los volúmenes de líquido desplazado por varios objetos ó accesorios, y la asignación de estos efectos a diferentes alturas en el interior del tanque.
- e. La preparación de las tablas de capacidad para tanques verticales está basado en una altura máxima de líquido no mayor a la altura del tanque. El

volumen en el tanque que está por encima de este nivel será el volumen vacío y es el espacio bajo el techo cónico hasta el nivel del borde superior del anillo superior.

- f. La capacidad de los tanques debe ser expresado en galones, barriles, meros cúbicos, litros u otro tipo.
- g. Cada punto del reporte del strapping se evalúa con precisión antes de procesar.
- h. Como cuestión de principio, se recomienda que todas las tablas de capacidades al respecto recién elaboradas muestren las fechas en las que son efectivas. La base para el establecimiento de estas fechas, en determinados casos, depende de circunstancias individuales y necesidades de las partes interesadas. Sin embargo, se pretende que la fecha efectiva se establecerá teniendo en cuenta las circunstancias, incluyendo (pero no limitado a) los siguientes:
  - 1. Fecha en la que el nuevo tanque fue calibrado.
  - 2. Fecha en la que un tanque viejo fue re calibrado.
  - 3. Fecha en la que se vuelven a hacer los cálculos del tanque.

### **6.3.1 Requisitos para Tablas de Capacidad.**

Los siguientes parámetros deben ser considerados para la elaboración de las tablas de capacidad:

- a. La expansión y contracción del acero de la pared del tanque debido al nivel del líquido.

- b. La expansión y contracción del acero de la pared del tanque con la temperatura (se recomienda que se aplicará independientemente de los cálculos de la tabla de capacidad).
- c. Inclinación para una posición vertical.
- d. Fondos de tanque con forma irregular.
- e. Altura efectiva interior del tanque (ver Figura 6 - 15).

### 6.3.2 Calibración de Cintas Maestras a 60 °F.

La cinta maestra (de trabajo) de medición para la calibración de tanques, se identificarán con un informe de calibración a 68 °F por el Instituto Nacional de Estándares y Tecnología (NIST), con una exactitud para la cinta maestra de 0.001 pies (aproximadamente ¼ de pulgada, 1 milímetro de resolución y lectura de 0.5 milímetros) por cada 100 pies de longitud. En el informe de calibración se incluyen los factores y fórmulas necesarias para corregir la longitud de la cinta para su uso a 60 °F (15 °C) bajo una tensión diferente a la de calibración.

La industria del petróleo utiliza 60 °F (15 °C) como temperatura estándar para productos del petróleo. Se debería corregir la cinta maestra a esta temperatura utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{Factor de Corrección} = 1 + [(T_s - T_c) * C] \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \text{Factor de Corrección} &= 1 + [(60 - 68) * 0.00000645] \\ &= 1 + (-8 * 0.00000645) \\ &= 0.9999484 \end{aligned}$$

Donde:

T<sub>c</sub>: Temperatura de Calibración de la Cinta Maestra (normalmente 68 °F).

T<sub>s</sub>: Temperatura Estándar de referencia (normalmente 60 °F).

C: Coeficiente de expansión para acero dulce

0.00000645 FT/FT/Grados Fahrenheit.

### 6.3.3 Conversión de Circunferencias Exteriores a Interiores

Los espesores de plancha utilizados en los cálculos deberían ser aquellos informados en los registros de mediciones de campo. Cuando sea posible, los espesores deben medirse por el método ultrasónico. Los valores de espesores de plancha tomada de los planos pueden ser utilizados cuando sea necesario.

$$\text{Circunferencia Interna} = \pi * (D-2t) \quad (2)$$

Donde:

t = Espesor del acero

D = Diámetro externo, ambos en unidades consistentes

### 6.3.4 Deducción de la Circunferencia por Elevaciones de la Cinta

En caso de que la cinta esta impedida de estar en contacto con el tanque en todos los puntos a lo largo de su camino por las elevaciones de la pared del tanque, como soldaduras, juntas traslapadas, la cantidad de aumento de la circunferencia, debido a las elevaciones de la cinta por estas proyecciones debe ser determinada. La medida de la circunferencia, medido en un anillo dado, debe ser corregida mediante la sustracción (diferencia) de la suma de los aumentos de circunferencia en cada posición de subida de la cinta.

La deducción de la cinta por elevaciones puede ser calculada a partir de las ecuaciones de corrección de la cinta por elevaciones 3 y 5, medida con un vernier en donde sea práctico hacerlo.

La ecuación de corrección por aumento de la cinta por soldadura ó similares elevaciones es como sigue:

$$\text{Deducción (en pulgadas)} = \frac{2Ntw}{d} + \frac{8Nt}{3} \sqrt{\frac{t}{d}} \quad (3)$$

Donde:

$N$  = número de soldaduras por anillo.

$t$  = cantidad de aumento (espesor de la soldadura), en pulgadas.

$w$  = ancho de la soldadura, en pulgadas.

$d$  = diámetro nominal del tanque, en pulgadas.

**Figura 6 – 20 Toma de Espesores de las Soldaduras**



**Figura 6 – 21 Toma de Ancho de las Soldaduras**



Tabla N° 6.3 Ejemplo de Tabla de Capacidad – Tanque N° 8D - 1

<b>TANQUE N° 8D-1</b>											
<b>SONDA</b>											
	<b>B A R R I L E S</b>										
	<b>M I L I M E T R O S</b>										
<b>METROS</b>	<b>CENTIMETROS</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>
0	0	57.87	58.93	60.00	61.07	62.14	63.20	64.27	65.34	66.40	67.47
0	1	68.54	69.61	70.67	71.74	72.81	73.88	74.94	76.01	77.08	78.14
0	2	79.21	80.28	81.60	82.93	84.25	85.58	86.90	88.22	89.55	90.87
0	3	92.20	93.52	94.84	96.17	97.49	98.82	100.14	101.47	102.79	104.11
0	4	105.44	106.76	108.09	109.41	110.73	112.06	113.38	114.71	116.03	117.35
0	5	118.68	120.00	121.33	122.65	123.97	125.30	126.62	127.95	129.27	130.60
0	6	131.92	133.24	134.57	135.89	137.22	138.54	139.86	141.19	142.51	143.84
0	7	145.16	146.48	147.81	149.13	150.46	151.78	153.11	154.43	155.75	157.08
0	8	158.40	159.73	161.05	162.37	163.70	165.02	166.35	167.97	169.59	171.21
0	9	172.83	174.45	176.07	177.69	179.31	180.93	182.67	184.41	186.15	187.89
0	10	189.63	191.37	193.11	194.85	196.59	198.33	200.07	201.81	203.55	205.29
0	11	207.03	208.77	210.51	212.25	213.99	215.73	217.47	219.21	220.95	222.69
0	12	224.43	226.17	227.91	229.65	231.39	233.13	234.87	236.62	238.36	240.10
0	13	241.84	243.58	245.32	247.06	248.80	250.54	252.28	254.02	255.76	257.50
0	14	259.24	260.98	262.72	264.46	266.20	267.94	269.68	271.42	273.16	274.90
0	15	276.64	278.38	280.12	281.86	283.60	285.34	287.08	288.82	290.56	292.30

Tabla N° 6.4 Ejemplo de Tabla de Capacidad – Tanque N° 32 – T3

TANQUE N° 32 – T3											
SONDA											
		BARRILES									
		MILIMETROS									
METROS	CENTIMETROS	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0	28.11	28.48	28.85	29.23	29.60	29.97	30.34	30.72	31.09	31.46
0	1	31.83	32.21	32.58	32.95	33.33	33.70	34.07	34.44	34.82	35.19
0	2	35.56	35.93	36.31	36.68	37.05	37.42	37.80	38.17	38.54	38.91
0	3	39.29	39.66	40.03	40.41	40.78	41.15	41.63	42.11	42.59	43.07
0	4	43.56	44.04	44.52	45.00	45.48	45.96	46.44	46.92	47.41	47.89
0	5	48.37	48.85	49.33	49.81	50.29	50.77	51.26	51.74	52.22	52.70
0	6	53.18	53.66	54.14	54.63	55.11	55.59	56.18	56.76	57.35	57.94
0	7	58.52	59.11	59.69	60.28	60.86	61.44	62.03	62.61	63.20	63.78
0	8	64.37	64.95	65.54	66.12	66.71	67.29	67.88	68.46	69.04	69.74
0	9	70.44	71.13	71.83	72.53	73.22	73.92	74.62	75.31	76.01	76.71
0	10	77.40	78.10	78.80	79.49	80.19	80.89	81.58	82.28	82.98	83.67
0	11	84.37	85.06	85.76	86.58	87.40	88.22	89.04	89.85	90.67	91.49
0	12	92.31	93.13	93.95	94.77	95.59	96.40	97.22	98.04	98.86	99.68
0	13	100.50	101.32	102.14	102.95	103.77	104.59	105.41	106.31	107.21	108.10
0	14	109.00	109.90	110.80	111.69	112.59	113.49	114.39	115.29	116.18	117.08

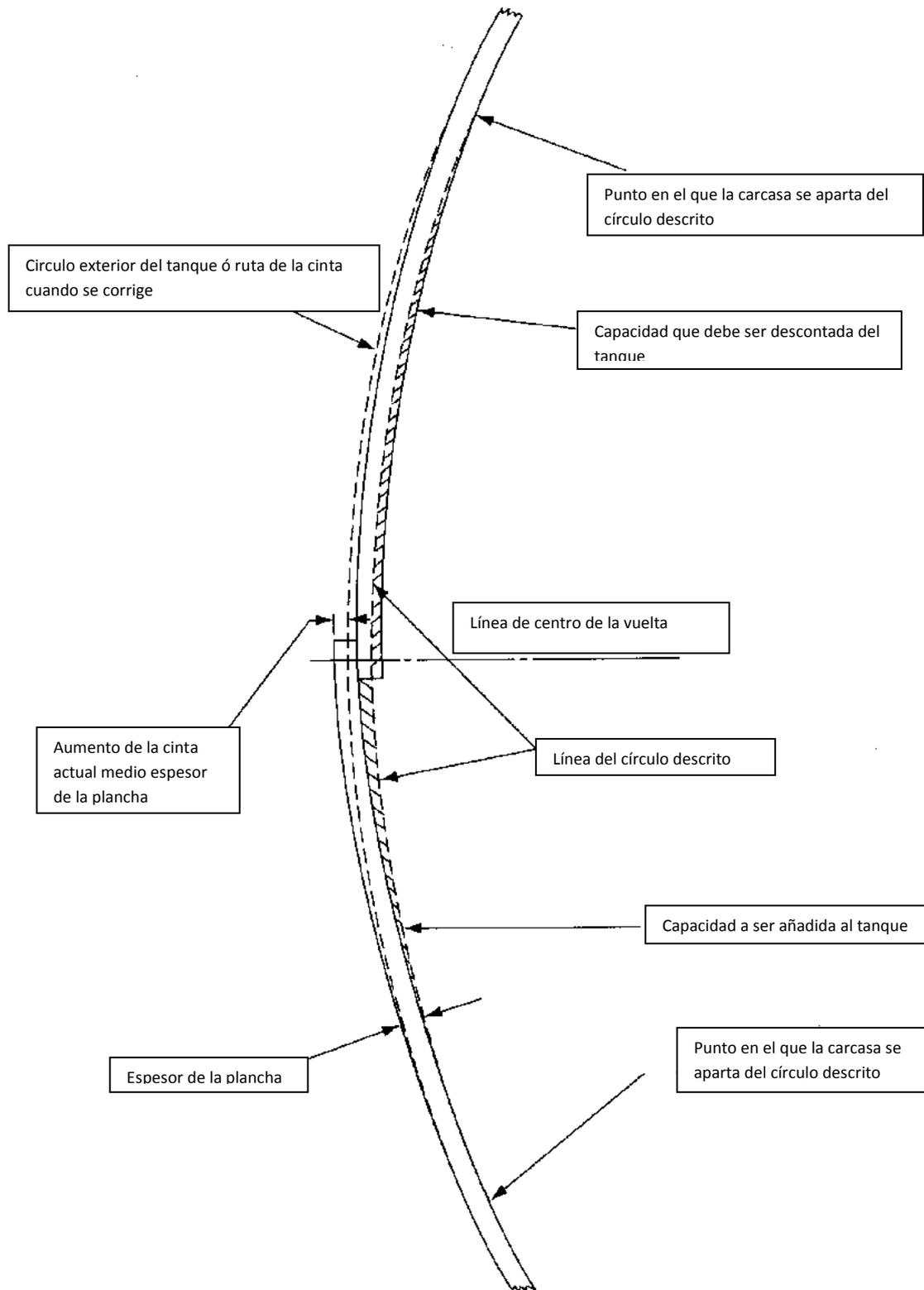
La ecuación de corrección para las elevaciones de la cinta para juntas traslapadas es como sigue:

- a. Se describe la aplicación de la ecuación 3 en forma modificada por elevaciones en la cinta en las juntas traslapadas con referencia en la Figura 6 - 22. La posición de la plancha en el anillo, si no existen juntas es mostrada por líneas punteadas en relación a las planchas en las juntas traslapadas.
- b. La medida de la circunferencia sobre las juntas traslapadas debe ser corregida a una ruta de la circunferencia verdadera que la cinta escogería si no existieran juntas, como se muestra en la figura 6 - 22, esto requiere una corrección de solo la mitad de la elevación de la cinta. Con el ancho  $w$  eliminados, la ecuación se convierte en:

$$\text{Deducción (en pulgadas)} = \frac{8N}{3} * \frac{t}{2} * \sqrt{\frac{t}{2d}} \quad (4)$$

$$= \frac{4Nt}{3} * \sqrt{\frac{t}{2d}} \quad (5)$$

**Figura 6 – 22 Circunferencia real versus el recorrido de la cinta cuando pasa por las soldaduras verticales**



### 6.3.5 Expansión y Contracción de la Pared del Tanque de Acero debido al Nivel de Líquido

La expansión y contracción de la pared del tanque de acero debido al nivel del líquido deberá tomarse en consideración.

Este ajuste no será necesario efectuar para tanques con capacidad de menos de 500 barriles.

El efecto de la altura del líquido puede ser introducido en la Tabla de Capacidad de la siguiente manera:

- a. Reducir el strapping a la circunferencia a condiciones de esfuerzo cero mediante el uso de la ecuación 6 y aplicar los efectos de expansión por niveles de líquidos progresivamente crecientes en los niveles de curso sucesivos.
- b. Tomar un strapping al tanque con un nivel máximo de líquido y disminuir el esfuerzo en el tanque disminuyendo los niveles de líquido en los cursos.

Las mediciones en campo de la circunferencia se ajustarán a “tanque vacío” o base sin esfuerzo. Entonces, para los cálculos de volumen se debe proceder con los volúmenes ajustados para reflejar la capacidad de aumento progresivo, incluyendo los efectos de expansión a niveles cada vez más elevados por anillos. Se deben corregir los strapping a las circunferencias a condición de esfuerzo cero mediante la siguiente ecuación:

$$\Delta C = \frac{-WhC^2}{2\pi Et} \quad (6)$$

Donde:

$\Delta C$  = corrección de la circunferencia a tanque vacío ó condición sin esfuerzo.

$W$  = Peso de líquido por unidad de volumen.

$h$  = Nivel del líquido encima del nivel de strapping.

$C$  = Circunferencia antes de la corrección.

$E$  = Modulo de elasticidad del metal en la pared del tanque.

$t$  = Espesor de la pared donde fue tomado el strapping.

Nota: Todas las unidades deben ser consistentes. Por ejemplo en el sistema acostumbrado  $\Delta C$ ,  $C$ ,  $h$  y  $t$  pueden estar en pulgadas,  $W$  en libras por pulgada cúbica, y  $E$  en libras por pulgada cuadrada.

Corrección de volumen por incremento,  $\Delta v$ :

$\Delta v$  (primero ó último anillo)

$$= 0 \quad (7A)$$

$\Delta v$  (segundo anillo)

$$= \frac{\pi W d^3}{4E} \left( \frac{h_1}{t_1} \right) \quad (7B)$$

$\Delta v$  (tercer anillo)

$$= \frac{\pi W d^3}{4E} \left( \frac{h_1}{t_1} + \frac{h_2}{t_2} \right) \quad (7C)$$

$\Delta v$  (n anillo)

$$= \frac{\pi W d^3}{4E} \left( \frac{h_1}{t_1} + \frac{h_2}{t_2} + \dots + \frac{h_{n-1}}{t_{n-1}} \right) \quad (7D)$$

Donde:

$\Delta v$  = Volumen incremental del tanque que resulta de la expansión de la carcasa del tanque debido a la creciente superior por un incremento en una unidad de profundidad por encima del anillo.

$w$  = Peso de líquido por unidad de volumen.

$d$  = Diámetro nominal del tanque.

$E$  = Modulo de elasticidad del metal de la pared en el tanque.

$h_1, h_2, \text{etc.}$  = Altura de la carcasa de los anillos.

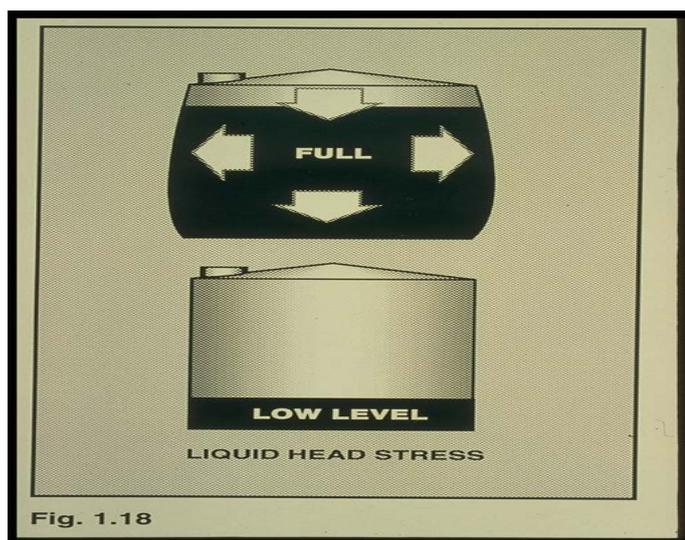
$t_1, t_2, \text{etc.}$  = espesor de la carcasa de los anillos.

Nota:

Todas las unidades deben ser coherentes, por ejemplo en las unidades habituales.

$\Delta v$  puede estar en pulgadas cúbicas;  $w$  en libras por pulgada cúbica;  $d, h$  y  $t$  en pulgadas y  $E$  en libras por pulgada cuadrada. El incremento correspondiente a  $\Delta v$  es de 1 pulgada. Si a la tabla de capacidad se hace incrementos de  $\frac{1}{4}$  de pulgada,  $\Delta v$  debe ser dividido por 4.

**Figura 6 – 23 Estrés por Nivel de Líquido**



### 6.3.6 Expansión y Contracción de la Pared del Tanque de Acero debido a la Temperatura

La expansión y contracción de las paredes de tanques de acero sin calefactor deben ser calculadas. Puede ser necesario estimar la temperatura de servicio y calcular las correcciones de volumen para la expansión del tanque, debido al aumento de la temperatura. Estas estimaciones de temperatura se deben comprobar después de que los tanques estén en servicio. El procedimiento de corrección para calcular el volumen que se añadirá al volumen total calculado para los tanques de strapping en las condiciones sin calefactores es como sigue:

Corrección de la sección transversal del área,

$$K = 1 + 12.4 * 10^{-6} \Delta T_s + 4.0 * 10^{-9} \Delta^2 T_s \quad (8)$$

Donde:

$\Delta T_s$  = Temperatura de pared del tanque de acero menos 60 °F (Todas las mediciones de la circunferencia por strapping de los tanques se encuentran a 60 °F).

Para tanques metálicos no aislados, la temperatura de pared se puede calcular del modo siguiente.

$$T_s = \frac{[(7 * T_L) + T_a]}{8} \quad (9)$$

Donde:

$T_L$  = Temperatura del Líquido

$T_a$  = Temperatura del Ambiente

Para tanques metálicos aislados, la temperatura de pared puede ser considerado como aproximado al líquido adyacente, en cuyo caso,  $T_s = T_L$ .

En la aplicación de estos principios a tanques cilíndricos verticales, el área de la sección transversal horizontal puede ser tomada como una función de calibración del tanque. El coeficiente determinado por la Ecuación 8 se basa en una expansión térmica de acero de bajo contenido de carbono por cada grado Fahrenheit.

Nota: La corrección de la sección transversal (Ecuación 8) tendrá que ser modificada para tanques de acero inoxidable basada en el coeficiente de expansión para el tipo de acero inoxidable.

La tercera dimensión, la altura necesaria para generar el volumen es una función de medición y debe considerarse por separado. Los volúmenes reflejados en las tablas de los tanques se obtienen de multiplicar área por altura incremental. Por lo tanto, los factores K para la corrección de las áreas tienen la misma proporción que las correcciones de volumen y puede ser aplicado directamente a los volúmenes de las tablas de los tanques.

El factor de corrección por temperatura de la pared del tanque se aplica a volúmenes obtenidos de las tablas de capacidad que están a 60 °F y no está relacionado con la con las correcciones destinadas a tomar en cuenta la expansión y contracción del producto en sí. Dependiendo de ciertos requerimientos, este factor de corrección por temperatura de la pared del tanque puede ser incorporado en la tabla de capacidad para una temperatura de operación específica.

Con la aplicación de las computadoras en línea, el factor de corrección de la temperatura puede ser actualizado continuamente para reflejar las diversas condiciones del líquido y ambientales. Este factor actualizado se puede usar entonces para determinar el volumen real en el tanque.

### **6.3.7 Efecto de la Inclinación sobre la parte Cilíndrica del Tanque**

La cantidad de inclinación en la altura de la carcasa debe ser medida. Para tanques inclinados menos de 1 / 70 partes, el error en una tabla de capacidad de la parte cilíndrica vertical será inferior a 0.01 por ciento en volumen y el efecto puede no ser tomado en cuenta. Si la cantidad de inclinación es de 1 / 70 ó más, la tabla de capacidad vertical debe ser ajustado a una base de inclinación cero. La siguiente

ecuación puede utilizarse para determinar la corrección del porcentaje en volumen debido a la inclinación:

$$\text{Corrección de Volumen, en porcentaje} = 100\left(\sqrt{1+m^2} - 1\right) \quad (10)$$

Donde:

m = Cantidad de inclinación por pie de altura de la pared del tanque, si está en pies (ó en decimales a igual partes).

**Tabla N° 6.5 Corrección en porcentaje de volumen para distintas cantidades de inclinación**

<b>Inclinación</b>	<b>Corrección en porcentaje de volumen</b>
1.4	+0.0098
1.6	+0.0128
1.8	+0.0162
2.0	+0.0200
2.2	+0.0242
2.4	+0.0288
2.6	+0.0338

## **CAPITULO VII**

### **PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN Y CÁLCULOS MEDIANTE EL MPMS**

#### **2.2.B**

##### **7.1 Norma API MPMS Capítulo 2.2B “Medida y Calibración de Tanques Cilíndricos Verticales por el Método de la Línea Óptica de Referencia (ORLM)”**

Este estándar describe los procedimientos de medida y cálculo para determinar los diámetros de tanques cilíndricos verticales soldados o tanques cilíndricos verticales con superficie exterior lisa y techos flotantes o fijos. Este estándar deberá ser usado junto con el API estándar 2550 “Método para la Medición y Calibración de Tanques Cilíndricos Verticales”.

Para la aplicación externa del ORLM en tanques con aislamiento, el aislante deberá ser quitado. El ORLM puede ser usado en el interior del tanque; sin embargo, cuando la circunferencia de referencia en el curso inferior se establece externamente, el aislante en el anillo inferior deberá ser quitado. Esta medición se ajustará a los procedimientos descritos en el API estándar 2550.

Los tanques anormalmente deformados (esto es, tanques con abolladuras o que tienen otros signos visibles de daño) serán reparados antes que cualquier medición se lleve a cabo.

##### **7.1.1 Seguridad**

Se debe optar de igual manera que en el capítulo anterior, en cuanto a las acciones a tomar y al equipo de seguridad utilizado para realizar la calibración del tanque.

### 7.1.2 Equipos

Se requiere el siguiente equipo para el ORLM:

- a. Los equipos y aparatos descritos en el API estándar 2550.
- b. Un dispositivo óptico montado en un trípode o un dispositivo de soporte equivalente. El dispositivo tendrá una línea de visión perpendicular (una línea de visión de 90 grados) y tendrá los accesorios nivelados a lo largo de tres ejes diferentes. La perpendicularidad del rayo óptico (o línea de referencia vertical) estará entre 1 y 20,000 sobre la altura del tanque.
- c. Un carro magnético atravesado con una escala horizontal graduada (0.01 pies o incrementos de 1 milímetro) usado para medir el offset en diferentes estaciones verticales. El carro magnético mantendrá su contacto con la carcasa del tanque durante todo el recorrido vertical. El carro estará en buen estado de funcionamiento y el cero en la escala estará ubicado cerca a la carcasa del tanque. Los valores numéricos grabados en la escala serán leídos a través del dispositivo óptico. La precisión de la escala será verificada contra una cinta maestra. La resolución combinada de la escala y el dispositivo óptico deberá permitir al operador leer la medida del offset lo más cercano a 0.005 pies (o 1 milímetro) en cualquier estación vertical dada. (Dado que la mínima resolución de la escala métrica es 1 milímetro, este sistema tiene una mejor resolución en general).

### 7.1.3 Procedimiento de Calibración Óptica

Se debe seguir el procedimiento paso a paso descrito desde 7.1.3.1 hasta 7.1.4 para medir las desviaciones del radio de un tanque vertical de almacenamiento por medio del ORLM.

### **7.1.3.1 Estado del Tanque antes de la Calibración**

Antes de la calibración, el tanque habrá sido llenado al menos una vez en su ubicación actual con un líquido al menos tan denso como el líquido que se espera que contenga. La prueba hidrostática de costumbre (por un período de aproximadamente 24 horas) por lo general satisface este requerimiento. Cualquier prueba hidrostática deberá ser realizada de acuerdo con construcciones aplicables y estándar de funcionamiento. Siempre que sea posible, el líquido en el tanque deberá permanecer ahí por aproximadamente 24 horas antes de realizar la calibración. Otros requerimientos para el estado del tanque se especifican en el API Standard 2550.

### **7.1.3.2 Preparación**

El número mínimo de estaciones horizontales será seleccionado de acuerdo a la Tabla N° 7.1. Se pueden seleccionar estaciones adicionales, más allá del número mínimo especificado en la Tabla N° 7.1, pero siempre se debe elegir un número par de estaciones. Las estaciones deberán estar distanciadas tan equidistantemente alrededor de la circunferencia del tanque como sea posible. La Figura 7 - 1 muestra un ejemplo de la distancia horizontal.

**Tabla N° 7.1 Número mínimo de Estaciones Horizontales en Función del Diámetro del Tanque**

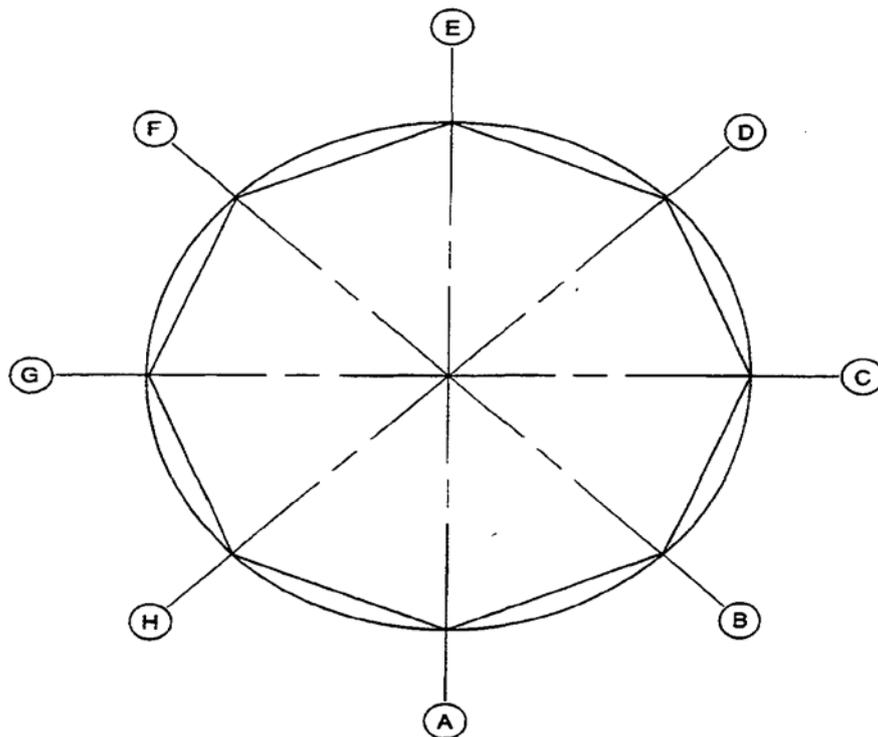
Diámetro del Tanque		Número Mínimo de Estaciones
Pies	Metros	
50	15	8
100	30	12
150	50	16
200	70	20
250	85	24
300	100	30
350	120	36

La estación horizontal se elegirá para asegurar que el recorrido vertical del carro a lo largo de la carcasa en cualquier estación dada es al menos 12 pulgadas (300 milímetros) lejos de la marca de soldadura vertical. El carro deberá atravesar cada estación horizontal para asegurar que no hay interferencia con la marca de soldadura vertical. Si existiera interferencia, la estación horizontal será reubicada para eliminar la interferencia.

