



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL**

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA**

**CARRERA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS**

**TRABAJO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO  
DE INGENIERO DE PETRÓLEOS**

**“METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS Y CONTROL DE LA  
INFORMACIÓN TÉCNICA DE LAS TABLAS DE AFORO DE  
TANQUES ESTACIONARIOS ATMOSFÉRICOS VERTICALES PARA  
ALMACENAMIENTO DE HIDROCARBUROS BASADO EN LA  
NORMA TÉCNICA INTERNACIONAL API MPMS CAPITULO 2.2-A  
PARA AUTOMATIZAR EL PROCEDIMIENTO DE APROBACIÓN DE  
TABLAS DE CALIBRACIÓN EN LA FISCALIZACIÓN”**

**AUTOR: JOSÉ LUIS HUERTAS LUNA**

**DIRECTOR: ING. RAÚL DARÍO BALDEÓN LÓPEZ**

**QUITO-ECUADOR**

**2015**

© Universidad Tecnológica Equinoccial. 2014  
Reservados todos los derechos de reproducción

## DECLARACIÓN

Yo, **JOSÉ LUIS HUERTAS LUNA**, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Universidad Tecnológica Equinoccial puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

---

José Luis Huertas Luna

C.I.: 0401028097

# CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo que lleva por título **“Metodología para el análisis y control de la información técnica de las tablas de aforo de tanques estacionarios atmosféricos verticales para almacenamiento de hidrocarburos basado en la norma técnica internacional api MPMS capítulo 2.2-A para automatizar el procedimiento de aprobación de tablas de calibración en la fiscalización”**, que, para aspirar al título de **Ingeniero de Petróleos** fue desarrollado por **José Luis Huertas Luna**, bajo mi dirección y supervisión, en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería; y cumple con las condiciones requeridas por el reglamento de Trabajos de Titulación artículos 18 y 25.

---

Ing. Raúl Darío Baldeón López

**DIRECTOR DEL TRABAJO**

C.I. 170804253-4

## DEDICATORIA

*A mis padres*

*Razón de mi diaria superación; quienes con profundo amor, comparten mis  
anhelos y esperanzas; su incondicional apoyo me motivó para alcanzar este  
nuevo reto profesional.*

*José Huertas*

## **AGRADECIMIENTOS**

*A Dios por todas las bendiciones que me ha brindado*

*A mis padres por darme su apoyo incondicional en toda mi vida y por formar en mí una persona de bien con valores*

*A los ingenieros que han compartido su valiosa experiencia día a día en mi vida universitaria, en especial al Ing. Raúl Baldeón*

*José Huertas*

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

DECLARACIÓN.....	i
CERTIFICACIÓN.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTOS.....	iv
ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiv
RESUMEN.....	15
ABSTRACT.....	16
INTRODUCCIÓN.....	17
1. ANTECEDENTES.....	17
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	19
1.2. FORMULACIÓN Y SISTEMATIZACIÓN.....	20
1.3. JUSTIFICACIÓN.....	20
1.4. OBJETIVOS.....	22
1.4.1. OBJETIVO GENERAL.....	22
1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	22
2. MARCO TEÓRICO.....	23
2.1. INDUSTRIA PETROLERA EN EL PAÍS.....	23
2.2. TANQUES DE ALMACENAMIENTO EN LA INDUSTRIA HIDROCARBURÍFERA.....	25
2.2.1. DESCRIPCIÓN DE SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO.....	26

2.3.	MEDICIÓN TECNOLÓGICA.....	32
2.3.1.	METROLOGÍA.....	32
2.3.2.	CALIBRACIÓN DEL INSTRUMENTO DE MEDIDA .....	33
2.3.3.	MEDICIÓN EN TANQUES VERTICALES .....	37
2.3.4.	MEDICIÓN DE ESPESORES.....	38
2.3.5.	MEDICIÓN DE LONGITUDES VERTICALES .....	39
2.3.6.	MEDICIÓN DE LAS CIRCUNFERENCIAS .....	40
2.3.7.	MEDICIÓN DE LOS VOLÚMENES MUERTOS .....	40
2.3.8.	TOMA DE DATOS.....	40
2.4.	TOLERANCIAS .....	41
2.5.	TABLAS DE AFORO .....	42
2.5.1.	MÉTODO VOLUMÉTRICO .....	43
2.5.2.	MÉTODO GEOMÉTRICO .....	45
2.5.3.	MÉTODO GRAVIMÉTRICO .....	49
2.6.	TRANSFERENCIA DE CUSTODIA.....	50
2.7.	ARCH (ENTE DE CONTROL).....	50
2.7.1.	ESTATUTO ORGÁNICO DE GESTIÓN ORGANIZACIONAL DE LA ARCH .....	51
2.7.2.	ATRIBUCIONES DE LA AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL HIDROCARBURÍFERO.....	51
2.8.	NORMATIVA INTERNACIONAL API MPMS CAP. 2, SECCIÓN 2A 53	
2.8.1.	PROCEDIMIENTO NORMA API MPMS SECCIÓN 2-A.....	53
2.8.2.	CORRECCIÓN DE CINTA A TEMPERATURA BASE .....	53
2.8.3.	CONVERSIÓN DE CIRCUNFERENCIA EXTERIOR A CIRCUNFERENCIA INTERIOR.....	54



2.8.4.	CORRECCIÓN DE CIRCUNFERENCIA A TANQUE VACÍO.	54
2.8.5.	CORRECCIÓN POR ELEVACIÓN DE CINTA .....	55
2.8.6.	CORRECCIÓN DE CIRCUNFERENCIA POR ESPESOR DE PLACA	56
2.8.7.	INCREMENTO DE VOLUMEN POR ANILLO O REFERENCIA DEFINIDA .....	56
2.8.8.	CORRECCIÓN POR CABEZAL LÍQUIDO .....	56
2.8.9.	INCREMENTO POR CABEZAL LÍQUIDO ARRIBA DE CADA ANILLO	57
2.8.10.	CORRECCIÓN POR INCLINACIÓN .....	57
2.8.11.	CORRECCIÓN DE VOLUMEN POR TEMPERATURA.....	58
2.8.12.	REDUCCIONES E INCREMENTOS DEL VOLUMEN MUERTO	59
3.	METODOLOGÍA .....	62
3.1.	CONDICIONES DE MEDIDA .....	62
3.2.	PROCEDIMIENTO .....	63
3.2.1.	MEDICIÓN DE LA CIRCUNFERENCIA DEL TANQUE .....	63
3.2.2.	MEDICIÓN DE ESPESORES.....	65
3.2.3.	MEDICIÓN DE LAS LONGITUDES VERTICALES .....	66
3.2.4.	MEDICIÓN DE VOLÚMENES MUERTOS .....	74
3.3.	SOFTWARE DE VERIFICACIÓN DE TABLAS DE AFORO DE TANQUES.....	76
3.3.1.	CORRECCIÓN POR CALIBRACIÓN .....	88
3.3.2.	ELEVACIÓN DE LA CINTA.....	88
3.3.3.	CORRECCIÓN DE LAS MEDIDAS DE LA CIRCUNFERENCIA PARA BASE DE TANQUES VACÍOS.....	88

3.3.4.	CORRECCIÓN DE LA CIRCUNFERENCIA EXTERIOR A INTERIOR.....	89
3.3.5.	CORRECCIÓN DE LA CIRCUNFERENCIA INTERNA .....	89
3.3.6.	CORRECCIÓN AL MÁXIMO ESFUERZO.....	89
3.3.7.	CIRCUNFERENCIA INTERNA AL MÁXIMO ESFUERZO .....	89
3.3.8.	CÁLCULO DEL INCREMENTO DE VOLUMEN.....	90
3.3.9.	INCREMENTO DE VOLUMEN POR CABEZA DE LÍQUIDO .	91
3.3.10.	VOLUMEN CORREGIDO POR CABEZA DE LÍQUIDO .....	91
3.3.11.	CORRECCIÓN POR DILATACIÓN O CONTRACCIÓN .....	91
3.3.12.	COLUMNA INCREMENTO .....	92
3.3.13.	CÁLCULO DE VOLÚMENES MUERTOS .....	92
3.3.14.	COLUMNA ALTURA .....	94
3.3.15.	COLUMNA INCREMENTO V.....	94
3.3.16.	COLUMNA INCREMENTO .....	94
3.3.17.	CORRECCIÓN POR INCLINACIÓN .....	95
3.3.18.	COLUMNAS VOLÚMENES MUERTOS.....	95
3.3.19.	COLUMNA VOLUMEN TOTAL .....	95
3.4.	METODOLOGÍA DE ANÁLISIS Y VERIFICACIÓN .....	95
4.	ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	99
4.1.	EJEMPLO DE CÁLCULO UTILIZANDO EL SOFTWARE PROPUESTO PARA EL TANQUE T-4062 .....	99
4.2.	CALCULO DEL VOLUMEN INCREMENTAL DEL PRIMER ANILLO SIN EL SOFTWARE PROPUESTO .....	104
4.2.1.	CALIBRACION DE LA CINTA DE TRABAJO CON LA CINTA MASTER.....	104
4.2.2.	CORRECCIÓN DE LA CINTA DE MEDICIÓN A 60°F. ....	104

4.2.3.	DEDUCCIÓN DEL AUMENTO DE LA CINTA POR JUNTAS SOLDADAS (CC).....	105
4.2.4.	CORRECCIÓN DE LAS MEDIDAS DE LA CIRCUNFERENCIA PARA BASE DE TANQUES VACÍOS (CV). .....	105
4.2.5.	CORRECCIÓN DE LA CIRCUNFERENCIA EXTERIOR HACIA LA CIRCUNFERENCIA INTERIOR (CT). .....	105
4.2.6.	RESULTADO DE LAS CORRECCIONES EN LAS CIRCUNFERENCIAS INTERNAS (Cc).....	105
4.2.7.	CORRECCIÓN DE LA CIRCUNFERENCIA INTERNA AL MÁXIMO ESFUERZO (CS). .....	106
4.2.8.	CALCULO DE LA CIRCUNFERENCIA INTERNA AL MÁXIMO ESFUERZO (CE).....	106
4.2.9.	CALCULO DEL INCREMENTO DEL VOLUMEN (V) .....	106
4.2.10.	INCREMENTO DEL VOLUMEN POR ANILLO Y POR CADA PULGADA DE LIQUIDO SOBRE EL ANILLO ( $\Delta V$ ) .....	106
4.2.11.	SUMATORIA DE LAS CORRECCIONES REALIZADAS .....	107
4.2.12.	EXPANSIÓN Y CONTRACCIÓN DEL TANQUE DEBIDO A LA TEMPERATURA (TS).....	107
4.2.13.	CORRECCIÓN DEL VOLUMEN A LA TEMPERATURA DEL ACERO	107
4.3.	COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE EL SOFTWARE ELABORADO Y LA TABLA PRESENTADA POR LA VERIFICADORA INDEPENDIENTE .....	108
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	110
5.1.	CONCLUSIONES.....	110
5.2.	RECOMENDACIONES.....	111

# ÍNDICE DE TABLAS

	<b>PÁGINA</b>
TABLA 2.1 CLASIFICACIÓN DE LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE HIDROCARBUROS .....	26
TABLA 2.2 PROCESO DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS UTILIZADOS EN LA CALIBRACIÓN DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE HIDROCARBUROS .....	34
TABLA 2.3 EQUIPOS DE MEDICIÓN UTILIZADOS EN LA CALIBRACIÓN DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE HIDROCARBUROS .....	35
TABLA 2.4 TOLERANCIAS CIRCUNFERENCIALES DE LAS MEDICIONES .....	41
TABLA 3.1 TOLERANCIAS CIRCUNFERENCIALES DE LAS MEDICIONES .....	64
TABLA 3.2 MEDIDAS DE TANQUES VERTICALES – SOLDADO .....	67
TABLA 3.3 DATOS DE LAS CELDAS DEL SOFTWARE .....	82
TABLA 3.4 INFORMACIÓN DE LAS CELDAS DE DIÁMETROS Y ESPESORES DE UN TANQUE.....	86
TABLA 4.1 COMPARACIÓN DEL VOLUMEN TOTAL ENTRE EL SOFTWARE PROPUESTO Y LA VERIFICADORA INDEPENDIENTE .....	109

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>PÁGINA</b>
GRÁFICO 2.1 TANQUE DE TECHO FIJO .....	28
GRÁFICO 2.2: TANQUE DE TECHO FLOTANTE.....	29
GRÁFICO 2.3 TANQUE HORIZONTAL.....	30
GRÁFICO 2.4 TIPOS DE CABEZAS DE TANQUES .....	31
GRÁFICO 2.5 TANQUE ESFÉRICO .....	32
GRÁFICO 2.6 MÉTODO GEOMÉTRICO EXTERNO POR LÍNEA DE REFERENCIA ÓPTICA .....	47
GRÁFICO 2.7 AFORO POR TRIANGULACIÓN EXTERNA.....	48
GRÁFICO 2.8 MÉTODO ELECTROÓPTICO DE DISTANCIAS.....	49
GRÁFICO 3.1 MEDIDAS DE TANQUES VERTICALES – ATORNILLADO.	68
GRÁFICO 3.2 MEDIDAS DE TANQUES VERTICALES – REMACHADO...	69
GRÁFICO 3.3 MEDIDAS DE TANQUES VERTICALES.....	71
GRÁFICO 3.4 LOCALIZACIÓN DE LAS MEDIDAS PARA TANQUES VERTICALES SOLDADOS.....	72
GRÁFICO 3.5 LOCALIZACIÓN DE LAS MEDIDAS PARA TANQUES VERTICALES REMACHADOS.....	73
GRÁFICO 3.6 LOCALIZACIÓN DE LAS MEDIDAS PARA TANQUES VERTICALES ATORNILLADOS.....	74
GRÁFICO 3.7 FORMA DE REGISTRO DE ACCESORIOS .....	75
GRÁFICO 3.8 FLUJOGRAMA DEL SOFTWARE .....	76
GRÁFICO 3.9 DATOS GENERALES DEL TANQUE, PANTALLA DEL SOFTWARE .....	79

GRÁFICO 3.10 DATOS DE TIPO DE FONDO Y TIPO DEL TECHO DE TANQUES .....	81
GRÁFICO 3.11 DATOS DE DIÁMETROS Y ESPESORES DE UN TANQUE .....	83
GRÁFICO 3.12 DATOS DE LAS ALTURAS DE LOS ANILLOS, ESPESORES Y DATOS DE LAS JUNTAS DE UN TANQUE (CAPTURA DE PANTALLA DEL SOFTWARE) .....	84
GRÁFICO 3.13 DATOS DE LOS VOLÚMENES MUERTOS (CAPTURA DE PANTALLA DEL SOFTWARE) .....	85
GRÁFICO 3.14 CÁLCULOS DE LAS CORRECCIONES VOLUMÉTRICAS (CAPTURA DE PANTALLA DEL SOFTWARE) .....	87
GRÁFICO 3.15 CALCULO DEL VOLUMEN INCREMENTAL (CAPTURA DE PANTALLA DEL SOFTWARE) .....	90
GRÁFICO 3.16 CALCULO DE VOLÚMENES MUERTOS (CAPTURA DE PANTALLA DEL SOFTWARE) .....	92
GRÁFICO 3.17 TABLA DE AFORO FINAL (CAPTURA DE PANTALLA DEL SOFTWARE) .....	94
GRÁFICO 4.1 HOJA DE IDENTIFICACIÓN DE CIRCUNFERENCIA, ESPESOR, ALTURAS Y JUNTAS DEL TANQUE .....	99
GRÁFICO 4.2 DATOS GENERALES DEL TANQUE .....	100
GRÁFICO 4.3 DATOS DE ACCESORIOS CONSIDERADOS VOLÚMENES MUERTOS .....	101
GRÁFICO 4.4 HOJA DE CÁLCULO DE LOS VOLÚMENES INCREMENTALES .....	102
GRÁFICO 4.5 HOJA DE RESULTADOS EN LA CUAL SE APRECIA LA TABLA DE AFORO FINAL .....	103

# ÍNDICE DE ECUACIONES

	<b>PÁGINA</b>
EC. [ 2.1].....	53
EC. [ 2.2].....	54
EC. [ 2.3].....	54
EC. [ 2.4].....	54
EC. [ 2.5].....	55
EC. [ 2.6].....	55
EC. [ 2.7].....	56
EC. [ 2.8].....	56
EC. [ 2.9].....	57
EC. [ 2.10].....	58
EC. [ 2.11].....	58
EC. [ 2.12].....	58
EC. [ 2.13].....	58
EC. [ 2.14].....	60
EC. [ 2.15].....	60
EC. [ 3.1].....	88
EC. [ 3.2].....	90
EC. [ 3.3].....	91
EC. [ 3.4].....	91

# ÍNDICE DE ANEXOS

	<b>PÁGINA</b>
<b>ANEXO 1</b>	
MEMORANDO BASE QUE DEBERÁ ELABORAR EL FUNCIONARIO RECOMENDANDO LA APROBACIÓN O RECHAZO DE LAS TABLAS DE AFORO PRESENTADAS POR LA EMPRESA OPERADORA. ....	118
<b>ANEXO 2</b>	
FORMATO DE RESOLUCIÓN CON LA CUAL SE APRUEBA EL USO DE LAS TABLAS DE CALIBRACIÓN; LA RESOLUCIÓN DEBERÁ SER IMPRESA EN HOJA MEMBRETADA Y NUMERADA CON EL FIN DE EVITAR ADULTERACIÓN DE DOCUMENTOS.....	120
<b>ANEXO 3</b>	
FORMATO DE OFICIO CON EL CUAL SE COMUNICA A LA EMPRESA OPERADORA LA APROBACIÓN DEL USO DE LAS TABLAS DE AFORO. ....	124
<b>ANEXO 4</b>	
ACTA DE TOMA DE DATOS DE CAMPO EN LA CUAL CONSTAN LOS DATOS GENERALES DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO T-4602. ....	126
<b>ANEXO 5</b>	
MEMORIA DE CÁLCULO DEL TANQUE T-4602.....	127
<b>ANEXO 6</b>	
CÁLCULO DEL VOLUMEN DEL FONDO CÓNICO DEL TANQUE T-4602.....	128



## RESUMEN

La calibración de tanques es un factor muy importante en la industria hidrocarburífera tanto nacional como internacional, debido a que se pone en juego grandes cantidades de dinero. Actualmente existen varias empresas verificadoras que están acreditadas en el Servicio de Acreditación Ecuatoriano SAE y registradas en la Agencia de Regulación y Control Hidrocarburífero, las cuales realizan las tablas de calibración y tienen que ser aprobadas mediante Resolución de la ARCH para poder ser usadas.