Para el anillo inferior, la estación vertical preferida es a) a un 20% de la altura del anillo, debajo de la marca de soldadura horizontal superior y b) dentro del rango focal del instrumento óptico. Si los criterios a y b entran en conflicto, la ubicación será dictada por el rango focal del equipo.

Para cualquier estación horizontal dada, al menos dos estaciones verticales deberán ser establecidas para cada anillo, excepto para el anillo inferior, como se muestra en la Figura 7 - 1.

**Figura 7 – 1 Plano del Tanque (Muestra para ocho estaciones)**



- a. Los pasos a y b deben ser repetidos aleatoriamente en tres estaciones horizontales (incluyendo la primera estación) durante el curso de la calibración.

#### **7.1.4 Procedimientos de Calibración**

Las medidas de calibración pueden ser tomadas con cualquier altura de líquido en el tanque. No debe ocurrir transferencia o mezcla de líquido durante la calibración. La temperatura y la densidad relativa o gravedad API del líquido y la altura del líquido serán registradas antes de realizar el procedimiento de calibración. Las mediciones se harán de la siguiente manera:

- a. La circunferencia de referencia se medirá usando una cinta maestra. La circunferencia de referencia se medirá en/o muy cerca a la altura de la primera estación vertical sobre el anillo inferior (donde el offset de referencia se medirá como muestra la Figura 6 - 4). Los procedimientos dados en el

estándar API 2550 serán seguidos por la medida de la circunferencia de referencia.

- b. Se comprobará que el dispositivo óptico está en una posición estable. En cualquier estación horizontal dada, el dispositivo no debe ser movido o perturbado durante el recorrido del carro magnético desde el anillo inferior hasta el superior.
- c. Se verificará la perpendicularidad, y el offset de referencia (por ejemplo Distancia a en Figuras 7 - 5 y 7 - 6) deberá ser medido desde la primera estación horizontal.
- d. El carro deberá ser corrido verticalmente hasta la siguiente estación vertical predeterminada en cada anillo, y el offset (por ejemplo, Distancia m en las Figuras 7 - 5 y 7 - 6) debe ser leído. Este procedimiento debe ser repetido secuencialmente en todas las estaciones verticales.
- e. Después que el offset en el curso más alto es leído, el carro será nuevamente bajado al anillo inferior y la medida del offset de referencia deberá ser repetida.

Los offset de referencia inicial y final en cada estación horizontal deben estar dentro de un rango de 0.005 pies (ó 1 milímetro) uno del otro. Si esto no se cumple, el procedimiento deberá ser reiniciado, empezando con el paso c.

- f. Los pasos b – e deberán ser repetidos para cada estación horizontal.
- g. Después que la medición óptica se complete alrededor del tanque, la medida de la circunferencia de referencia (paso a) se repetirá usando la misma cinta maestra. Las lecturas inicial y final deben concordar dentro de un rango de 0.005 pies (ó 1 milímetro). Si esto no ocurriera, las mediciones serán repetidas desde el inicio del procedimiento.

**Figura 7 – 2 Tomando Lecturas Ópticas en la pared exterior del Tanque**



**Figura 7 – 3 Se visualiza el ascenso del carro magnético**



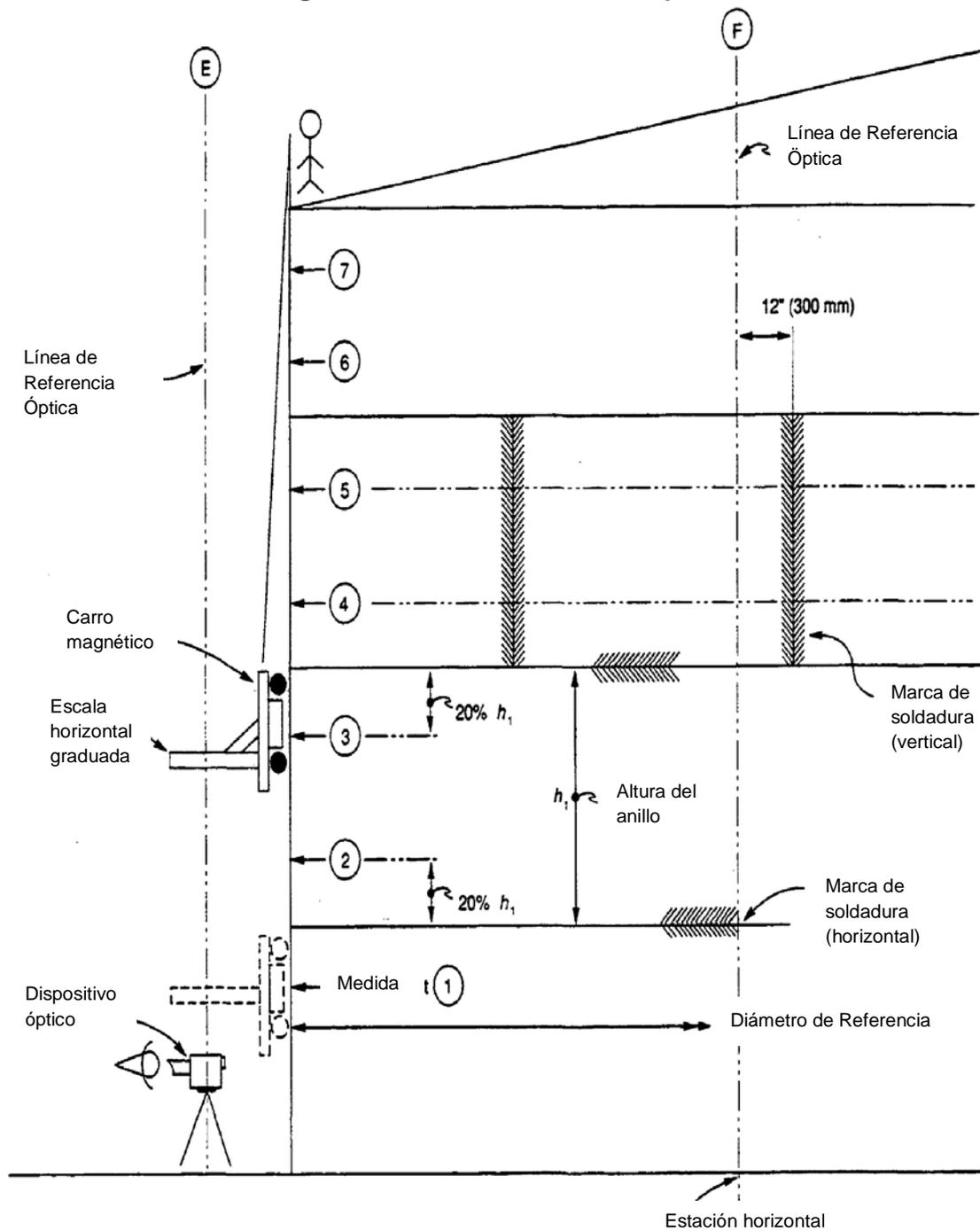
### **7.1.5 Procedimiento de Cálculo**

El procedimiento de cálculo para determinar el radio de cada anillo a partir de las mediciones del offset y la circunferencia de referencia se presenta en las Figuras 7 - 5 y 7 - 6. Una vez que se determina el radio del anillo, la tabla de capacidad será desarrollada de acuerdo con los procedimientos dados en el API estándar 2550.

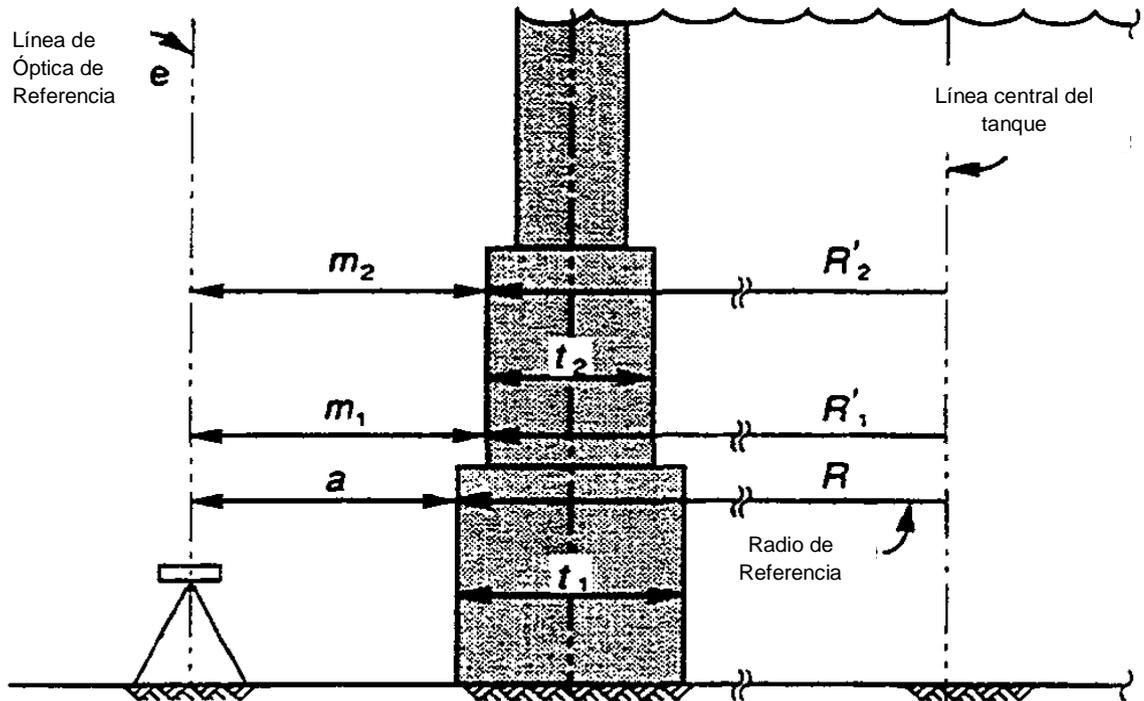
### **7.1.6 Desarrollo de las Tablas de Capacidad**

La circunferencia/radio del anillo determinado mediante el ORLM será usada para desarrollar la tabla del strapping de acuerdo a los procedimientos dados en el API estándar 2550. Todos los factores de corrección (por ejemplo temperatura e inclinación) serán considerados, de acuerdo con el API estándar 2550.

Figura 7 – 4 Elevación del Tanque



**Figura 7 – 5 Método de la Línea Óptica de Referencia: Determinación del Radio Interno (Medición Externa)**



**Figura 7 - 5a RAS DE LINEA CENTRAL**

Nota: Usando el método de medición externa, el cálculo para determinar el radio interno se realiza como sigue:

$$R_1 + m_1 = R + a$$

$$R_1 = R + a - m_1$$

$$= R - (m_1 - a)$$

$$= (C/2\pi) - (m_1 - a)$$

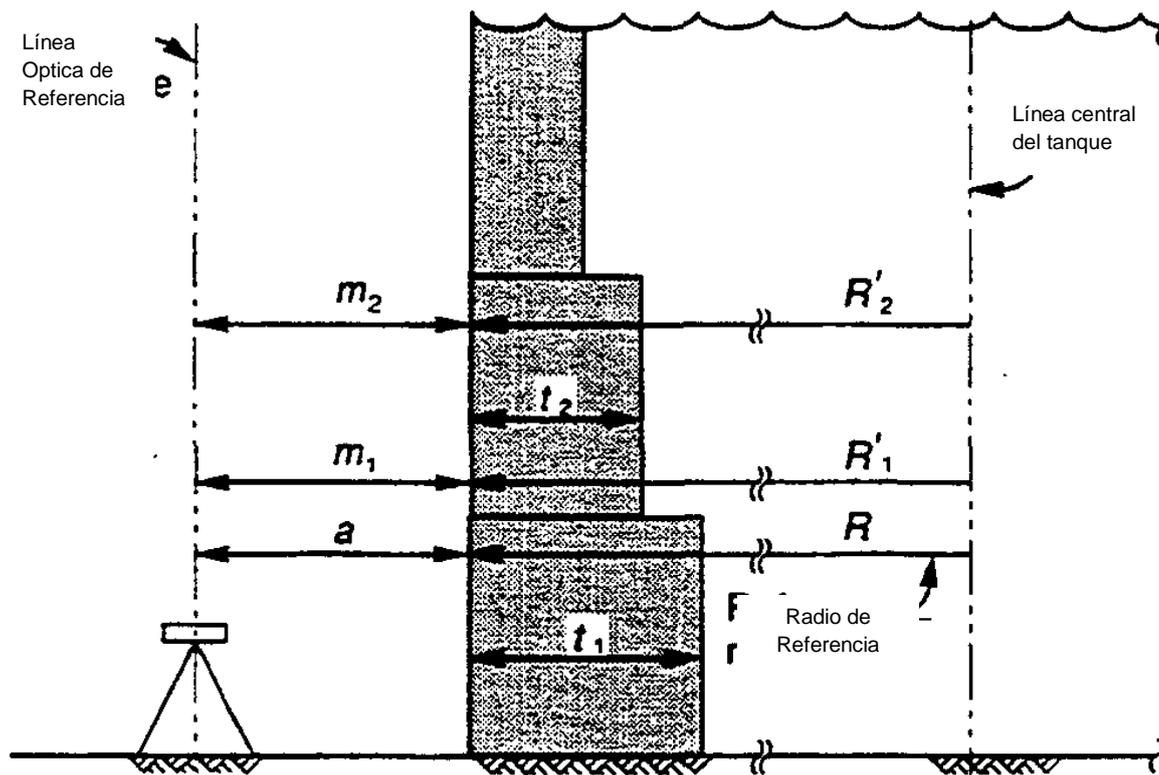


Figura 7 - 5b RAS EXTERNO

Para  $n$  estaciones horizontales:

$$R'_1 = (C/2\pi) - [\Sigma(m_1 - a)]/n$$

Similarmente:

$$R'_2 = (C/2\pi) - [\Sigma(m_2 - a)]/n$$

Para el anillo inferior:

$$R_i = R - t_1$$

Para la parte inferior del segundo anillo:

$$R'_{1i} = R'_1 - t_2$$

Para la parte superior del segundo anillo:

$$R'_{2i} = R'_2 - t_2$$

Donde:

$C$  = circunferencia de referencia externa

$R$  = radio de referencia externo (anillo inferior) =  $C/2\pi$

$R'_1, R'_2$  = radio externo del segundo anillo

$t_1, t_2$  = espesores del anillo

$a$  = offset de referencia

$m_1, m_2 =$  offset de anillo individual

$R_i =$  radio interno de referencia (anillo inferior)  $= R - t_1$

$R'_{1i} =$  radio interno (parte inferior del segundo anillo)

$R'_{2i} =$  radio interno (parte superior del segundo anillo)

Un cálculo similar se realizará para el resto de anillos

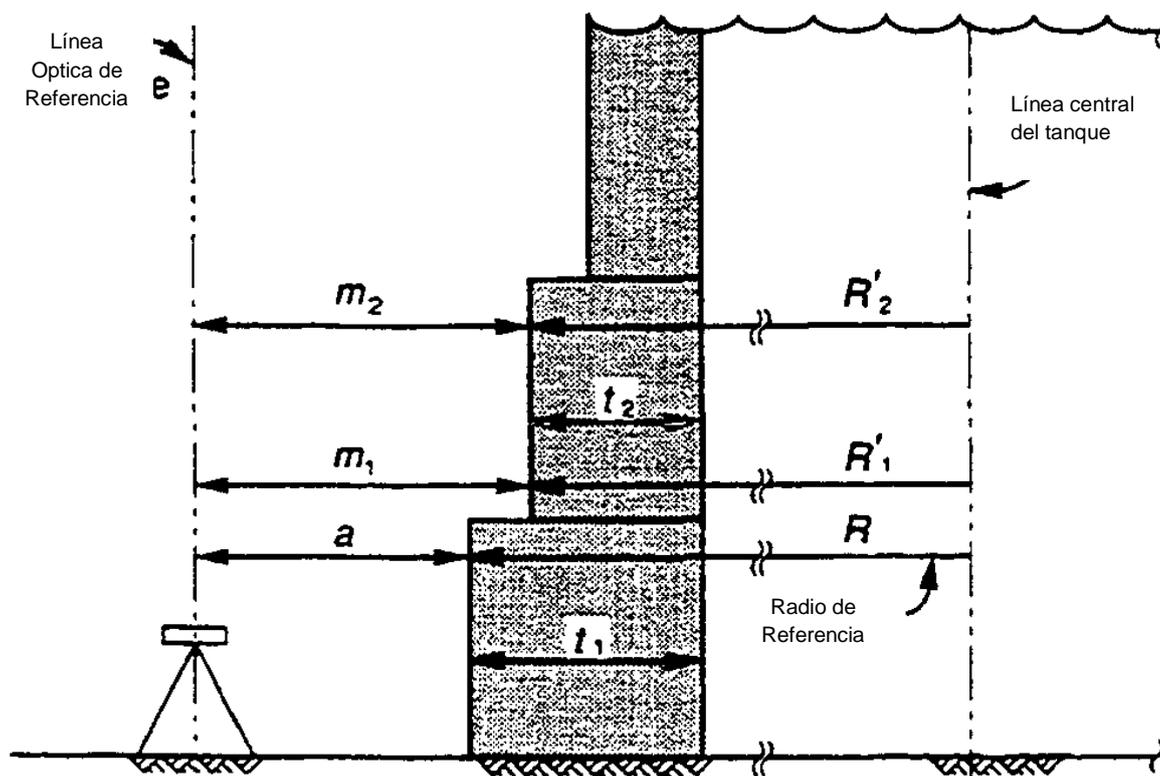


Figura 7 - 5c RAS INTERNO

Figura 7 – 6 Método de Línea Óptica de Referencia: Determinación de Radio Interno (Medición Interna)

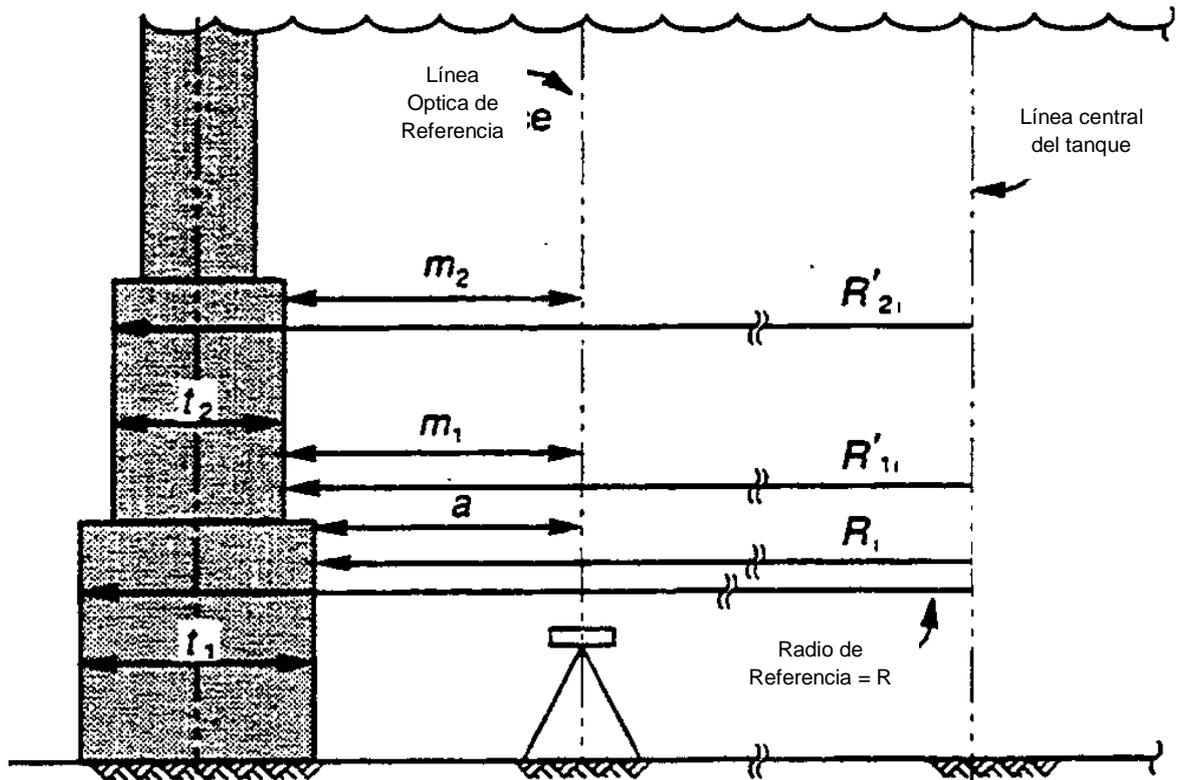


Figura 7 - 6a RAS DE LINEA CENTRAL

Nota: Usando el método de mediciones internas, el cálculo para determinar el radio interno se realiza como sigue:

$$R'_{1i} - m_1 = R_i - a$$

$$R'_{1i} = R_i + m_1 - a$$

Para  $n$  estaciones horizontales:

$$R'_{1i} = [(C/2\pi) - t_1] + [\Sigma(m_1 - a)]/n$$

Similarmente:

$$R'_{2i} = [(C/2\pi) - t_1] + [\Sigma(m_2 - a)]/n$$

Donde:

$C$  = circunferencia de referencia externa

$R$  = radio de referencia externo (anillo inferior) =  $C/2\pi$

$t_1$  = espesores del anillo

$R_1$  = radio interno de referencia (anillo inferior) =  $R - t_1$

$a$  = offset de referencia

$m_1, m_2 =$  offset de anillo individual

$R'_{1i} =$  radio interno (parte inferior del segundo anillo)

$R'_{2i} =$  radio interno (parte superior del segundo anillo)

Un cálculo similar será realizado para el resto de anillos.

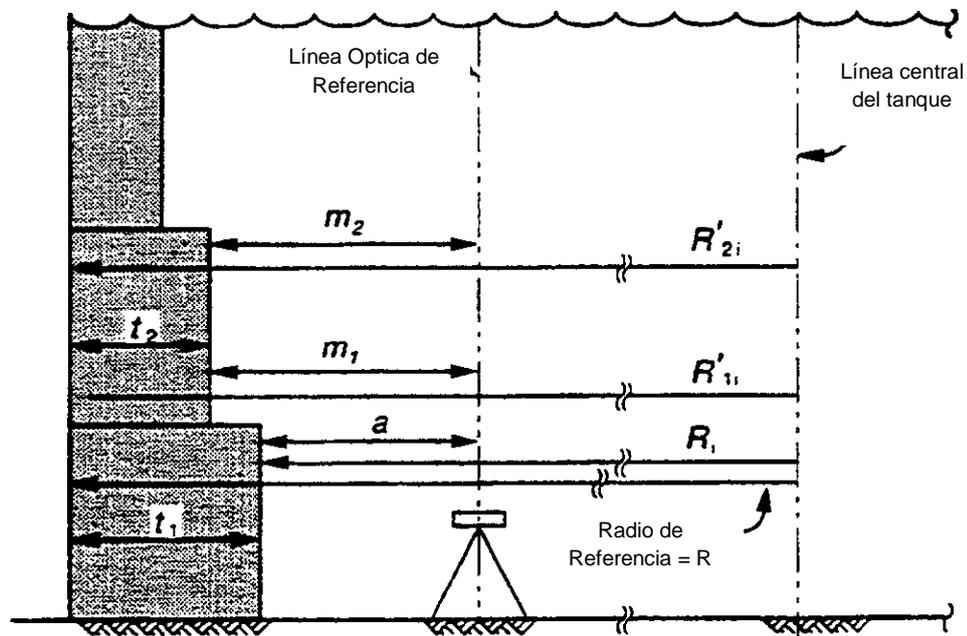


Figura 7 – 6b RAS EXTERNO

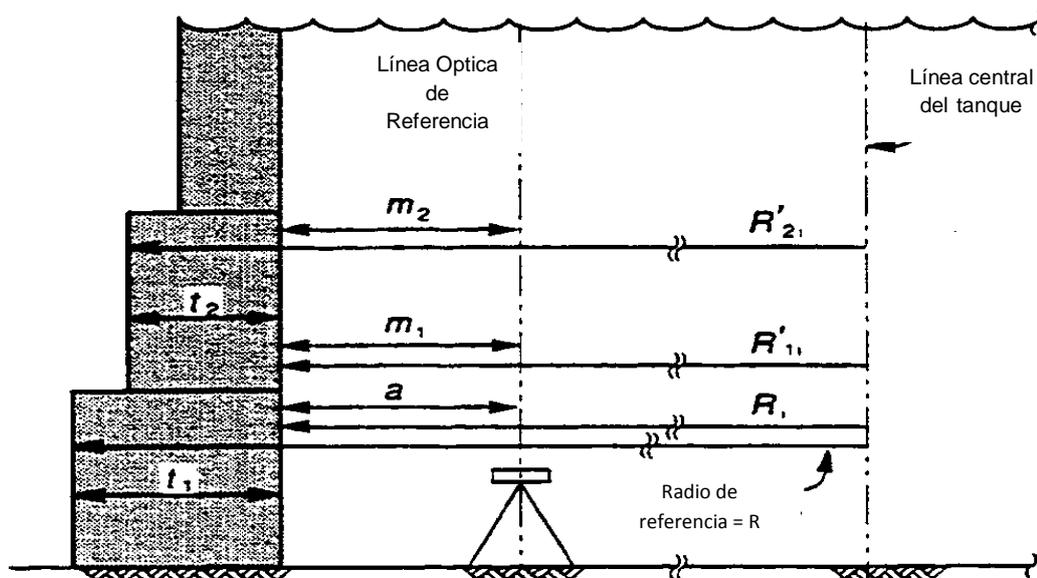


Figura 7 – 6c RAS INTERNO

## CAPITULO VIII

### PROCEDIMIENTO DE CALIBRACION Y CALCULO MEDIANTE EL MPMS 2.2.D

#### 8.1 Norma API MPMS Capítulo 2.2D “Medida y Calibración de Tanques Cilíndricos Verticales por el Método Electro-Optico Interno de Determinación de Distancia” (EODR)

Esta parte especifica un método para la calibración de Tanques Cilíndricos Verticales con diámetros de más de 5 m., por medio de mediciones internas utilizando un instrumento electro-óptico de determinación de distancia, y para la posterior elaboración de tablas de capacidad de tanques. Este método es conocido como Método electro-óptico interno de determinación de distancia (EODR).

Esta parte no es aplicable a la calibración de tanques anormalmente deformados (por ejemplo, con abolladuras) o de tanques no circulares.

Esta parte, es aplicable a tanques inclinados  $\leq 3\%$  respecto a la vertical, siempre y cuando se aplique una corrección a la medida de la inclinación como se indica en el capítulo 2.2A.

Esta parte es aplicable a tanques con fondo de cono superior o inferior, así como tanques con fondo plano.

##### 8.1.1 Seguridad

Las precauciones generales y de seguridad que figuran en la API MPMS Capítulo 2.2A se aplican a esta norma.

Además, el rayo láser emitido por la unidad de distancia-alcance deberá ajustarse a la norma IEC 825 para láser clase 1.