El propósito de esta tesis es realizar una metodología para que los funcionarios encargados de aprobar dichas tablas de aforo tengan una guía en la cual puede ser seguida para verificar que la documentación enviada por las empresas operadoras y así ejecutar el trámite de una manera rápida y efectiva.

El software propuesto está basado en la Norma Técnica API MPMS capítulo 2.2A y podrá ser usado con el fin de comparar los resultados de las tablas de calibración presentadas por las empresas operadoras

Se propone una plantilla de memorando interno con el cual el funcionario encargado del trámite informa cualquier novedad y recomienda la aprobación o negación al Coordinador de Transporte y Almacenamiento de Hidrocarburos y Gas Natural al granel. De la misma manera se propone una plantilla de Resolución con la cual se aprueba el uso de las tablas de aforo de los tanques firmada por el Coordinador de Transporte y Almacenamiento de Hidrocarburos y Gas Natural al granel. Para finalizar la metodología propuesta se plantea un modelo de oficio con el cual se emite la resolución a la empresa operadora, regional respectiva y Dirección Jurídica de Trámites y Coactivas

## **ABSTRACT**

The tank calibration is an important factor in the oil industry both nationally and internationally, because at stake is a lot of money money. Currently there are several inspection companies that are accredited in the Ecuadorian Accreditation Service SAE and registered in the Agency for Regulation and Control Hydrocarbon, which perform the calibration tables and these must be approved by resolution from ARCH so they can be used.

The purpose of this thesis is to provide a methodology for approving officers gauging these tables so they can have a guide to be followed in order to verify the documents submitted by the operating companies and in this way run the process in a fast and effective way.

The proposed software is based on the Technical Standard API MPMS Chapter 2.2A and may be used in order to compare the results of calibration tables submitted by the operating companies.

An Internal memo template is proposed with which the official in charge of this formality, reports any development recommending approval or denial to the Coordinator of Transportation and Storage of Oil and Natural Gas. In the same way, a template for a resolution is proposed with which the use of tables tank gauging signed by the Coordinator of Transportation and Storage of Oil and Natural Gas is approved. Concluding with this methodology, they propose a model of official document with which the resolution is issued and is given to the respective regional operating company and to the Legal Proceedings and Coercive address

# INTRODUCCIÓN

## 1. ANTECEDENTES

La industria petrolera en el Ecuador es una de las principales fuentes de generación de recursos económicos y es por este motivo que existen un sin número de empresas que realizan servicios técnicos como la fabricación de equipos industriales, estructuras metálicas, soportes para equipos y ductos, mantenimiento y reparación de tanques de almacenamiento, calibración y aforo de tanques, Inspección de corrosión y medición de espesores, generación eléctrica para estaciones de reinyección pozos productores y campamentos, mantenimiento de equipos autónomos de bombeo, entre otras los mismos que son requeridos en el proceso de extracción, tratamiento y refinado del petróleo.

Uno de los servicios que brindan las empresas verificadoras es la calibración o aforo de tanques de almacenamiento el cual es un proceso que permite determinar la equivalencia entre la capacidad y la altura del tanque.

Toda medición tiene un grado de incertidumbre que está asociada generalmente a su calidad. Sin embargo, en toda medición, aún en las más cuidadosas, existe siempre un margen de error, por lo que cuando sea posible, se trata de corregir los errores conocidos por ejemplo, aplicando las correcciones indicadas en los certificados de calibración. Pero cualquier error del cual no se conozca su valor, es una fuente de incertidumbre.

Los errores en las tablas de calibración que determinan los volúmenes pero que en algunos casos los resultados presentados en sus respectivas tablas de aforo no se ajustan completamente a la realidad lo que trae como consecuencia problemas en la contabilidad del volumen ocasionando insatisfacciones entre las partes involucradas.

Para la correcta realización del proceso de aforo de tanques de almacenamiento se utilizan los métodos descritos en las normas API e ISO 7707-1, 7707-2, 7707-3, 7707-4, 7707-5. La Norma API MPMS 2.2A determina la medición manual (strapping) y el cálculo de las tablas de aforo o calibración, así mismo la toma de datos de los tanques se los realiza de forma manual utilizando la instrumentación necesaria mientras que para el análisis de datos y obtención de las tablas de calibración se utilizan hojas de cálculo realizadas por los ingenieros de la empresa las cuales demandan una gran cantidad de tiempo para su elaboración. En la actualidad se ha tratado de mejorar estos procesos creando programas que están basados en las normas y que facilitan la calibración o aforo de tanques.

La Agencia de Regulación y Control Hidrocarburífero aprueba del uso de las tablas de calibración de los tanques atmosféricos verticales que almacenan Hidrocarburos (petróleo, gasolinas, etc.) y agua de formación tipos de tanques que son operados por las diferentes empresas hidrocarburíferas que operan en el país.

La exactitud en la toma de las dimensiones de un tanque es un factor muy importante para la determinación del volumen del líquido almacenado, teniendo en cuenta las consecuencias que tienen las mediciones incorrectas en una tabla de calibración errónea la cual generaría grandes pérdidas económicas a una de las partes involucradas. Como resulta tan importante el método y el grado de exactitud empleados al tomar las dimensiones de un tanque, estas deben ser presenciadas por todas las partes interesadas y se deberá dejar constancia de los datos obtenidos mediante la firma de un acta de campo.

Un ejemplo de una tabla de calibración en un tanque de 750000 bls de capacidad que tiene un diámetro de 92m y una altura de 21m al tomar erróneamente la medición se puede generar grandes pérdidas como es el caso de que en 1 mm de nivel hay 42 barriles que equivalen a 4200 usd en

caso de que el petróleo este a 100 dólares el barril, en 1 cm de nivel hay 420 barriles que equivalen a 42000 dólares.

A pesar de que muchos tanques en una misma locación puedan parecer idénticos, si aplicamos mediciones con elevada precisión notaremos que cada uno tiene dimensiones únicas. Por lo tanto no es aceptable realizar las tablas de calibración 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 masa y volumen.

### **1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

En la Agencia de Regulación y Control Hidrocarburífero del Ecuador (ARCH), la Dirección de Control Técnico de Hidrocarburos, los técnicos del Subproceso de Transporte y Almacenamiento utilizan herramientas como hojas de cálculo desarrolladas en Microsoft Excel para realizar la verificación de la calibración o aforo de tanques Atmosféricos verticales presentadas por las empresas operadoras y realizadas por empresas verificadoras independientes debidamente autorizadas por el Servicio de Acreditación Ecuatoriano (SAE) y registrados en la ARCH, los mismos que se encuentran basados en los procedimientos indicados en la norma API MPMS 2.2-A para la realización de este servicio y que forman parte del proyecto.

Las hojas de cálculo son usadas para casos independientes, es decir que para realizar el aforo de un tanque se debe crear una nueva hoja de cálculo, repitiendo el proceso y realizando cambios en partes específicas dependiendo de las características del tanque al que se realizara el aforo. Es por esta razón que se ha decidido realizar una metodología de verificación de la información contenida en las tablas de calibración de tanques en la cual se pueda ingresar las características del tanque y los parámetros de afectación como presión y temperatura que dificultan el proceso de aforo generando una tabla de calibración volumétrica de alta precisión y

confiabilidad, disminuyendo de esta forma el tiempo establecido para la realización de esta actividad y las posibilidades de presentar una tabla de calibración errónea.

## **1.2. FORMULACIÓN Y SISTEMATIZACIÓN**

¿Existe una metodología para realizar la verificación de las tablas de aforo de tanques verticales de almacenamiento de hidrocarburos?

¿La hoja de cálculo utilizada por los técnicos de la ARCH funciona correctamente?

¿Qué tipo de ventajas tendría el uso del software de verificación para la calibración de tanques horizontales?

¿Puede presentar una tabla de calibración errónea el software de verificación para la calibración de tanques horizontales?

¿La Agencia de Regulación y Control Hidrocarburífero ARCH aceptaría el uso de software de verificación para la calibración de tanques horizontales si se comprueba que cuentan con la precisión requerida para este tipo de uso?

## **1.3. JUSTIFICACIÓN**

Las operaciones hidrocarburíferas en el Ecuador son una base imprescindible en la economía del país y en están directamente ligadas al crecimiento de su productividad. El petróleo continua siendo pilar fundamental en la salud económica del país y por lo tanto es de vital importancia que las operaciones hidrocarburíferas se desarrollen de manera correcta, siguiendo todos los lineamientos técnicos necesarios.

La exactitud en la generación de las tablas de calibración un tanque es un factor muy importante para la determinación del volumen del líquido almacenado, por lo cual las calibraciones de tanques son de gran interés

para la industria del petróleo y es un procedimiento indispensable debido a su importancia económica, ya que afecta tanto al vendedor como al comprador del producto si son realizadas de manera no adecuada

Un error sistemático es aquel que se produce de igual modo en todas las mediciones que se realizan de una magnitud. Puede estar originado en un defecto del instrumento, en una particularidad del operador o del proceso de medición. El error aleatorio o accidental es aquel error inevitable que se produce por eventos únicos imposibles de controlar durante el proceso de medición.

Una medición incorrecta dará como resultado una tabla de aforo errónea, la misma que permanecerá en uso hasta que requiera una nueva re-calibración (5 años mínimo y 10 años como máximo API MPMS 2.2A), como resultado a estas medidas con error, se tendrá problemas de contabilidad en el volumen y descontento en las partes que intervienen. Estos problemas originan juicios que en ciertos casos lleva años en que pueda darse un fallo a favor de alguna de las partes.

Tomando en cuenta lo anteriormente descrito la Agencia de Regulación y Control Hidrocarburífero ARCH necesita implementar una metodología que permita verificar si las tablas de calibración de los tanques atmosféricos verticales de almacenamiento de hidrocarburos cumplen lo dispuesto en normas técnicas internacionales.

Por las razones mencionadas anteriormente se asegura que la realización de este proyecto mejorara los procedimientos de verificación para la calibración volumétrica de tanques de almacenamiento de hidrocarburos, creando un software de ingeniería que se base en la norma API MPMS 2.2-A de calibración volumétrica de tanques, y además buscar soluciones para casos muy comunes que se presentan en el momento de verificar las tablas de calibración.

Por lo cual el control de estos procesos es un tema que requiere de toda nuestra atención ya que realizando bajo las normas establecidas y los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera se obtendrán excelentes beneficios tanto para la empresa como para los sujetos de control.

## **1.4. OBJETIVOS**

### **1.4.1. OBJETIVO GENERAL**

Desarrollar una metodología para el análisis y control de la información técnica de las tablas de aforo de tanques estacionarios atmosféricos verticales para almacenamiento de hidrocarburos basado en la norma técnica internacional API MPMS capítulo 2.2-A para automatizar el procedimiento de aprobación de tablas de calibración en la fiscalización.

### **1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Analizar y aplicar los métodos, normas y tecnología en el sistema de calibración de tanques de almacenamiento vertical de hidrocarburos.
- Disminuir el tiempo requerido para la verificación de la calibración de tanques atmosféricos verticales optimizando recursos.
- Validar el software utilizado, realizando pruebas comparativas con memorias de cálculo realizadas por técnicos de la ARCH.



# MARCO TEÓRICO

## 2.1. INDUSTRIA PETROLERA EN EL PAÍS

En Ecuador inicia la actividad de exploración petrolera a principios de siglo a lo largo de la costa del Pacífico. El primer descubrimiento importante para el país lo realizó la compañía Angla Ecuadorian Oilfields Ltda. En 1924 en la península de Santa Elena, dando inicio a la producción petrolera en 1925 con 1 226 barriles diarios.

Los primeros trabajos de exploración hidrocarburífera en la Región Oriental se iniciaron en 1921, cuando la compañía Leonard Exploration Co. de Nueva Cork obtuvo una concesión de 25 mil km<sup>2</sup> por el lapso de 50 años.

En 1937 la compañía Shell logra 10 millones de hectáreas en concesión en la región del nororiente, para luego devolverlas argumentando que no existía petróleo.

Texaco Gulf en 1964 obtiene una concesión de un millón quinientos mil hectáreas, en 1967 perfora el primer pozo productivo el Lago Agrio N.1. Posteriormente en 1969 siguieron los de Sacha y Shushufindi. A raíz de este encuentro, se produce una feria de concesiones, que tuvieron como efecto consolidar el dominio absoluto de las compañías extranjeras, ya que mantenían el control de más de cuatro millones de hectáreas. Hasta que en junio de 1972 se crea la Corporación Estatal Petrolera Ecuatoriana (CEPE). La producción propiamente de la Región Oriental se inicia en 1972 por parte del consorcio Texaco-Gulf.

CEPE adquiere el 25% de las acciones de este consorcio el 6 de julio de 1974, creándose un nuevo consorcio CEPE-Texaco-Gulf. El 28 de junio de 1973 el Ecuador ingresa a la Organización de Países Exportadores de Petróleo OPEP con lo que la capacidad negociadora del Estado a través de

CEPE mejora frente a las compañías extranjeras; además de recibir otros beneficios especialmente de asistencia técnica. Luego de una permanencia de 19 años, el gobierno de Sixto Durán Ballén en 1993 retira al país de ese importante organismo.

En 1976 ante una serie de irregularidades cometidas por la empresa Gulf, CEPE adquiere esas acciones con lo que pasa a ser el accionista mayoritario del consorcio con el 62% de las acciones; posteriormente CEPE adquiere la totalidad de las acciones y pasa a tener el control de todas las fases de la producción petrolera. A partir del año 1989 CEPE se convierte en PETROECUADOR con varias empresas filiales a su cargo: Petroproducción, Petroindustrial, Petrocomercial y Petroamazonas. Los últimos gobiernos pretenden la privatización de PETROECUADOR y de la actividad petrolera.

Durante 2009 y 2010, la producción petrolera de las empresas públicas en Ecuador estuvo a cargo de Petroproducción, Petroamazonas y Operaciones Río Napo (desde noviembre de 2009). 102,8 millones de barriles de crudo produjeron las petroleras públicas en 2009. Petroproducción extrajo el 62%, Petroamazonas el 35% y Río Napo el 3% del total producido.

Para el año 2010, la participación de Petroproducción se redujo al 45% debido al cese de operaciones en el campo petrolero Sacha, desde entonces a cargo de Operaciones Río Napo, que presentó una participación del 17%. El 38% restante perteneció a Petroamazonas, con un nivel similar al 2009.

Desde enero de 2010 se inició el proceso de fusión por absorción entre Petroamazonas y la Gerencia de Producción de Petroecuador (antes Petroproducción). Desde el 1 de noviembre de 2012, por decreto presidencial, Petroamazonas tomó de manera oficial las operaciones de los campos Lago Agrio, Libertador, Shushufindi, Auca, Cuyabeno y operaciones Off Shore de producción de gas natural de los campos Pacoa y Amistad, que

eran responsabilidad de la Gerencia de Exploración y Producción de Petroecuador.<sup>1</sup>

A partir del 2 de enero de 2013, fecha en la que se hizo efectivo el decreto, Petroamazonas tiene a cargo la operación de 16 bloques petroleros en el oriente y 3 bloques en la costa. Además a esa fecha contaba con un POES (petróleo original en sitio) total de 13946 MMBIs y reservas remanentes totales de 1609 MMBIs brutos<sup>2</sup>.

## **2.2. TANQUES DE ALMACENAMIENTO EN LA INDUSTRIA HIDROCARBURÍFERA**

Las industrias y en especial la industria del petróleo requieren de tanques con características particulares para almacenar una gran variedad de productos como son: crudo y sus derivados, butano, propano, gas licuado de petróleo, solventes, agua, etc.

Los tanques de almacenamiento forman parte de distintas operaciones, pero las más importantes son:

- Transporte
- Refinación
- Tratamiento
- Reservas
- Inventarios
- Distribución

---

<sup>1</sup> Petroamazonas EP asume la operación de ocho campos de EP Petroecuador y de la producción de gas natural - Ministerio de Recursos no renovables del Ecuador.

<http://www.recursosnaturales.gob.ec/petroamazonas-ep-asume-la-operacion-de-ocho-campos-de-ep-petroecuador-y-de-la-produccion-de-gas-natural/>

<sup>2</sup> Sitio web oficial - Sección La institución - <http://www.petroamazonas.gob.ec/la-institucion/>

El almacenamiento de los combustibles en forma correcta ayuda a que las pérdidas de combustible puedan ser reducidas, aunque no eliminadas por las características propias de la volatilidad los productos del petróleo.

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

- Actúa como un pulmón entre producción y transporte para absorber las variaciones de consumo.
- Permite la sedimentación de agua y barros del crudo antes de despacharlo por oleoducto o a destilación.
- Brindan flexibilidad operativa a las refinerías.
- Actúan como punto de referencia en la medición de despachos de producto, y son los únicos aprobados actualmente por aduana.

### 2.2.1. DESCRIPCIÓN DE SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO

Los sistemas de almacenamiento tienen varias variantes de acuerdo a las necesidades presentes.

#### TIPOS DE TANQUES Y USOS

**Tabla 2.1** Clasificación de los Tanques de Almacenamiento de Hidrocarburos

<b>CLASIFICACIÓN DE TANQUES</b>	
<b>Por su construcción:</b>	Vertical: Sin techo, techo fijo y techo flotante.
	Horizontal: a presión atmosférica y a presión mayor a la atmosférica (recipientes).
	Esferas
<b>Por su uso:</b>	Producción (refinería)
	Yacimiento
	Terminal de despacho
	Reserva

<b>Por Producto:</b>	Crudo
	Naftas
	LPG, etc...

**Fuente:** (Vásquez, 2012)

### TANQUES CILÍNDRICOS, VERTICALES, ATMOSFÉRICOS

Los Tanques Cilíndricos Verticales permiten almacenar grandes cantidades volumétricas y solo se pueden usar a presión atmosférica o presiones internas relativamente pequeñas hasta 2.5 psi.