## **8.1.2 Equipos**

### **8.1.2.1 Instrumento Electro-Optico de Determinación de Distancia**

El dispositivo de medición angular del instrumento debe tener una graduación angular y resolución igual o superior a  $\pm 0.0002$  gon\*, una capacidad de repetitividad igual o superior a  $\pm 0.0005$  gon, y una incertidumbre igual o mejor a  $\pm 0,001$  gon.

El dispositivo del instrumento que realiza la medición de distancia, utilizado para la determinación directa de las distancias, tendrá una graduación y resolución igual o mejor que  $\pm 1$  mm, una repetitividad igual o mejor que  $\pm 2$  mm, y una incertidumbre igual o mejor que  $\pm 2$  mm.

### **8.1.2.2 Instrumento de Montaje**

Consiste en un trípode, el cual es firme y estable. Las patas del trípode se deben mantener firmes, y se estabilizarán por medio de dispositivos adecuados, como portadores magnéticos.

### **8.1.2.3 Emisor de Rayo Láser**

Contar con un Rayo Láser de bajo poder que cumpla con la norma IEC 825, que puede ser una parte integral del instrumento EODR o un dispositivo independiente. Si el emisor de rayo láser es un dispositivo independiente, puede ser equipado con un sistema transmisor de fibra óptica y una conexión a un teodolito ocular, por lo que el rayo láser se puede transmitir a través de un teodolito, o de tal manera que pueda acoplarse a un teodolito con su eje paralelo al eje del teodolito. El haz láser puede ser coincidente con el eje óptico del telescopio.

**Nota:** El emisor de rayo láser se utiliza para colocar los puntos de destino en el tanque.

#### **8.1.2.4 Equipos Auxiliares**

Incluye:

- a. Los pesos serán fijados en torno al instrumento para estabilizar la unidad.
- b. Iluminación dentro del tanque, si es necesario.

#### **8.1.3 Selección de Puntos Objetivos**

Seleccionar dos conjuntos de puntos objetivos por procedimiento, una de 1/5 a 1/4 de altura por encima de la marca horizontal inferior, la otra de 1/5 a 1/4 de altura por debajo de la marca horizontal superior.

El número de puntos objetivo por conjunto, en cada curso de la pared del tanque, depende de la circunferencia de éste. El número mínimo de puntos objetivo por conjunto, en función de la circunferencia del tanque, se da en la Tabla N° 8.1 y se ilustra en la Figura 8 - 1.

Los puntos objetivos estarán al menos a 300 mm de cualquier marca de soldadura vertical.

#### **8.1.4 Procedimiento de Calibración**

La vista de todos los puntos objetivos a lo largo del plano horizontal en cada ubicación del curso, y la medida de la distancia de pendiente, ángulo horizontal y ángulo vertical de cada uno, se ilustra en la Figura 8 - 2.

Medir y registrar la distancia de pendiente, ángulo horizontal y ángulo vertical para cada uno de los puntos objetivos.

Completar las medidas de los puntos objetivos en cada curso antes de pasar al próximo curso.

**Nota:** Las mediciones deberán comenzar en el curso inferior y se extenderán, curso por curso, a la cima.

Después de que todas las mediciones en un curso se han completado, repetir las mediciones de los puntos objetivos de referencia.

**Tabla N° 8.1 Número mínimo de puntos objetivos por conjunto**

<b>C: Circunferencia del tanque (m)</b>	<b>Número mínimo de puntos objetivo</b>
$C \leq 50$	8
$50 < C \leq 100$	12
$100 < C \leq 150$	16
$150 < C \leq 200$	20
$200 < C \leq 250$	24
$250 < C \leq 300$	30
$C \geq 300$	36

Nota: Se puede elegir un número de puntos mayor que el número mínimo de puntos en la Tabla N° 8.1 dependiendo de las circunstancias y condiciones específicas del tanque.

Si las distancias de pendiente repetidas (vueltas a medir) de los puntos objetivos de referencia no concuerdan con las mediciones tomadas durante la configuración del instrumento, entonces repetir los pasos desde 8.1.4.

Si los ángulos horizontal y vertical de los puntos objetivos de referencia no concuerdan con la tolerancia respectiva, entonces repetir los pasos desde 8.1.4.

Si no se obtiene concordancia estadística entre las medidas originales y repetidas de las distancias pendientes, ángulos horizontales o verticales, entonces las

razones de dicha discordancia deberán ser determinadas, la causa deberá ser eliminada y el procedimiento de calibración del tanque deberá ser repetido.

Llevar a cabo todas las mediciones, sin interrupción.

### **8.1.5 Tolerancias**

#### **8.1.5.1 Puntos Objetivos de Referencia: Verificación de Distancia**

La distancia de pendiente a cada uno de los puntos objetivos de referencia antes y después de haber llevado a cabo la calibración de tanques deberá estar en el intervalo de  $\pm 2$  mm.

#### **8.1.5.2 Puntos Objetivos de Referencia: Verificación de Angulos Horizontal y Vertical**

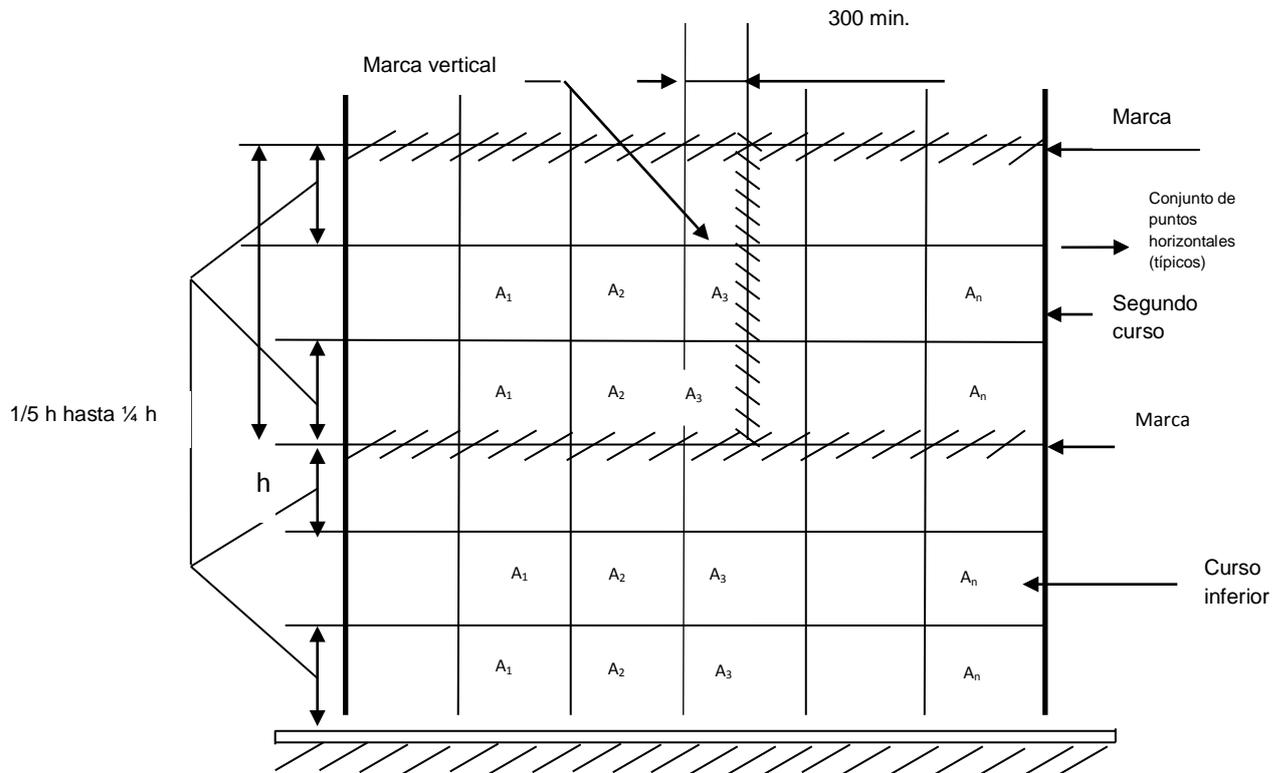
El ángulo horizontal y vertical a cada uno de los puntos objetivos de referencia antes y después de haber llevado a cabo la calibración de tanques deberá estar en el intervalo de  $\pm 0,001$  gon.

### **8.1.6 Otras Medidas**

El fondo del tanque será calibrado por el método líquido, de conformidad con la Norma API 2555, o por el uso de un instrumento de alcance electro-óptico con nivel topográfico, ó una estación topográfica de conformidad con la API MPMS Capítulo 2.2A; ó por el uso de recipientes calibrados (serafines) con agua de acuerdo con el API MPMS Capítulo 2.2A.

La altura total del punto de referencia de cada inmersión en la escotilla (punto de referencia superior), en su caso, por encima del punto de inmersión se medirá con una cinta con plomada, de acuerdo con el API MPMS Capítulo 2.2A. Esta altura total, al milímetro, deberá marcarse en el tanque adyacente a la escotilla.

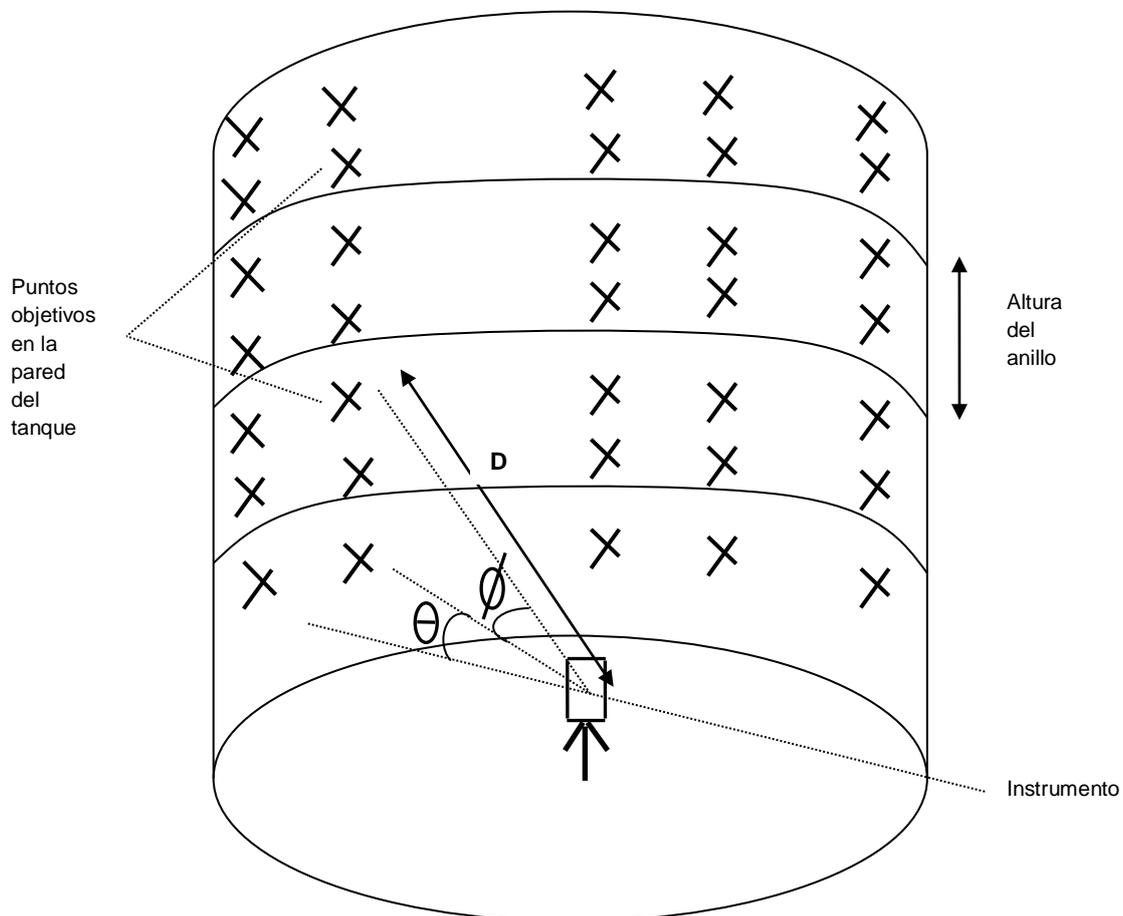
**Figura 8 – 1 Ilustración de la ubicación de los Puntos Objetivos en la pared del Tanque**



h: altura del curso

$A_1$  a  $A_n$ : puntos objetivos en cualquier altura determinada

Figura 8 – 2 Ilustración de Procedimiento de Calibración



$\theta$ : Angulo horizontal

$\phi$ : Angulo vertical

$D$ : Distancia de pendiente

### **8.1.7 Cálculo y Desarrollo de las Tablas de Capacidad**

Calcular el radio interno del tanque mediante los procedimientos matemáticos detallados en la parte de cálculos.

Una vez que el radio interno se ha calculado, el desarrollo de la tabla de capacidad se llevará a cabo de acuerdo con el API MPMS Capítulo 2.2A. Las siguientes correcciones, descritas en el Capítulo 2.2A, se aplicarán en el desarrollo de las tablas de capacidad:

- a. Corrección por efecto del nivel del líquido.
- b. Corrección por temperatura de la carcasa del tanque, certificada.
- c. Corrección por deadwood.
- d. Corrección por inclinación.

## CAPITULO IX

### CALCULOS PARA LA ELABORACION DE LA TABLA DE CAPACIDAD

#### 9.1 CÁLCULOS PARA LA ELABORACIÓN DE LA TABLA DE CAPACIDAD MEDIANTE EL METODO DE LA LINEA OPTICA DE REFERENCIA EN CONJUNCION CON EL METODO DEL STRAPPING

##### 9.1.1 Cálculo de los Factores de Corrección para la obtención de la Tabla de Capacidad por el Método de la Línea Óptica de Referencia

Para los cálculos efectuados a continuación se tomó como ejemplo aplicativo el Tanque N° 8D-1, ubicado en la Estación N° 8 del Oleoducto Nor Peruano - Petroperú, en la ciudad de Bagua y calibrado con fecha 27 de enero de 2010.

El producto a almacenar en dicho tanque es petróleo crudo con una densidad promedio de 0.929 gr/cm<sup>3</sup>.

#### 1. Cálculo de Longitudes de Circunferencias

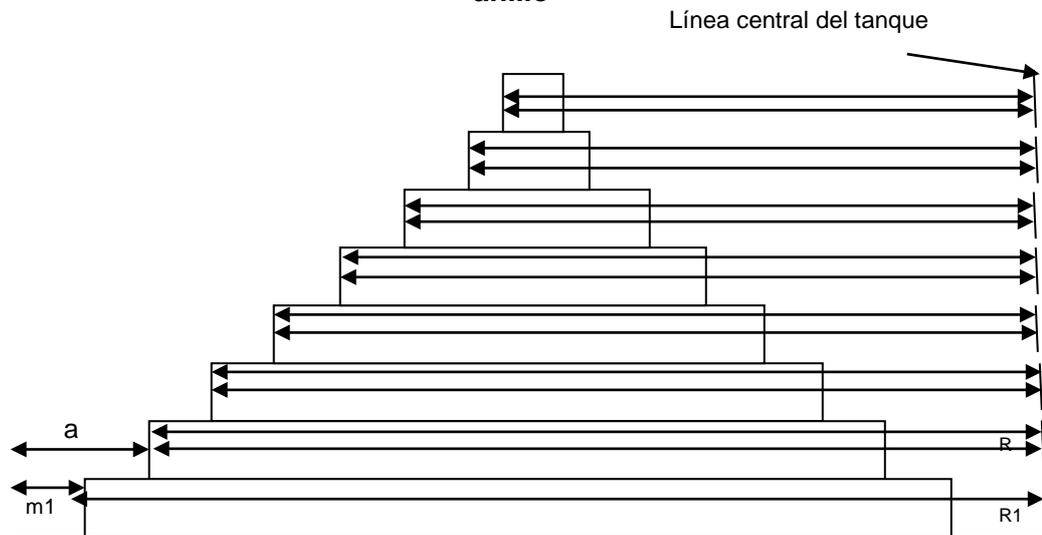
Diámetro Teórico (m)	:	18.979
Capacidad Teórica (lt/mm)	:	282.890

#### Inspección Óptica Externa

Número de estaciones alrededor del tanque	:	8
Circunferencia de referencia en el 2do anillo (mm)	:	59623
Sumatoria de medidas ópticas en la referencia	:	1569

De la figura:

**Figura 9 – 1 Muestra de los espesores de plancha de un tanque y radios por anillo**



Se muestran en la tabla los valores de longitudes de circunferencia corregidas, por anillo.

**Tabla N° 9.1 Longitudes de Circunferencia Corregidas por Anillo, Tanque 8D-1**

ANILLO	LONGITUD DE CIRCUNFERENCIA (mm)
1	596621
2	59621
3	59613
4	59593
5	59597
6	59597
7	59596
8	59627

## 2. Cálculo de Niveles Críticos y Volúmenes de Fondo

Para ello, hacemos uso de los datos obtenidos de la tabla de Medidas de Fondo, en la cual se hizo un levantamiento topográfico de las 8 estaciones.

**Tabla N° 9.2 Tabla de Medidas de Fondo, Tanque 8D-1**

	PARED						CENTRO		
<b>Distancia al centro</b>	<b>9.48</b>	<b>8.98</b>	<b>8.48</b>	<b>7.98</b>	<b>7.48</b>	<b>6.17</b>	<b>5.48</b>	<b>3.48</b>	<b>0</b>
<b>Estación</b>	<b>0.00</b>	<b>0.50</b>	<b>1.00</b>	<b>1.50</b>	<b>2.00</b>	<b>3.311 <sup>(7)</sup></b>	<b>4.00</b>	<b>6.00</b>	<b>9.478</b>
<b>1</b>	4600	4575	4551	4535	4535		4473	4407	4385
<b>2</b>	4604	4585	4573	4546	4522		4491	4386	4406
<b>3</b>	4605	4578	4545	4526	4524		4453	4401	4398
<b>4</b>	4592	4571	4568	4560	4545		4473	4386	4400
<b>5</b>	4580	4579	4573	4558	4540		4479	4422	4384
<b>6</b>	4576	4560	4542	4531	4525		4452	4402	4377
<b>7</b>	4565	4554	4537	4510	4493		4435	4378	4380
<b>8</b>	4584	4581	4565	4532	4506		4448	4405	4382
<b>Promedio</b>	4588	4573	4557	4537	4524	4484 <sup>(1)</sup>	4463	4398	4389
<b>Diferencia <sup>(2)</sup></b>	-211	-196	-180	-160	-147	-107	-86	-21	-12
<b>DIFDP <sup>(3)</sup></b>	-104	-89	-73	-53	-40	0	21	86	95
<b>DIF 1 <sup>(4)</sup></b>	-125	-110	-94	-74	-61	-21	0	65	74
<b>DIF 2 <sup>(5)</sup></b>	-190	-175	-159	-139	-126	-86	-65	0	9
<b>DIF 3 <sup>(6)</sup></b>	-199	-184	-168	-148	-135	-95	-74	-9	0

Lectura Optica en el Punto de Referencia (mm) : 4484

Lectura Optica en el Punto más alto (mm) : 4377

(1): Es igual a la Lectura Optica en el Punto de Referencia.

(2): Es la diferencia entre la Lectura Optica en el Punto más Alto y la Lectura Optica Promedio para cada tramo circuscrito.

(3): Es la diferencia entre la Lectura Optica en el Punto de Referencia y la Lectura Optica Promedio para cada tramo circuscrito.

(4): Es la diferencia entre la Lectura Optica Promedio (a 5.48 m. del centro) y las Lecturas Opticas Promedio para cada tramo circunscrito.

(5): Es la diferencia entre la Lectura Optica Promedio (a 3.48 m. del centro) y las Lecturas Opticas Promedio para cada tramo circunscrito.

(6): Es la diferencia entre la Lectura Optica Promedio (en el centro) y las Lecturas Opticas Promedio para cada tramo circunscrito.

(7): Es la distancia que hay desde el nivel promedio del Punto de Referencia hacia el centro del tanque.

El cálculo es de la siguiente manera:

$$\frac{21-0}{4-r} = \frac{40-0}{r-2}$$

$$21*(r-2) = 40*(4-r)$$

$$21*r - 42 = 160 - 40*r$$

$$61*r = 202 \quad \rightarrow \quad r = \frac{202}{61} = 3.311 \text{ m.}$$

**Sumidero:**

Diámetro interno (D) = 0.9 m.

Altura (H) = 0.47 m.

Cálculo del volumen:

$$V_s = \frac{\pi * D^2}{4} * H = \pi * \frac{(0.9)^2}{4} * 0.47$$

$$V_s = 0.299 \text{ m}^3 \cong 299 \text{ lt.} \quad \text{-----(1)}$$

**Entonces, tenemos para el primer anillo:**

Longitud de Circunferencia (mm)	:	59621
Espesor de Plancha + Espesor de Pintura (mm)	:	10.90
Radio (mm)	:	9478
Altura del punto más alto (mm)	:	4377

(Para una diferencia entre la Lectura Óptica en el Punto de Referencia y la Lectura Óptica en el punto más alto: 107 mm <sup>(a)</sup>)

$$(a) = 4484 - 4377 = 107 \text{ mm.}$$

De la tabla de medidas de fondo tenemos:

**Tabla N° 9.3 Tabla de Puntos Críticos respecto al Punto de Referencia, Tanque 8D-1**

Mediciones hacia el centro del Tanque por estación	Distancia entre la carcasa con la posición a medir (mm)	Distancia entre el centro con la posición a medir (mm)	Lectura de las alturas (mm)	<sup>(b)</sup> Diferencia entre la lectura en el Punto de Referencia y las Lecturas Ópticas Promedio (mm)
1	0	9478	4588	-104
2	500	8978	4573	-89
3	1000	8478	4557	-73
4	1500	7978	4537	-53
5	2000	7478	4524	-40
6	4000	5478	4463	21
7	6000	3478	4398	86
8	9478	0	4389	95

Volumen de inmersión = 0 (sin sumidero): 8901 litros

(con sumidero): 9200 litros

(b): De la misma forma de la tabla de medidas de fondo tenemos los niveles críticos, esto es el ítem (3):

**Nivel Crítico (i) = Lectura Optica de Referencia – Lectura Optica Promedio de cada Estación**

$$\text{Nivel Crítico 1} = 4484 - 4588 = -104$$

$$\text{Nivel Crítico 2} = 4484 - 4573 = -89$$

$$\text{Nivel Crítico 3} = 4484 - 4557 = -73$$

$$\text{Nivel Crítico 4} = 4484 - 4537 = -53$$

$$\text{Nivel Crítico 5} = 4484 - 4524 = -40$$

$$\text{Nivel Crítico 6} = 4484 - 4484 = 0$$

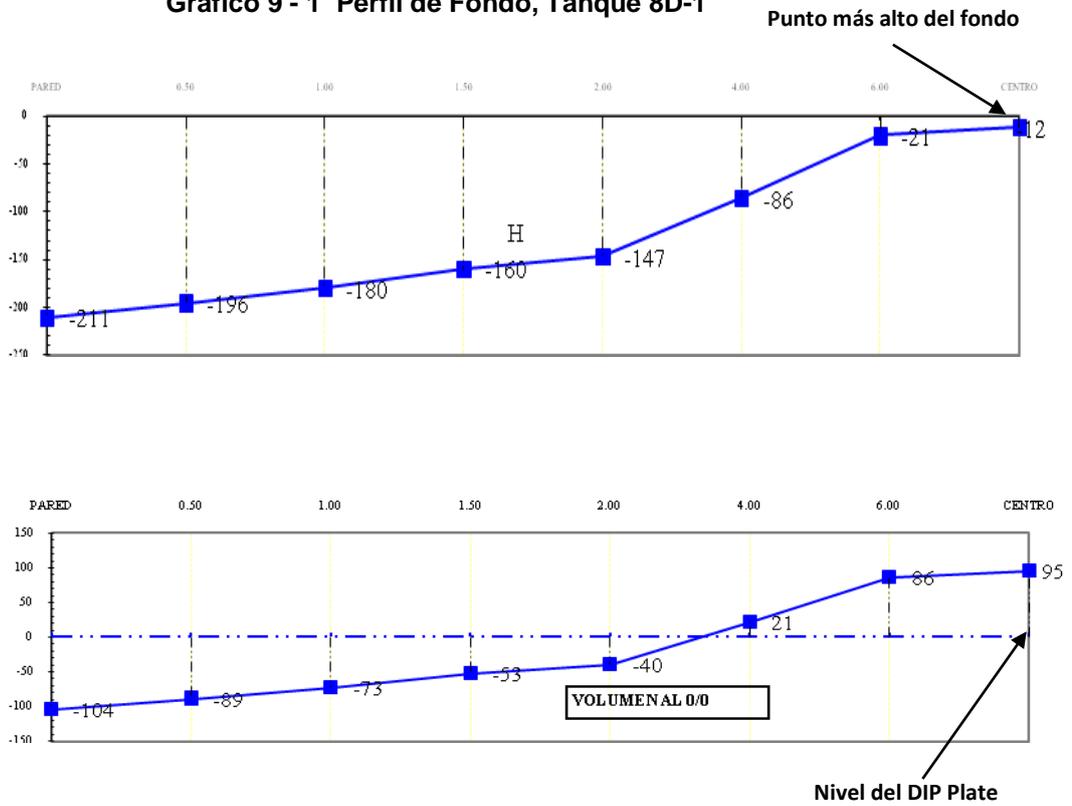
$$\text{Nivel Crítico 7} = 4484 - 4463 = 21$$

$$\text{Nivel Crítico 8} = 4484 - 4398 = 86$$

$$\text{Nivel Crítico 9} = 4484 - 4389 = 95$$

Ahora, para obtener los volúmenes a los diferentes niveles críticos a partir de la inmersión cero, hacemos el cálculo de la siguiente manera:

**Gráfico 9 - 1 Perfil de Fondo, Tanque 8D-1**



### Volumen al Punto de Inmersión Cero (a 6.17 m del Centro).

En este caso el DP se encuentra a 6.17 m. del centro del tanque.

Se detalla el cálculo para el Volumen 1, el cálculo para los volúmenes  $V_2$  al  $V_8$  es de manera similar.

$$\text{Volumen 1} = \pi \cdot (3.48^2 - 0^2) \cdot \left( \frac{86 + 95}{2 \cdot 1000} \right) = 3.4390345 \text{ m}^3$$

Entonces tenemos:

**Tabla N° 9.4 Volumen al Punto de Inmersión Cero, Tanque 8D-1**

Tramo o sección	Volumen (m <sup>3</sup> )
1	3.4390345
2	3.0105064
3	0.2644686
4	-1.1243281
5	-1.1289253
6	-1.6284718
7	-2.220984
8	-2.797569

Sumando los volúmenes del  $V_4$  al  $V_8$ , obtenemos el volumen en el Deep Plate ( $V_{DP}$ ):

$$V_{DP} = V_4 + V_5 + V_6 + V_7 + V_8$$

$$V_{DP} = 8.9002781 \text{ m}^3 \quad \text{-----}(2)$$

Ahora, de (1) tenemos que el Volumen del Sumidero es:

$$V_S = 0.299 \text{ m}^3 \quad \text{-----}(3)$$

de (2) + (3):

$$V_{DPSum} = 9.1992781 \text{ m}^3 \cong 9200 \text{ lt.}$$

Donde:

$V_{DP}$ : volumen al punto de inmersión cero (en el Deep Plate).

$V_{DPSum}$ : volumen al punto de inmersión cero incluyendo sumidero.