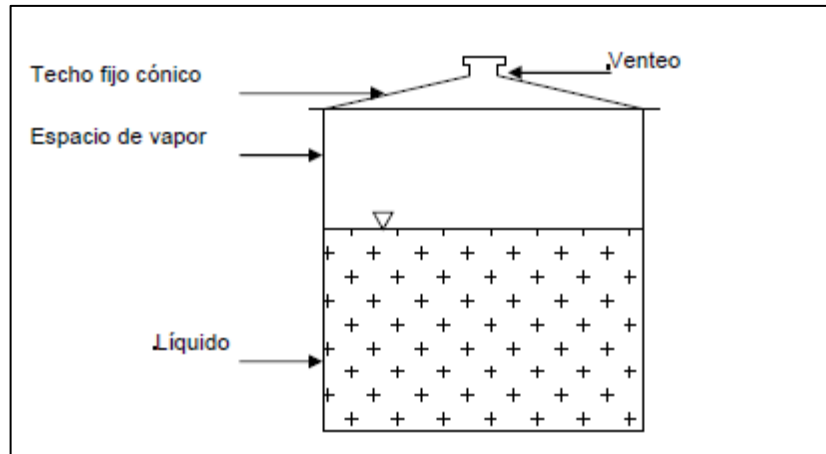
Se emplean para almacenar productos de diferente naturaleza química (ácidos, álcalis, hidrocarburos, efluentes industriales, etc.) y son de gran capacidad de almacenaje. Pueden ser clasificados de acuerdo al tipo de techo y tipo de fondo en:

- **Tipo de techo:** Sin techo, techo fijo o techo flotante.
- **Tipo de fondo:** plano, esférico, hemisférico, semielíptico o cónico

#### Techo Fijo

Se emplean para contener productos no volátiles o de bajo contenido de ligeros (no inflamables) como son: agua, diésel, asfalto, petróleo crudo, etc. Este tipo de tanques operan 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.

El techo puede tener la forma de un cono, domo o paraguas. Los techos fijos hay de dos tipos auto soportados y soportados.



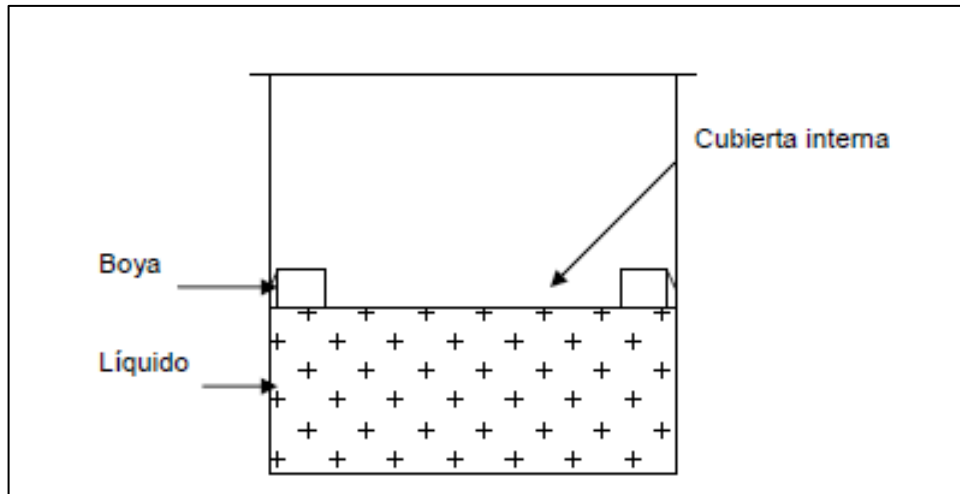
**Gráfico 2.1** Tanque de Techo Fijo

**Fuente:** (Palacios, 2006)

### Techo Flotante

Se emplea para almacenar productos con alto contenido de volátiles como son: alcohol, gasolinas y combustibles en general.

Este tipo de techo fue desarrollado para reducir o anular la cámara de aire, o espacio libre entre el espejo del líquido y el techo, además de proporcionar un medio aislante para la superficie del líquido, reducir la velocidad de transferencia de calor al producto almacenado durante los periodos en que la temperatura ambiental es alta, evitando así la formación de gases (su evaporación), y consecuentemente, la contaminación del ambiente y, al mismo tiempo se reducen los riesgos al almacenar productos inflamables.



**Gráfico 2.2:** Tanque de Techo Flotante

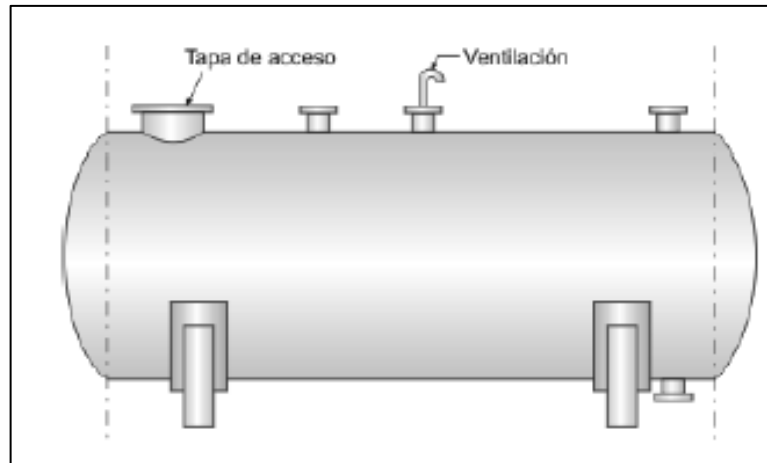
**Fuente:** (Palacios, 2006)

### Tanques sin Techo

Se usan para almacenar productos en los cuales no es importante que éste se contamine o que se evapore a la atmósfera como el caso del agua cruda, residual, contra incendios, etc. El diseño de este tipo de tanques requiere de un cálculo especial del anillo de coronamiento.

### Tanques Horizontales

Los tanques horizontales se emplean hasta un determinado volumen de capacidad, generalmente son de volúmenes relativamente bajos (hasta 50.000 gls), debido a que presentan problemas por fallas de corte y flexión. Por lo general, se usan para almacenar volúmenes pequeños.



**Gráfico 2.3** Tanque Horizontal

**Fuente:** (PAREDES, 2006)

Las cabezas de los tanques horizontales son las siguientes: Cabezas Planas, toriesféricas, semielípticas y semiesféricas.<sup>3</sup>

**Cabezas Planas:** Se utilizan para tanques sujetos a presión atmosférica, generalmente, aunque en algunos casos se usan también en recipientes a presión. Su costo entre las cabezas de los tanques es el más bajo.

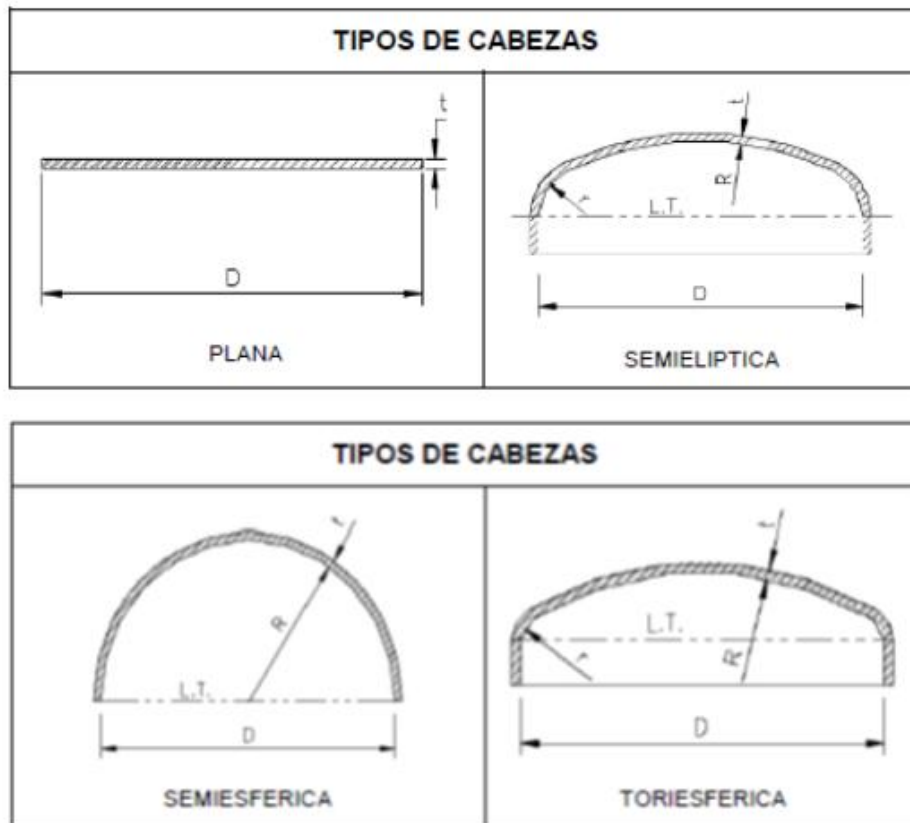
**Toriesférica:** Son las de mayor aceptación en la industria, debido a su bajo costo ya que soportan grandes presiones manométricas, su característica principal es que el radio ( $r$ ) del abombado es aproximadamente igual al diámetro interno ( $d$ ) y el radio interno del nudillo ( $r$ ) no debe ser menor a una décima del diámetro interno ( $d$ ).

**Semielíptica:** Son empleadas cuando el espesor calculado de una tapa toriesférica es relativamente alto, ya que las tapas semielípticas soportan mayores presiones que las toriesféricas.

**Semiesférica:** Utilizada exclusivamente para soportar presiones críticas, como su nombre lo indica, si silueta describe una media circunferencia perfecta, su costo es alto y no hay límite dimensional para su fabricación.

<sup>3</sup> [www.scrib.com/doc/17247549/diseño-y-calculo-de-recipientes-a-presion](http://www.scrib.com/doc/17247549/diseño-y-calculo-de-recipientes-a-presion)





**Gráfico 2.4** Tipos de Cabezas de Tanques

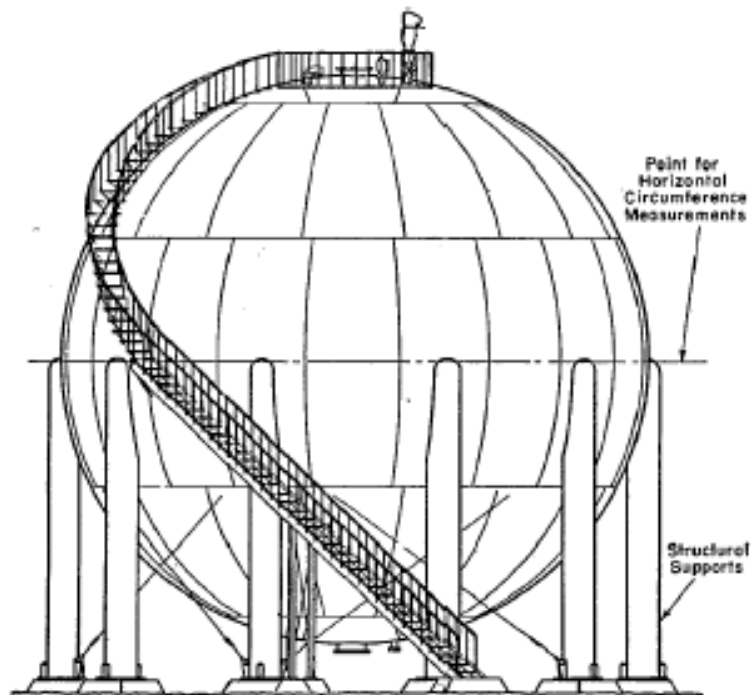
**Fuente:** (PAREDES, 2006)

### Tanques Esféricos

Las esferas se construyen en gajos utilizando chapas de acero. Se sostienen mediante columnas que deben ser calculadas para soportar el peso de la esfera durante la prueba hidráulica (pandeo). Al igual que en los cigarros, todas las soldaduras deben ser radiografiadas para descartar fisuras internas que se pudieran haber producido durante el montaje.

Se usan para almacenar líquidos bajo cierta presión como fertilizantes, gas licuado natural en estado líquido o criogénico, nitrógeno líquido, etc.

Cuentan con una escalera para acceder a la parte superior para el mantenimiento de las válvulas de seguridad, aparatos de telemedición, etc.



**Gráfico 2.5** Tanque Esférico

**Fuente:** (Palacios, 2006)

## **2.3. MEDICIÓN TECNOLÓGICA**

### **2.3.1. METROLOGÍA**

Es la rama de la física que estudia las mediciones de las magnitudes garantizando su normalización mediante la trazabilidad. La metrología acorta la incertidumbre en las medidas mediante un campo de tolerancia. Incluye el estudio, mantenimiento y aplicación del sistema de pesos y medidas. Actúa tanto en los ámbitos científico, industrial y legal, como en cualquier otro demandado por la sociedad debido a que todo lo que se utiliza en la vida rutinaria debe ser medido. Su objetivo fundamental es la obtención y expresión del valor de las magnitudes empleando para ello instrumentos, métodos y medios apropiados, con la exactitud requerida en cada caso.

La metrología tiene dos características muy importantes; el resultado de la medición y la incertidumbre de medida.

### **2.3.2. CALIBRACIÓN DEL INSTRUMENTO DE MEDIDA**

La calibración es el procedimiento de comparación entre lo que indica un instrumento y lo que "debiera indicar" de acuerdo a un patrón de referencia con valor conocido. De esta definición se deduce que para calibrar un instrumento o patrón es necesario disponer de uno de mayor precisión que proporcione el valor convencionalmente verdadero que es el que se empleará para compararlo con la indicación del instrumento sometido a calibración. Esto se realiza mediante una cadena ininterrumpida y documentada de comparaciones hasta llegar al patrón primario, y que constituye lo que se llama trazabilidad. El objetivo del calibrado es mantener y verificar el buen funcionamiento de los equipos, responder a los requisitos establecidos en las normas de calidad y garantizar la fiabilidad y trazabilidad de las medidas.

Durante el calibrado, se contrasta el valor de salida del instrumento a calibrar frente a un patrón en diferentes puntos de calibración. Si el error de calibración —error puesto de manifiesto durante la calibración— es inferior al límite de rechazo, la calibración será aceptada. En caso contrario se requerirá ajuste del instrumento y una contrastación posterior, tantas veces como sea necesario hasta que se obtenga un error inferior al límite establecido. En equipos que no disponen de ajuste, como termopares etc. en caso de no satisfacer las tolerancias marcadas deberían ser sustituidas por otros previamente calibrados.

En la calibración, los resultados deben documentarse con un certificado de calibración, en el cual se hacen constar los errores encontrados así como las correcciones empleadas, errores máximos permitidos, además pueden incluir tablas, gráficos, etc.

**Tabla 2.2** Proceso de Calibración de Equipos utilizados en la Calibración de tanques de Almacenamiento de Hidrocarburos

<b>CALIBRACIÓN</b>	
<b>Chequeo y Ajustes Preliminares:</b>	Observar el estado físico del equipo, desgaste de piezas, limpieza y respuesta del equipo.
	Determinar los errores de indicación del equipo comparado con un patrón adecuado —según el rango y la precisión—.
	Llevar ajustes de cero, multiplicación, angularidad y otros adicionales a los márgenes recomendados para el proceso o que permita su ajuste en ambas direcciones —no en extremos—. Luego se realizan encuadramientos preliminares, lo cual reduce al mínimo el error de angularidad.
<b>Ajustes de Cero:</b>	Colocar la variable en un valor bajo de cero a 10% del rango o en la primera división representativa a excepción de los equipos que tienen supresión de cero o cero vivo, para ello se simula la variable con un mecanismo adecuado, según rango y precisión lo mismo que un patrón adecuado.
	Si el instrumento que se está calibrando no indica el valor fijado anteriormente, se ajusta el mecanismo de cero.
	Si el equipo tiene ajustes adicionales con cero variable, con elevaciones o supresiones se hace después del punto anterior de ajuste de cero.
<b>Ajuste de multiplicación:</b>	Colocar la variable en un valor alto del 70 al 100%.
	Si el instrumento no indica el valor fijado, se debe ajustar el mecanismo de multiplicación o span
	Repetir los dos últimos pasos hasta obtener la calibración correcta para los valores alto y bajo.
<b>Ajuste de angularidad:</b>	Colocar la variable al 50% del span
	Si el incremento no indica el valor del 50% ajustar el mecanismo de angularidad según el equipo
	Repetir los dos últimos pasos 4 y 5 hasta obtener la calibración correcta, en los tres puntos.

**Fuente:** (Chang, 2007)

Como el patrón no permite medir el valor verdadero, también tiene un error, y como además en la operación de comparación intervienen diversas fuentes de error, no es posible caracterizar la medida por un único valor, lo que da lugar a la llamada incertidumbre de la medida o incertidumbre.

En palabras muy simples la calibración no es más que la comparación de lecturas (datos arrojados) entre un instrumento patrón y el instrumento de prueba. Nunca se debe confundir la calibración con el ajuste, que es uno de los procesos de la calibración.

### Equipos de Medición

Los equipos utilizados en la calibración volumétrica deben ser equipos certificados por el INEN.

El equipo utilizado para la toma de las dimensiones del tanque a calibrar se describe a continuación. Todos los equipos deberán estar en buenas condiciones de trabajo. Todas las cintas deben estar en una sola pieza y sin dobleces.

**Tabla 2.3** Equipos de Medición Utilizados en la Calibración de Tanques de Almacenamiento de Hidrocarburos

<b>EQUIPOS DE MEDICIÓN</b>		
<b>Plomada</b>		Utilizada para realizar la medición de la distancia desde el techo del tanque hasta el fondo en distintos puntos según se requiera, para lo cual se trabaja conjuntamente con la cinta de acero la cual se acopla a la plomada permitiendo de esta forma poder determinar esas distancias.

<p><b>Cinta de acero</b></p>		<p>Utilizada conjuntamente con la plomada, principalmente para medir alturas en la cual la deformación generada por el peso de la plomada es imperceptible en este tipo de cinta.</p>
<p><b>Cinta de fibra de vidrio</b></p>		<p>Utilizada para medir la longitud de la circunferencia de los tanques.</p>
<p><b>Flexómetro</b></p>		<p>Utilizado en forma general y para diversos usos, principalmente para determinar las medidas de los accesorios de los tanques.</p>
<p><b>Regla de Ingeniero</b></p>		<p>Las reglas de ingeniero se las utiliza para medir en espacios muy reducidos y accesorios pequeños.</p>
<p><b>Medidor de espesores</b></p>		<p>Este equipo es de tipo ultrasónico y como su nombre lo indica permite determinar el espesor de las paredes del tanque en los distintos anillos con una gran precisión.</p>

<p><b>Estación total</b></p>		<p>Permite realizar el cálculo de coordenadas en campo, replanteo de puntos de manera sencilla y la determinación de distancias entre las características principales.</p>
<p><b>Nivel de burbuja</b></p>		<p>Instrumento que permite determinar si la base del tanque presenta una inclinación lo suficientemente pronunciada como para afectar el proceso de aforo.</p>

**Fuente:** (Chang, 2007)

### 2.3.3. MEDICIÓN EN TANQUES VERTICALES

Antes de entrar en cualquier tanque para realizar las mediciones necesarias para la calibración volumétrica, se debe obtener permiso del Supervisor de la Planta, funcionario autorizado, u otra persona responsable a cargo. Esta persona responsable debe proporcionar información sobre los materiales y las condiciones particulares aplicables y de la hoja de datos de seguridad.

Deben tenerse en cuenta los procedimientos de seguridad aplicables. Las consideraciones de seguridad incluyen: el potencial de los riesgos electrostáticos, el potencial de exposición del personal (ropa de protección correspondiente y equipo necesario), y los posibles peligros de explosivos y tóxicos asociados con la atmósfera del tanque de almacenamiento. Las características físicas del producto y las condiciones operativas existentes deben ser evaluadas.

Además, otra persona debe estar de guardia en la entrada del tanque el tiempo que dure la toma de datos, y sonar una alarma si se produce una emergencia. Se debe usar ropa de protección y equipo adecuado tales como: Overol, casco, guantes, gafas, zapatos de seguridad y arnés.

Durante el aforo deben observarse todas las reglas de seguridad y de riesgo contra incendios indicados en cada planta en donde se realiza el trabajo de medición, necesarios para la prevención de accidentes de cualquier tipo.

El tanque debió haber sido llenado al menos una vez en su ubicación actual y haber realizado la prueba hidrostática por un periodo de 24 horas aproximadamente.

La prueba hidrostática debe realizarse de conformidad con los estándares de funcionamiento recomendados en la API Estándar 650 y 653. La gravedad API, la temperatura del contenido del tanque, la temperatura media ambiente y la máxima altura de llenado son datos que se deben tomar al momento de realizar la medición los mismos que deben ser revisados y registrados.

También se debe adjuntar en el acta de levantamiento de datos un detalle los siguientes puntos:

- Detalle de juntas horizontales y verticales.
- Número de placas por anillo.
- Identificación de tubería y caminos de hombres dentro del tanque.
- Tamaños de los ángulos de la parte superior e inferior del tanque.
- Tamaños de Manhole, Boquillas y demás accesorios que afecten en la determinación de la capacidad real del tanque.

#### **2.3.4. MEDICIÓN DE ESPESORES**

El espesor de la placa debe ser medido por el dispositivo de medición por ultrasonidos, como el método preferido. Un mínimo de dos mediciones al anillo deben obtenerse. Las mediciones de espesor obtenidos antes o



durante la construcción y que se encuentren debidamente registrados pueden ser utilizados.

### **2.3.5. MEDICIÓN DE LONGITUDES VERTICALES**

Se realizan 5 mediciones principales: la altura del tanque, la altura referencial de aforo, la altura de la escotilla, altura interna efectiva y las alturas de cada anillo.

La altura del tanque es la distancia vertical entre la parte inferior del ángulo inferior (o la parte superior de la placa de piso) y la parte superior del ángulo superior del último anillo, y debe ser medida en un punto cercano al punto de referencia de aforo (boca de aforo).

La altura referencial de aforo se mide desde el punto de referencia de aforo hasta el fondo del tanque o hasta la placa de referencia. Debe incluirse en el registro una descripción del punto de referencia donde se realiza el aforo, por ejemplo: el punto de referencia de aforo se encuentra en el labio superior de la escotilla de 8 pulgadas (o 20 centímetros) de diámetro, frente a la bisagra.

La altura de la escotilla se mide desde la parte superior del ángulo superior del último anillo del tanque hasta el punto de referencia de aforo.

Luego de medir esas tres alturas se debe realizar una comparación entre la altura referencial de aforo con la suma de la altura del tanque más la altura de la escotilla, con el fin de investigar la posible existencia de un fondo falso. Las mediciones y cálculos correspondientes se adjuntarán a, y formar parte de, el registro de la medición.

Se debe realizar mediciones adicionales como se requiera, en otros puntos de riesgo para investigar y describir conocidas o sospechosas condiciones en el tanque, como la inclinación o el fondo falso. Estos lugares deben ser

marcados en un esquema complementario. El valor de la inclinación en la altura del tanque debe ser medido y registrado.

Las mediciones de las posibles inclinaciones pueden ser realizadas en conjunto con las mediciones de las alturas del tanque utilizando un teodolito, una plomada óptica, o una plomada.

### **2.3.6. MEDICIÓN DE LAS CIRCUNFERENCIAS**

El técnico responsable de las mediciones del tanque debe determinar primero donde se deberán tomar las mediciones de circunferencia. Las mediciones circunferenciales no deben ser tomadas sobre el aislamiento. Las mediciones de las circunferencias deben ser tomadas al 20 y al 80 % debajo de la parte superior de cada anillo, ya sea juntas a tope o traslapadas.

### **2.3.7. MEDICIÓN DE LOS VOLÚMENES MUERTOS**

Cuando se habla de volúmenes muertos se refiere a cualquier objeto dentro del tanque, incluyendo un techo flotante, que desplaza el líquido y reduce la capacidad del tanque, así como cualquier accesorio permanente en el exterior del tanque, tales como entradas de limpieza o manhole, que aumentan la capacidad del tanque.

### **2.3.8. TOMA DE DATOS**

Una vez conocido todos los parámetros que deben ser medidos, se deberá completar los datos descriptivos que deben figurar en el Acta de Registro de Medidas del Tanque que se utiliza.

Cualquier boceto o anotación suplementaria debe estar completamente identificada, con fecha y firmados, también se debe adjuntar en el acta un detalle los siguientes puntos:

- Detalle de juntas horizontales y verticales.
- Número de placas por anillo.

- Identificación de tubería y caminos de hombres dentro del tanque.
- Tamaños de los ángulos de la parte superior e inferior del tanque.
- Tamaños de Manhole, Boquillas y demás accesorios que afecten en la determinación de la capacidad real del tanque.
- Inclinación vertical.
- Abolladuras y protuberancias en las placas del tanque.
- Ubicación y elevación de una posible placa de referencia.
- Todos los demás temas de interés y valor que se encuentre al momento de la toma de datos.

## 2.4. TOLERANCIAS

Las mediciones circunferenciales deberán leerse y registrarse con una precisión de 0.005 pies (o 1 milímetro). Que es igual a la mitad de la distancia entre dos marcas adyacentes de una cinta. Por lo tanto, todas las mediciones de circunferencia deberán quedar registradas en el tercer decimal.

**Tabla 2.4** Tolerancias Circunferenciales de las Mediciones

SISTEMA AMERICANO		SISTEMA INTERNACIONAL	
hasta 150 pies	± 0.01 pies	hasta 30 m	± 2mm
150-300 pies	± 0.02 pies	30-50 m	± 4mm
sobre 300 pies	± 0.03 pies	50-70 m	± 6mm
		70-90 m	± 8 mm
		sobre 90 m	± 10 mm

**Fuente: (Norma API, 2012)**

- En los tanques verticales, la altura del tanque deberá leerse y registrarse con una precisión de 1 / 16 pulgadas (o 1 milímetro o 0.005 pies).

- Para los tanques horizontales, la longitud del cilindro deberá leerse y registrarse la medida con una precisión de 1 / 16 pulgadas (o 1 milímetro o 0.005 pies).
- Los termómetros deberán leerse con una precisión de 1 ° F (o 0,5 ° C).
- Los espesores de la chapa del tanque deberán determinarse con una precisión de 1 / 64 pulgadas (o a 0,5 milímetros).
- Para los accesorios deberá determinarse y localizarse las lecturas de medición con una precisión de 1 / 8 pulgada (o 3 milímetros).

## **2.5. TABLAS DE AFORO**

El aforo tradicional consiste en determinar el volumen total e incremental del tanque en las condiciones de uso. La calibración de los tanques de almacenamiento se debe efectuar cuando su integridad mecánica se ve afectada por reparaciones o cambios estructurales ya sea por cambio en la inclinación, en el diámetro, en la altura de referencia o en el espesor de la lámina. Para el aforo de un tanque de almacenamiento las tablas de aforo deben:

- Presentar los niveles en unidades de metros, centímetros, milímetros, pies o pulgadas y los volúmenes en barriles, galones o litros.
- Ser firmada por la empresa consultora y aprobada por el Ministerio de Energía y Minas.
- La placa de identificación del tanque y el registro del aforo deben elaborarse en acero inoxidable de 1 mm de espesor por 200 mm de lado, tener facilidad para su instalación y tener la siguiente información en alto o bajo relieve:
  - Producto almacenado
  - Altura a nivel del mar
  - Diámetro nominal
  - Altura nominal

- Número de identificación del tanque
- Norma utilizada para realizar el aforo
- Fecha del aforo
- Encabezado de la placa con el logo y nombre de la compañía
- aforadora.

Las tablas de aforo o de calibración pueden ser elaboradas aplicando varios métodos. Para decidir cual se aplicará se tomará en cuenta el tipo y tamaño del tanque, el tiempo, personal y equipo disponible. Entre los principales métodos tradicionales para realizar el aforo de tanques de almacenamiento se tienen los siguientes:

- Método Volumétrico
- Método Geométrico:
- Cinta Métrica
- Línea de Referencia
- Triangulación Externa e Interna
- Método Gravimétrico

### **2.5.1. MÉTODO VOLUMÉTRICO**

En general se usa para cualquier tipo de tanque aunque se recomienda según la norma API 2555 para capacidades entre 8 y 100 m<sup>3</sup>. 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 calibrados y certificados por el organismo metrológico local, preferentemente acreditado.

La calibración se realiza con agua 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 enterrados, de cualquier tipo.
- Tanques a nivel del suelo o elevados sobre el suelo, con capacidad nominal de hasta 100 m<sup>3</sup>.
- Tanques de forma no adecuada para la utilización de un método geométrico.
- Como recomendaciones para este método de calibración están:
- Durante el aforo deben observarse todas las reglas de seguridad y contra incendios, necesario para la prevención de accidentes de cualquier tipo.
- Se prefiere que el recipiente se encuentre totalmente vacío y limpio antes de comenzar el trabajo.
- Se establecen exigencias para el control de la temperatura tanto ambiental como del líquido de trabajo (agua o combustible).
- El recipiente debe ser hermético.
- La Tabla de Aforo resultante puede emplearse como referencia para la instalación de equipos de sondeo apropiados para la determinación de la capacidad del tanque de manera automatizada.

El método de calibración volumétrico puede hacerse mediante dos procedimientos:

- Por llenado
- Por vaciado

La calibración siguiendo el método volumétrico por llenado es aconsejable para tanques enterrados debido a su posición con respecto al suelo, lo cual sería poco práctico en el procedimiento de vaciado. En ambos casos se utiliza un caudalímetro y un tanque patrón denominado “serafín”, ya sea este último portátil o estacionario.

Consiste en llenar (o vaciar) por etapas el tanque a calibrar y emplear una cinta con plomada para medir los niveles de llenado, conformándose una

tabla de volumen contra nivel (Tabla de Aforo). Estas etapas están en correspondencia con la capacidad y forma del tanque.

El tanque patrón o “serafín” deberá tener una capacidad de volumen menor que el del tanque a calibrar con el objetivo de obtener una buena precisión en las mediciones. Por ejemplo, para calibrar un tanque de 10000 galones se recomienda utilizar un tanque patrón o “serafín” de 50 galones. En el caso específico de tanques de prueba estacionarios estos deberán ser calibrados mediante mediciones críticas o a través de un caudalímetro master.

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

### **2.5.2. MÉTODO GEOMÉTRICO**

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

Para la calibración geométrica se emplean los siguientes métodos:

- Método de Geométrico Externo por Cinta Métrica (API MPMS, Sección 2-A).
- Método de Geométrico Externo por Línea de Referencia Óptica (API MPMS, Sección 2-B)
- Método de Geométrico Externo e Interno por Triangulación (API MPMS, Sección 2-C).
- Método electroóptico de distancias (API MPMS, Sección 2-D)

El procedimiento de medición externo 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 método 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 el casco.

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.<sup>4</sup>

#### Método Geométrico Externo por Cinta Métrica

En este procedimiento se debe utilizar una cinta métrica de longitud aproximada 15 m, asegurando una buena tensión en la misma. La medición del perímetro del tanque es repetido dos veces por sección de altura para asegurar una mejor precisión, de forma tal que el perímetro resultante se obtiene de la suma de los largos parciales medidos.

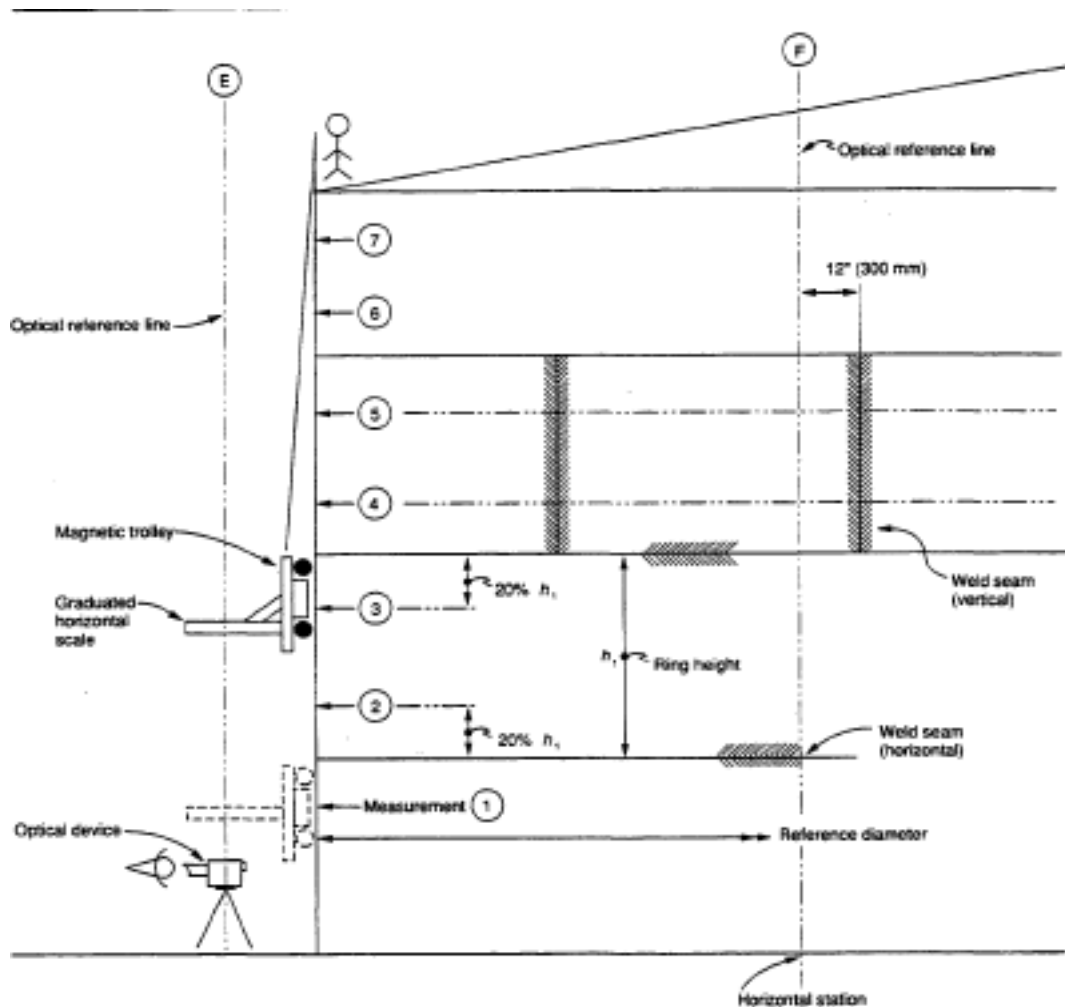
#### Método Geométrico Externo por Línea de Referencia Óptica

Este método determina el perímetro de las diferentes alturas en las paredes del tanque. La envoltura del tanque es medida con la ayuda de una regla graduada guiada por un carrito imantado, con el cual se recorren las paredes del tanque, y un teodolito fijado hacia el cenit, ubicado a cierta distancia del rango de medición, como se muestra en la Figura:

---

<sup>4</sup>[www.sencamer.gob.ve/sencamer/documents/Lab\\_GV\\_Tanques.ppt](http://www.sencamer.gob.ve/sencamer/documents/Lab_GV_Tanques.ppt)



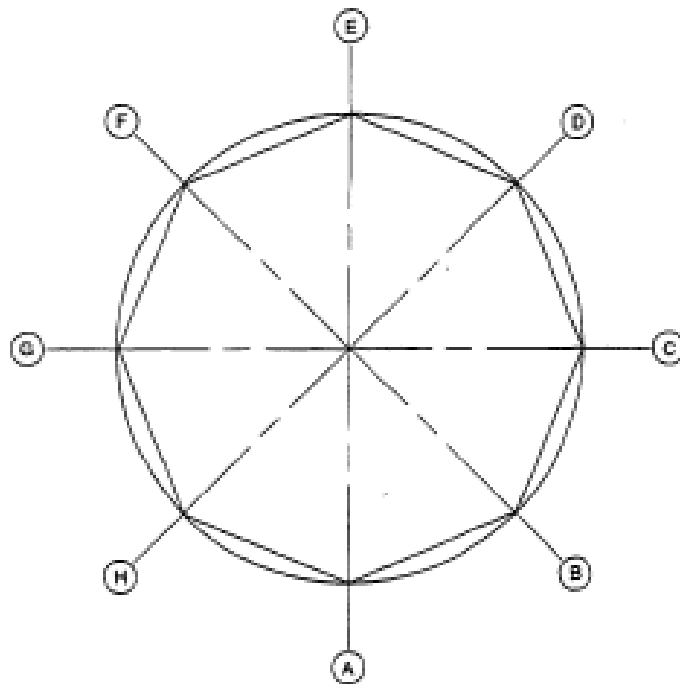


**Gráfico 2.6** Método geométrico externo por línea de referencia óptica

**Fuente:** (Chang, 2007)

### Método Geométrico Externo por Triangulación

En este método de calibración, el volumen del tanque se determina por medio de una medición óptica de ángulos, con dos teodolitos, y posteriores cálculos trigonométricos. Las mediciones deben estar relacionadas con una distancia (base) de referencia medida entre los aparatos, como se muestra en la Figura



**Gráfico 2.7** Aforo por triangulación externa

**Fuente:** (Chang, 2007)

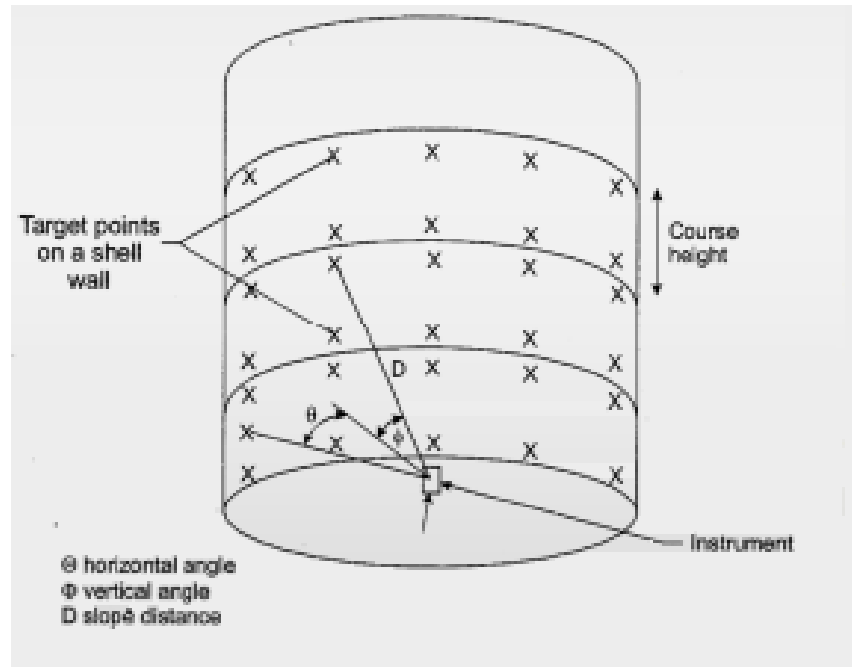
#### Método Geométrico Interno por Triangulación

El volumen del tanque se determina por medio de la medición óptica de ángulos y cálculos trigonométricos. Ambos teodolitos deben ser colocados en el interior del tanque, dispuestos en forma diametral y guardar una distancia de por lo menos  $1/4$  del diámetro del tanque. El mínimo número de puntos que deben ser medidos sobre el perímetro del tanque.