**Volumen a 5.48 m. del Centro:**

$$\text{Volumen 1} = \pi \cdot (3.48^2 - 0^2) \cdot \left( \frac{65 + 74}{2 \cdot 1000} \right) = 2.6410265 \text{ m}^3$$

Entonces tenemos:

**Tabla N° 9.5 Volumen a 5.48 m. del Centro, Tanque 8D-1**

Tramo o sección	Volumen (m <sup>3</sup> )
1	2.6410265
2	1.8288123
3	-0.2644686
4	-2.3048726
5	-1.6387625
6	-2.1712958
7	-2.7967947
8	-3.4063663

Sumando los volúmenes del V<sub>3</sub> al V<sub>8</sub>, obtenemos:

$$V_{\text{a 5.48 m del centro}} = 12.58256 \text{ m}^3 \quad \text{-----(4)}$$

Ahora, de (1) tenemos que el volumen del sumidero es:

$$V_S = 0.299 \text{ m}^3$$

Sumando (3) + (4):

$$V_{\text{a 5.48 m del centro con sum.}} = 12.88156 \text{ m}^3 \cong 12881.56 \text{ lt.} \cong 12882 \text{ lt.}$$

Donde:

V<sub>a 5.48 m del centro</sub>: volumen a 5.48 m del centro

V<sub>a 5.48 m del centro con sum.</sub>: volumen a 5.48 m del centro incluyendo sumidero

**Volumen a 3.48 m del Centro:**

$$\text{Volumen 1} = \pi \cdot (3.48^2 - 0^2) \cdot \left( \frac{0 + 9}{2 \cdot 1000} \right) = 0.17100171 \text{ m}^3$$

Entonces tenemos:

**Tabla N° 9.6 Volumen a 3.48 m. del Centro, Tanque 8D-1**

Tramo o sección	Volumen (m <sup>3</sup> )
1	0.17100171
2	-1.8288123
3	-1.9016551
4	-5.9589388
5	-3.2168301
6	-3.8514651
7	-4.5790658
8	-5.2907392

Sumando los volúmenes del V<sub>2</sub> al V<sub>8</sub>, tenemos:

$$V_{\text{a 3.48 m del centro}} = 26.627506 \text{ m}^3 \quad \text{-----}(5)$$

Ahora, de (1) tenemos que el volumen del sumidero es:

$$V_S = 0.299 \text{ m}^3$$

Sumando (3) + (5):

$$V_{\text{a 3.48 m del centro con sum.}} = 26.926506 \text{ m}^3 \cong 26927 \text{ lt.}$$

**Volumen en el Centro:**

$$\text{Volumen 1} = \pi \cdot (3.48^2 - 0^2) \cdot \left( \frac{0 + -9}{2 \cdot 1000} \right) = -0.17100171 \text{ m}^3$$

Entonces tenemos:

**Tabla N° 9.7 Volumen en el Centro, Tanque 8D-1**

Tramo o sección	Volumen (m <sup>3</sup> )
1	-0.17100171
2	-2.33525260
3	-2.12834243
4	-6.46488643
5	-3.43533174
6	-4.08410395
7	-4.82584177
8	-5.55165238

Sumando los volúmenes del V<sub>1</sub> al V<sub>8</sub>, tenemos:

$$V_{\text{en el centro}} = 28.996413 \text{ m}^3 \quad \text{-----} \quad (6)$$

Ahora, de (1) tenemos que el volumen del sumidero es:

$$V_S = 0.299 \text{ m}^3$$

Sumando (3) + (6):

$$V_{\text{a 3.48 m del centro con sum.}} = 29.295413 \text{ m}^3 \cong 29295 \text{ lt.}$$

**Volumen en el Punto más Alto (en el Centro):**

$$\text{Volumen 1} = \pi \cdot (3.48^2 - 0^2) \cdot \left( \frac{-12 + -21}{2 \cdot 1000} \right) = -0.6270063 \text{ m}^3$$

Entonces tenemos:

**Tabla N° 9.8 Volumen en el Punto más Alto, Tanque 8D-1**

Tramo o sección	Volumen (m <sup>3</sup> )
1	-0.6270063
2	-3.0105064
3	-2.4305922
4	-7.1394833
5	-3.7266673
6	-4.3942891
7	-5.1548764
8	-5.8995366

Sumando los volúmenes del V<sub>1</sub> al V<sub>8</sub>, tenemos:

$$V_{\text{en el punto más alto}} = 32.382958 \text{ m}^3 \text{ -----(7)}$$

Ahora, de (1) tenemos que el volumen del sumidero es:

$$V_S = 0.299 \text{ m}^3$$

Sumando (3) + (7):

$$V_{\text{en el punto más alto con sum.}} = 32.681958 \text{ m}^3 \cong 32682 \text{ lt.}$$

### 3. Corrección de los Diámetros Internos del Tanque.

Tomando los valores desde (a) hasta (h), tenemos:

**Tabla N° 9.9 Espesores de Plancha y Pintura por Anillo, Tanque 8D-1**

Anillo (mm)	Alturas de Anillos (mm)	Longitud de Circunferencia (mm)	Espesor de Plancha (mm)	Espesor de Pintura (mm)
1	1480	59621	10.7	0.2
2	1489	59621	9.0	0.2
3	1491	59613	7.8	0.2
4	1491	59593	7.4	0.2
5	1492	59597	7.1	0.2
6	1490	59597	6.6	0.2
7	1490	59595	6.7	0.2
8	647	59627	7.4	0.2

#### 3.1. Corrección por Elevaciones de la Cinta o Soldaduras Verticales ( $C_{sv}$ ):

$$C_{sv} = \frac{2 * N * t * w}{d} + \frac{8 * N * t}{3} * \sqrt{\frac{t}{d}}$$

Donde:

N: número de soldaduras por anillo.

t: espesor de la soldadura (mm).

w: ancho de la soldadura (mm).

d: diámetro nominal del tanque (mm).

**Para el anillo N° 1**

$$\frac{2 * 10 * 3 * 16}{18978.59} + \frac{8 * 10 * 3}{3} * \sqrt{\frac{3}{18978.59}} = 1.06$$

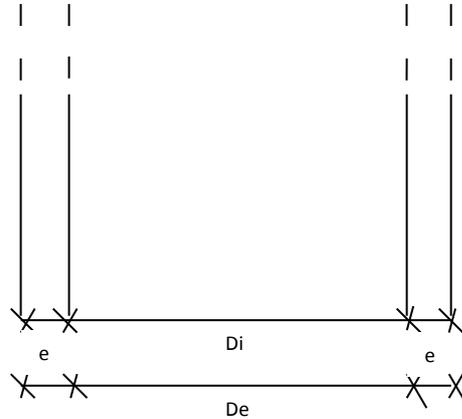
De igual manera para los anillos N° 2 al N° 8, obtenemos el mismo valor 1.06.

#### 3.2. Corrección de la Circunferencia a Tanque Vacío ( $C_{TV}$ ):

En este caso es cero, ya que el tanque se calibró sin producto (vacío).

**3.3. Corrección por Espesor de Plancha más Espesor de Pintura (C<sub>PP</sub>):**

**Figura 9 – 2 Diámetro Externo e Interno del Tanque**



Longitud de circunferencia externa ( $L_{ce}$ ):

$$L_{ce} = 2 \cdot \pi \cdot R_e = \pi \cdot D_e$$

Longitud de circunferencia interna ( $L_{ci}$ ):

$$L_{ci} = 2 \cdot \pi \cdot R_i = \pi \cdot D_i$$

Del gráfico tenemos:

$$L_{ce} = \pi \cdot D_e = \pi \cdot (D_i + 2 \cdot e) = \pi \cdot D_i + 2 \cdot \pi \cdot e$$

Pero:  $\pi \cdot D_i = L_{ci}$

Entonces tenemos:

$$L_{CE} = L_{Ci} + 2 \cdot \pi \cdot e \quad \longrightarrow \quad L_{Ci} = L_{CE} - 2 \cdot \pi \cdot e$$

Luego, la corrección por espesor de plancha más espesor de pintura es:  **$-2 \cdot \pi \cdot e$**

Entonces tenemos:  $C_{PP}$

<b>Anillo 1</b>	$-2*\pi*(10.7 + 0.2) = -68.49$
<b>Anillo 2</b>	$-2*\pi*(9.0 + 0.2) = -57.81$
<b>Anillo 3</b>	$-2*\pi*(7.8 + 0.2) = -50.27$
<b>Anillo 4</b>	$-2*\pi*(7.4 + 0.2) = -47.75$
<b>Anillo 5</b>	$-2*\pi*(7.1 + 0.2) = -45.87$
<b>Anillo 6</b>	$-2*\pi*(6.6 + 0.2) = -42.73$
<b>Anillo 7</b>	$-2*\pi*(6.7 + 0.2) = -43.35$
<b>Anillo 8</b>	$-2*\pi*(7.4 + 0.2) = -47.75$

La corrección de las circunferencias se haría de la siguiente manera:

$$L_{Ccorr} = L_{CE} - C_{SV} - C_{CTV} - C_{PP}$$

Entonces tenemos:

**Tabla N° 9.10 Corrección de Circunferencias Internas, Tanque 8D-1**

<b>Anillo</b>	<b>Medida de circunferencia externa a 20°C (mm)</b>	<b>Espesor de plancha más espesor de pintura (mm)</b>	<b>Tanque vacío (mm)</b>	<b>Soldaduras verticales (mm)</b>	<b>Medida de circunferencia interna a 28°C (mm)</b>
<b>1</b>	59621	-68.49	0.00	-1.06	59551.5
<b>2</b>	59621	-57.81	0.00	-1.06	59562.1
<b>3</b>	59613	-50.27	0.00	-1.06	59561.7
<b>4</b>	59593	-47.75	0.00	-1.06	59544.2
<b>5</b>	59597	-45.87	0.00	-1.06	59550.1
<b>6</b>	59597	-42.73	0.00	-1.06	59553.2
<b>7</b>	59595	-43.35	0.00	-1.06	59550.6
<b>8</b>	59627	-47.75	0.00	-1.06	59578.2

Por lo tanto, los diámetros internos corregidos serán (mm):

**Tabla N° 9.11 Diámetros Internos Corregidos, Tanque 8D-1**

Anillo	Diámetros internos (mm)
1	18956
2	18959
3	18959
4	18954
5	18955
6	18956
7	18956
8	18964

Como ya tenemos los diámetros internos corregidos, calculamos los volúmenes de fondo a los diferentes niveles críticos:

**Tabla N° 9.12 Volúmenes de Fondo para cada Nivel Crítico, Tanque 8D-1**

Niveles Críticos (mm)	Volumen Positivo (lt)	Volumen Total (lt)
0	0	9199
21	5926	12882
86	24270	26927
95	26810	26295
107 (diferencia entre el Punto más Alto y el Punto de Referencia)		32682 (corresponde a un Nivel de Cilindro de 211 mm)

#### 3.4. Corrección por efecto de la Temperatura ( $C_{ET}$ ):

$$C_{ET} = 1 + (-T_{\text{calibración de la cinta}} + T_{\text{del producto almacenado}}) * 2 * \text{Factor Lineal de Expansión Térmica}$$

$$C_{ET} = 1 + (-20 + 28) * 2 * 0.0000110$$

$$C_{ET} = 1.0002$$

#### 3.5. Corrección por Inclinación del Tanque ( $C_{IT}$ ):

$$\text{Inclinación} = 0$$

$$C_{IT} = 100 * (\sqrt{m^2 + 1} - 1) + 1$$

**Nota:** se le suma una unidad porque la corrección es en porcentaje.

Obtenemos entonces la Capacidad Bruta en lt /mm para cada anillo y luego la Capacidad Neta en lt/mm a tanque vacío a 28 °C, esto es multiplicando la Capacidad Bruta por los Factores de Corrección por Temperatura e Inclinación del tanque.

**Tabla N° 9.13 Capacidad Bruta por Anillo, Tanque 8D-1**

Anillo	Capacidad Bruta en lt /mm
1	$((\pi*(18.956)^2/4)*(1.480))/1.480 = 282.26$
2	$((\pi*(18.959)^2/4)*(1.489))/1.489 = 282.36$
3	$((\pi*(18.959)^2/4)*(1.491))/1.491 = 282.36$
4	$((\pi*(18.954)^2/4)*(1.491))/1.491 = 282.19$
5	$((\pi*(18.955)^2/4)*(1.492))/1.492 = 282.25$
6	$((\pi*(18.956)^2/4)*(1.490))/1.490 = 282.28$ (*)
7	$((\pi*(18.956)^2/4)*(1.490))/1.490 = 282.26$ (*)
8	$((\pi*(18.964)^2/4)*(0.647))/0.647 = 282.51$

(\*): A simple vista los valores en los anillos 6 y 7 deberían ser iguales, pero para fines prácticos se tomó en cuenta los decimales de los diámetros internos.

Luego, aplicando las correcciones tenemos:

**Tabla N° 9.14 Capacidad Neta por Anillo, Tanque 8D-1**

Anillo	Capacidad Bruta (lt/mm)	Corrección por Temperatura	Corrección por Inclinación del Tanque	Capacidad Neta a Tanque Vacío a 28 °C (lt /mm)
1	282.21	1.0002	1.0000	282.26
2	282.31	1.0002	1.0000	282.36
3	282.31	1.0002	1.0000	282.36
4	282.14	1.0002	1.0000	282.19
5	282.20	1.0002	1.0000	282.25
6	282.23	1.0002	1.0000	282.28
7	282.20	1.0002	1.0000	282.25
8	282.47	1.0002	1.0000	282.51

**3.6. Corrección por la Tensión que ejerce el líquido a medida que se va llenando el Tanque, anillo por anillo (C<sub>TL</sub>):**

$$C_{TL} = \frac{\pi * (\rho * 62.4279605761) * (0.003280839895 * Di)^3 * \left(\frac{Hanillo}{Ep}\right) * \left(\frac{6.25934232}{9702}\right)}{(4 * E)}$$

Donde:

$\rho$  = densidad del producto (gr/cm<sup>3</sup>)

Di = diámetro interno corregido (mm)

Ep = espesor de plancha (mm)

E = modulo de Young's (psi)

Haciendo el cálculo para el anillo 2, las correcciones C<sub>TL3</sub> al C<sub>TL8</sub> se calculan de manera similar:

$$C_{TL2} = \frac{\pi * (0.929 * 62.4279605761) * (0.003280839895 * 18956)^3 * \left(\frac{1480}{10.7}\right) * \left(\frac{6.25934232}{9702}\right)}{(4 * 29015620.3465)}$$

$$C_{TL2} = 0.03$$

Entonces tenemos:

**Tabla N° 9.15 Corrección por la Tensión que ejerce el Líquido a medida que se va llenando el Tanque, Tanque 8D-1**

Anillo	C <sub>TL</sub> por anillo
2	0.03
3	0.04
4	0.05
5	0.05
6	0.05
7	0.06
8	0.05

Luego:

**Tabla N° 9.16 Volumen por Anillo, Tanque 8D-1**

<b>Anillo</b>	<b>Capacidad neta a Tanque Vacío a 28°C (lt /mm)</b>	<b>Corrección por Tensión del Líquido (lt /mm)</b>	<b>Corrección acumulada por Tensión del Líquido (lt /mm)</b>	<b>Capacidad Neta (lt /mm)</b>	<b>Volumen (lt)</b>
<b>Fondo</b>					32682
<b>1</b>	282.26			282.26	390871
<b>2</b>	282.36	0.03	0.03	282.39	420486
<b>3</b>	282.36	0.04	0.07	282.43	421105
<b>4</b>	282.19	0.05	0.12	282.31	420927
<b>5</b>	282.25	0.05	0.17	282.42	421366
<b>6</b>	282.28	0.05	0.22	282.50	420921
<b>7</b>	282.25	0.06	0.28	282.54	420980
<b>8</b>	282.51	0.05	0.33	282.84	183037

En la siguiente tabla se visualiza el volumen acumulado anillo por anillo.

**Tabla N° 9.17 Volumen Acumulado por Anillo, Tanque 8D-1**

<b>Anillo</b>	<b>Inmersión (mm)</b>	<b>Volumen (lt)</b>
<b>Fondo</b>	107	32682
<b>1</b>	1376	390871
<b>2</b>	2865	811357
<b>3</b>	4356	1232462
<b>4</b>	5847	1653389
<b>5</b>	7339	2074756
<b>6</b>	8829	2495677
<b>7</b>	10319	2916657
<b>8</b>	10966	3099694

#### 4. Descuentos e Incrementos ( $\pi = 3.141592654$ )

En las siguientes tablas se observan las medidas de cada accesorio del tanque 8D-1, descuentos e incrementos; así como el volumen neto que representan en conjunto.

##### 4.1. Descuentos

**Tabla N° 9.18 Aditamentos Interiores (Descuentos), Tanque 8D-1**

N°	DESCRIPCION	DIAM. EXT. [m]	DIAM. INT. [m]	ESPESOR [mm]	LONGITUD [m]	ANCHO [m]	NIVEL INFERIOR [mm]	NIVEL SUPERIOR [mm]	VOLUMEN (lt)	A Y/O C
1	SOPORTE DE TECHO	0.40640	0.38735	9.5	10.004	- . -	1,066	11,070	-1,297.7	C
1	BASE DE SOPORTE DE TECHO	2.66100			1.066	- . -	0	1,066	-5,928.4	C
1	TUBERIA DESCARGA	0.16828	0.14828	10.0	0.055	- . -	180	348	-0.3	A
1	TUBERIA AL SUMIDERO	0.16828	0.15228	8.0	2.175	- . -	205	373	-8.8	A
1	TUBERIA DE CARGA	0.60960	0.59360	8.0	0.090	- . -	435	1,045	-1.4	A
1	PLANCHA DIP PLATE			20.0	0.300	0.300	0	20	-1.8	C
1	MANHOLE 1	0.53200	0.51000	11.0	0.030	- . -	482	1,014	-0.5	A
1	MANHOLE 2	0.53200	0.51000	11.0	0.035	- . -	476	1,008	-0.6	A
<b>TOTAL</b>									<b>-7,239.5</b>	

##### 4.2. Incrementos

**Tabla N° 9.19 Aditamentos Exteriores (Incrementos), Tanque 8D-1**

N°	DESCRIPCION	DIAMETRO INTERNO [m]	LONGITUD [m]	NIVEL INFERIOR [mm]	NIVEL SUPERIOR [mm]	VOLUMEN (lt)
1	TUBERIA DESCARGA	0.14828	0.305	180	328	5.3
1	TUBERIA AL SUMIDERO	0.15228	0.445	205	357	8.1
1	TUBERIA B1	0.14500	0.260	345	490	4.3
1	TUBERIA B2	0.14500	0.260	8,543	8,688	4.3
1	TUBERIA DE CARGA	0.59360	0.520	435	1,029	143.9
1	MANHOLE 1	0.51000	0.215	493	1,003	43.9
1	MANHOLE 2	0.51000	0.207	487	997	42.3
<b>TOTAL</b>						<b>252.1</b>

**CORRECCION TOTAL POR ADITAMENTOS (LITROS):**

$$-7239.5 + 252.1 = -6987.4 \text{ litros}$$

Entonces, tenemos:

**Tabla N° 9.20 Descuentos e Incrementos, Tanque 8D-1**

<b>Descuentos e incrementos (lts)</b>	<b>Desde (mm)</b>	<b>Hasta (mm)</b>	<b>(lt /mm)</b>
-1298	1066	11070	-0.13
-5928	0	1066	-5.56
0	180	348	0.00
-9	205	373	-0.05
-1	435	1045	0.00
-2	0	20	-0.09
-1	482	1014	0.00
-1	476	1008	0.00
5	180	328	0.04
8	205	357	0.05
4	345	490	0.03
4	8543	8688	0.03
144	435	1029	0.24
44	493	1003	0.09
42	487	997	0.08

Con los valores obtenidos hasta el momento, obtenemos los volúmenes a los diferentes niveles críticos mediante interpolaciones:

**Tabla N° 9.21 Volumen a Diferentes Niveles Críticos, Tanque 8D-1**

N°	NIVELES CRITICOS	VOLUMEN NETO	
	(mm)	(lt)	(lt/mm)
1	0	9200	0
2	20	12594	169.68
3	21	12763	169.77
4	86	26447	210.52
5	95	28765	257.55
6	107	32085	276.69
7	180	52283	276.69
8	205	59201	276.72
9	328	93232	276.68
10	345	97938	276.81
11	348	98768	276.71
12	357	101259	276.72
13	373	105677	276.16
14	435	122843	276.86
15	476	134197	276.95
16	482	135859	276.95
17	487	137244	276.97
18	490	138075	277.01
19	493	138902	275.60
20	997	278556	277.09
21	1003	280176	269.96
22	1008	281517	268.14
23	1014	283180	277.25
24	1029	287335	276.96
25	1045	291616	267.60
26	1066	297428	276.75
27	1376	390830	301.30
28	2865	811123	282.27
29	4356	1232035	282.30
30	5847	1652769	282.18
31	7339	2073942	282.29
32	8543	2413816	282.29
33	8688	2454752	282.32
34	8829	2494670	283.11
35	10319	2915457	282.41
36	10966	3098410	282.77

## 9.2 CÁLCULOS PARA LA ELABORACIÓN DE LA TABLA DE CAPACIDAD MEDIANTE EL METODO ELECTRO OPTICO INTERNO DE DETERMINACION DE DISTANCIA

### 9.2.1 Cálculo de los Factores de Corrección para la obtención de la Tabla de Capacidad por el Método Electro Optico Interno de Determinación de Distancia

Para los cálculos efectuados a continuación, se tomó como ejemplo aplicativo el Tanque N° 32-T3, ubicado en la Refinería El Milagro - Oleoducto Nor Peruano, en la ciudad de Bagua y calibrado con fecha 20 de octubre de 2009.

El producto a almacenar en dicho tanque es petróleo crudo con una densidad promedio de 0.937 gr/cm<sup>3</sup>.

#### 1. Cálculo de los Diámetros y Longitudes de Circunferencia

Diámetro teórico (metros)	:	13.380
Capacidad teórica (lt /mm)	:	140.605

El software Micro Station permite obtener coordenadas en los ejes X, Y, Z y con ello calcular el centro y los diámetros a diferentes niveles.

Para el cálculo de los diámetros del tanque a diferentes niveles utilizamos la siguiente ecuación:

$$2 * \sqrt{(X - X_0)^2 + (Y - Y_0)^2}$$

**Tabla N° 9.22 Valores Reportados por el Software Micro Station y Cálculo del Diámetro Interno, Tanque 32-T3**

X	Y	Z	X <sub>0</sub>	Y <sub>0</sub>	Diámetro
-3.9288	5.9656	0.2286	-0.834	0.052	13.3489254
-2.4758	6.5231	0.2293	-0.834	0.052	13.3522496
0.2508	6.6281	0.2299	-0.834	0.052	13.3299486
-5.2746	5.0358	0.2324	-0.834	0.052	13.3502346
2.9147	-5.4763	1.4787	-0.834	0.052	13.3588701
-3.9237	5.9606	1.7564	-0.834	0.052	13.3353365
-5.4834	-4.731	1.7732	-0.834	0.058	13.3493732
5.834	0.0737	3.1865	-0.834	0.058	13.336037
-5.0192	-5.1418	3.2277	-0.834	0.058	13.3497294
-1.6725	-6.5765	3.2399	-0.834	0.058	13.3745538
5.617	-1.7117	3.2637	-0.834	0.058	13.3786754
-3.9367	5.9736	3.2822	-0.834	0.058	13.359801
-3.4929	-6.0789	3.2897	-0.835	0.063	13.384673
-7.4107	-1.2271	3.8409	-0.835	0.063	13.4021175
0.1101	-6.5375	4.7567	-0.835	0.063	13.3356386
2.1172	6.0717	4.7607	-0.835	0.063	13.3895423
-6.1203	-4.0368	4.7792	-0.835	0.063	13.3780053
-3.9436	5.9806	4.7981	-0.835	0.063	13.368827
4.9787	-3.2441	4.8935	-0.837	0.067	13.3844312
5.8383	0.073	4.909	-0.837	0.067	13.3506054
-5.4896	-4.7352	4.9194	-0.837	0.067	13.3727801
0.6166	6.6038	6.2862	-0.837	0.067	13.3929395
2.9111	-5.4841	6.2945	-0.837	0.067	13.3959643
-3.9412	5.9782	6.3158	-0.837	0.067	13.353403
2.1158	6.0641	6.415	-0.843	0.071	13.3673849
-7.3184	1.6612	7.4434	-0.843	0.071	13.3355977
-2.3756	6.5815	7.4444	-0.843	0.071	13.3769164
5.0817	3.1642	7.4561	-0.843	0.071	13.3671173
2.9064	-5.4728	7.4877	-0.843	0.071	13.3853231
-3.9453	5.9826	7.5246	-0.843	0.071	13.3523451
5.6582	1.658	7.5738	-0.842	0.076	13.379884
4.2066	-4.3237	7.649	-0.842	0.076	13.3933897
-5.0163	-5.132	8.6865	-0.842	0.076	13.3488643
1.5756	-6.1203	8.7123	-0.842	0.076	13.3024695
-1.6668	-6.5627	8.7335	-0.842	0.076	13.3794817
-3.9493	5.9867	8.7572	-0.842	0.076	13.3554016
-0.7	6.763	8.8607	-0.843	0.076	13.3770577
-4.8347	5.4385	8.9109	-0.843	0.076	13.3701272
-3.4853	-6.0621	8.9387	-0.843	0.076	13.3653314
-2.3837	6.5938	9.8674	-0.843	0.076	13.3948458
2.9008	-5.4639	9.8808	-0.843	0.076	13.3725884
-3.9503	5.9878	9.9712	-0.843	0.076	13.3573489
4.9724	-3.2427	10.0321	-0.846	0.084	13.404583

5.8387	0.0734	10.0835	-0.846	0.084	13.3694168
-2.3913	6.6051	11.0905	-0.846	0.084	13.4033872
0.619	6.5924	11.1109	-0.846	0.084	13.3424879
-3.9472	5.985	11.1546	-0.846	0.084	13.332553
4.4848	4.1054	11.2354	-0.843	0.081	13.3538381
-7.5256	0.4365	11.265	-0.843	0.081	13.3840985
2.1194	6.0796	11.4194	-0.843	0.081	13.3804358
3.4867	5.1442	12.4408	-0.843	0.081	13.3240079
2.8986	-5.4236	12.4566	-0.843	0.081	13.3116778
4.4296	4.0568	12.4571	-0.843	0.081	13.2071642

Nota: Por fines didácticos se seleccionaron puntos representativos de una gama de puntos reportados por el instrumento EODR.

- Particionamos los valores de los diámetros de manera arbitraria (los sombreados en amarillo) y se calcula la desviación estándar, de la siguiente manera:

$$\sigma = \sqrt{S^2}$$

$$S^2 = \sum \left( \frac{X_i - \text{Media}}{n} \right)$$

Donde:

**$\sigma$** : desviación estándar

**$S^2$** : varianza

**Media**: media de los valores de los diámetros de la muestra

**$X_i$** : valores de cada diámetro de la muestra

Los valores de las desviaciones estándar de cada muestra deberán ser próximos a 0.01.

En la tabla se muestran los valores de la desviación estándar por cada partición.

**Tabla N° 9.23 Desviaciones Estándar por Niveles, Tanque 32-T3**

<b>N° DE PARTICION</b>	<b>DESVIACION ESTANDAR</b>
1era	0.01658950
2da	0.01770522
3era	0.01633838
4ta	0.01514624
5ta	0.02185987
6ta	0.02466691
7ma	0.02029419
8va	0.02114670
9na	0.03202433

Por cada partición se tiene un valor de  $\Delta Z$ , que es la altura correspondiente a cada muestra:

$$\Delta Z = Z_f - Z_i$$

Se construye la tabla siguiente con los valores obtenidos anteriormente:

**Tabla N° 9.24 Tabla de Medidas, Tanque 32 – T3**

Altura de muestra (m)	Nivel de muestra (m)	Anillo	Diámetro interno (m)	Longitud Circunf. Interna (m)	Espesor (mm)	Diámetro externo (m)	Longitud Circunf. Externa (m)
1.5278	1.5278	1	13.363	41.982	8.2	13.380	42.034
1.509	3.0368	2	13.370	42.002	8.2	13.386	42.054
1.5084	4.5452	3	13.380	42.034	6.6	13.393	42.075
1.4223	5.9675	4	13.377	42.026	6.6	13.391	42.068
1.1096	7.0771	5	13.372	42.010	5.2	13.383	42.043
1.1834	8.2605	6	13.367	41.994	5.2	13.378	42.027
1.1105	9.3710	7	13.374	42.017	5.2	13.385	42.050
1.1225	10.4935	8	13.368	41.998	5.2	13.379	42.031
1.2217	11.7152	9	13.347	41.930	5.2	13.357	41.963

Los valores de las alturas de los anillos son obtenidos del software Micro Station, mediante una diferencia de valores en el eje Z.

**Tabla N° 9.25 Cálculo de Altura de los Anillos, Tanque 32-T3**

Valores de los Niveles tomados por la Estación Láser (mm)	Altura de Cada Anillo (mm)
228.6	$1756.4 - 228.6 = 1528$
1756.4	$3282.2 - 1756.4 = 1526$
3282.2	$4798.1 - 3282.2 = 1516$
4798.1	$6315.8 - 4798.1 = 1518$
6315.8	$7524.6 - 6315.8 = 1209$
7524.6	$8757.2 - 7524.6 = 1233$
8757.2	$9971.2 - 8757.2 = 1214$
9971.2	$11154.6 - 9971.2 = 1183$
11154.6	$12380.1 - 11154.6 = 1226$
12380.1	
<b>Altura Total</b>	<b>12152</b>

## 2. Cálculo de los Niveles Críticos y Volúmenes de Fondo

Para ello, hacemos uso de los datos obtenidos de la Tabla de Medidas de Fondo, en la cual se hizo un levantamiento topográfico (con la estación láser) de las 8 estaciones.

**Tabla N° 9.26 Tabla de Medidas de Fondo, Tanque 32 – T3**

	Pared						Centro	
Distancia al centro	6.68	6.18	5.68	5.18	4.68	4.02	2.68	0.00
<b>ESTACION</b>	0.00	0.50	1.00	1.50	2.00	2.67 <sup>(9)</sup>	4.00	6.68
<b>1</b>	1263	1287	1326	1343	1362		1451	1552
<b>2</b>	1262	1280	1300	1331	1359		1462	1551
<b>3</b>	1249	1279	1305	1332	1360		1433	1560
<b>4</b>	1229	1259	1280	1309	1347		1465	1560
<b>5</b>	1229	1253	1282	1303	1337		1468	1551
<b>6</b>	1231	1254	1274	1301	1337		1448	1540
<b>7</b>	1246	1264	1279	1298	1329		1447	1577
<b>8</b>	1259	1286	1306	1321	1349		1446	1558
<b>PROMEDIO</b>	1246	1270	1294	1317	1347	1382 <sup>(1)</sup>	1452	1556
<b>DIFERENCIA<sup>(2)</sup></b>	-17	-41	-65	-88	-118	-153	-223	-327
<b>DIFDP<sup>(3)</sup></b>	136	112	88	65	35	0	-70	-174
<b>DIF 1<sup>(4)</sup></b>	101	77	53	30	0	-35	-105	-209
<b>DIF 2<sup>(5)</sup></b>	71	47	23	0	-30	-65	-135	-239
<b>DIF 3<sup>(6)</sup></b>	48	24	0	-23	-53	-88	-158	-262
<b>DIF 4<sup>(7)</sup></b>	24	0	-24	-47	-77	-112	-182	-286
<b>DIF 5<sup>(8)</sup></b>	0	-24	-48	-71	-101	-136	-206	-310

Lectura Óptica en el Punto de Referencia (mm) : 1382

Lectura Óptica en el Punto más Alto (mm) : 1229

(1): es igual a la lectura óptica en el Punto de Referencia.

(2): es la diferencia entre la Lectura Óptica en el Punto más Alto y la Lectura Óptica Promedio para cada tramo circunscrito.

(3): es la diferencia entre la Lectura Óptica en el Punto de Referencia y la Lectura Óptica Promedio para cada tramo circunscrito.

(4): es la diferencia entre la Lectura Óptica Promedio (a 4.68 m. del centro) y las Lecturas Ópticas Promedio para cada tramo circunscrito.

(5): es la diferencia entre la Lectura Óptica Promedio (a 5.18 m. del centro) y las Lecturas Ópticas Promedio para cada tramo circunscrito.

(6): es la diferencia entre la Lectura Óptica Promedio (a 5.68 m. del centro) y las Lecturas Ópticas Promedio para cada tramo circunscrito.

(7): es la diferencia entre la Lectura Óptica Promedio (a 6.18 m. del centro) y las Lecturas Ópticas Promedio para cada tramo circunscrito.

(8): es la diferencia entre la Lectura Óptica Promedio (a 6.68 m. del centro) y las Lecturas Ópticas Promedio para cada tramo circunscrito.

(9): es la distancia que hay desde el Nivel Promedio del Punto de Referencia hacia el Centro del Tanque.

El cálculo es de la siguiente manera:

$$\frac{70 - 0}{4 - r} = \frac{35 - 0}{r - 2}$$

$$70 * r - 140 = 140 - 35 * r$$

$$105 * r = 280$$

$$R = \frac{280}{105} = 2.680 \text{ m.}$$

**Sumidero:**

Diámetro interno (D) = 1.215 m.

Altura (H) = 0.620 m.

Cálculo del volumen:

$$V_s = \frac{\pi * D^2}{4} * H = \frac{\pi * (1.215)^2}{4} * (0.620)$$

$$V_s = 0.719 \text{ m}^3 \cong 719 \text{ litros} \quad \text{----- (1)}$$

- Entonces tenemos, para el primer anillo:

Longitud de Circunferencia (mm): 42034

Espesor de Plancha + Espesor de Pintura (mm): 8.20

Radio Interno (mm): 6682

Altura del punto más alto (mm): 1229

Para una diferencia entre la Lectura Óptica en el Punto de Referencia y la Óptica en el Punto más alto (mm) : 153 <sup>(a)</sup>

$$(a) = 1382 - 1229 = 153 \text{ mm.}$$

De la Tabla de Medidas de Fondo tenemos:

**Tabla N° 9.27 Punto Crítico Respecto al Punto de Referencia, Tanque 32 – T3**

Estación	Distancia entre la carcasa con la posición a medir (mm)	Distancia entre el centro con la posición a medir (mm)	Lectura de las alturas (mm)	Diferencia entre la lectura en el punto de referencia y las lecturas ópticas promedio (mm) <sup>(b)</sup>
1	0	6682	1246	136
2	500	6182	1270	112
3	1000	5682	1294	88
4	1500	5182	1317	65
5	2000	4682	1347	35
6	4000	2682	1452	-70
7	6682	0	1556	-174

Volumen de inmersión = 0 (sin sumidero): 3738 litros

(con sumidero): 4457 litros

(b): de la misma forma, de la Tabla de Medidas de Fondo tenemos los Niveles Críticos, esto es el ítem (3):

***Nivel crítico (i) = Lectura Óptica de Referencia – Lectura Óptica Promedio de cada Estación***

$$\text{Nivel crítico 1} = 1382 - 1556 = -174$$

$$\text{Nivel crítico 2} = 1382 - 1452 = -70$$

$$\text{Nivel crítico 3} = 1382 - 1382 = 0$$

$$\text{Nivel crítico 4} = 1382 - 1347 = 35$$

$$\text{Nivel crítico 5} = 1382 - 1317 = 65$$

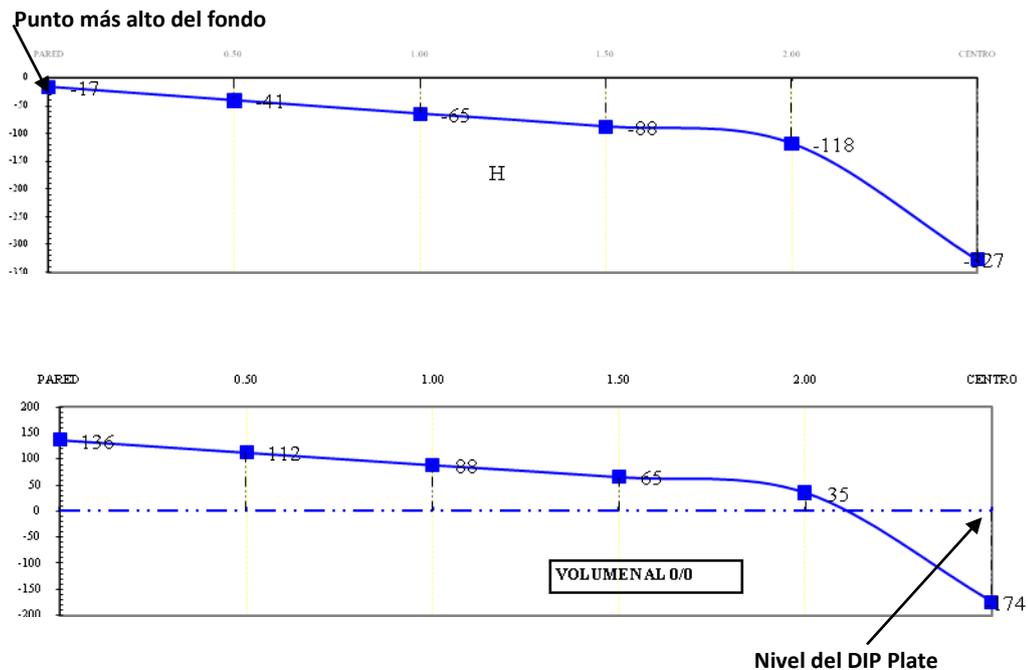
$$\text{Nivel crítico 6} = 1382 - 1294 = 88$$

$$\text{Nivel crítico 7} = 1382 - 1270 = 112$$

$$\text{Nivel crítico 8} = 1382 - 1246 = 136$$

Ahora, para obtener los volúmenes a los diferentes niveles críticos a partir de la inmersión cero, hacemos el cálculo de la siguiente manera:

**Gráfico 9 – 2 Perfil de Fondo, Tanque 32 – T3**



**Volumen al Punto de Inmersión Cero: (a 4.02 m. del Centro).**

En este caso el Deep Plate se encuentra a 4.02 m. del centro del tanque.

Se detalla el cálculo para el Volumen 1, el cálculo para los volúmenes  $V_2$  al  $V_7$  es de manera similar:

$$\text{Volumen 1} = \pi * (2.68^2 - 0^2) * \left( \frac{-70 + -174}{2 * 1000} \right) = -2.7637190 \text{ m}^3$$

Entonces tenemos:

**Tabla N° 9.28 Volumen al Punto de Inmersión Cero, Tanque 32 – T3**

Tramo o sección	Volumen (m <sup>3</sup> )
1	-2.7637190
2	-0.9860884
3	0.3160416
4	0.7700684
5	1.300363
6	1.858002
7	2.4995718

Sumando los volúmenes del  $V_1$  al  $V_2$  tenemos:

$$V_{DP} = V_1 + V_2$$

$$V_{DP} = 3.7498074 \text{ m}^3 \dots\dots\dots (2)$$

Ahora, de (1) tenemos que el volumen del sumidero es:

$$V_s = 0.719 \text{ m}^3 \dots\dots\dots (3)$$

De (2) + (3):

$$V_{DPsum} = 4.4688074 \text{ m}^3 \cong 4469 \text{ lt}$$

Donde:

$V_{DP}$ : volumen al punto de inmersión cero

$V_{DPsum}$ : volumen al punto de inmersión cero incluyendo sumidero

**Volumen a 4.68 m. del Centro:**

$$V_1 = \pi * (2.68^2 - 0^2) * \left( \frac{-105 + -209}{2 * 1000} \right) = -3.5478649 \text{ m}^3$$

Entonces tenemos:

**Tabla N° 9.29 Volumen a 4.68 m. del Centro, Tanque 32 – T3**

Tramo o sección	Volumen (m <sup>3</sup> )
1	-3.5478649
2	-1.9595526
3	-0.3160416
4	0.232415
5	0.7082029
6	1.2113353
7	1.7983984

Sumando los volúmenes del V<sub>1</sub> al V<sub>3</sub> tenemos:

$$V_{a \text{ 4.68m del centro}} = 5.8234591 \text{ m}^3 \dots\dots\dots (4)$$

Ahora, de (1) tenemos que el volumen del sumidero es:

$$V_s = 0.719 \text{ m}^3$$

De (3) + (4):

$$V_{a \text{ 4.68m del centro con sum.}} = 6.5424591 \text{ m}^3 \cong 6542 \text{ lt}$$

**Volumen a 5.18 m. del Centro:**

$$V_1 = \pi * (2.68^2 - 0^2) * \left( \frac{-135 + -239}{2 * 1000} \right) = -4.2258009 \text{ m}^3$$

Entonces tenemos:

**Tabla N° 9.30 Volumen a 5.18 m. del Centro, Tanque 32 – T3**

Tramo o sección	Volumen (m <sup>3</sup> )
1	-4.2258009
2	-2.8011644
3	-0.8625111
4	-0.232415
5	0.196249
6	0.6522575
7	1.1921967

Sumando los volúmenes del V<sub>1</sub> al V<sub>4</sub> tenemos:

$$V_{\text{a 5.18m del centro}} = 8.1218914 \text{ m}^3 \dots\dots\dots(5)$$

Ahora, de (1) tenemos que el volumen del sumidero es:

$$V_s = 0.719 \text{ m}^3$$

De (3) + (5):

$$V_{\text{al 5.18m del centro con sum.}} = 8.8408914 \text{ m}^3 \cong 8841 \text{ lt}$$

**Volumen a 5.68 m. del Centro:**

$$V_1 = \pi * (2.68^2 - 0^2) * \left( \frac{-158 + -262}{2 * 1000} \right) = -4.7455518 \text{ m}^3$$

Entonces tenemos:

**Tabla N° 9.31 Volumen a 5.68 m. del Centro, Tanque 32 – T3**

Tramo o sección	Volumen (m <sup>3</sup> )
1	-4.7455518
2	-3.4464
3	-1.2814711
4	-0.5887847
5	-0.196249
6	0.2236311
7	0.7274421

Sumando los volúmenes del V<sub>1</sub> al V<sub>5</sub> tenemos:

$$V_{a \text{ 5.68m del centro}} = 10.258457 \text{ m}^3 \dots\dots\dots (6)$$

Ahora, de (1) tenemos que el volumen del sumidero es:

$$V_s = 0.719 \text{ m}^3$$

De (3) + (6):

$$V_{a \text{ 5.68m del centro con sum.}} = 10.977457 \text{ m}^3 \cong 10977 \text{ lt}$$

**Volumen a 6.18 m. del Centro:**

$$V_1 = \pi * (2.68^2 - 0^2) * \left( \frac{-182 + -286}{2 * 1000} \right) = -5.2879005 \text{ m}^3$$

Entonces tenemos:

**Tabla N° 9.32 Volumen a 6.18 m. del Centro, Tanque 32 – T3**

Tramo o sección	Volumen (m <sup>3</sup> )
1	-5.2879005
2	-4.1196894
3	-1.7186468
4	-0.9606488
5	-0.6058122
6	-0.2236311
7	0.2424807

Sumando los volúmenes del V<sub>1</sub> al V<sub>6</sub> tenemos:

$$V_{a \text{ 6.18m del centro}} = 12.916329 \text{ m}^3 \dots\dots\dots(7)$$

Ahora, de (1) tenemos que el volumen del sumidero es:

$$V_s = 0.719 \text{ m}^3$$

De (3) + (7):

$$V_{a \text{ 6.18m del centro con sum.}} = 13.635329 \text{ m}^3 \cong 13635 \text{ lt}$$

**Volumen a 6.68 m. del Centro:**

$$V_1 = \pi * (2.68^2 - 0^2) * \left( \frac{-206 + -310}{2 * 1000} \right) = -5.8302493 \text{ m}^3$$

Entonces tenemos:

**Tabla N° 9.33 Volumen a 6.68 m. del Centro, Tanque 32 – T3**

Tramo o sección	Volumen (m <sup>3</sup> )
1	-5.8302493
2	-4.7929788
3	-2.1558225
4	-1.3325128
5	-1.0153753
6	-0.6708934
7	-0.2424807

Sumando los volúmenes del V<sub>1</sub> al V<sub>7</sub> tenemos:

$$V_{a \text{ 6.68m del centro}} = 16.040313 \text{ m}^3 \dots\dots\dots(8)$$

Ahora, de (1) tenemos que el volumen del sumidero es:

$$V_s = 0.719 \text{ m}^3$$

De (3) + (8):

$$V_{a \text{ 6.68m del centro con sum.}} = 16.759313 \text{ m}^3 \cong 16759 \text{ lt}$$

**Volumen al Punto más Alto:**

$$V_1 = \pi * (2.68^2 - 0^2) * \left( \frac{-223 + -327}{2 * 1000} \right) = -6.2211924 \text{ m}^3$$

Entonces tenemos:

**Tabla N° 9.34 Volumen al Punto más Alto, Tanque 32 – T3**

Tramo o sección	Volumen (m <sup>3</sup> )
1	-6.2211924
2	-5.2783082
3	-2.4709532
4	-1.6005648
5	-1.3106021
6	-0.9932949
7	-0.592057

Sumando los volúmenes del V<sub>1</sub> al V<sub>7</sub> tenemos:

$$V_{\text{al punto más alto}} = 18.466973 \text{ m}^3 \dots\dots\dots (9)$$

Ahora, de (1) tenemos que el volumen del sumidero es:

$$V_s = 0.719 \text{ m}^3$$

De (3) + (9):

$$V_{\text{al punto más alto con sum.}} = 19.185973 \text{ m}^3 \cong 19186 \text{ lt}$$

### 3. Corrección de los Diámetros Internos del Tanque.

De la Tabla Medidas del Tanque, tenemos:

**Tabla N° 9.35 Espesores de Plancha y Pintura, Tanque 32 – T3**

Anillo	Alturas (mm)	Longitud de Circunferencia externa (mm)	Espesor de Plancha (mm)	Espesor de Pintura (mm)
1	1528	42034	8.0	0.2
2	1526	42054	8.0	0.2
3	1516	42075	6.4	0.2
4	1518	42068	6.4	0.2
5	1209	42043	5.0	0.2
6	1233	42027	5.0	0.2
7	1214	42050	5.0	0.2
8	1183	42031	5.0	0.2
9	1226	41963	5.0	0.2

#### 3.1. Corrección por Elevaciones de la Cinta o Soldaduras Verticales ( $C_{sv}$ ):

Con el uso de la Estación Láser no es necesario hacer la corrección por elevaciones de la cinta.

$$C_{sv} = 0$$

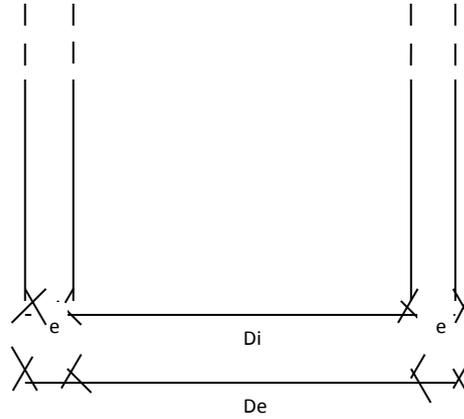
#### 3.2. Corrección de la Circunferencia a Tanque Vacío.

En este caso es cero, ya que el tanque se calibró sin producto (vacío).

$$C_{TV} = 0$$

### 3.3. Corrección por Espesor de Plancha más Espesor de Pintura.

Figura 9 – 3 Diámetro Externo e Interno del Tanque 32 – T3



Longitud de Circunferencia Externa (Lce):

$$Lce = 2 * \pi * Re = \pi * De$$

Longitud de circunferencia interna (Lci):

$$Lci = 2 * \pi * Ri = \pi * Di$$

Del gráfico tenemos:

$$Lce = \pi * De = \pi * (Di + 2*e) = \pi * Di + 2 * \pi * e$$

$$\text{Pero: } \pi * Di = Lci$$

Entonces, tenemos:

$$Lce = Lci + 2 * \pi * e$$

$$Lci = Lce - 2 * \pi * e$$

Luego, la corrección por espesor de plancha más espesor de pintura es:  $-2 * \pi * e$

Entonces tenemos:  $C_{PP}$

<b>Anillo 1</b>	$-2 * \pi * (8.0 + 0.2) = -51.52$
<b>Anillo 2</b>	$-2 * \pi * (8.0 + 0.2) = -51.52$
<b>Anillo 3</b>	$-2 * \pi * (6.4 + 0.2) = -41.47$
<b>Anillo 4</b>	$-2 * \pi * (6.4 + 0.2) = -41.47$
<b>Anillo 5</b>	$-2 * \pi * (5.0 + 0.2) = -32.67$
<b>Anillo 6</b>	$-2 * \pi * (5.0 + 0.2) = -32.67$
<b>Anillo 7</b>	$-2 * \pi * (5.0 + 0.2) = -32.67$
<b>Anillo 8</b>	$-2 * \pi * (5.0 + 0.2) = -32.67$
<b>Anillo 9</b>	$-2 * \pi * (5.0 + 0.2) = -32.67$

La corrección de las circunferencias se hará de la siguiente manera:

$$L_{C_{corr}} = L_{ce} - C_{SV} - C_{TV} - C_{PP}$$

Entonces tenemos:

**Tabla N° 9.36 Corrección de Circunferencias Internas, Tanque 32 – T3**

Anillo	Medida de Circunferencia Externa a 20 °C (mm)	Espesor de Plancha más Espesor de Pintura (mm)	Tanque Vacío (mm)	Soldaduras Verticales (mm)	Medida de Circunferencia Interna a 50 °C (mm)
<b>1</b>	42034	-51.52	0.00	0.00	41982.5
<b>2</b>	42054	-51.52	0.00	0.00	42002.5
<b>3</b>	42075	-41.47	0.00	0.00	42033.5
<b>4</b>	42068	-41.47	0.00	0.00	42026.5
<b>5</b>	42043	-32.67	0.00	0.00	42010.3
<b>6</b>	42027	-32.67	0.00	0.00	41994.3
<b>7</b>	42050	-32.67	0.00	0.00	42017.3
<b>8</b>	42031	-32.67	0.00	0.00	41998.3
<b>9</b>	41963	-32.67	0.00	0.00	41930.3

Por lo tanto, los Diámetros Internos corregidos serán:

**Tabla N° 9.37 Diámetros Internos Corregidos, Tanque 32 – T3**

Anillo	Diámetros internos (mm)
1	13363
2	13370
3	13380
4	13377
5	13372
6	13367
7	13374
8	13368
9	13347

Como ya tenemos los diámetros internos corregidos, calculamos los volúmenes de fondo a diferentes niveles críticos:

**Tabla N° 9.38 Volúmenes de Fondo para cada Anillo, Tanque 32 – T3**

Niveles críticos (mm)	Volumen positivo (lt)	Volumen total (lt)
0	0	4457
35	4909	6548
65	9117	8846
88	12343	10983
112	15709	13640
136	19075	16763
153 (diferencia del punto más alto y el punto de referencia)		19147 (corresponde a un nivel de cilindro de 17 mm.)

#### **3.4. Corrección por Efecto de la Temperatura ( $C_{ET}$ ):**

$$C_{ET} = 1 + (-T_{\text{calibración de la cinta}} + T_{\text{del producto almacenado}}) * 2 * \text{Factor Lineal de Expansión Térmica}$$

$$C_{ET} = 1 + (-20 + 50) * 2 * 0.0000110$$

$$C_{ET} = 1.0007$$

#### **3.5. Corrección por Inclinación del Tanque ( $C_{IT}$ ):**

$$\text{Inclinación} = 0$$

$$C_{IT} = 100 * (\sqrt{m^2 + 1} - 1) + 1$$

**Nota:** se le suma 1 unidad porque la corrección es en porcentaje.

Obtenemos entonces la Capacidad Bruta en (lt/mm) para cada anillo y luego la Capacidad Neta en (lt/mm) a Tanque Vacío a 50 °C, esto es multiplicando la Capacidad Bruta por los Factores de Corrección por Temperatura e Inclinación del Tanque.

**Tabla N° 9.39 Capacidad Bruta por Anillo, Tanque 32 – T3**

Anillo	Capacidad Bruta en (lt/mm)
1	$((\pi * (13.363)^2 / 4) * (1.528)) / 1.528 = 140.26$
2	$((\pi * (13.370)^2 / 4) * (1.526)) / 1.526 = 140.39$
3	$((\pi * (13.380)^2 / 4) * (1.516)) / 1.516 = 140.60$
4	$((\pi * (13.377)^2 / 4) * (1.518)) / 1.518 = 140.55$
5	$((\pi * (13.372)^2 / 4) * (1.209)) / 1.209 = 140.44$
6	$((\pi * (13.367)^2 / 4) * (1.233)) / 1.233 = 140.34$
7	$((\pi * (13.374)^2 / 4) * (1.214)) / 1.214 = 140.49$
8	$((\pi * (13.368)^2 / 4) * (1.183)) / 1.183 = 140.36$
9	$((\pi * (13.347)^2 / 4) * (1.226)) / 1.226 = 139.91$

Aplicando las correcciones tenemos:

**Tabla N° 9.40 Capacidad Neta por Anillo, Tanque 32 – T3**

Anillo	Capacidad Bruta (lt/mm)	Corrección por Temperatura	Corrección por Inclinación del Tanque	Capacidad Neta a Tanque Vacío
1	140.26	1.0007	1.0000	140.35
2	140.39	1.0007	1.0000	140.48
3	140.60	1.0007	1.0000	140.69
4	140.55	1.0007	1.0000	140.64
5	140.44	1.0007	1.0000	140.54
6	140.34	1.0007	1.0000	140.43
7	140.49	1.0007	1.0000	140.58
8	140.36	1.0007	1.0000	140.46
9	139.91	1.0007	1.0000	140.00

**3.6. Corrección por la Tensión que ejerce el Líquido a medida que se va llenando el Tanque, por anillo ( $C_{TL}$ ):**

$$C_{TL} = \frac{\pi * (\rho * 62.4279605761) * (0.003280839895 * Di)^3 * \left(\frac{Hanillo}{Ep}\right) * \left(\frac{6.25934232}{9702}\right)}{(4 * E)}$$

Donde:

$\rho$ : densidad del producto (gr/cm<sup>3</sup>)

$Di$ : diámetro interno corregido (mm)

$E_p$ : espesor de plancha (mm)

$E$ : modulo de Young's (psi)

Haciendo el cálculo para el anillo 2, las correcciones  $C_{TL3}$  al  $C_{TL9}$  se calculan de manera similar:

$$CTL_2 = \frac{\pi * (0.937 * 62.4279605761) * (0.003280839895 * 13363)^3 * \left(\frac{1528}{8.0}\right) * \left(\frac{6.25934232}{9702}\right)}{(4 * 29015620.3465)}$$

$$CTL_2 = 0.02$$

Entonces tenemos:

**Tabla N° 9.41 Corrección por la tensión que ejerce el Líquido, Tanque 32 – T3**

Anillo	$C_{TL}$ por anillo
2	0.02
3	0.02
4	0.02
5	0.02
6	0.02
7	0.02
8	0.02
9	0.02

Luego:

**Tabla N° 9.42 Volumen por Anillo, Tanque 32 – T3**

Anillo	Capacidad Neta a Tanque Vacío a 50 °C (lt/mm)	Corrección por Tensión del Líquido (lt/mm)	Corrección acumulada por Tensión del Líquido (lt/mm)	Capacidad Neta (lt/mm)	Volumen (lt)
<b>Fondo</b>					19147
<b>1</b>	140.35			140.35	231216
<b>2</b>	140.48	0.02	0.02	140.50	214403
<b>3</b>	140.69	0.02	0.03	140.72	213338
<b>4</b>	140.64	0.02	0.05	140.70	213580
<b>5</b>	140.54	0.02	0.07	140.61	169998
<b>6</b>	140.43	0.02	0.09	140.52	173266
<b>7</b>	140.58	0.02	0.12	140.70	170809
<b>8</b>	140.46	0.02	0.14	140.59	166322
<b>9</b>	140.00	0.02	0.16	140.16	171835

En la siguiente tabla se visualiza el volumen acumulado en litros anillo por anillo:

**Tabla N° 9.43 Volumen Acumulado por Anillo, Tanque 32 – T3**

Anillo fondo	Inmersión DIP (mm)	Volumen (Litros)
<b>Fondo</b>	153	19147
<b>1</b>	1664	231216
<b>2</b>	3190	445619
<b>3</b>	4706	658957
<b>4</b>	6224	872537
<b>5</b>	7433	1042535
<b>6</b>	8666	1215801
<b>7</b>	9880	1386610
<b>8</b>	11063	1552932
<b>9</b>	12289	1724767

#### 4. Descuentos e Incrementos $\pi = 3.141592654$

En las siguientes tablas se observan las medidas de cada accesorio del tanque 32-T3, descuentos e incrementos; así como el volumen neto que representan en conjunto.