#### Método Electroóptico de Distancias

Corresponde al método más sofisticado y avanzado que existe en la actualidad para la calibración de tanques. Se vale de un dispositivo electrónico que comanda un sistema óptico laser con capacidad de realizar mediciones de distancia y ángulo. Los datos de las distancias y los ángulos se almacenan para procesarse bajo un marco de referencia establecido en

coordenadas esféricas. Los equipos más sofisticados están en capacidad de adquirir más de 50 000 puntos por segundo.



**Gráfico 2.8** Método Electroóptico de Distancias

**Fuente: (Gupta, 2010)**

### 2.5.3. 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 elaborar la Tabla de Aforo se procede de igual manera que el método volumétrico, es decir, mediante etapas de llenado o de vaciado se obtienen los volúmenes parciales a diferentes niveles utilizando la masa como parámetro intermedio.

Se deben realizar las correcciones correspondientes por efecto de la temperatura en el líquido de almacenamiento, debido a la variación de sus propiedades físicas así como las propias debido al proceso de pesado.<sup>5</sup>

## **2.6. TRANSFERENCIA DE CUSTODIA**

En el caso de las plantas de nuestro país que son plantas de almacenamiento de grandes cantidades de combustible, que reciben y despachan enormes volúmenes todos los días, pequeños errores en la medición pueden provocar grandes pérdidas, o ganancias financieras. Y el éxito o la bancarrota se logran mejorando el proceso de transferencia de producto en las terminales de hidrocarburos.

En la mayoría de las plantas se contabilizan las entradas y despachos de producto que tiene que cumplir con rígidos reglamentos aduaneros e impositivos.

Para que la facturación en base a la medición de un instrumento sea aceptable a ambas partes, tanto la compradora como la vendedora se necesitan tener certificación para la custodia y transferencia. Todos los medidores de las plantas deben tener esta certificación, porque en este caso al efectuar los despachos de combustibles medimos la masa cuando el producto sale de las plantas a los clientes y entregar la cantidad exacta de venta a la hora de facturar.

## **2.7. ARCH (ENTE DE CONTROL)**

Artículo 11 reformado por Ley de Hidrocarburos publicada en el Registro Oficial 306 de 13 de Agosto de 1982 cita lo siguiente:

Crease la Agencia de Regulación y Control Hidrocarburífero, ARCH, como organismo técnico-administrativo, encargado de regular, controlar y fiscalizar las actividades técnicas y operacionales en las diferentes fases de la

---

<sup>5</sup> [www.sencamer.gob.ve/sencamer/documents/Lab\\_GV\\_Tanques.ppt](http://www.sencamer.gob.ve/sencamer/documents/Lab_GV_Tanques.ppt)

Industria Hidrocarburífera, que realicen las empresas públicas o privadas, nacionales, extranjeras, empresas mixtas, consorcios, asociaciones u otras formas contractuales y demás personas naturales o jurídicas, nacionales o extranjeras que ejecuten actividades Hidrocarburíferas en el Ecuador.

La Agencia de Regulación y Control Hidrocarburífero, ARCH, será una institución de derecho público, adscrita al Ministerio Sectorial con personalidad jurídica, autonomía administrativa, técnica, económica, financiera y patrimonio propio.

La Agencia de Regulación y Control Hidrocarburífero, ARCH, tendrá un Directorio que se conformara y funcionara según lo dispuesto en el Reglamento.

El representante legal de la Agencia de Regulación y Control Hidrocarburífero será el Director designado por el Directorio.

#### **2.7.1. ESTATUTO ORGÁNICO DE GESTIÓN ORGANIZACIONAL DE LA ARCH**

Artículo 5. Transversalizar la gestión de riesgos de las operaciones de las actividades hidrocarburíferas mediante la prevención en el control y fiscalización, de tal manera que en la ocurrencia de eventos adversos se disminuya el impacto social y minimice las perdidas en la infraestructura.

#### **2.7.2. ATRIBUCIONES DE LA AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL HIDROCARBURÍFERO**

Son atribuciones de la Agencia de Regulación y Control Hidrocarburífero, las siguientes:

- a. Regular, controlar y fiscalizar las operaciones de exploración, explotación, industrialización, refinación, transporte y comercialización de hidrocarburos.

- b. Controlar la correcta aplicación de la presente Ley, en sus reglamentos y demás normativa aplicable en materia Hidrocarburífera.
- c. Ejercer el control técnico de las actividades hidrocarburíferas;
- d. Auditar las actividades hidrocarburíferas, por sí misma o a través de empresas especializadas;
- e. Aplicar multas y sanciones por las infracciones en cualquier fase de la industria hidrocarburífera, por los incumplimientos a los contratos y las infracciones a la presente Ley y a sus reglamentos;
- f. Conocer y resolver sobre las apelaciones y otros recursos que se interpongan respecto de las resoluciones de sus unidades desconcentradas;
- g. Intervenir, directamente o designando interventores, en las operaciones hidrocarburíferas de las empresas públicas, mixtas y privadas para preservar los intereses del Estado;
- h. Fijar y recaudar los valores correspondientes a las tasas por los servicios de administración y control;
- i. Ejercer la jurisdicción coactiva en todos los casos de su competencia;
- j. Solicitar al Ministerio Sectorial, mediante informe motivado, la caducidad de los contratos de exploración y explotación de hidrocarburos, o la revocatoria de autorizaciones o licencias emitidas por el Ministerio Sectorial en las demás actividades hidrocarburíferas; y,
- k. Las demás que le correspondan conforme a esta Ley y los reglamentos que se expidan para el efecto. El Reglamento Orgánico Funcional de la Agencia de Regulación y Control Hidrocarburífero, que para el efecto expida el Ministro Sectorial, determinará las demás competencias

de la Agencia y sus Regionales que se crearen, en el marco de las atribuciones de la Ley.

## **2.8. NORMATIVA INTERNACIONAL API MPMS CAP. 2, SECCIÓN 2A**

### **2.8.1. PROCEDIMIENTO NORMA API MPMS SECCIÓN 2-A**

Será parte importante de este método tomar en cuenta que no se está calibrando un tanque perfecto sin defecto alguno, por el contrario está sujeto a deformación por diversos factores lo que hace necesario incluir en los cálculos una serie de correcciones, las cuales intervienen en el mencionado cálculo.

Estas correcciones son parte fundamental de la confiabilidad de la medición. A continuación se describen las correcciones que intervienen en el cálculo volumétrico de un tanque medido externamente.

### **2.8.2. CORRECCIÓN DE CINTA A TEMPERATURA BASE**

La industria del petróleo usa 60 ° F o (15 ° C) como un estándar de temperatura de los productos petrolíferos. La cinta debe ser corregida a esta temperatura mediante la siguiente ecuación:

$$\text{factor de corrección} = 1 + (Ts - Tc * C) \quad \text{Ec. [ 2.1]}$$

Dónde:

Tc = calibración de temperatura de la cinta master (68°F)

Ts = temperatura estándar de referencia normalmente (60°F)

C = coeficiente de expansión para el acero dulce (0.000000645 pies/pies/°F)

### 2.8.3. CONVERSIÓN DE CIRCUNFERENCIA EXTERIOR A CIRCUNFERENCIA INTERIOR

Los espesores de las placas utilizadas en los cálculos son reportados sobre los registros de medición de campo. Siempre que sea posible, el espesor debe medirse por el método de espesor por ultrasonido. Los valores para espesores de placa tomada de dibujos se pueden utilizar cuando sea necesario.

$$\text{circunferencia interior} = \pi * D - 2t \quad \text{Ec. [ 2.2]}$$

Dónde:

t= placa de acero

D= diámetro externo

### 2.8.4. CORRECCIÓN DE CIRCUNFERENCIA A TANQUE VACÍO

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

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

$$k = \frac{w}{24. \pi. E} = 0,0000002849239 \quad \text{Ec. [ 2.3]}$$

$$CV = -k \frac{h * c^2}{t} \quad \text{Ec. [ 2.4]}$$

Dónde:

Cv = factor de corrección de circunferencia a tanque vacío (pies)

h = distancia desde la circunferencia de referencia hasta el nivel máximo de llenado (pies).



C = circunferencia medida – corrección de cinta a 60°F (pies).

t = espesor de la placa (plg).

E = módulo de elasticidad del acero (29,000000 psi)

W = 62.3 lbs/pies<sup>3</sup>

### 2.8.5. CORRECCIÓN POR ELEVACIÓN DE CINTA

En el caso de que la cinta no pueda estar en contacto con el cuerpo del tanque en todos los puntos a lo largo de su trayectoria por las proyecciones de la pared del tanque, tales como cordones de soldadura o juntas a traslape que originan una elevación en la cinta, se debe realizar las correcciones necesarias con las ecuaciones siguientes:

#### Para Juntas Soldadas a Tope

$$cc = \frac{2 * N * t * w}{d} + \frac{8 * N * t}{3 * 12} \frac{t}{d} \quad \text{Ec. [ 2.5]}$$

#### Juntas Traslapadas

$$cc = \frac{4 * N * t}{3} \frac{t}{2 * d} \quad \text{Ec. [ 2.6]}$$

Donde:

cc = factor de corrección por elevación de cinta (pies)

N = número de cordones de soldadura o juntas a traslape.

t = espesor o proyección del cordón de soldadura o junta a traslape (plg)

w = ancho del cordón de soldadura (plg)

d = diámetro nominal del tanque (plg)

### **2.8.6. CORRECCIÓN DE CIRCUNFERENCIA POR ESPESOR DE PLACA**

La circunferencia externa debe ser corregida a circunferencia interna.

$$cc = \frac{\pi * t}{6} \quad \text{Ec. [ 2.7]}$$

Donde:

ct = factor de corrección por espesor de placa (pies)

t = espesor de la placa (plg)

### **2.8.7. INCREMENTO DE VOLUMEN POR ANILLO O REFERENCIA DEFINIDA**

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

### **2.8.8. CORRECCIÓN POR CABEZAL LÍQUIDO**

Corrección de la carga hidrostática desde la circunferencia de referencia hasta el nivel superior de cada anillo o altura definida.

$$cs = k \frac{G * h * C^2}{t} \quad \text{Ec. [ 2.8]}$$

Donde:

cs = factor de corrección por cabezal líquido (pies).

k = constante, (Ecuación 4)

G = gravedad específica a 60°F del líquido a almacenar.

h = distancia desde la circunferencia de referencia hasta el nivel superior de cada anillo (pies).

C = circunferencia interna corregida (pies).

t = espesor de la placa (plg).

### **2.8.9. INCREMENTO POR CABEZAL LÍQUIDO ARRIBA DE CADA ANILLO**

La carga hidrostática a un nivel determinado afecta los anillos arriba de este nivel. Calculados como sigue:

$$\Delta v = \frac{\pi * W * G * d^3 * h}{4 * E * t} \quad \text{Ec. [ 2.9]}$$

Donde:

$\Delta v$  = incremento por cabezal líquido arriba de cada anillo.

W = peso de un pie cúbico de agua fresca @60°F = 62.3 lbs/pies<sup>3</sup>

G = gravedad específica a 60°F del líquido a almacenar.

E = módulo de elasticidad del acero (29,000,000 psi)

h = altura del anillo (plg).

d = promedio del diámetro interno (pies).

t = Espesor de la placa (plg).

### **2.8.10. CORRECCIÓN POR INCLINACIÓN**

La inclinación de los tanques tiene un efecto importante en la integración de volumen en las tablas de calibración.

Según la norma API 650 Standard, Sección 7.5.2. La desviación vertical máxima considerada desde el fondo hasta la última lámina no excederá de 1/200 de la altura total del tanque.

$$\% \text{corrección de volumen} = 100( \sqrt{1 + m^2} - 1) \quad \text{Ec. [ 2.10]}$$

Donde:

m = inclinación del tanque (pies)

### 2.8.11. CORRECCIÓN DE VOLUMEN POR TEMPERATURA

Es necesario calcular las correcciones de volumen para la expansión de los tanques debido al aumento de la temperatura. El procedimiento de corrección para calcular el volumen que se añadirá al volumen total calculado para los tanques es el siguiente:

$$kt = 1 + 12.4 * 10^{-6} * \Delta Ts + 4 * 10^{-9} * \Delta Ts^2 \quad \text{Ec. [ 2.11]}$$

$$\Delta Ts = Ts - 60^{\circ}F \quad \text{Ec. [ 2.12]}$$

$$\Delta Ts = \frac{7 * Tl + Ta}{8} \quad \text{Ec. [ 2.13]}$$

Donde:

kt = factor de corrección por temperatura

$\Delta Ts$  = temperatura de la placa del tanque menos 60°F.

$Ts$  = temperatura de la placa del tanque (°F).

$Tl$  = temperatura del líquido de servicio (°F).

Ta = temperatura del ambiente (°F).

### **2.8.12. REDUCCIONES E INCREMENTOS DEL VOLUMEN MUERTO**

Para el cálculo de las reducciones o incrementos de volúmenes por volumen muerto podemos dividir en tres categorías: volumen muerto por accesorios, volumen muerto por fondo y volumen muerto por techo flotante.

#### Volumen muerto por accesorios

Según el tipo de accesorio el volumen aumenta o disminuye por ejemplo entradas de limpieza o bridas aumentan la capacidad del tanque mientras que escaleras internas o columnas centrales reducen su capacidad. Para sacar el incremento de estos accesorios solo hay que dividir el volumen que ocupa o tiene el accesorio para la altura en la que afecta, y ese incremento o decremento se le suma o resta al volumen en toda la altura que se encuentra el accesorio.

#### Volumen muerto por fondo

Sin importar el tipo de fondo que tenga el tanque, se debe calcular el volumen que se encuentra bajo la altura de la platina de aforo (altura 0 en las tablas de calibración). Ese volumen es el correspondiente al volumen en la altura 0.

#### Volumen muerto por techo flotante

El techo flotante desplaza el líquido y reduce la capacidad del tanque es por eso que se debe tomar en cuenta al momento de la calibración de tanques con techo flotante.

Para el cálculo del volumen desplazado se necesitan los siguientes datos:

- Altura crítica inferior: altura desde el techo hasta el fondo cuando los soportes del techo están en contacto con el fondo.

- Altura crítica superior: altura que el techo se hunde cuando está flotando más 2 pulgadas.
- Peso del techo
- Densidad del producto

$$Vd = \frac{Wt}{\delta fl * 42} \quad \text{Ec. [ 2.14]}$$

Donde:

Vd = volumen desplazado por el techo (bbl)

Wt = peso del techo (lb)

δfl = densidad del fluido (lb/gal)

Una vez obtenido el volumen desplazado por el techo, que será la cantidad de fluido que se restara al volumen del tanque; se debe calcular el decremento que es el volumen que se disminuirá a cada centímetro, medio centímetro, pulgada, media pulgada, etc. según como se vaya a presentar la tabla de calibración.

Para el cálculo del decremento se debe dividir el volumen desplazado para la resta de la altura crítica superior menos la altura crítica inferior. Este decremento se restará al volumen del tanque desde la altura crítica inferior hasta la altura crítica superior.

$$Vt x = \frac{-Vd}{Asup - Ainf} \times \text{incremento} \quad \text{Ec. [ 2.15]}$$

Donde:

Asup = altura critica superior en cm

Ainf = altura critica inferior en cm

$V_d$  = volumen desplazado por el techo en bbl

Incremento = es el incremento en que se desea que vaya aumentando la altura

$V_t(x)$  = decremento del volumen por el techo o volumen del techo a una altura  $x$ .

## METODOLOGÍA

Para la verificación y aprobación de las tablas de aforo para tanques verticales de almacenamiento de hidrocarburos se propone la siguiente metodología.

### 3.1. CONDICIONES DE MEDIDA

Antes de realizar las mediciones, el tanque debió haber sido llenado al menos una vez en su ubicación actual y haber realizado la prueba hidrostática por un periodo de 24 horas aproximadamente.

La prueba hidrostática debe realizarse de conformidad con los estándares de funcionamiento recomendados en la API Estándar 650 y 653.

Para tanques con capacidad nominal de 500 barriles o menos no es necesario que se cumpla la condición de llenado para realizar las mediciones. Para tanques con capacidad nominal mayor a 500 barriles deben cumplir las siguientes condiciones:

- **Tanques atornillados:** deben haber sido llenados al menos una vez en su ubicación actual y debe estar al menos a dos tercios de su capacidad para realizar la mediciones.
- **Tanques remachados y soldados:** deben haber sido llenado al menos una vez en su ubicación actual y no requieren de llenado para realizar las mediciones.