##### 4.1. Descuentos:

**Tabla N° 44 Aditamentos Interiores (Descuentos), Tanque 32-T3**

N°	DESCRIPCION	DIAM. EXT. [m]	DIAM. INT. [m]	ESPESOR [mm]	LONGITUD [m]	ANCHO [m]	NIVEL INFERIOR [mm]	NIVEL SUPERIOR [mm]	VOLUMEN (lt)	A Y/O C
1	TUBERIA PARA VENTAS	0.16828	0.15405	7.1	0.2	- . -	190	358	-1.0	A
1	TUBERIA DE PRODUCCION	0.12700	0.11445	6.3	0.2	- . -	410	537	0.0	A
1	TUBERIA DE RECIRCULACION	0.12700	0.11445	6.3	0.2	- . -	150	277	0.0	A
1	TUBERIA DE DRENAJE	0.16828	0.15405	7.1	7.7	- . -	165	333	-28.0	A
1	SOPORTE DE TECHO	0.21908	0.20638	6.3	12.2	- . -	25	12,217	-52.0	A
1	PLANCHA DE SOPORTE DE TECHO			25.0	1.0	1.000	43	68	-25.0	C
<b>TOTAL</b>									<b>-106.0</b>	

##### 4.2. Incrementos:

**Tabla N° 45 Aditamentos Exteriores (Incrementos), Tanque 32-T3**

N°	DESCRIPCION	DIAMETRO INTERNO [metros]	LONGITUD [metros]	NIVEL INFERIOR [milímetros]	NIVEL SUPERIOR [milímetros]	VOLUMEN (litros)
1	TUBERIA PARA VENTAS	0.15405	0.310	195	349	6.0
1	TUBERIA DE PRODUCCION	0.11445	0.290	410	524	3.0
1	TUBERIA DE RECIRCULACION	0.11445	0.280	140	254	3.0
1	TUBERIA DE DRENAJE	0.15405	0.280	160	314	5.0
2	MANHOLE	0.60500	0.160	450	1,055	92.0
<b>TOTAL</b>						<b>109.0</b>

**CORRECCION TOTAL POR ADITAMENTOS (LITROS):**

$$-106 + 109 = 3.0 \text{ litros}$$

Entonces tenemos:

**Tabla N° 9.46 Descuentos e Incrementos, Tanque 32 – T3**

<b>Descuentos e Incrementos (lt)</b>	<b>Desde (mm)</b>	<b>Hasta (mm)</b>	<b>(lt/mm)</b>
-1	190	358	-0.01
-28	165	333	-0.17
-52	25	12217	0.00
-25	43	68	-1.00
6	195	349	0.04
3	410	524	0.03
3	140	254	0.03
5	160	314	0.03
92	450	1055	0.15

Con los valores obtenidos hasta el momento, obtenemos los volúmenes a los diferentes niveles críticos mediante interpolaciones:

**Tabla N° 9.47 Volumen a Diferentes Niveles Críticos, Tanque 32 – T3**

<b>Nº</b>	<b>Niveles críticos (mm)</b>	<b>Volumen neto (lt)</b>	<b>(lt/mm)</b>
1	0	4469	0
2	25	5950	59.25
3	35	6542	59.25
4	43	7154	76.48
5	65	8838	76.52
6	68	9118	93.56
7	88	10977	92.94
8	112	13635	110.74
9	136	16759	130.16
10	140	17330	142.74
11	153	19185	142.74
12	160	20168	140.32
13	165	20869	140.31
14	190	24375	140.24
15	195	25076	140.21
16	254	33348	140.19
17	314	41756	140.13
18	333	44447	141.65
19	349	46687	139.99
20	358	47951	140.42
21	410	55247	140.32
22	450	60861	140.35
23	524	71255	140.45
24	1055	145753	140.30
25	1664	231206	140.32
26	3190	445603	140.50
27	4706	658935	140.72
28	6224	872508	140.69
29	7433	1042500	140.61
30	8666	1215761	140.52
31	9880	1386565	140.69
32	11063	1552881	142.59
33	12217	1714671	140.20
34	12289	1724763	140.16

## **CAPITULO X**

### **COMPARACION DE RESULTADOS ENTRE EL METODO DE LA LINEA OPTICA DE REFERENCIA EN CONJUNCION CON EL METODO DEL STRAPPING Y EL METODO ELECTRO OPTICO INTERNO DE DETERMINACION DE DISTANCIA**

Las ecuaciones descritas en la parte de Anexos, detallan los procedimientos a seguir para calcular la incertidumbre de las tablas de capacidad al utilizar tanto el método descrito en el MPMS capítulo 2 sección 2B en conjunción con la sección 2A y el método descrito en el MPMS capítulo 2 sección 2D.

#### **10.1 OBJETIVOS Y APLICACION DE LA INCERTIDUMBRE.**

Dar a conocer el porcentaje de error volumétrico involucrado en el uso de uno u otro método. De hecho, esta información nos permitiría tener un histórico en la incertidumbre de las tablas de capacidad de muchos tanques calibrados con ambos métodos y ser una referencia a tener en cuenta para la optimización y buen funcionamiento de los equipos utilizados en la calibración de tanques, garantizando así una buena medición en las operaciones de transferencia y/o inventarios.

## 10.2 VALOR DE LA INCERTIDUMBRE DEL TANQUE 8D-1 CALIBRADO POR EL METODO DE LA LINEA OPTICA DE REFERENCIA EN CONJUNCION CON EL METODO DEL STRAPPING.

Se detalla el valor de la incertidumbre estándar del volumen por cada anillo del tanque.

**Tabla N° 10.1 Valores de Incertidumbre Mediante el Método 2.2B**

UV <sub>LS</sub> Vs ALTURA DEL TANQUE				
Anillo	UV <sub>LS</sub>	m <sup>3</sup>	Bls	ALTURA (m)
1	0.03290946	0.138	0.87	1.480
2	0.06583553	0.553	3.48	1.489
3	0.09899292	1.249	7.85	1.491
4	0.13248373	2.228	14.02	1.491
5	0.16653171	3.503	22.03	1.492
6	0.2012166	5.079	31.94	1.490
7	0.23668852	6.97	43.84	1.490
8	0.25138008	7.789	48.99	0.543

**Gráfico 10 – 1 Valores de Incertidumbre Vs. Altura de Anillos, Método 2.2B**



Se puede visualizar como aumenta el valor de la incertidumbre conforme las secciones de los anillos del tanque van tomando mayor altura.

### 10.3 VALOR DE LA INCERTIDUMBRE DEL TANQUE 32-T3 CALIBRADO POR EL METODO ELECTRO OPTICO INTERNO DE DETERMINACION DE DISTANCIA.

Se detalla el valor de la incertidumbre estándar del volumen por cada anillo del tanque.

Tabla N° 10.2 Valores de Incertidumbre Mediante el Método 2.2D

UVLS Vs ALTURA DE ANILLOS				
Anillo	UV <sub>Ls</sub>	m <sup>3</sup>	Bls	ALTURA (m)
1	0.07130269	0.151	0.95	1.528
2	0.14333084	0.611	3.84	1.526
3	0.21501543	1.376	8.65	1.516
4	0.28682538	2.448	15.4	1.518
5	0.34402794	3.521	22.14	1.209
6	0.40237372	4.815	30.29	1.233
7	0.45989206	6.288	39.55	1.214
8	0.51620749	7.917	49.79	1.183
9	0.57437532	9.796	61.62	1.226

Gráfico 10 – 2 Valores de Incertidumbre Vs. Altura de Anillos, Método 2.2D



De igual forma, podemos visualizar como aumenta el valor de la incertidumbre conforme las secciones de los anillos del tanque van tomando mayor altura.

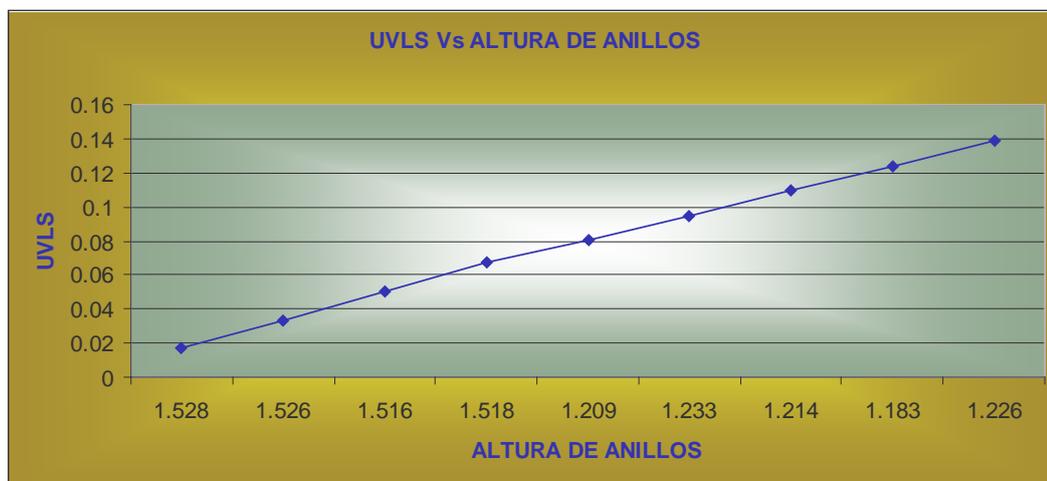
Por otro lado, se ha realizado el cálculo de la incertidumbre del volumen por cada anillo mediante el Método Electro óptico de Determinación de Distancia, pero considerando una diferencia de Temperaturas entre la temperatura de calibración y la temperatura de referencia de 15 °C, lo cual eleva el porcentaje de incertidumbre considerablemente.

Ahora se muestran los valores obtenidos considerando una diferencia de temperatura de 2.5 °C, tal como en el ejemplo del tanque 8D-1.

**Tabla N° 10.3 Valores de Incertidumbre Mediante el Método 2.2D y con Diferencia de Temperatura Menor**

<b>UV<sub>LS</sub> Vs ALTURA DE ANILLOS</b>				
<b>Anillo</b>	<b>uVLs</b>	<b>m<sup>3</sup></b>	<b>BIs</b>	<b>ALTURA (m)</b>
<b>1</b>	0.01664581	0.035	0.22	1.528
<b>2</b>	0.03346376	0.143	0.9	1.526
<b>3</b>	0.05027123	0.322	2.02	1.516
<b>4</b>	0.06724317	0.574	3.61	1.518
<b>5</b>	0.08093915	0.828	5.21	1.209
<b>6</b>	0.09508628	1.138	7.16	1.233
<b>7</b>	0.10927456	1.494	9.4	1.214
<b>8</b>	0.12416547	1.904	11.98	1.183
<b>9</b>	0.13934589	2.377	14.95	1.226

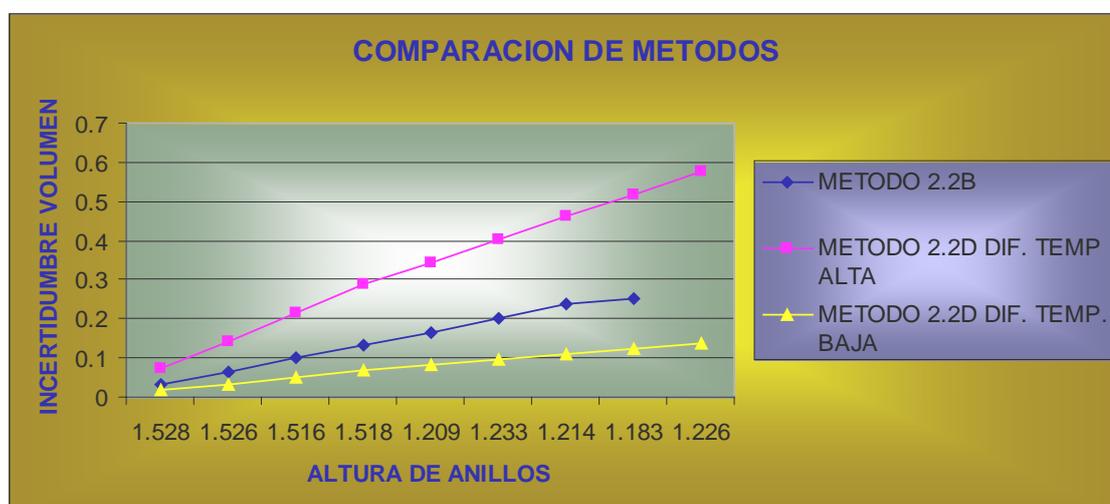
**Gráfico 10 – 3 Valores de Incertidumbre Vs. Altura de Anillos, Método 2.2D y con Diferencia de Temperatura Menor**



Se puede observar, que el valor de la temperatura en la calibración de tanques tiene un rol importante y se debe tener bastante cuidado al tomar estos datos en los lugares donde se realiza la calibración, ya sea en plantas de almacenamiento, refinerías, etc.

Por último, comparamos en un solo gráfico las incertidumbres correspondientes para cada método y cada caso, lo cual nos permite visualizar de manera más detallada las variaciones que genera cada uno de ellos.

**Gráfico 10 – 4 Comparación de los Tres Casos**



## **CAPITULO XI**

### **CONCLUSIONES**

De lo descrito durante toda la investigación, se puede concluir lo siguiente:

- La necesidad de calibrar un tanque de almacenamiento se aplica cuando ha sufrido modificaciones estructurales como deformación, inclinación, cambio del producto almacenado, alteraciones sísmicas, etc. Cuando el tanque ha sufrido alguna alteración de este tipo la “Tabla de Capacidad” con sus valores iniciales sufren cambios, al actualizarla los valores de volumen cambian para las diferentes alturas.
- Al realizar la calibración de tanques utilizando el método electro-óptico interno de determinación de distancia se obtiene una menor incertidumbre que con el método de la línea óptica de referencia.
- La utilidad del mejor sistema de medición o la medición manual más precisa se invalida si los volúmenes equivalentes son extraídos de tablas de capacidades dudosas o inexactas.
- La diferencia de temperaturas entre la temperatura de referencia y la temperatura al momento de la calibración determinan un aumento ó disminución de la incertidumbre en el volumen del tanque calibrado.
- Escoger entre un método de calibración u otro para tanques que almacenan hidrocarburos es determinante si de minimizar costos se trata; debido a que el acumulado en pérdidas durante varias cargas y/o descargas en los tanques va a superar el ahorro que en un principio pudo significar la calibración del tanque con un método más económico.

- Escoger entre un método u otro para la calibración de un tanque depende de muchos factores como:
  - Las condiciones del tanque al momento de la calibración, esto es si el tanque está con producto ó no, si tiene o no revestimiento, etc.
  - Factores de tiempo y clima de la zona donde se encuentra ubicado el tanque.
  - Factores económicos de la planta, que presupuesto es el que se piensa gastar en la calibración del tanque dependiendo de la importancia del tanque en la productividad de la planta.
  - El tiempo, personal y equipo disponible.
- Las directrices presentadas aquí posibilitan la replicación exacta de las tablas de capacidad para resguardar las operaciones de transferencia utilizando sistemas informáticos. Esos sistemas proporcionan el medio para una administración eficiente de las tablas de capacidad del tanque usadas en el resguardo de las operaciones de transferencia y el control de inventario.
- Hay que tener en cuenta, sin embargo, que el uso de los sistemas informáticos por ellos mismos no asegura la integridad de la tabla de capacidad, sino que depende de la fuente de datos primarios. Es importante asegurarse que para la fuente de datos primarios, las tablas de capacidad del tanque están de acuerdo con los últimos estándares MPMS para obtener la máxima exactitud posible con un sistema de inventario informático.
- La incertidumbre que aporta la Tabla de Capacidad del Tanque es la determinante en la evaluación de la incertidumbre estándar combinada del

sistema de medición de nivel. Por lo tanto, los equipos modernos de medición de nivel no deben mejorar la calidad del resultado de la incertidumbre, ya que el mismo está limitado por el error de la tabla de capacidad. Para realizar un estudio más detallado sobre este aspecto deberán evaluarse los modelos matemáticos que caracterizan el funcionamiento de los equipos Servo y Radar, de ser el caso.

- Destacar que un completo inventariado de tanques se logra combinando las medidas estáticas y dinámicas para un resultado más preciso. Por ejemplo, con los flujómetros que realizan mediciones dinámicas, equipos modernos de tele medición para medir nivel en los tanques, instalados en el lateral del mismo, y procesan la información en una sala de control, y por último, los carros cisternas se calibran a medidas "reales" para hacerles una marca que comúnmente se le llama flecha. Con estas tres formas de medidas se crea un mayor control en la venta del combustible y en caso de rotura de algún equipo rápidamente resalta el que está cometiendo el error. En países que han establecido Servo, Radar y HIMS como medidas oficiales para trasiego de combustibles están respaldadas por caudalímetros que dan el error de un litro en grandes volúmenes.

## CAPITULO XII

### RECOMENDACIONES

Para asegurar un óptimo desarrollo en el proceso de calibración de un tanque, se recomienda lo siguiente:

- Si bien es cierto, se explica con anterioridad los cálculos a realizarse cuando el tanque está con producto, se recomienda que la calibración del tanque debe ser de preferencia a tanque vacío, de esta manera se minimizan las correcciones y se obtiene una mayor precisión en los cálculos.
- Los equipos utilizados para la calibración deben estar en perfectas condiciones de uso, así como también deben contar con certificados de calibración vigentes que aseguren una buena disposición de los equipos.
- Es importante para realizar una buena calibración del tanque, coordinar con los encargados de la planta con respecto a la iluminación que se pueda requerir si se van a realizar trabajos en el interior del tanque; generalmente las calibraciones con la estación láser se realizan en el interior del tanque para dar una mayor precisión.
- A pesar de que muchos tanques puedan parecer idénticos, si se aplica mediciones con elevada precisión se notará que cada uno tiene dimensiones únicas. Por lo tanto, no es aceptable realizar las tablas de capacidad de tanques basados en los planos ingenieriles utilizados en su construcción, especialmente si estas medidas van a ser utilizadas para crear una base de datos para el posterior cálculo de nivel y volumen.
- Las empresas encargadas de la calibración de los tanques deben tener una estrecha vinculación con los encargados de las mediciones en las refinerías con el objetivo de crear un lenguaje común entre estas instituciones.

- Finalmente, es necesario coordinar la investigación académica con los esfuerzos privados de compañías petroleras y API, con el fin de llevar a cabo investigaciones académicas de mayor utilidad para la industria y al mismo tiempo desarrollar normativas que nos provean de mayores alternativas con altos niveles de precisión en la obtención de las Tablas de Capacidad.

## CAPITULO XIII

### BIBLIOGRAFIA

- Manual of Petroleum Management Standard, Chapter 2 – Tank Calibration, Sección 2A “Measurement and Calibration of Upright Cylindrical Tanks by the Manual Tank Strapping Method”. First Edition, February 1995. Pag. 10 al 35 y 39 al 40. <sup>5.1</sup>
- Manual of Petroleum Management Standard, Chapter 2 – Tank Calibration, Sección 2B “Calibration of Upright Cylindrical Tanks Using the Optical Reference Line Method”. First Edition, March 1989. Reaffirmed, March 2002. Pag. 7 al 14. <sup>6.1</sup>
- Manual of Petroleum Management Standard, Chapter 2 – Tank Calibration, Sección 2D “Calibration of Upright Cylindrical Tanks Using the Internal Electro-optical Distance Ranging Method”. First Edition, August 2003. Pag. 9 al 13. <sup>7.1</sup>
- Manual de Estándares de Medición de Petróleo, Capítulo 12 – Cálculo de Cantidades de Petróleo, Sección 1 “Cálculo de Cantidades de Petróleo Estático”. Segunda Edición, Noviembre 2001. Pag. 16 al 17 y 33 al 34. <sup>5.3.6</sup>
- Reglamento para la Comercialización de Combustibles Líquidos y Otros Productos Derivados de los Hidrocarburos (Decreto Supremo N° 030-98-EM), artículo 19. <sup>2.1</sup>
- Reglamento de Seguridad para el Almacenamiento de Hidrocarburos (Decreto Supremo N° 052-93-EM), artículos 8 y 16 al 25. <sup>2.1 y 3.2</sup>
- Curso Diseño Mecánico, Capítulo IV – Tanques de Almacenamiento, volumen 1. Setiembre 1979. Preparado por: Oscar Muroy Muroy. Pag. 16 al 25. <sup>3.2.3</sup>
- Reglas y Recomendaciones para Diseño y Construcción de Grandes Tanques Soldados para Almacenaje a Baja presión, Norma API 620. Instituto Americano de Petróleo. 1979. Pag. 57 al 58. <sup>5.1.6</sup>
- Reglas y Recomendaciones para Diseño y Construcción de Grandes Tanques Soldados para Almacenaje a Baja presión Norma API 650. Instituto Americano de Petróleo. 1979. Pag. 14 al 18. <sup>5.1.6</sup>
- Tesis: “Diseño de Tanques de Almacenamiento de Hidrocarburos Líquidos e Impacto Ambiental”. Presentado por: Carlos Alfonso Barrios Reategui. 2002. Pag. 9 al 14 y 95 al 96. <sup>3.2</sup>
- Tesis: “Optimización del Diseño de Tanques de Almacenamiento de Hidrocarburos Líquidos para Minimizar las Emisiones de Compuestos Orgánicos Volátiles (COV) hacia la Atmósfera”. Presentado por: Milton Jesús Velásquez de la Cruz. 2005. Pag. 10 al 13. <sup>3.2.3</sup>

## CAPITULO XIV

### ANEXOS

#### **14.1 INCERTIDUMBRE DEL VOLUMEN EN LA CALIBRACIÓN DE TANQUES CILINDRICOS VERTICALES**

A continuación se detallan los cálculos usados para la estimación de incertidumbres en la Calibración de Tanques Cilíndricos Verticales.

Se detalla en primer lugar los cálculos de incertidumbre cuando se utiliza el Método de la Línea Óptica de Referencia y a continuación los cálculos de incertidumbre cuando se utiliza el Método Electro Óptico Interno de Determinación de Distancia.

##### **14.1.1 Incertidumbre en la Calibración de Tanques Cilíndricos Verticales al utilizar el Método de la Línea Óptica de Referencia**

El procedimiento para el Cálculo de la Incertidumbre es explicado en detalle para el primer anillo; en el caso de los siete anillos superiores restantes, se presentan los valores correspondientes a cada uno de ellos.

El proceso de cálculo es el mismo para todos los anillos, teniendo en cuenta que el nivel y el volumen son acumulativos.

##### **14.1.2 Símbolos**

$u_{Lst}$  : incertidumbre estándar de la cinta de Strapping (m).

$ULst$  : incertidumbre expandida de la longitud de la cinta de Strapping (m).

$K$ : es el factor de cobertura (típicamente  $K=2$ ).

$u_{Ltr}$  : incertidumbre estándar de la lectura de la cinta de Strapping (m).

$n$  : número de secciones en los que se divide la circunferencia.

$r_{Ltr}$  : resolución de la lectura de la cinta de Strapping (m).

$u_{Ltp}$  : incertidumbre estándar de tensión y posición de la cinta de Strapping.

tLtp : tolerancia de tensión y posición de la cinta de Strapping.

uLta : incertidumbre estándar de la alineación de la cinta de Strapping.

NA : número de alineaciones.

eLta : error de alineamiento (máximo).

Lc1: longitud de circunferencia de la primera medida (m).

Lc2: longitud de circunferencia de la segunda medida (m).

Lcpr: longitud de circunferencia promedio (m).

$\sigma$  : varianza de los Lc medidos.

S: desviación estándar de los Lc medidos.

uLm: desviación estándar de la media de las dos mediciones de strapping.

uCem: incertidumbre estándar de la medida de la circunferencia de referencia externa (m).

uLm: desviación estándar de la medida de múltiples mediciones de strapping.

Nm: número de mediciones de la circunferencia de referencia.

Nmc: número de radios medidos en cada curso.

Nn: número de secciones en los que se divide la circunferencia.

uRext: incertidumbre estándar del radio de referencia externo del tanque.

uRi: incertidumbre estándar del radio de referencia interno del tanque (m).

uRia: incertidumbre estándar del radio interno promedio para un curso del tanque.

$\Sigma(uRj)$ : sumatoria de las incertidumbres estándar del radio de referencia interno del tanque (m).

utmp: incertidumbre estándar del espesor de la pared y la pintura del tanque.

wtmp: incertidumbre máxima del espesor de la pared y la pintura del tanque.

utv: desviación máxima de la vertical de la línea de referencia.

utr: error máximo de la lectura (en el peor de los casos, incluyendo error en la escala, la resolución y el error humano) y es el mismo para todas las lecturas (típicamente  $utr = 0.001$  m.).

H: altura del anillo (es acumulativa).

umaj: incertidumbre estándar de la medida de la diferencia de offsets en la altura  $H_{ji}$  y  $H_{ref}$  respectivamente.

$H_j$ : altura a la que se efectúa la calibración (m).

$H_{ref}$ : altura a la que la circunferencia de referencia se hizo el strapping.

$\Sigma$  (umai): sumatoria de las incertidumbres estándar de la medida de la diferencia de offsets en la altura  $H_{ji}$  y  $H_{ref}$  respectivamente.

$N_{hs}$ : número de estaciones horizontales alrededor del tanque.

$K_{sh}$ : factor empírico que cubre las incertidumbres debido a la diferencia de la carcasa del tanque en el plano horizontal. =  $S$  (desviación estándar).

$K_{sv}$ : es el factor empírico que cubre la incertidumbre debido a la diferencia de la media promedio (la forma del tanque en el plano vertical) basado en un número limitado de mediciones, donde  $k_{sv} > 1$  (típicamente  $k_{sv} = 3$ ).

$V_{raw}$ : volumen de crudo.

$R_j$ : promedio de los radios internos de la sección  $j$ th.

$\Delta h_j$ : variación de la altura acumulada de la sección  $j$ th.

$V_r$ : volumen del tanque en condiciones de calibración (volumen de crudo).

$\emptyset$ : ángulo de inclinación del tanque (o sea es el arctang  $b$ ).

$b$ : es la inclinación del tanque (m).

$V_o$ : volumen del fondo del tanque medido ( $m^3$ ).

$V_{dead}$ : volumen de Deadwood ( $m^3$ ).

$V_{dis}$ : volumen de desplazamiento del techo flotante ( $m^3$ ).

$u_{V_o}$ : incertidumbre estándar del volumen del fondo del tanque en condiciones de referencia.

$u_{V_{ad}}$ : incertidumbre estándar del volumen causado por los factores adicionales generales.

$u_{V_r}$ : incertidumbre estándar del volumen de crudo en el tanque.

$R_{ia}$ : promedio de los radios internos de la sección  $a$ .

$u_{R_{ia}}$ : incertidumbre estándar del radio interno promedio para un curso en el tanque.

$\Delta h_j$ : variación de la altura acumulada de la sección  $j$ th.

$V_r$ : volumen del tanque en condiciones de calibración (volumen de crudo).

$u_{V_{dis}}$ : incertidumbre estándar del volumen de desplazamiento del techo flotante.

$u\rho$ : incertidumbre estándar de la densidad del líquido.

$U\rho$ : incertidumbre extendida de la densidad del líquido (cuyo valor típico es  $5 \text{ kg/m}^3$ ).

$uE$ : incertidumbre estándar de la elasticidad de los módulos de Young del material de la pared del tanque ( $\text{N/m}^2$ ).

$eE$ : error máximo de la elasticidad de los módulos de Young del material de la pared del tanque (cuyo valor típico es  $5 \cdot 10^9 \text{ N/m}^2$ ).

$uT_{tp}$ : incertidumbre estándar de la temperatura de la cinta (de strapping o de inmersión).

$eT_{tp}$ : error máximo del estimado de la temperatura de strapping ( $eT_{tp}$  es  $5 \text{ }^\circ\text{C}$  para lugares típicos, para nuestro ejemplo consideramos  $2 \text{ }^\circ\text{C}$ ).

$eatp$ : error máximo del coeficiente de expansión lineal del material de la cinta de strapping o inmersión ( $2 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ ).

$eatk$ : error máximo del estimado del coeficiente de expansión lineal de la carcasa del tanque ( $2 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ ).

$uatp$ : incertidumbre estándar del coeficiente de expansión lineal del material de la cinta de strapping.

$uatk$ : incertidumbre estándar del coeficiente de expansión lineal del material de la carcasa del tanque.

$uV_h$ : incertidumbre estándar del volumen de expansión causado por la Presión Hidrostática.

$V_h$ : expansión del volumen del tanque causado por la Presión Hidrostática.

$R_i$ : promedio de los radios internos de la sección  $j$ th.

$u\rho$ : incertidumbre estándar de la densidad del líquido.

$\rho$ : densidad del líquido en servicio.