La gravedad API, la temperatura del contenido del tanque, la temperatura media ambiente y la máxima altura de llenado son datos que se deben tomar al momento de realizar la medición los mismos que deben ser revisados y registrados.

También se debe adjuntar en el acta de levantamiento de datos un detalle los siguientes puntos:



- Detalle de juntas horizontales y verticales.
- Número de placas por anillo.
- Identificación de tubería y caminos de hombres dentro del tanque.
- Tamaños de los ángulos de la parte superior e inferior del tanque.
- Tamaños de Manhole, Boquillas y demás accesorios que afecten en la determinación de la capacidad real del tanque.

## **3.2. PROCEDIMIENTO**

### **3.2.1. MEDICIÓN DE LA CIRCUNFERENCIA DEL TANQUE**

Todas las mediciones de circunferencia deben aproximarse a 0,005 pies o 1 mm.

Una práctica que pudo apreciarse en el video de 1984 y que aún se encuentra documentada en la versión de 1995 de API MPMS 2.2A (vigente en la actualidad y reconfirmado en 2012) es la “calibración” de la cinta de trabajo contra una cinta patrón.

Es decir: API no exige realizar todas mediciones con una cinta calibrada en laboratorio. Admite el uso de una cinta “sin calibración en laboratorio” para la obtención de las mediciones de circunferencias del tanque diferentes a la circunferencia de la base.

El técnico responsable de las mediciones del tanque debe determinar primero donde se deberán tomar las mediciones de circunferencia. Las mediciones circunferenciales no deben ser tomadas sobre el aislamiento. Las mediciones de las circunferencias deben ser tomadas al 20 y al 80 % debajo de la parte superior de cada anillo, ya sea juntas a tope o traslapadas.

Las rutas circunferenciales de la cinta deben ser examinadas para detectar obstrucciones y el tipo de juntas en posición vertical. La suciedad, el óxido y el aislamiento deben eliminarse a lo largo de cada ruta.

Para las mediciones de la circunferencia se debe realizar con una cinta de longitud suficiente para rodear el tanque por completo para realizar una sola lectura de la circunferencia total. En el caso de que la circunferencia del tanque es demasiado grande para ser completamente rodeada por la cinta se pueden adoptar métodos alternativos.

Todos los puntos en los que las mediciones de circunferencia se leen deben estar ubicados al menos 2 pies (o 600 milímetros) de una junta vertical. Después de que se realice una medición de la circunferencia, se reduce la tensión lo suficiente para permitir que la cinta se desplace. Antes de la siguiente lectura, la posición de la cinta debe ser verificada. A continuación, debe ser devuelto a la posición y la tensión necesaria; las dos lecturas sucesivas deben tomarse dentro de las tolerancias especificadas según la tabla siguiente:

**Tabla 3.1** Tolerancias Circunferenciales de las Mediciones

<b>SISTEMA AMERICANO</b>		<b>SISTEMA INTERNACIONAL</b>	
hasta 150 pies	± 0.01 pies	hasta 30 m	± 2mm
150-300 pies	± 0.02 pies	30-50 m	± 4mm
sobre 300 pies	± 0.03 pies	50-70 m	± 6mm
		70-90 m	± 8 mm
		sobre 90 m	± 10 mm

**Fuente: (API, 2012)**

El promedio de las dos lecturas, deben registrarse como la medición de circunferencia en ese punto. Ocasionalmente, algunas características de la construcción, tales como las escaleras o cajas de aislamiento, pueden hacer que sea imposible utilizar una elevación para la medición de la circunferencia prescrito en la ilustración apropiada. En estos casos se escoge una ruta de medición sustituta cerca del centro del anillo. En el registro se debe incluir la ubicación de la ruta de sustitución y la razón de la desviación.

El tipo y las características de las juntas verticales deberán ser determinados por un examen minucioso a fin de establecer el procedimiento de medición y equipos necesarios en el caso de juntas a tope o traslapados.

Cuando juntas a tope o traslapadas causan un espacio uniforme entre la cinta y el tanque en cada junta el procedimiento adecuado es medir y registrar el ancho y el espesor de las juntas a tope, y registrar el número de juntas en cada anillo. En el caso de juntas traslapadas, se debe medir y registrar el espesor de la placa traslapada expuesta en cada anillo alrededor de la circunferencia, y registrar el número de juntas en cada anillo. Esta información será utilizada para la corrección de la medida circunferencial medida.

### **3.2.2. MEDICIÓN DE ESPESORES**

El espesor de la placa debe ser medido por el dispositivo de medición por ultrasonidos, como el método preferido. Un mínimo de dos mediciones al anillo deben obtenerse.

Las mediciones de espesor obtenidos antes o durante la construcción y que se encuentren debidamente registrados pueden ser utilizados. Un método alternativo de medición de espesores es cuando el tipo de construcción deja a los bordes de la placa expuesta y se realiza una medición directa, un mínimo de dos mediciones de espesor se efectuarán en cada anillo.

La media aritmética de las mediciones de cada anillo debe registrarse; todas las mediciones de espesor, debidamente identificados, deben anotarse en una hoja de datos que debe formar parte del registro de la medición. Se debe evitar tomar mediciones de espesores en los lugares donde los bordes han sido distorsionados.

### **3.2.3. MEDICIÓN DE LAS LONGITUDES VERTICALES**

Se realizan 5 mediciones principales: la altura del tanque, la altura referencial de aforo, la altura de la escotilla, altura interna efectiva y las alturas de cada anillo.

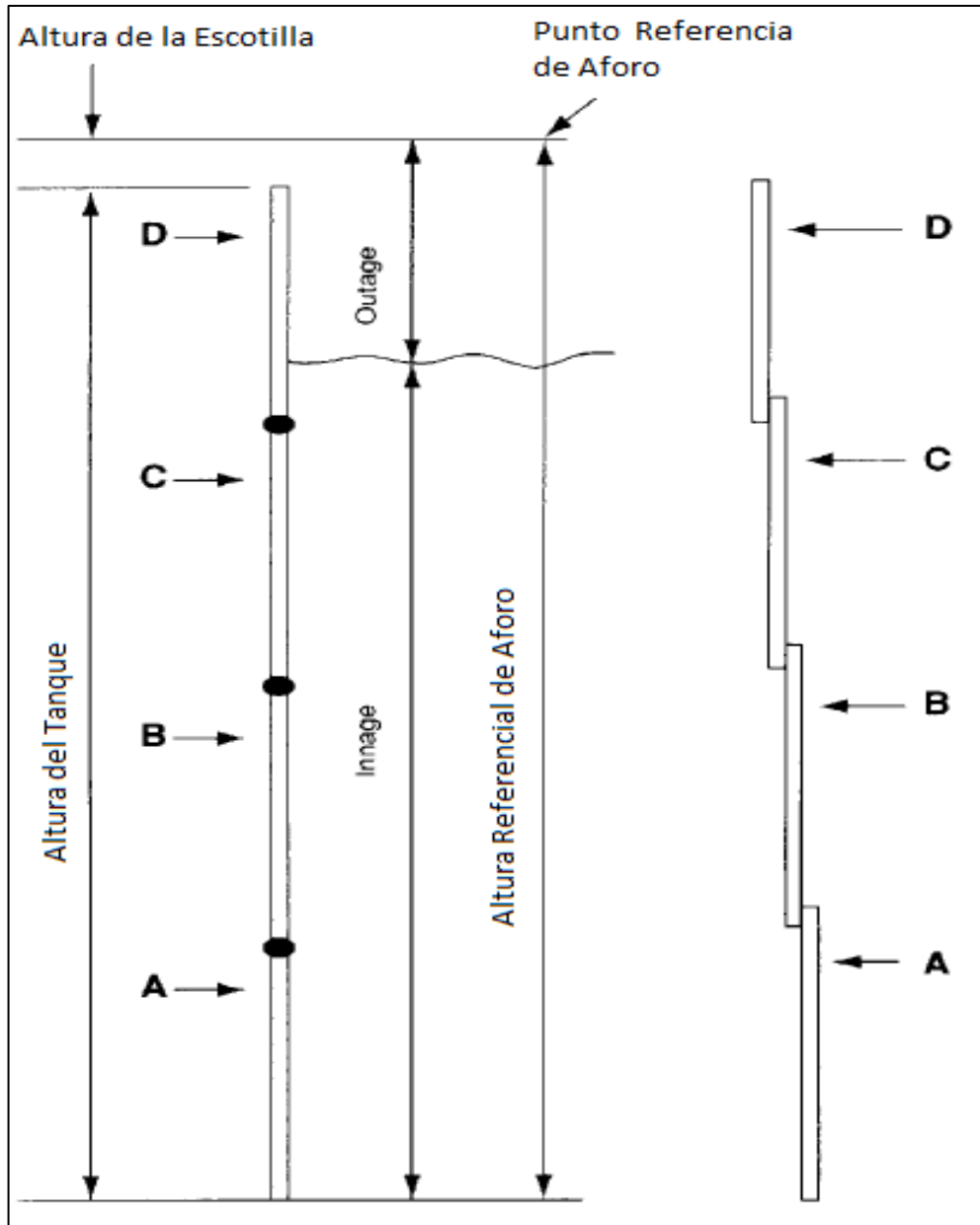
La altura del tanque es la distancia vertical entre la parte inferior del ángulo inferior (o la parte superior de la placa de piso) y la parte superior del ángulo superior del último anillo, y debe ser medida en un punto cercano al punto de referencia de aforo (boca de aforo).

La altura referencial de aforo se mide desde el punto de referencia de aforo hasta el fondo del tanque o hasta la placa de referencia. Debe incluirse en el registro una descripción del punto de referencia donde se realiza el aforo, por ejemplo: el punto de referencia de aforo se encuentra en el labio superior de la escotilla de 8 pulgadas (o 20 centímetros) de diámetro, frente a la bisagra. La altura de la escotilla se mide desde la parte superior del ángulo superior del último anillo del tanque hasta el punto de referencia de aforo.

Luego de medir esas tres alturas se debe realizar una comparación entre la altura referencial de aforo con la suma de la altura del tanque más la altura de la escotilla, con el fin de investigar la posible existencia de un fondo falso.

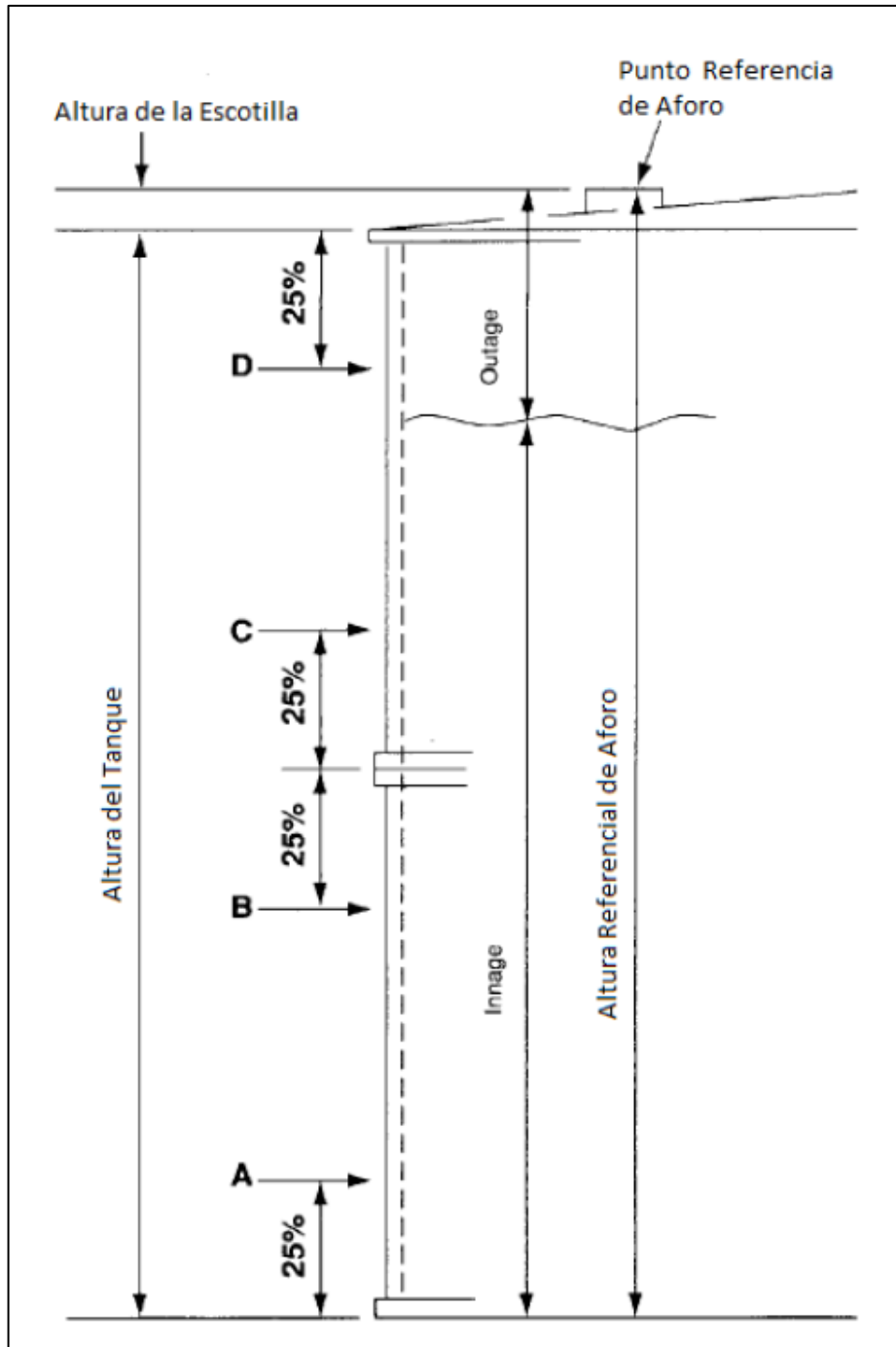
Se debe realizar mediciones adicionales como se requiera, en otros puntos de riesgo para investigar y describir conocidas o sospechosas condiciones en el tanque, como la inclinación o el fondo falso. Estos lugares deben ser marcados en un esquema complementario.

El valor de la inclinación en la altura del tanque debe ser medido y registrado. Las mediciones de las posibles inclinaciones pueden ser realizadas en conjunto con las mediciones de las alturas del tanque utilizando un teodolito, una plomada óptica, o una plomada.



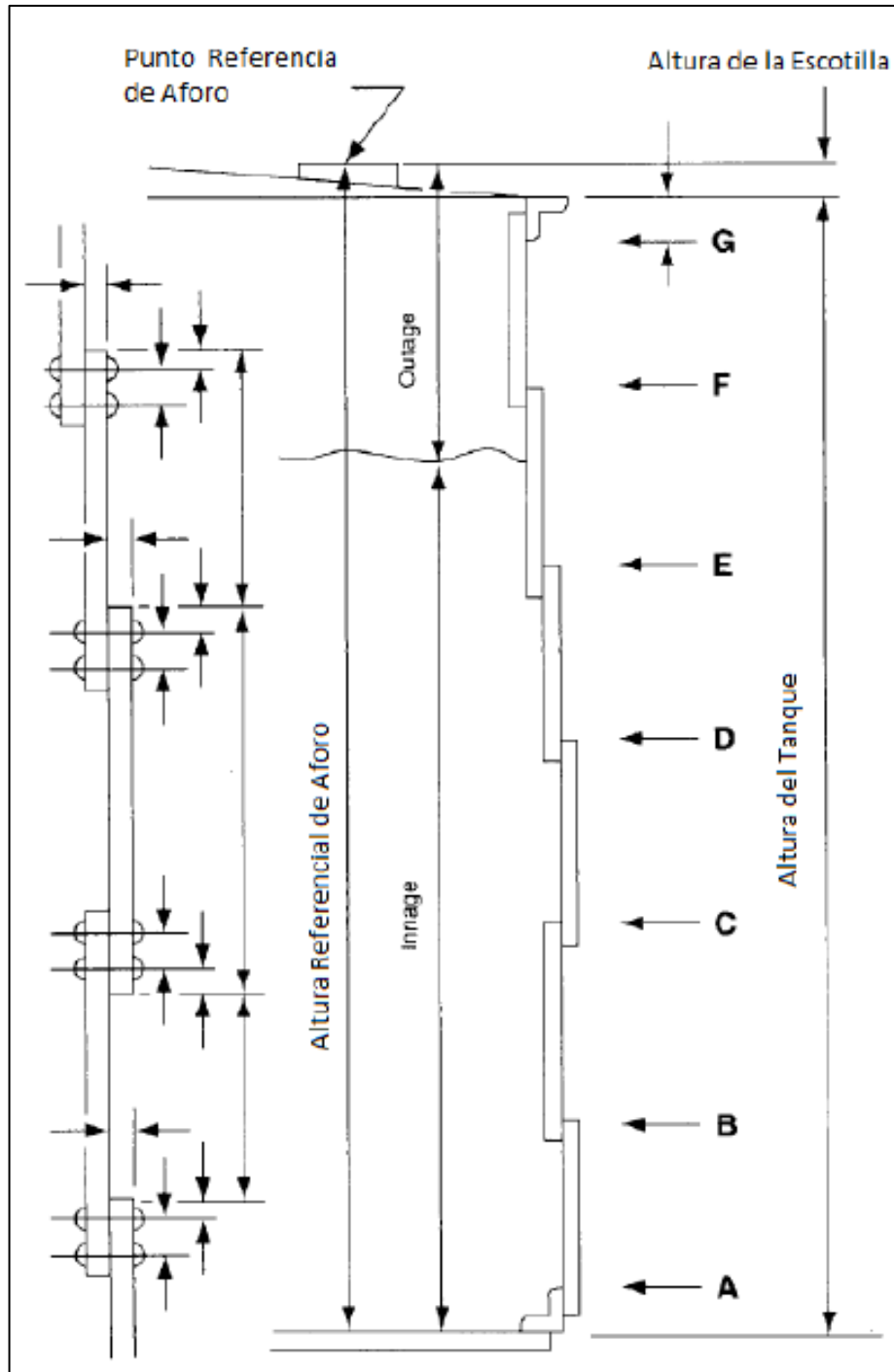
**Tabla 3.2** Medidas de Tanques Verticales – Soldado

**Fuente:** (API, 2012)



**Gráfico 3.1** Medidas de Tanques Verticales – Atornillado

**Fuente:** (API, 2012)



**Gráfico 3.2** Medidas de Tanques Verticales – Remachado

**Fuente: (API, 2012)**

La altura interna efectiva del tanque es la altura máxima de llenado del tanque). Esto es de interés primordial para los cálculos de las tablas de

capacidad, estableciendo los límites superior e inferior de las variables de calibración que se proporcionan en la tabla de capacidad.

En algunas instalaciones, una línea de desbordamiento u otro accesorio se conecta al tanque justo por debajo del ángulo superior y ofrece un potencial desbordamiento del nivel de líquido en algún momento por debajo de la parte superior del tanque.

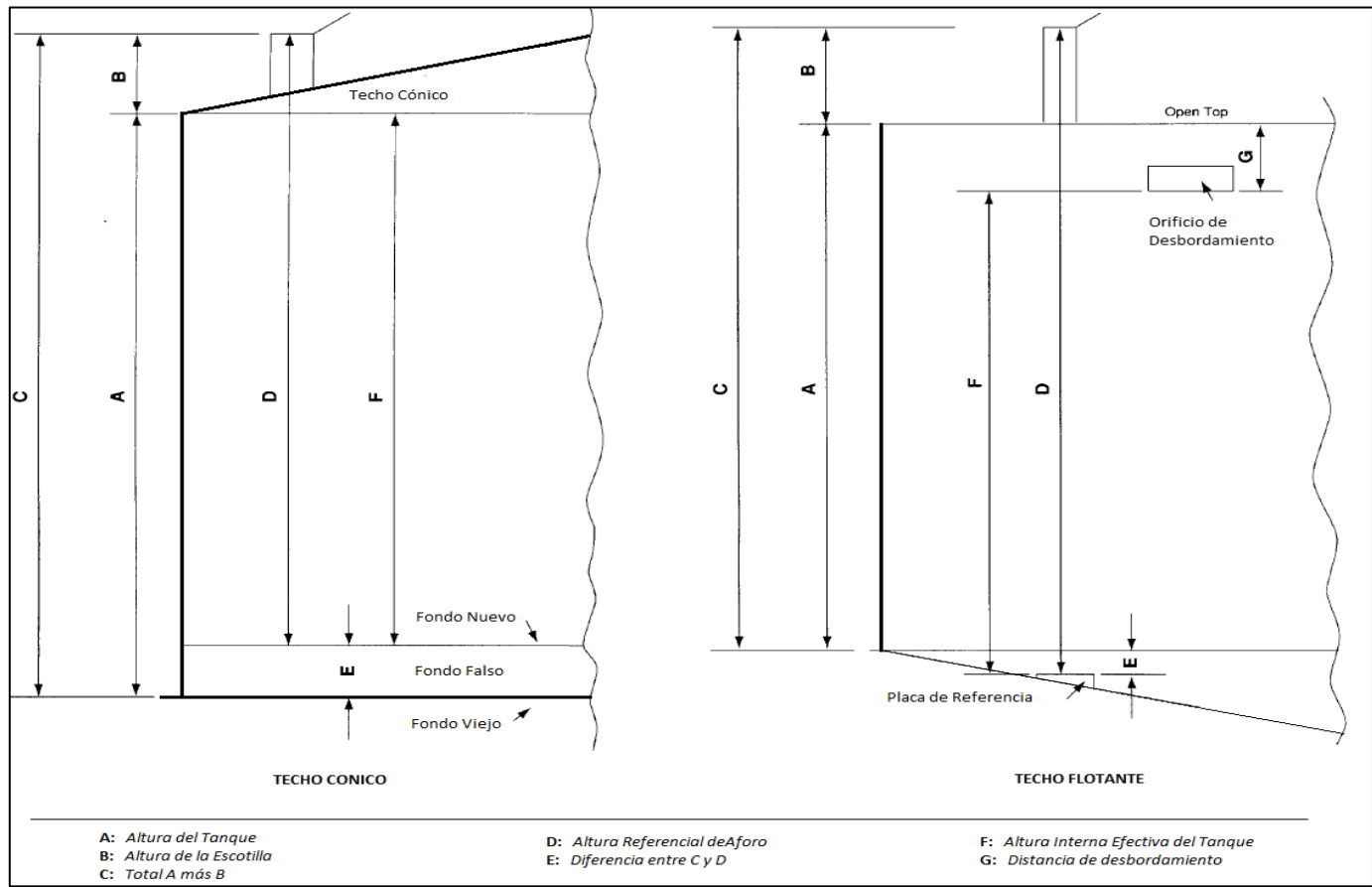
El registro de la medición debe incluir una descripción completa de esa conexión, incluyendo el tamaño y ubicación. Si la conexión no puede ser cerrada y sellada contra el desbordamiento, la altura efectiva interior del tanque es la distancia vertical desde el piso del tanque o la placa de referencia, hacia arriba del nivel en que el contenido del tanque comenzará a desbordarse; la capacidad del tanque entre el punto de desbordamiento y el techo del tanque deben tenerse en cuenta en la tabla de la capacidad.

Si la conexión puede ser cerrada y sellada contra el desbordamiento, la altura efectiva en el interior del tanque y la tabla de la capacidad, debe extenderse hacia arriba a la parte superior del ángulo superior.

En este último caso, en el que la tabla de la capacidad se extiende hacia arriba más allá de la conexión, la tabla de capacidad debe incluir una nota en la elevación de la conexión citando su presencia y que establece las condiciones en que esa parte de la tabla de capacidad se puede utilizar.

La altura del llenado de seguridad, cuando sea necesario que se indique en la tabla de capacidad se hará de manera especificada por el propietario. La altura del llenado de seguridad en la mayoría de los casos será inferior a la altura de llenado máximo. Se mide y registran las alturas de cada anillo.

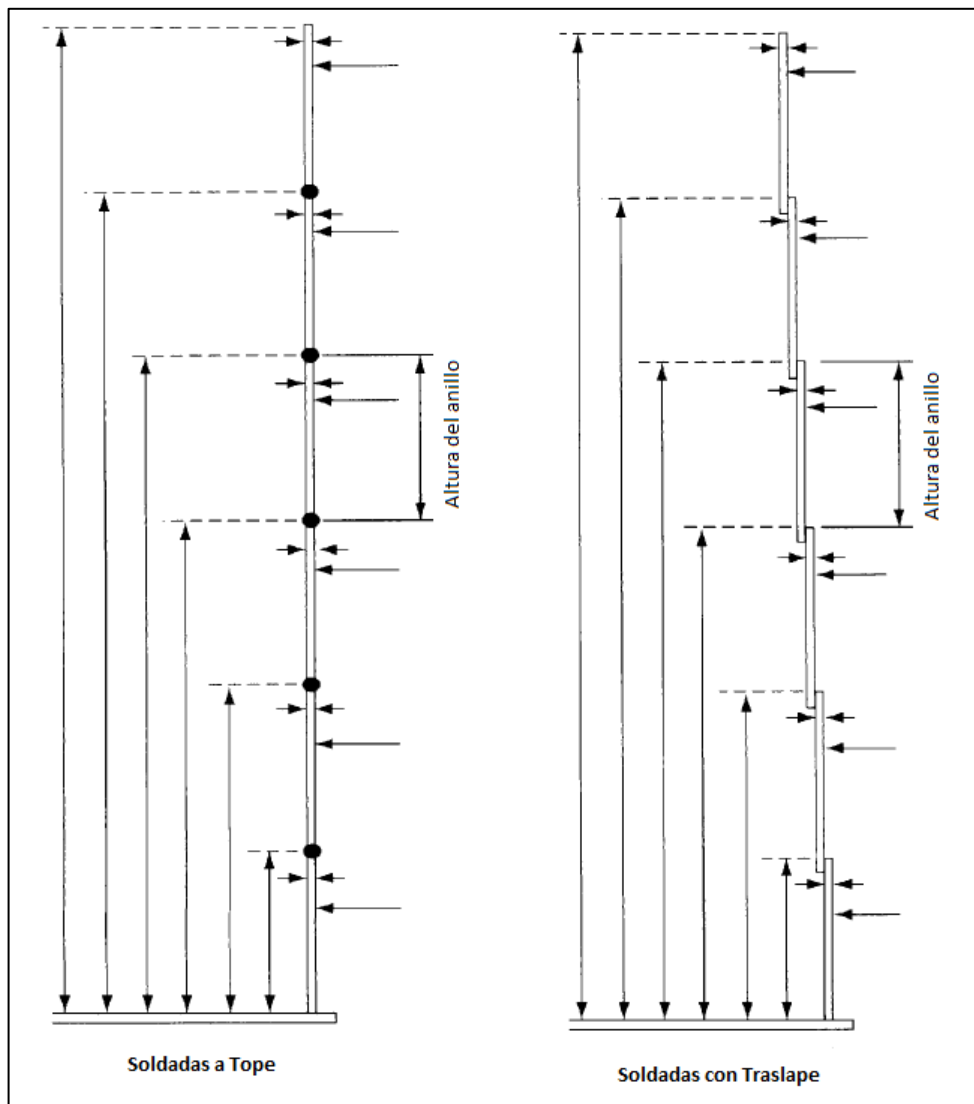




**Gráfico 3.3** Medidas de Tanques Verticales

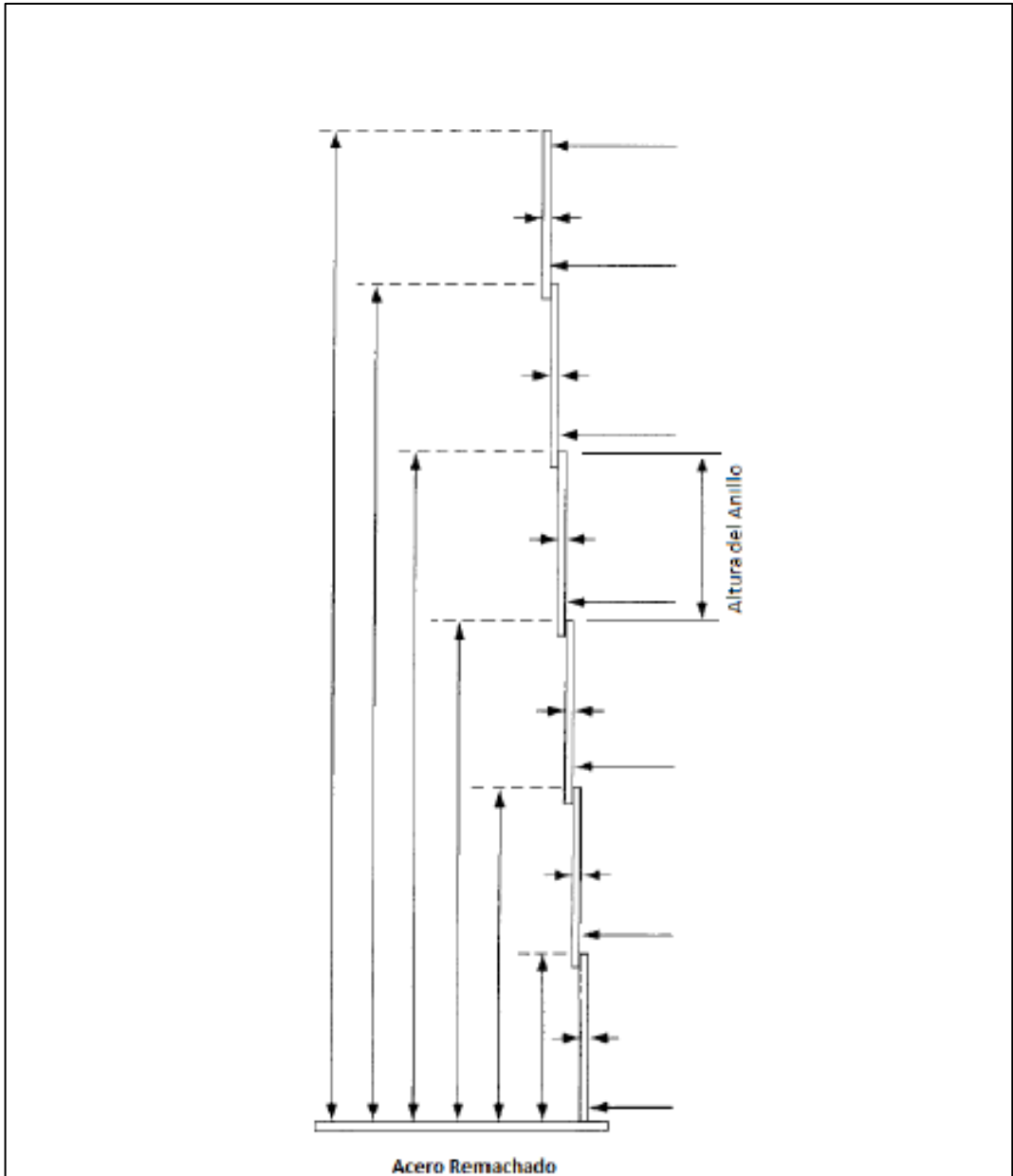
**Fuente: (API, 2012)**

Cuando los anillos son traslapados horizontalmente, el traslape será tomado en cuenta de modo que la altura interior del anillo puede ser desarrollado por los cálculos.



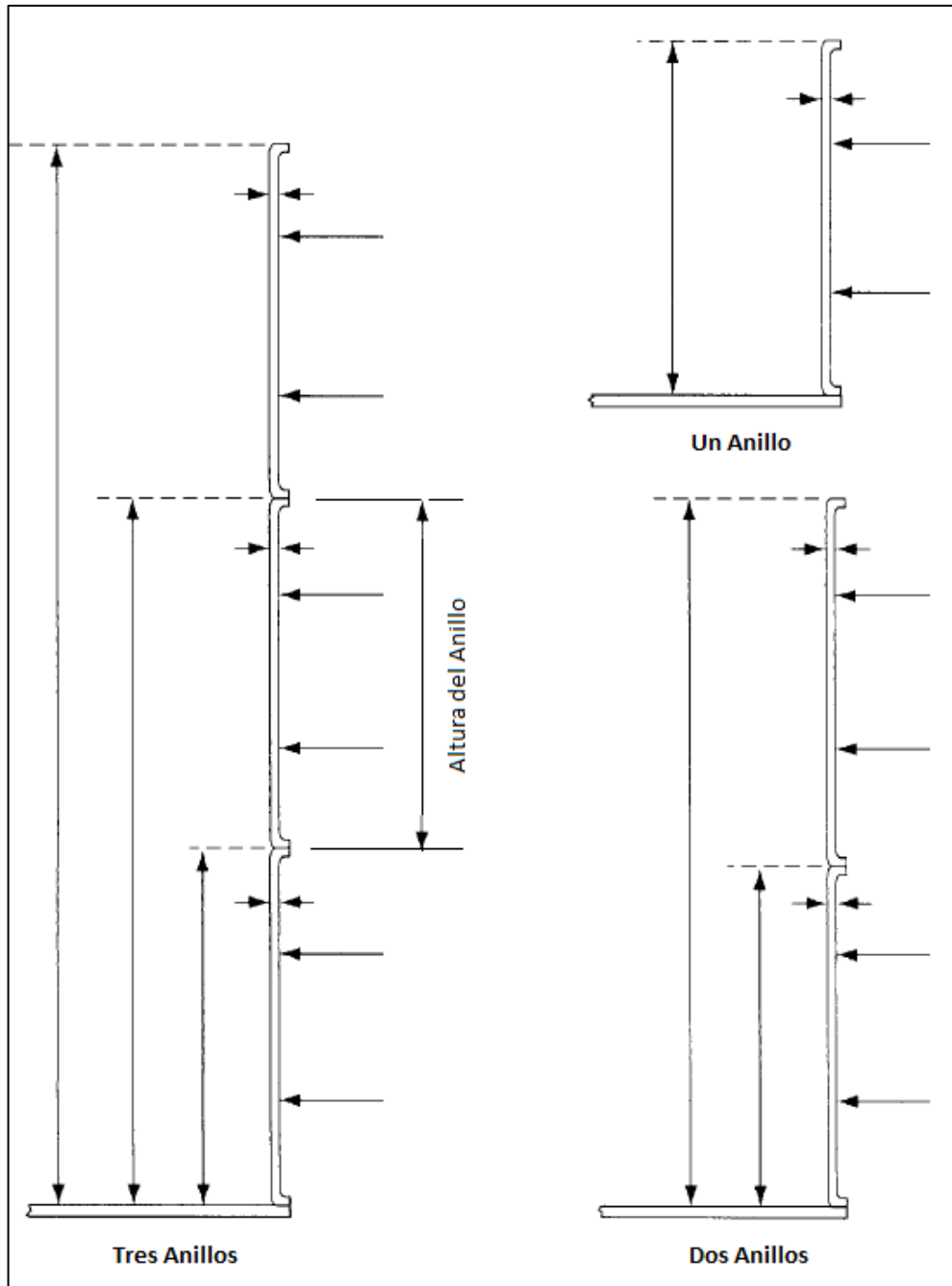
**Gráfico 3.4** Localización de las Medidas para Tanques Verticales Soldados

**Fuente: (API, 2012)**



**Gráfico 3.5** Localización de las Medidas para Tanques Verticales Remachados

**Fuente: (API, 2012)**



**Gráfico 3.6** Localización de las Medidas para Tanques Verticales Atornillados

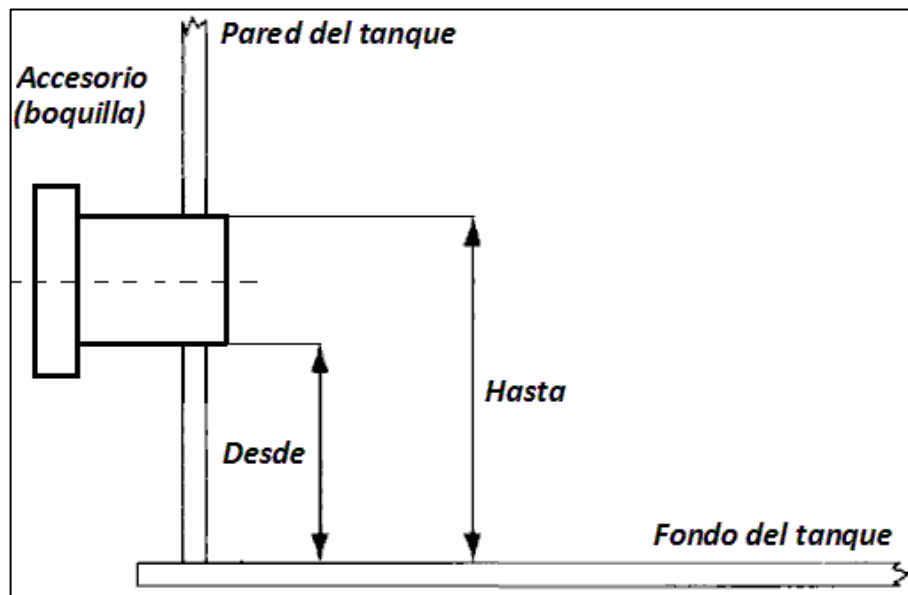
Fuente: (API, 2012)

### 3.2.4. MEDICIÓN DE VOLÚMENES MUERTOS

Cuando se habla de volúmenes muertos se refiere a cualquier objeto dentro del tanque, incluyendo un techo flotante, que desplaza el líquido y reduce la

capacidad del tanque, así como cualquier accesorio permanente en el exterior del tanque, tales como entradas de limpieza o manhole, que aumentan la capacidad del tanque.