$\rho_{pref}$ : densidad del líquido en condiciones de referencia.

$uE$ : incertidumbre estándar de la elasticidad de los módulos de Young del material de la pared del tanque.

$E$ : módulo de Young del material de la pared del tanque.

$u_{tm}$ : incertidumbre estándar del espesor del metal de la pared del tanque.

$t_m$ : espesor de plancha más pintura de cada anillo.

$u_{\delta R_i}$ : incertidumbre estándar de la corrección del radio por deformación debido a la presión hidrostática.

$u_{Ri}$ : incertidumbre estándar del radio interno promedio para un curso en el tanque.

$\alpha_{tp}$ : coeficiente de expansión lineal de la cinta de strapping.

$\alpha_{tk}$ : coeficiente de expansión lineal del material de la carcasa del tanque.

$T_{tk}$ : temperatura de la carcasa del tanque en servicio.

$T_{ref}$ : temperatura de referencia del tanque y la cinta de strapping.

$u_{Ttk}$ : incertidumbre estándar de la temperatura de servicio (sacado de la parte de correcciones).

$V_{tr}$ : volumen en metros cúbicos, en condiciones de referencia.

$V$ : volumen del tanque en condiciones de calibración (volumen de crudo).

$T_{tp}$ : temperatura del strapping, la misma para la cinta y el tanque.

$T_{ref}$ : temperatura de referencia del tanque y la cinta de strapping.

$u_{Vt}$ : incertidumbre estándar de la corrección del volumen por expansión térmica.

$u_{\delta Rit}$ : incertidumbre estándar de la corrección del radio por deformación debido a la presión hidrostática.

$u_{Vb}$ : incertidumbre estándar del fondo del tanque en calibración.

$u_{Vcal}$ : incertidumbre estándar del modelo de corrección de la presión hidrostática.

$UV$ : incertidumbre expandida del volumen de los valores dados en la tabla de capacidad del tanque (con factor de cobertura  $k=2$ ).

$u_{Vr}$ : incertidumbre estándar del volumen de crudo en el tanque.

$u_{Vh}$ : incertidumbre estándar del volumen de expansión causado por la presión hidrostática.

$u_{Vt}$ : incertidumbre estándar de corrección para el volumen por corrección térmica.

$u_{Tts}$ : incertidumbre estándar de la temperatura de servicio.

$e_{Tts}$ : error máximo de estimación de la temperatura de servicio.

$ups$ : incertidumbre estándar de la densidad del líquido.

$Ups$ : incertidumbre extendida de la densidad del líquido, usualmente  $Ups = 5$ .

$u_{Vhs}$ : incertidumbre estándar del volumen de expansión causado por la presión hidrostática del tanque en servicio.

$u_{Vh}$ : incertidumbre estándar del volumen de expansión causado por la presión hidrostática.

$V_{hs}$ : expansión del volumen del tanque causado por la presión hidrostática.

$\rho_{ref}$ : densidad del líquido en condiciones de referencia.

$\rho$ : densidad del líquido en servicio.

$V_{ts}$ : volumen específico corregido por expansión debido a la temperatura en servicio.

$V_{hc}$ : volumen determinado en la tabla de capacidad del tanque.

$\alpha_{tp}$ : coeficiente de expansión lineal de la cinta de strapping.

$\alpha_{tk}$ : coeficiente de expansión lineal del material de la carcasa del tanque.

$T_{tp}$ : temperatura del strapping, la misma para la cinta y el tanque.

$T_{ref}$ : temperatura de referencia del tanque y la cinta de strapping.

$T_{tk}$ : temperatura de la carcasa del tanque en servicio.

$uV_{ts}$ : incertidumbre estándar, expresado en porcentaje de volumen de la corrección del volumen por expansión térmica.

$uV_{hc}$ : incertidumbre estándar del volumen de expansión causado por la presión hidrostática.

$V_{hc}$ : volumen determinado en la tabla de capacidad del tanque.

$\alpha_{tp}$ : coeficiente de expansión lineal de la cinta de strapping.

$\alpha_{tk}$ : coeficiente de expansión lineal del material de la carcasa del tanque.

$uT_{tp}$ : incertidumbre estándar de la temperatura de la cinta (de strapping o inmersión).

$edm$ : error máximo del estimado de la medida de la distancia entre la superficie del líquido y el punto de inmersión, en milímetros.

$L_{tape}$ : longitud de la cinta inmersa, en metros.

$edm$ : error máximo del estimado de la medida de la distancia entre la superficie del líquido y el punto de inmersión, en milímetros.

$\delta H$ : error de estimación de la medida del nivel del líquido del tanque causado por una reducción en la altura.

$L$ : nivel de inmersión del líquido en el tanque.

$U_{dm}$ : incertidumbre estándar del nivel sumergido.

$\rho$ : densidad del líquido en servicio.

$g$ : valor de la aceleración de la gravedad.

$\mu$ : Razón Poisson del material de la carcasa del tanque (para el acero  $\mu=3.3$ ).

rLtd: resolución de la lectura de la cinta inmersa o del sistema de medición (rLtd = 1).

uLtd: incertidumbre estándar de resolución de la lectura de la cinta inmersa o del sistema de medición.

uDdip: incertidumbre estándar de inmersión.

udm: incertidumbre estándar del nivel sumergido.

uLtd: incertidumbre estándar de resolución de la lectura de la cinta inmersa o del sistema de medición.

$\delta H$ : error de estimación de la medida del nivel del líquido del tanque causado por una reducción en la altura.

$UV_{Ls}$ : incertidumbre estándar del volumen para un nivel de líquido L, en servicio.

UV: incertidumbre expandida del volumen de los valores dados en la tabla de capacidad del tanque (con factor de cobertura  $k=2$ ).

K: factor de cobertura ( $k = 2$ ).

uVbs: incertidumbre estándar del volumen del fondo del tanque en calibración.

uVts: incertidumbre estándar de corrección térmica para el volumen.

$V_L$ : volumen del tanque en el nivel L.

uDdip: incertidumbre estándar de inmersión.

$\Pi$ : factor Pi.

## Strapping

### Longitud de la Cinta de Strapping

$$uLst = \frac{ULst}{K} = \frac{0.0003}{2} = 0.00015$$

### Lectura de la Cinta de Strapping

$$uLtr = \frac{(n * (rLtr)^2)^{1/2}}{12^{1/2}} = \frac{(5 * (0.001)^2)^{1/2}}{12^{1/2}} = \frac{0.002236068}{12^{1/2}}$$

$$= 0.000645497224$$

Donde:

$12^{1/2}$  = este factor corresponde a la distribución rectangular.

### Tensión y Posición de la Cinta

$$uLtp = \frac{tLtp}{12^{1/2}} = \frac{0.005}{12^{1/2}} = 0.001443375673$$

### Alineación de la Cinta

$$uLta = \frac{NA * eLta^2}{12^{1/2}} = \frac{5 * (0.001)^2}{12^{1/2}} = \frac{0.00223608}{12^{1/2}} = 0.000645497224$$

### Mediciones Múltiples

Lc1 = 53.623 m.

Lc2 = 59.625 m.

Lcpr = 59.624 m.

(xi - media) : (Lc1 - Lcpr) = (59.623 - 59.624) = -0.001

(Lc2 - Lcpr) = (59.625 - 59.624) = 0.001

$(xi - media)^2$  :  $(Lc1 - Lcpr)^2 = 10^{-6}$

$(Lc2 - Lcpr)^2 = 10^{-6}$

$\Sigma(xi - media)^2$  :  $(Lc1 - Lcpr)^2 + (Lc2 - Lcpr)^2 = 2 * 10^{-6}$

$$\sigma = \frac{\Sigma(xi - media)^2}{2} = \frac{2 * 10^{-6}}{2} = 10^{-6}$$

$S = \sqrt{\sigma} = \sqrt{10^{-6}} = 0.001$

$uLm = S = 0.001$

### Circunferencia de Referencia Externa

$$uCem = \left[ \frac{uLtr^2 + uLtp^2 + uLta^2}{Nm} + (Nn^2 * uLst^2) + uLm^2 \right]^{1/2}$$

$$= \left[ \frac{0.000645497224^2 + 0.001443375673^2 + 0.000645497224^2}{2} + (5^2 * 0.00015^2) + 0.001^2 \right]^{1/2}$$

$$= 0.00173805447$$

### Radio de Referencia Externa

$$u_{Rext} = \frac{uCem}{2\pi} = \frac{0.001738054}{2\pi} = 0.0002766199599$$

### Espesor del Metal y la Pintura del Tanque

$$U_{tmp} = \frac{wtmp}{12^{1/2}} = \frac{0.001}{12^{1/2}} = 0.0002886751346$$

### Mediciones Opticas

#### Incertidumbres Fuentes

$$utv = 0.002\% * 1.480 = 0.0000296$$

$$utr = 0.001$$

#### Incertidumbre de los Offsets y Offsets de Referencia

$$umaj = \frac{\left\{ [(H_j - H_{ref}) * utv]^2 + (2 * utr^2) \right\}^{1/2}}{12^{1/2}}$$

$$uma1 = \frac{\left\{ [(1.184 - 1.780) * 0.00023828]^2 + (2 * 0.001^2) \right\}^{1/2}}{12^{1/2}}$$

$$= 0.0004103015381$$

$$= 0.0004103015381$$

Media:

$$umapr = 0.0004103015381$$

(xi - Media):

$$Uma1 - Umapr = 0$$

(xi - Media)<sup>2</sup>:

$$(Uma1 - umapr)^2 = 0$$

Σ (xi - Media)<sup>2</sup>:

$$\Sigma (uma1 - umapr)^2 = 0$$

Varianza:

$$\sigma^2 = 0$$

Desviación Estándar:

$$S = 0$$

$$\Sigma(\text{umai}) = 0.0004103015381$$

### **Incertidumbre de Radios Internos**

$$\begin{aligned} u_{Ri} &= \left\{ u_{\text{Re } xt^2} + \frac{\sum \text{umai}^2}{Nhs^2} + \text{utmp}^2 + Ksh \right\}^{1/2} \\ &= \left\{ 0.0002766199599^2 + \left( \frac{0.0004103015381}{8} \right)^2 + 0.0002886751346^2 + 0 \right\}^{1/2} \\ &= 0.000403091011 \end{aligned}$$

### **Incertidumbre del Radio Interno del Curso del Tanque**

$$u_{Ria} = \left\{ \left( \frac{\sum u_{Rj^2}}{Nmc} \right) * k_{sv} \right\}^{1/2} = \left\{ \frac{(0.000403091011)^2}{16} * 3 \right\}^{1/2} = 0.000174543528$$

### **Tabla de Tanque Abierto**

**Tabla N° 14.1 Volumen de Crudo, Primer Anillo TK 8D – 1**

<b>Rj</b>	<b>Rj<sup>2</sup></b>	<b>hj</b>	<b>R<sup>2</sup>*Δhj</b>	<b>ΣR<sup>2</sup>*Δhj</b>
9.478	89.831	1.480	132.9497083	132.9497083

$$V_{\text{raw}} = \pi * \Sigma (R^2 * \Delta h_j) = 417.674 \text{ m}^3$$

## Tabla de Capacidad del Tanque

Cálculos

$$V_r = \frac{V_{raw}}{\cos \theta} + V_o + V_{dead} - V_{dis} = \frac{417.674}{1} + 9.2 - 6.9874 - 0 = 419.887 \text{ m}^3$$

## Incertidumbres

### Volumen del Fondo del Tanque

$u_{Vo}$  desde 0.25 hasta 1.5

Para este caso:  $u_{Vo} = 0.25$

### Techo Flotante

$$u_{Vdis} = \frac{tV_{dis} * V_{dis}}{12^{1/2}} = 0 \quad (\text{No hay techo flotante en nuestro caso})$$

### Incertidumbres Adicionales

$$u_{Vad} = 0.005\% * V_r = 0.005\% * 419.887 = 0.02099433$$

### Volumen en Condiciones de Calibración

Incertidumbres

**Tabla N° 14.2 Volumen en Condiciones de Calibración, Tanque 8D – 1**

Ria	uRia	$\Delta h_j$	Ria*uRia* $\Delta h_j$	$\sum$ Ria*uRia* $\Delta h_j$
9.478	0.000174543528	1.480	0.002448377	0.002448377

$$u_{Vr} = \left\{ 2\pi * \sum (Ria * uRia * \Delta h_j) \right\}^2 + (u_{Vo}^2 * V_o^2) + (u_{Vad}^2 * V_r^2) + (u_{Vdis}^2 * V_{dis}^2) \Bigg\}^{1/2}$$

$$= \left\{ 2\pi * (0.002448377) \right\}^2 + (0.25^2 * 0^2) + (0.0209943^2 * 0^2) \Bigg\}^{1/2} = 0.015383606$$

## Volumen en Condiciones de Referencia

### Incertidumbres Fuente

#### General

$$u_{\rho} = \frac{U_{\rho}}{K} = 0 \quad (\text{ya que la calibración se realizó sin producto})$$

$$u_E = \frac{eE}{12^{1/2}} = 0 \quad (\text{ya que la calibración se realizó sin producto})$$

$$u_{Ttp} = \frac{eTtp}{12^{1/2}} = 0 \quad (\text{ya que la calibración se realizó sin producto})$$

$$u_{\alpha tp} = \frac{e \alpha tp}{12^{1/2}} = \frac{0.000002}{12^{1/2}} = 5.77350269189626 * 10^{-7}$$

$$u_{\alpha tk} = \frac{e \alpha tk}{12^{1/2}} = \frac{0.000002}{12^{1/2}} = 5.77350269189626 * 10^{-7}$$

### Corrección por Deformación debido a la Presión Hidrostática en Condiciones de Referencia

$$u_{Vh} = V_h * \left\{ \left[ 3 * \left( \frac{u_{Ri}}{Ri} \right) \right]^2 + \left( \frac{u_{\rho}}{\rho - \rho_{ref}} \right)^2 + \left( \frac{u_E}{E} \right)^2 + \left( \frac{u_{tm}}{tm} \right)^2 \right\}^{1/2}$$

$$= 0 * \left\{ \left[ 3 * \left( \frac{0.000403091011}{9.478} \right) \right]^2 + \left( \frac{0}{0.929 * 10^{-2} - 0} \right)^2 + \left( \frac{0}{29015620.3465} \right)^2 + \left( \frac{0.0002886751346}{0.0109} \right)^2 \right\}^{1/2}$$

$$= 0$$

### Corrección por Expansión Térmica del Tanque y la Cinta de Strapping en Condiciones de Referencia

$$u_{\delta Ri} = \left[ u_{Ri} * (\alpha_{tp} - \alpha_{tk}) * (T_{tk} - T_{ref}) \right]^2 + \left[ u_{Ttk} * Ri * (\alpha_{tp} - \alpha_{tk}) \right]^2 + (u_{\alpha tp}^2 + u_{\alpha tk}^2) * \left[ Ri * (T_{tk} - T_{ref}) \right]^2 \Bigg\}^{1/2}$$

$$= 0.000007038348291$$

**Volumen en metros cúbicos en Condiciones de Referencia corregido por Expansión Térmica**

$$\begin{aligned}
 V_{tr} &= V * \{ \alpha_{tp} * (T_{tp} - T_{ref}) + 2 * \alpha_{tk} * (T_{tp} - T_{ref}) \} \\
 &= 419.8866 * \{ 0.000011 * (25 - 27.8) + 2 * 0.000011 * (25 - 27.8) \} \\
 &= -0.03879752184 \text{ (el signo menos es por la diferencia de temperaturas, se toma el valor absoluto).}
 \end{aligned}$$

**Incertidumbre, en porcentaje de volumen, para la Corrección de la Expansión Térmica del Volumen**

$$\begin{aligned}
 u_{Vt} &= \frac{2 * u_{\delta Rit}}{Ri} * 100 = \frac{2 * 0.000007038348291 * 100}{9.478} \\
 &= \frac{0.00140767}{9.478} = 0.0001485196938
 \end{aligned}$$

**Incertidumbres Hidrostáticas Adicionales**

$$u_{Vb} = 0.25\% * V_o = \frac{0.25 * 9.2}{100} = 0.023$$

$$u_{Vcal} = 1.25 * 10^{-4} * V = 1.25 * 10^{-4} * 419.674 = 0.052459250$$

**Tabla de Tanque en Servicio**

**Cálculos**

$$\begin{aligned}
 UV &= 2 * \{ u_{Vr}^2 + u_{Vh}^2 + u_{Vcal}^2 + (u_{Vt}^2 * V^2) + u_{Vb}^2 \}^{1/2} \\
 &= 2 * \{ 0.015383606^2 + 0^2 + 0.052459250^2 + (0.0001485196938^2 * 419.887^2) + 0.023^2 \}^{1/2} \\
 &= 0.17212302
 \end{aligned}$$

## Incertidumbre en Servicio

### Incertidumbres Fuente

$$u_{Tts} = \frac{e_{Tts}}{12^{1/2}} = \frac{1}{12^{1/2}} = 0.288675135 \quad (e_{Tts} = 5^\circ\text{C}, \text{ como error de temperatura}$$

máxima. En este caso se considera  $e_{Tts} = 1$ ).

$$u_{\rho s} = \frac{U_{\rho s}}{K} = \frac{5}{2} = 2.5$$

### Corrección por Deformación debido a la Presión Hidrostática en Servicio

$$u_{Vhs} = \left\{ u_{Vh}^2 + \left[ \frac{V_{hs} * u_{\rho}}{\rho_{ref} - \rho} \right]^2 \right\}^{1/2} = \left\{ 0^2 + \left[ \frac{0 * 2.5}{0.929 * 10^3 - 0} \right]^2 \right\}^{1/2} = 0$$

### Corrección por Expansión Térmica en servicio

Datos para el primer anillo del tanque:

Altura del primer anillo = 1.480 m.

$$\text{Volumen del primer anillo} = 2642.89 \text{ lbs.} * \frac{1}{0.00628981} = 420.186 \text{ m}^3.$$

$$\begin{aligned} V_{ts} &= V_{hc} * \{ \alpha_{tp} * (T_{tp} - T_{ref}) + 2 * \alpha_{tk} * (T_{tk} - T_{ref}) \} \\ &= 420.186 * \{ 0.000011 * (27.8 - 25) + 2 * 0.000011 * (27.8 - 25) \} = 0.038825186 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} u_{Vts} &= 100 * \left\{ \left( \frac{u_{Vhc}}{V_{hc}} \right)^2 + [\alpha_{tp} * (T_{tp} - T_{ref})]^2 + (u_{Ttp} * \alpha_{tp})^2 + [2 * u_{\alpha tk} * (T_{tk} - T_{ref})]^2 + (u_{Ttk} * 2 * \alpha_{tk})^2 \right\}^{1/2} \\ &= 100 * \left\{ \left( \frac{0}{420.186} \right)^2 + [0.0000110 * (27.8 - 25)]^2 + (0 * 0.0000110)^2 + \right. \\ &\quad \left. [2 * (5.773502692 * 10^{-7})^2 * (27.8 - 25)]^2 + (1.0002 * 2 * 0.0000110)^2 \right\}^{1/2} \\ &= 3.7852788792373 * 10^{-3} \end{aligned}$$

### Modelo de Corrección de la Presión Hidrostática

$$uV_{cal} = 0.052459250$$

### Inmersión

$$edm = 1.3 + 0.2 * L_{tape} = 1.3 + 0.2 * 0 = 1.3$$

$$\delta H = \frac{Ri * L^2 * \rho * g}{4 * \mu * E * t_1} = 0 \quad (\text{no hay inmersión al momento de la calibración } L=0).$$

$$udm = \frac{edm}{3^{1/2}} = 0$$

$$uLtd = \frac{rLtd}{12^{1/2}} = 0 \quad (\text{no hay inmersión})$$

$$uDdip = (udm^2 + uLtd^2 + \delta H^2)^{1/2} = 0$$

### Volumen en Servicio

$$UV_{LS} = 2 * \left\{ \left[ \left( \frac{UV}{K} \right)^2 + uVbs^2 + (uVts^2 * V_L^2) + (uDdip * Ri^2 * \pi)^2 \right]^{1/2} + uVcal \right\}$$

$$= 2 * \left\{ \left[ \left( \frac{0.17212302}{2} \right)^2 + 0.023^2 + (0.0037852788792373^2 * 420.186^2) \right]^{1/2} + 0.052459250 \right\}$$

$$UV_{LS} = 0.03290946$$

Lo cual en volumen significa:

$$UV_{LS} * V_{hc} = \frac{0.03290946 * 420.186}{100} = 0.138280926 \text{ m}^3 = 0.138 \text{ m}^3 = 0.87 \text{ lbs.}$$

De igual forma, para obtener el valor de la incertidumbre estándar del volumen para los anillos 2 hasta el anillo 8 se procede de manera similar.

Entonces tenemos:

**Tabla N° 14.3 Volumen de Incertidumbre por Anillo, Tanque 8D – 1**

<b>Anillo</b>	<b>UV<sub>Ls</sub></b>	<b>m<sup>3</sup></b>	<b>Bls</b>
2	0.06583553	0.553	3.48
3	0.09899292	1.249	7.85
4	0.13248373	2.228	14.02
5	0.16653171	3.503	22.03
6	0.20121660	5.079	31.94
7	0.23668852	6.970	43.84
8	0.25138008	7.789	48.99

#### **14.1.3 Incertidumbre en la Calibración de Tanques Cilíndricos Verticales al utilizar el Método Electro Optico Interno de Determinación de Distancia**

El procedimiento para el cálculo de la incertidumbre es explicado en detalle para el primer anillo; en el caso de los 8 anillos superiores restantes se presentan los valores correspondientes a cada uno de ellos.

El proceso de cálculo es el mismo para todos los anillos, teniendo en cuenta que el nivel y el volumen son acumulativos.

#### **Nota:**

La tabla de calibración escogida como ejemplo en este caso nos da a conocer que cuanto mayor es la diferencia de temperaturas entre la Temperatura de Referencia y la Temperatura de Calibración, la incertidumbre del volumen es mayor. Es por ello que se trabaja primero con los datos reales de campo y luego se supone una diferencia de temperatura igual que en el caso del Método de la Línea Optica de Referencia.

## Strapping

### Longitud de la Cinta de Strapping:

$uLst = 0$  (con este método no se utiliza cinta de strapping).

### Lectura de la Cinta de Strapping:

$uLtr = 0$

### Tensión y Posición de la Cinta

$uLtp = 0$

Donde:

$uLtp$ : incertidumbre estándar de tensión y posición de la cinta de strapping.

### Alineación de la Cinta

$uLta = 0$

### Mediciones Múltiples

$Lc1 = 42.034$  m.

$Lc2 = 42.034$  m.

$Lc3 = 42.034$  m.

$(xi - Media): (Lc1 - Lcpr) = (42.034 - 42.034) = 0$

$(Lc2 - Lcpr) = (42.034 - 42.034) = 0$

$(xi - Media)^2: (Lc1 - Lcpr)^2 = 0$

$(Lc2 - Lcpr)^2 = 0$

$\sum(xi - Media)^2: (Lc1 - Lcpr)^2 + (Lc2 - Lcpr)^2 = 0$

$$\sigma = \frac{\sum (xi - Media)^2}{2} = 0$$

$S = 0$

$uLm = S = 0$

**Circunferencia de Referencia Externa**

$U_{cem} = 0$  (ya que todos los valores anteriores son cero).

**Radio de Referencia Externo**

$$u_{Rext} = \frac{u_{Cem}}{2\pi} = 0$$

**Espesor de la Carcasa y Pintura del Tanque**

$U_{tmp} = 0$

**Mediciones Ópticas****Incertidumbres Fuentes**

$utv = 0.001\% * H = 0.001\% * 1.528 = 0.00001528$  (ya que la desviación es mínima con el equipo láser. Se trata de la desviación de la línea de referencia, más no la desviación del tanque).

$utr = 0$

$utmp = 0$

**Incertidumbres de los Offsets y Offsets de Referencia**

$$u_{maj} = \frac{\left\{ \left[ (H_j - H_{ref}) * utv \right]^2 + (2 * utr^2) \right\}^{1/2}}{12^{1/2}}$$

$$u_{ma1} = \frac{\left\{ \left[ (1.222 - 1.222) * 0.00001528 \right]^2 + (2 * 0^2) \right\}^{1/2}}{12^{1/2}} = 0$$

Media:

$u_{mapr} = 0$

(xi - Media):

$u_{ma1} - u_{mapr} = 0$

(xi - Media)<sup>2</sup>:

$(u_{ma1} - u_{mapr})^2 = 0$

$\sum (xi - Media)^2$ :

$\sum (u_{ma1} - u_{mapr})^2 = 0$

Varianza:

$$\sigma^2 = 0$$

Desviación estándar:

$$S = 0$$

$$\sum(u_{mai}) = 0$$

### Incertidumbres de Radios Internos

$$u_{Ri} = \left\{ u_{Re} x t^2 + \frac{\sum (u_{mai})^2}{N h s^2} + u_{tmp}^2 + k_{sh} \right\}^{1/2} = 0$$

### Incertidumbre del Radio Interno del Curso del Tanque

$$u_{Ria} = \left\{ \left( \frac{\sum u_{Rj}^2}{N m c} \right) * k_{sv} \right\}^{1/2} = 0$$

### Tabla de Tanque Abierto

**Tabla N° 14.4 Volumen de Crudo, Primer Anillo Tanque 32 – T3**

Rj	Rj <sup>2</sup>	hj	R <sup>2</sup> *Δhj	ΣR <sup>2</sup> *Δhj
6.682	44.645	1.528	68.20919884	68.20919884

$$V_{raw} = \pi * \sum (R_j^2 * \Delta h_j) = 214.286 \text{ m}^3.$$

### Tabla de Calibración del Tanque

$$V_r = \frac{V_{raw}}{\cos \phi} + V_o + V_{dead} - V_{dis} = \frac{214.286}{1} + 4.469 + 3 - 0 = 221.755 \text{ m}^3.$$

### Incertidumbres

#### Volumen del Fondo del Tanque

$u_{Vo}$  desde 0.15 hasta 1.5 (en este caso, con este método, la incertidumbre es menor).

Para este caso:  $u_{Vo} = 0.15$

**Techo Flotante**

$$uV_{dis} = \frac{tV_{dis} * V_{dis}}{12^{1/2}} = 0 \quad (\text{no hay techo flotante en nuestro caso})$$

**Incertidumbres Adicionales**

$$UV_{ad} = 0.005\% * V_r = 0.005\% * 221.755 = 0.01108775$$

**Volumen en Condiciones de Calibración****Incertidumbres****Tabla N° 14.5 Volumen en Condiciones de Calibración, Tanque 32 – T3**

Ria	uRia	Δhj	Ria*uRia*Δhj	ΣRia*uRia*Δhj
6.682	0	1.528	0	0

$$uV_r = \left\{ 2 * \pi * \sum (Ria * uRia * \Delta hj) \right\}^2 + (uV_o * V_o^2) + (uV_{ad}^2 * V_r^2) + (UV_{dis}^2 * V_{dis}^2) \Big\}^{1/2}$$

$$= \left\{ (2 * \pi * 0)^2 + (0.01108775 * 0^2) \right\}^{1/2} = 0$$

**Volumen en Condiciones de Referencia****Incertidumbres Fuente****General**

$$u\rho = \frac{U\rho}{k} = 0 \quad ; \text{ ya que la calibración se realizó sin producto.}$$

$$uE = \frac{eE}{12^{1/2}} = 0 \quad ; \text{ ya que la calibración se realizó sin producto.}$$

$$uT_{tp} = \frac{eT_{tp}}{12^{1/2}} = 0 \quad ; \text{ ya que la calibración se realizó sin producto.}$$

$$u\alpha_{tp} = \frac{e\alpha_{tp}}{12^{1/2}} = \frac{0.000002}{12^{1/2}} = 5.77350269189626 * 10^{-7}$$

$$u\alpha_{tk} = \frac{e\alpha_{tk}}{12^{1/2}} = \frac{0.000002}{12^{1/2}} = 5.77350269189626 * 10^{-7}$$

### Corrección por Deformación debido a la Presión Hidrostática en Condiciones de Referencia

$$\begin{aligned}
 uVh &= Vh * \left\{ \left[ 3 * \left( \frac{uRi}{Ri} \right) \right]^2 + \left( \frac{u\rho}{\rho - \rho_{ref}} \right)^2 + \left( \frac{uE}{E} \right)^2 + \left( \frac{utm}{tm} \right)^2 \right\}^{1/2} \\
 &= 0 * \left\{ \left[ 3 * \left( \frac{0}{6.682} \right) \right]^2 + \left( \frac{0}{0.937 * 10^3 - 0} \right)^2 + \left( \frac{0}{29015620.3465} \right)^2 + \left( \frac{0}{0.0082} \right)^2 \right\}^{1/2} \\
 &= 0
 \end{aligned}$$

### Corrección por Expansión Térmica del Tanque y la Cinta de Strapping en Condiciones de Referencia

$$\begin{aligned}
 u\delta Rit &= \left\{ [uRi * (\alpha p - \alpha k) * (Ttk - Tref)]^2 + [uTtk * Ri * (\alpha p - \alpha k)]^2 + (u\alpha p^2 + u\alpha k^2) * [Ri * (Ttk - Tref)^2] \right\}^{1/2} \\
 &= \left\{ \left[ 0 * (0.000011 - 0.000011) * (50 - 35) \right]^2 + \left[ 1.0007 * 6.682 * (0.000011 - 0.000011) \right]^2 + \left[ (5.77350269189626 * 10^{-7})^2 + (5.77350269189626 * 10^{-7})^2 \right] * \left[ 6.682 * (50 - 35)^2 \right] \right\}^{1/2} \\
 &= 3.165912190823 * 10^{-5}
 \end{aligned}$$

### Volumen en metros cúbicos, en Condiciones de Referencia corregido por Expansión Térmica

$$\begin{aligned}
 Vtr &= V * \{ \alpha p * (Ttp - Tref) + 2 * \alpha k * (Ttp - Tref) \} \\
 &= 221.755 * \{ 0.0000110 * (50 - 35) + 2 * 0.0000110 * (50 - 35) \} \\
 &= 0.10976872500
 \end{aligned}$$

### Incertidumbre en Porcentaje de Volumen para la Corrección de la Expansión Térmica del volumen

$$uVt = \frac{2 * u\delta Rit}{Ri} * 100 = \frac{2 * 0.00003165912190823}{6.682} * 100 = 0.0009475941906$$

### Incertidumbres Hidrostáticas Adicionales

$$uVb = 0.15\% * V_0 = \frac{0.15 * 4.469}{100} = 0.0067035$$

$$uVcal = 1.25 * 10^{-4} * V = 1.25 * 10^{-4} * 221.755 = 0.027719375$$

### Tabla de Tanque en Servicio

#### Cálculos

$$\begin{aligned} UV &= 2 * \left\{ uVr^2 + uVh^2 + uVcal^2 + (uVt^2 * V^2) + uVb^2 \right\}^{1/2} \\ &= 2 * \left\{ 0^2 + 0^2 + 0.027719375^2 + (0.0009475941906^2 * 221.755^2) + 0.0067035^2 \right\}^{1/2} \\ &= 0.424120235 \end{aligned}$$

### Incertidumbres en Servicio

#### Incertidumbres Fuente

$$uTts = \frac{eTts}{12^{1/2}} = \frac{1}{12^{1/2}} = 0.288675135$$

$$ups = \frac{U\rho_s}{k} = \frac{5}{2} = 2.5$$

### Corrección por Deformación debido a la Presión Hidrostática en Servicio

$$uVhs = \left\{ uVh^2 + \left[ \frac{Vhs * u\rho}{\rho_{ref} - \rho} \right]^2 \right\}^{1/2} = 0$$

### Corrección por Expansión Térmica en Servicio

$$Vts = Vhc * \{ \alpha_{tp} * (T_{tp} - T_{ref}) + 2 * \alpha_{tk} * (T_{tk} - T_{ref}) \}$$

$$= 212.123 * \{ [0.0000110 * (50 - 35)] + [2 * 0.0000110 * (50 - 35)] \} = 0.105000885$$

$$uVts = 100 * \left\{ \left( \frac{uVhc}{Vhc} \right)^2 + [\alpha_{tp} * (T_{tp} - T_{ref})]^2 + (uTtp * \alpha_{tp})^2 + [2 * u\alpha_{tk} * (T_{tk} - T_{ref})]^2 + (uTtk * 2 * \alpha_{tk})^2 \right\}^{1/2}$$

$$= 100 * \left\{ \left( \frac{0}{212.123} \right)^2 + [0.0000110 * (50 - 35)]^2 + (0 * 0.0000110)^2 + \right. \\ \left. \left[ 2 * 5.7735026918962^2 * (50 - 35) \right]^2 + (1.0007 * 2 * 0.0000110)^2 \right\}^{1/2}$$

$$= 0.016646224147584$$

### Modelo de Corrección de la Presión Hidrostática

$$uVcal = 0.027719375$$

### Inmersión

$$edm = 1.3 + 0.2 * Ltape = 0$$

$$\delta H = \frac{Ri * L^2 * \rho * g}{4 * \mu * E * t_1} = 0, \text{ (no hay inmersión al momento de la calibración } L = 0).$$

$$udm = \frac{edm}{3^{1/2}} = 0$$

$$uLtd = \frac{rLtd}{12^{1/2}} = 0$$

$$uDdip = (udm^2 + uLtd^2 + \delta H^2)^{1/2} = 0$$

### Volumen en Servicio

$$uVLs = 2 * \left\{ \left[ \left( \frac{UV}{k} \right)^2 + uVbs^2 + (uVts^2 * VL^2) + (uDdip * Ri^2 * \pi)^2 \right]^{1/2} + uVcal \right\}$$

$$= 2 * \left\{ \left[ \left( \frac{0.424120235}{2} \right)^2 + 0.0067035^2 + (0.016646224147584^2 * 212.123^2) + \right. \right. \\ \left. \left[ (0 * 6.682^2 * \pi)^2 \right. \right. \\ \left. \left. 0.027719375 \right]^{1/2} + \right\}$$

$$uVLs = 0.07130269$$

Lo cual en volumen significa:

$$uVLs * Vhc = \frac{0.07130269 * 212.123}{100} = 0.15124935 \text{ m}^3. = 0.151 \text{ m}^3. = 0.95 \text{ bls.}$$

De igual forma, para obtener el valor de la incertidumbre estándar del volumen para los anillos 2 hasta el anillo 9 se procede de manera similar.

Entonces tenemos:

**Tabla N° 14.6 Valores de Incertidumbre por Anillo, Tanque 32 – T3**

<b>Anillo</b>	<b>uVLs</b>	<b>m<sup>3</sup></b>	<b>BIs</b>
2	0.14333084	0.611	3.84
3	0.21501543	1.376	8.65
4	0.28682538	2.448	15.40
5	0.34402794	3.521	22.14
6	0.40237372	4.815	30.29
7	0.45989206	6.288	39.55
8	0.51620749	7.917	49.79
9	0.57437532	9.796	61.62

En este caso la diferencia de temperaturas entre la temperatura de referencia y la temperatura de cubicación es alta. Ahora consideramos una temperatura de referencia igual a 37.8 °C, de manera de hacer igual a la diferencia de temperatura que en el ejemplo del método de referencia de la línea óptica.

Realizando los mismos cálculos y reemplazando  $T_{ref} = 37.8 \text{ °C}$  y  $T_{tp} = 35 \text{ °C}$ , tenemos:

**Tabla N° 14.7 Valores de Incertidumbre por Anillo Tanque 32 – T3, con Menor Diferencia de Temperatura**

<b>Anillo</b>	<b>uVLs</b>	<b>m<sup>3</sup></b>	<b>BIs</b>
1	0.01664581	0.035	0.22
2	0.03346376	0.143	0.90
3	0.05027123	0.322	2.02
4	0.06724317	0.574	3.61
5	0.08093915	0.828	5.21
6	0.09508628	1.138	7.16
7	0.10927456	1.494	9.40
8	0.12416547	1.904	11.98
9	0.13934589	2.377	14.95

## **14.2 CONSIDERACIONES PARA LA RECALIBRACION DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE HIDROCARBUROS LIQUIDOS**

### **APENDICE A – DIRECTRICES PARA LA RECALIBRACION DE TANQUES**

#### **A.1 Introducción**

Estas directrices tienen por finalidad entregar un marco general de trabajo y base técnica para permitir que los operadores de terminales y los propietarios de tanques tomen decisiones acertadas con relación a la frecuencia de verificación y recalibración de tanques de almacenamiento. La diferencia entre recalcular (la tabla de capacidad) y recalibrar también se discute, junto con los factores que impactan la misma.

#### **A.2 Terminología**

A.2.1 Re cálculo (de la tabla de capacidad) es el proceso de desarrollo de una tabla de capacidad revisada, basado en diámetros de tanques previamente establecidos.

A.2.2 Re calibración (también llamada re-strapping) es el proceso de re establecer el diámetro de los tanques a través de mediciones físicas y del desarrollo de una nueva tabla de capacidad basada en estos diámetros de tanques.

#### **A.3 Factores que Impactan el Re Cálculo**

Se debe considerar el re cálculo cuando cambian las variables de funcionamiento del tanque de almacenamiento. Estas variables son la temperatura del producto, la gravedad específica del producto contenida en el tanque, y la altura de referencia manométrica.

#### **A.4 Factores que Impactan la Re Calibración**

A.4.1 Se debe considerar la re calibración cuando cambian las dimensiones internas y las variables estructurales del tanque. Las variables de medición incluyen la altura de referencia manométrica, el diámetro del tanque, el grosor de las planchas del tanque, y la inclinación.

A.4.2 Las variables estructurales incluyen cambios de accesorios en el tanque, la altura de referencia manométrica, la estructura del tanque (tanto la interna como la externa incluyen el techo flotante), y reparaciones al tanque y al fondo del tanque (sustitución del tanque).

#### **A.5 Variabilidad aceptable del Volumen Global y Criterios de Tabla**

A.5.1 A fin de establecer límites aceptables de variación en las mediciones y variables de funcionamiento, se debería determinar cuál es la variabilidad global en el volumen del tanque que se podría considerar significativa. Dicha determinación se puede hacer usando criterios de tabla.

A.5.2 Las Tablas A-1, A-2 y A-3 proporcionan criterios de tabla para re calibración, mientras que las Tablas A-4 y A-5 proporcionan criterios de tabla para el re cálculo. Es admisible un error de medición de 6 milímetros en el strapping del curso inferior del tanque.

**Tabla A-1 Variaciones Permisibles en el Diámetro**

Variación Aproximada en el volumen básico, %	Diámetro Nominal del Tanque, ft, hasta:					
	50	100	150	200	250	300
<b>Variaciones Permisibles en el Diámetro. mm hasta:</b>						
0.01-0.02	3	4	4	5	6	7
0.02-0.03	4	5	7	9	10	12
0.03-0.04	4	7	10	12	15	18
0.04-0.05	5	9	12	17	20	24
0.05-0.06	6	10	15	20	25	30

**Tabla A-2 Grosor de la Plancha de Curso Inferior del Tanque**

Diámetro Nominal del Tanque, ft	Variaciones del Grosor de la Plancha,
50-300	1.5-3

a Espesor de plancha medido en 8 puntos de la circunferencia en el curso medio inferior

**Tabla A-3 Corrección del Volumen para Inclinación del Tanque**

Inclinación ft/100 ft	Factor de Corrección de Volumen,	Comentarios
1.4	0.010	• Medida de la inclinación en el mismo lugar
1.6	0.013	• Calcular la variabilidad en volumen basado en la inclinación inicial y final
1.8	0.016	
2.0	0.020	• Variación de la inclinación máxima admisible de 0.024%, vol %
2.2	0.024	
2.4	0.029	• Una variación de 0.005% debido a una inclinación se debe considerar significativa y debería justificar la recalibración
2.6	0.034	

**Tabla A-4 Variaciones de Temperatura en la Carcasa del Tanque**

Variación en la Temp. de la Carcasa T , F	Variación en la Temperatura Ambiente T , F	Variación en la Temperatura del Líquido T <sub>l</sub>	Variación Aproximada en el Volumen, %
9	72	10	0.01
18	145	20	0.03
35		40	0.04
70	—	80	0.07

Nota: La temperatura de la carcasa (T) puede variar, ya sea por la variación en la temperatura del líquido (T<sub>l</sub>) o por la variación en la temperatura del ambiente o ambas. Los valores presentados corresponden a variaciones en T<sub>a</sub> o T<sub>L</sub> para tanques sin aislamiento. Para tanques con aislamiento, la variación en T<sub>S</sub> debe ser igual a la variación en T<sub>L</sub>. La variación en la temperatura del ambiente con un exceso de 145 °F no es considerada. La temperatura del ambiente no tiene efecto sobre la temperatura de la carcasa para tanques con aislamiento.

Nota: La Tabla A-4 se actualizó de la publicación original, debido al uso de New Shell Temperature Correlation (Nueva Correlación de Temperatura de Carcasa).

**Tabla A-5 Variaciones de la Gravedad Específica del Producto**

Variación en la Gravedad Específica %	Variación Aproximada en Volumen % <sup>a</sup>
10	0.008–0.015
20	0.015–0.030
30	0.030–0.040
40	0.040–0.050
50	0.050–0.065

a La variación real en el volumen de corrección hidrostática podría ser más grande que el especificado, dependiendo del grosor de la plancha del tanque.

## **A.6 Directrices para la Re Calibración: Variables de Medición <sup>A-1</sup>**

A.6.1 Para los tanques en servicio de transferencia, se sugiere la verificación del diámetro del curso inferior, el grosor de la plancha inferior y la inclinación, una vez cada cinco años. Si cualquiera de estos tres parámetros (diámetro, grosor e inclinación) excede los criterios para una variación en el volumen predeterminada (ver Tablas A-1, A-2 y A-3), se debe considerar una re calibración total. Estas variaciones en el diámetro interior del tanque deben ser computarizadas después de desestresar las medidas del diámetro a una condición de estrés cero usando correlaciones presentadas en 5.3.5.

A.6.2 Para los tanques que no están en servicio de transferencia, la verificación de las variables de medición (diámetro, grosor del curso inferior e inclinación) puede ser considerada una vez cada cinco a diez años. Si cualquiera de esas variables excede los criterios para una variación pre establecida en el volumen (ver Tablas A-1, A-2 y A-3), se debe considerar una re calibración total.

A.6.3 Los tanques cambian con el tiempo y el servicio, y los cambios de volumen pueden no ser rápidamente identificados por inspección visual o los procedimientos de verificación precedentes. Por eso, se considera una práctica justificable re calibrar los tanques de forma periódica para asegurar una buena precisión de la medición. Es razonable una re calibración total en intervalos de 15 años para tanques en servicio de transferencia, y en intervalos de 15 a 20 años para otros tanques.

A.6.4 Los propietarios de los tanques pueden incrementar o decrementar las frecuencias de re calibración basados en la evaluación de datos históricos, test de campo y registros de rendimiento. Se recomienda que dicha evaluación se base en los principios de la ingeniería de sonido y sea consistente con las tablas de criterio presentadas aquí.

## **A.7 Directrices para la Re Calibración: Variables Estructurales**

La siguiente es una lista de directrices para la re calibración considerando variables estructurales:

- a. Si hay un cambio en el Deadwood (accesorios), estos impactarán el volumen del tanque con un valor prefijado (por ejemplo 0.02 por ciento), se debería considerar una re calibración.
- b. Si se realizan alteraciones a la carcasa del tanque, las entradas del manhole se quitan y reemplazan, o las válvulas de desfogue se cortan, entonces se puede requerir una re calibración.
- c. Si se altera la altura de referencia manométrica por modificaciones al plato de referencia, o por modificaciones al soporte del plato de referencia, entonces se puede requerir una re calibración.
- d. Si algún trabajo de reparación al techo flotante puede alterar el peso de éste, de tal manera que alteraría su volumen por un valor predeterminado (por ejemplo 0.02 por ciento), se debería considerar una re calibración.
- e. Si se llevan a cabo trabajos de reparación importantes a la plancha de fondo del tanque, se debería considerar una re calibración total junto con un estudio de fondo.

## **A.8 Directrices para Re Calcular**

A.8.1 Las dos principales variables que impactan el Re Cálculo de la tabla de capacidad del tanque son la temperatura de la carcasa del tanque ( $T_s$ ) y la gravedad del producto almacenado dentro del tanque. Asimismo, la variación de la altura de referencia manométrica afectará el re cálculo bajo ciertas circunstancias.

A.8.1.1 Una variación en la temperatura del líquido ( $T_L$ ), temperatura ambiente ( $T_a$ ), o ambas impactará la temperatura de la carcasa del tanque ( $T_s$ ). Para una variación de volumen permisible pre seleccionada, la Tabla A-4 proporciona variaciones de

temperatura de carcasa permitidas (usando Nueva Correlación, ver 6.3.6) y la variación correspondiente en la temperatura del líquido o ambiente. Bajo esas circunstancias, se debería considerar un re cálculo de la tabla de capacidad.

A.8.1.2 La Tabla A-5 proporciona criterios para variaciones de gravedad. Se puede determinar la variación de la gravedad específica permisible, usando la Tabla A-5 y dependiendo de la variación de volumen permisible. Se debe considerar un re cálculo de la tabla de capacidad para la nueva gravedad específica usando la Tabla A-5.

A.8.2 Si la altura de referencia manométrica es alterada por modificaciones al plato de referencia, o al soporte del plato de referencia, se podría requerir un re cálculo.

## **APENDICE B – DIRECTRICES PARA DATOS DE ENTRADA AL COMPUTADOR**

### **B.1 Introducción**

B.1.1 En toda la industria, muchas compañías están instalando tablas de capacidad de tanque en sus sistemas informáticos. Los programas de inventario y muchos otros sistemas requieren la entrada de tablas de capacidad a fin de determinar las cantidades en sus instalaciones. Precisamente con el fin de duplicar las tablas de capacidad existentes en los sistemas informáticos, los factores de incremento deben ser utilizados para asegurar las cantidades exactas de los niveles de líquido medidos.

B.1.2 Se requiere una réplica exacta de las tablas de capacidad en el sistema informático para el resguardo de las operaciones de transferencia. Los factores de incremento son los datos utilizados para generar las tablas de capacidad de una forma condensada.

B.1.3 Los factores de incremento en los discos deben ser solicitados por el contratista al momento de la calibración de los tanques. Estos datos están normalmente disponibles en formato ASCII utilizando sistema operativo DOS.

### **B.2 Criterios**

#### **B.2.1 Consideraciones del Volumen Incremental**

Cuando se están preparando las tablas de capacidad, se debe tomar en consideración la unidad de volumen y la altura incremental. La unidad de volumen es comúnmente barriles, galones, metros cúbicos, litros y pies cúbicos. La altura incremental es la diferencia entre los niveles de capacidad en la tabla de capacidad. La altura incremental puede ser 1 pulgada, 1/4 de pulgada, 1/8 de pulgada, 1/16 de pulgada, 0.1 pie, 0.01 pie, 1 centímetro ó 1 milímetro. Los volúmenes más comunes y alturas incrementales expresados en tablas de capacidad son barriles por pulgada

y metros cúbicos por centímetro con promedio de valores fraccionarios de 1/16 de pulgada y 1 milímetro respectivamente.

### **B.2.2 Fracciones**

Los valores fraccionarios no se deben mostrar en las tablas de capacidad porque los valores fraccionarios son un valor promedio. Cuando se usan los valores fraccionarios, las cantidades no coinciden con los volúmenes exactos generados por un programa de computadora. Los volúmenes son más precisos por interpolación entre volúmenes incrementales, y la interpolación manual coincidirá con los volúmenes generados por computadora.

### **B.2.3 Desarrollo del Factor Incremental**

Los factores incrementales básicamente son dos, Volúmenes Cilíndricos y Desplazamiento de Accesorios (deadwood).

B.2.3.1 Los Volúmenes Cilíndricos son los volúmenes finales corregidos por incremento de cada anillo o curso del que el tanque está construido. Si un tanque tiene seis anillos, entonces hay seis volúmenes separados por incremento de cada nivel de altura. Si el tanque tiene seis anillos de ocho pies de altura (8 pies-0 pulgada), entonces un volumen diferente por incremento se mostrará desde 0 pies hasta 8 pies, 8 pies hasta 16 pies, 16 pies hasta 32 pies, etc. se puede ver un ejemplo en el Apéndice B.

B.2.3.2 Los Accesorios (deadwood) se definen como cualquier accesorio que agrega o resta volumen por sus dimensiones. El fondo del tanque, techo flotante, sumideros, soportes de techo, y tuberías internas afectan la capacidad total del tanque. Esos accesorios se deducen del volumen cilíndrico en relación a la elevación medida por encima o por debajo del punto de referencia cero en el factor incremental de la hoja.

B.2.3.3 La longitud del factor incremental de la hoja depende de la cantidad de elevaciones diferentes en las que los accesorios (deadwood) se distribuyen dentro del tanque. La mayor cantidad de accesorios (deadwood) se ubica en el aro inferior o curso de un tanque. Los factores incrementales tendrán muchas líneas de diferentes volúmenes, desde elevación cero hasta la parte superior o inferior del aro o curso. Por encima del aro inferior sólo habrá volúmenes incrementales (menos accesorios (deadwood)) de los anillos sucesivos o cursos del tanque.

B.2.3.4 Si menos líneas de datos de los factores incrementales de la tabla de capacidad son utilizadas en un sistema informático, entonces la exactitud de la replicación de la tabla de capacidad se distorsiona. Si se ingresan puntos aleatorios como factores incrementales al sistema informático, entonces los niveles entre esos puntos no coincidirán con la tabla de capacidad y no puede ser usado para resguardar las operaciones de transferencia.

#### **B.2.4 Exactitud de la Replicación**

B.2.4.1 Se requiere de una replicación exacta de las tablas de capacidad para el resguardo total de las operaciones de transferencia. Cuando sea posible se recomienda que las unidades de volumen de las tablas de capacidad se expresen en números enteros (entero) para facilitar la exactitud de la replicación.

B.2.4.2 Cuando los volúmenes se expresan con tres lugares decimales o menos (por ejemplo 2233.455 metros cúbicos ó 14048.01 barriles), el programa de software debe tener en cuenta el proceso de truncamiento y redondeo. En situaciones en las que las tablas de capacidad se calculan en barriles con dos decimales y expresados en incrementos de una pulgada, la exactitud de la replicación estará dentro de 0.02 barriles en cualquier nivel dado a través del tanque. No es matemáticamente posible generar una replicación más precisa del volumen cuando la capacidad certificada de la tabla es de incrementos de una

pulgada con volúmenes con dos lugares decimales y los factores de incremento usados en el sistema informático tienen incrementos de 1/8 de pulgada y siete dígitos significativos.

### **B.2.5 Consideraciones de Software**

El desarrollo de un programa informático para una determinación precisa de la capacidad del tanque debe estar basado en los cálculos detallados en el Capítulo 2.2ª del MPMS. Se debe prestar una especial atención a los siguientes ítems:

- a. Se deben usar los factores incrementales actuales para generar las capacidades.
- b. Se deben utilizar los procedimientos apropiados de redondeo/truncamiento.
- c. Se debe definir el techo flotante en la elevación de descanso y zona crítica.
- d. Se debe conocer la gravedad API usada en el cálculo de la tabla de capacidad con el fin de calcular el factor de corrección del techo para gravedades distintas a temperaturas observadas.

### **B.3 Verificación**

Para custodiar las operaciones, se debe confirmar la exactitud del factor incremental. Se recomienda que se revise para la replicación los niveles en la tabla de capacidad y sistema informático en 5 a 6 niveles en la parte inferior de 8 pies 0 pulgadas de la tabla de capacidad y en 5 a 6 niveles aleatorios en todo el saldo de la tabla de capacidad.



### Cuadro N° 14.2 Medidas Complementarias

**MEDIDAS COMPLEMENTARIAS**

**CLIENTE :** PETROPERU S.A. **O/L :** 220021  
**TANQUE :** SD-1  
**LUGAR Y FECHA DE CALIBRACION :** Estación 8 del ONP, 27 de Enero del 2010  
**INSPECTOR(S) :** \_\_\_\_\_

ANILLO	LECTURA DE ESPESORES (milímetros)				ESPESORES PROMEDIO (mm)		SOLDADURAS (mm)			ALTURA DE ANILLOS (mm)
	ESPESOR 1	ESPESOR 2	ESPESOR 3	ESPESOR 4	PARED	PINTURA	NUMERO	ANCHO	ESPESOR	
1	10.8	10.7	10.7	10.7	10.7	0.2	10	16.0	3.0	1,480
2	8.9	9.0	8.9	9.0	9.0	0.2				1,480
3	7.8	7.9	7.8	7.8	7.8	0.2				1,491
4	7.3	7.4	7.3	7.4	7.4	0.2				1,491
5	7.0	7.1	7.2	7.1	7.1	0.2				1,492
6	6.6	6.5	6.7	6.6	6.6	0.2				1,490
7	6.8	6.7	6.7	6.7	6.7	0.2				1,490
8	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	0.2				1,491
9										
10										
11										
12										
13										
14										
15										
16										
17										
18										
19										
20										
<b>ALTURA TOTAL</b>										<b>11,914</b>

**CONDICIONES AL MOMENTO DE LA INSPECCION :**

Temperatura ambiente durante strapping (°C): 25.0 Temperatura de liquido en Tk (°C): VACIO  
 Temperatura de la pared del tanque (°C): 25.0 Nivel de liquido en Tk (mm): VACIO

**CONDICIONES DE TRABAJO DEL TANQUE :**

Producto a ser almacenado : CRUDO Densidad promedio del producto: 0.9293 (g/cm<sup>3</sup>)  
API  
 Temperatura promedio de trabajo (°C): 27.8

**REMARKS:** En el último anillo existe una tubería de Rebose a 520 mm del techo

### Cuadro N° 14.3 Lecturas Ópticas

**LECTURAS OPTICAS (API 2.2B)**

CLIENTE : PETROPERU S.A.

O/L: 220021

LUGAR Y FECHA DE CALIBRACION : Estación 8 del ONP, 27 de Enero del 2010

TANQUE : 8D-1

INSPECTOR(S) : \_\_\_\_\_

ANILLO	LECTURAS OPTICAS (MILIMETROS)																					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
1	192.0	202.0	190.0	199.0	198.0	208.0	195.0	188.0														
	199.0	200.0	187.0	199.0	215.0	190.0	191.0	188.0														
2	195.0	206.0	189.0	201.0	215.0	191.0	188.0	188.0														
	193.0	212.0	195.0	200.0	205.0	198.0	192.0	190.0														
3	190.0	213.0	190.0	202.0	204.0	195.0	192.0	192.0														
	196.0	215.0	196.0	206.0	208.0	196.0	191.0	200.0														
4	191.0	212.0	194.0	212.0	210.0	199.0	189.0	199.0														
	193.0	212.0	192.0	210.0	208.0	198.0	189.0	199.5														
5	197.0	213.0	193.0	203.0	206.0	197.0	195.0	199.3														
	196.0	214.0	193.0	205.0	208.0	196.0	195.0	199.4														
6	198.0	210.0	195.0	201.0	209.0	196.0	190.0	199.3														
	191.0	208.0	200.0	203.0	223.0	193.0	191.0	199.3														
7	193.0	205.0	199.0	203.0	220.0	191.0	190.0	199.3														
	194.0	203.0	196.0	202.0	211.0	177.0	192.0	199.3														
8	195.0	202.0	190.0	200.0	211.0	169.0	188.0	199.3														
9																						
10																						
11																						

STRAPPING DE REFERENCIA TOMADO EN EL 2do ANILLO      NOTA: TOMADO A 300 mm DE LA SOLDADURA INFERIOR

N° ANILLO	CALCULO DE LONGITUD DE REFERENCIA (STRAPPING)						LONGITUD DE REFERENCIA MILIMETROS	DIAMETRO DE REFERENCIA MILIMETROS
	TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3	TRAMO 4	TRAMO 5	TRAMO 6		
	M I L I M E T R O S							
	1928	3380	571	586	117	5923	59623	1897859

NUMERO DE ESTACIONES: 8

DISTANCIA ENTRE ESTACIONES (MM): 7453

REMARKS : \_\_\_\_\_

**Figura 14 – 6 Zona de tanques de almacenamiento de petróleo crudo en Andoas**



**Figura 14 – 7 Tanque 30M31S en la zona de Andoas**



**Figura 14 – 8 Medición de la Altura de Referencia de un Tanque**