El interior de la superficie cilíndrica vertical y los miembros de apoyo del techo, tales como columnas y tirantes en el tanque, deben estar limpios y libre de cualquier sustancia extraña, incluyendo pero no limitado a, los residuos de los productos adheridos a los costados, óxido, suciedad, emulsión, y parafina. Los volúmenes muertos deben ser registrados con exactitud, en cuanto a tamaño y ubicación, con precisión de 1 / 8 pulgada (o 3 milímetros), a fin de permitir el adecuado cálculo de los volúmenes de líquido desplazados o admitidos por varias partes. Los volúmenes muertos deben medirse, si es posible, dentro del tanque. Las dimensiones indicadas en los planos de construcción o las dimensiones, proporcionado por el propietario del tanque pueden ser aceptadas si es imposible realizar las medidas reales.



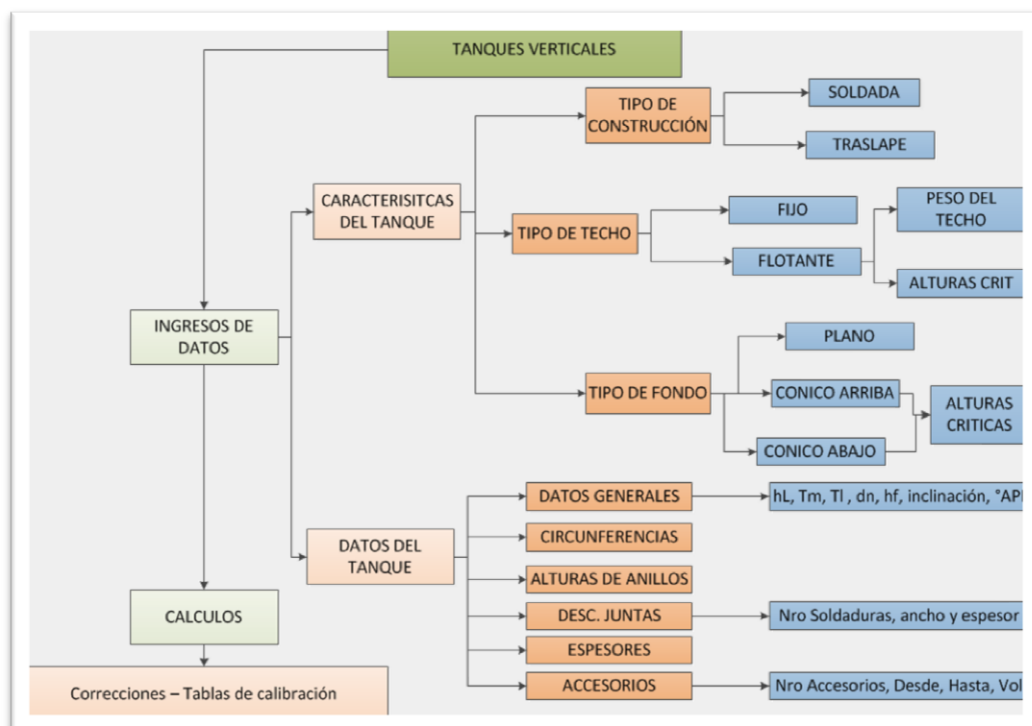
**Gráfico 3.7** Forma de Registro de Accesorios

**Fuente: (API, 2012)**

Las mediciones de los volúmenes muertos deben mostrar los niveles más bajos y más altos, medidas desde el fondo del tanque junto a la pared del tanque, en los cuales los accesorios afectan la capacidad del tanque.

### 3.3. SOFTWARE DE VERIFICACIÓN DE TABLAS DE AFORO DE TANQUES

Para la elaboración del software para el cálculo del volumen de los tanques de almacenamiento verticales por el método de strapping basándose en la norma API MPMS Capítulo 2. Sección 2-A para tener conocimiento de los datos que se deberá ingresar en la hoja de cálculo para obtener la tabla de aforo.



**Gráfico 3.8** Flujograma del software

El ingreso de datos se divide en las características del tanque y en los datos del tanque, todos estos datos se pueden obtener mediante una inspección visual o por medio de los planos as-built.

En las CARACTERÍSTICAS DEL TANQUE se deberá conocer:

- **Tipo de Construcción** con que fue realizado el tanque, en este punto se refiere al tipo de unión de las planchas de metal ya que pudo ser soldado o traslapado
- **Tipo de techo.-** se identifica si el techo es fijo o el flotante; en caso de que el tanque sea flotante se deberá conocer el peso que tiene el techo y la altura crítica. La altura crítica es la altura desde la cual el peso del techo afecta al volumen del fluido ya que lo comprime.
- **Tipo del fondo.-** se identificara el tipo del fondo que tiene el tanque ya que este puede ser plano, cónico hacia arriba o cónico hacia abajo; en el caso de estos dos últimos hay que identificar la altura del cono y la altura crítica que es la altura a la cual se encuentra la platina de aforo y que servirá como base en donde se asentara la plomada al momento de realizar el aforo.

En los DATOS DEL TANQUE se debe conocer lo siguiente:

- **Los Datos Generales.-** en este punto se deberá conocer la altura del líquido (hl) a la cual estuvo lleno el tanque al momento de realizar el strapping, la temperatura del ambiente (tm) y la temperatura del líquido (tl), la densidad del líquido, la altura de la platina de aforo (hf), grado de inclinación del tanque, grado api del fluido que va a almacenar el tanque. Todos estos datos deberán registrarse al momento que se está haciendo la medición del tanque.
- **Circunferencias.-** es necesario tomar mediciones del diámetro en pies del tanque al 20% y al 80% de la altura total de cada anillo.
- **Alturas de anillos.-** se medirá la altura total de cada anillo en pulgadas.

- **Descuento de las juntas.-** se especificara el número de juntas soldadas y se deberá conocer la medida del ancho y el espesor de cada una de ellas debido a que afecta el diámetro total del tanque.
- **Espesores.-** se debe conocer el espesor en pulgadas de la plancha de metal con la que se construyó al tanque; esta medición deberá realizarse a la misma altura a la cual se realizó la medida del diámetro del tanque, al 20% y al 80%-
- **Accesorios.** Se contabilizara el número de accesorios que tiene el tanque y se calculará el volumen de cada uno de ellos debido a que este volumen será sumado o restado al volumen total del tanque, estos accesorios son considerados como volúmenes muertos; hay que tener en cuenta la altura a la cual está ubicado el accesorio, ya que a esta altura se le sumara o restara el volumen de dicho accesorio.

Una vez que ya tenemos todos los datos del tanque, realizamos los cálculos correspondientes y las respectivas correcciones para poder calcular la tabla de calibración del tanque.

Cabe recalcar que todos estos datos son tomados en campo y registrados en un acta de toma de datos.


Empezamos a diseñar el software en la herramienta de cálculo Microsoft Excel para lo cual se colocara una fotografía del tanque para que sea más fácil su identificación; se debe ingresar los datos básicos como es la fecha, propietario, ubicación, material con el que está construido el tanque, y lo más importante el código con el cual se identificara al tanque para futuras calibraciones o trabajos.



D25

A B C D E F G H I J K L M N

1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
10  
11



**INFORMACIÓN GENERAL**

Fecha de calibración

Propietario

Nombre del campo

Localización

Material del Tanque

Capacidad Nominal

Código del tanque

**Gráfico 3.9** Datos Generales del Tanque, pantalla del Software

**Fuente:** (ARCH C. d., 2013-2014)

Luego se continúa ingresando datos propios del tanque como son el diámetro nominal, altura del líquido a la cual se encuentra al momento de realizar la calibración, temperatura del líquido y temperatura ambiente al momento de realizar la calibración, grados API corregidos a 60°F del líquido que almacenará en el tanque, altura de la platina de aforo, la inclinación del tanque y la corrección de la cinta de trabajo en comparación con la cinta patrón.

Se ingresa el tipo de fondo que tiene el tanque y la altura del cono, así como también se ingresa el tipo de techo, el peso del techo, la altura crítica inferior y la altura crítica superior y la densidad del fluido.

K48 :

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
22																
23																
24																
25																
26																
27																
28																
29																
30																
31																
32																
33																
34																
35																
36																
37																
38																
39																
40																
41																
42																
43																
44																
45																

**Datos**

Diametro Nominal  in

Altura del liquido  ft

Temp. Del liquido  °F

Temp. Ambiente  °F

Grados API a 60°F

Altura platina de Aforo  mm

Inclinación Tanque  mm

Corrección de la cinta master

**Fondo del tanque**

Tipo de Fondo

Altura del cono  m

**Techo del tanque**

Tipo de techo

Peso del Techo  lb

Altura Critica inferior  cm

Altura Critica Superior  cm

Densidad del fluido  lb/gal

**Gráfico 3.10** Datos de Tipo de Fondo y tipo del Techo de Tanques

**Fuente:** (ARCH C. d., 2013-2014)

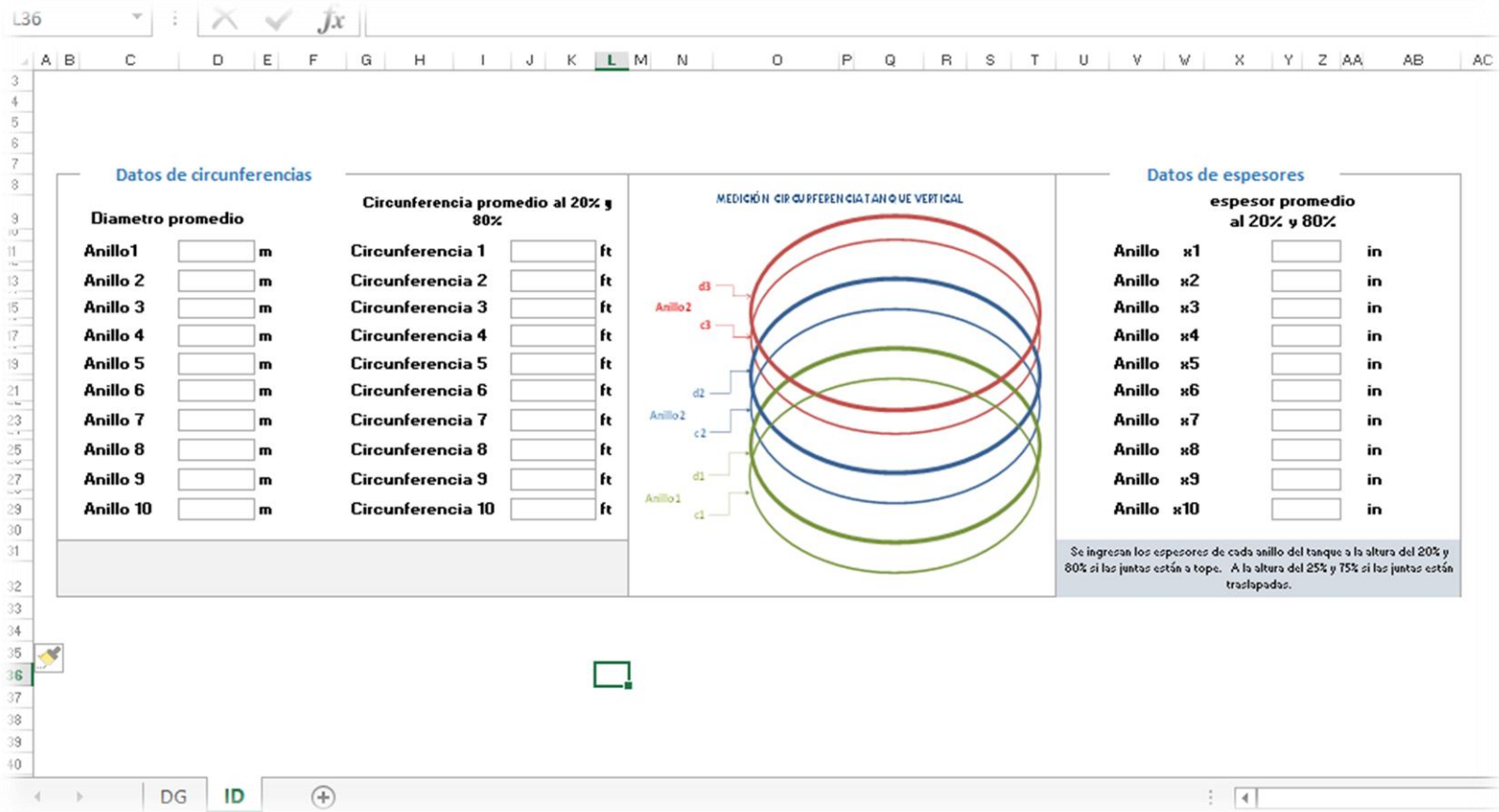
A continuación se elaboró una tabla en la cual se detalla el tipo de dato que se deberá ingresar, el número de celda y la unidad en la que debe estar el dato.

**Tabla 3.3** Datos de las celdas del software

<b>ÍTEM</b>	<b>HOJA</b>	<b>CELDA</b>	<b>UNIDAD</b>
<b>Diámetro nominal</b>	DG	F26	plg
<b>Altura del liquido</b>	DG	F28	pies
<b>Temperatura del liquido</b>	DG	F30	°F
<b>Temperatura ambiente</b>	DG	F32	°F
<b>Grado API@60°F</b>	DG	F34	API
<b>Altura de la platina de aforo</b>	DG	F36	mm
<b>Inclinación del tanque</b>	DG	F38	mm
<b>Corrección de la cinta de trabajo</b>	DG	F40	
<b>FONDO DEL TANQUE</b>			
<b>Tipo de fondo</b>	DG	N26	Plano/Cónico
<b>Altura del cono</b>	DG	N28	m
<b>TECHO DEL TANQUE</b>			
<b>Tipo del techo</b>	DG	N33	
<b>Altura critica inferior</b>	DG	N35	lbs
<b>Altura critica superior</b>	DG	N37	cm
<b>Densidad del liquido</b>	DG	N39	lbs/gal

**Fuente: (ARCH C. d., 2013-2014)**

Se crea la hoja "ID" en la cual van los datos del diámetro, espesor, altura, datos de las juntas, y los datos de los accesorios considerados como volúmenes muertos para lo cual se crea la tabla en donde se describen los datos, nombre de la hoja de cálculo, numero de la columna y las unidades en la que deben ser expresados los valores.



**Gráfico 3.11** Datos de Diámetros y Espesores de un Tanque

Fuente: (ARCH C. d., 2013-2014)

AD54

A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z AA AE

32 a tope. A la altura del 25% y 75% si las juntas están traslapadas.

33

34

35

36 **Datos de alturas**

Anillo	h1	h2	h3	h4	h5	h6	h7	h8	h9	h10
Anillo	80,354 in	85,63 in	85,63 in	85,236 in	84,882 in	85,236 in				
Anillo										
Anillo										
Anillo										
Anillo										
Anillo										
Anillo										
Anillo										
Anillo										
Anillo										

Se ingresan las alturas de cada anillo del tanque vertical

38 **Datos de juntas**

TIPO	Numero	Ancho	Espesor
Soldada			
Anillo	n1	w1	t1
Anillo	n2	w2	t2
Anillo	n3	w3	t3
Anillo	n4	w4	t4
Anillo	n5	w5	t5
Anillo	n6	w6	t6
Anillo	n7	w7	t7
Anillo	n8	w8	t8
Anillo	n9	w9	t9
Anillo	n10	w10	t10

Se ingresan las dimensiones de la soldadura o del traslape y el número de juntas verticales que hay en cada anillo

**JUNTA TIPO SOLDADURA**

**JUNTA TIPO TRASLAPADA**

**Gráfico 3.12** Datos de las alturas de los anillos, espesores y datos de las juntas de un Tanque (Captura de pantalla del software)

Fuente: (ARCH D. d., 2013-2014)

J70

A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z AA AE

63  
64  
65  
66  
67  
68  
69  
70  
71  
72  
73  
74  
75  
76  
77  
78  
79  
80  
81  
82  
83  
84  
85  
86  
87  
88  
89  
90  
91  
92  
93  
94  
95  
96  
97  
98  
99  
100  
101  
102

**Datos de volumen muerto**

Numero de accesorios

	Desde	Hasta	V.muerto
Accesorio a1	<input type="text"/> cm	<input type="text"/> cm	<input type="text"/> bbl
Accesorio a2	<input type="text"/> cm	<input type="text"/> cm	<input type="text"/> bbl
Accesorio a3	<input type="text"/> cm	<input type="text"/> cm	<input type="text"/> bbl
Accesorio a4	<input type="text"/> cm	<input type="text"/> cm	<input type="text"/> bbl
Accesorio a5	<input type="text"/> cm	<input type="text"/> cm	<input type="text"/> bbl
Accesorio a6	<input type="text"/> cm	<input type="text"/> cm	<input type="text"/> bbl
Accesorio a7	<input type="text"/> cm	<input type="text"/> cm	<input type="text"/> bbl
Accesorio a8	<input type="text"/> cm	<input type="text"/> cm	<input type="text"/> bbl
Accesorio a9	<input type="text"/> cm	<input type="text"/> cm	<input type="text"/> bbl
Accesorio a10	<input type="text"/> cm	<input type="text"/> cm	<input type="text"/> bbl
Accesorio a11	<input type="text"/> cm	<input type="text"/> cm	<input type="text"/> bbl
Accesorio a12	<input type="text"/> cm	<input type="text"/> cm	<input type="text"/> bbl
Accesorio a13	<input type="text"/> cm	<input type="text"/> cm	<input type="text"/> bbl
Accesorio a14	<input type="text"/> cm	<input type="text"/> cm	<input type="text"/> bbl
Accesorio a15	<input type="text"/> cm	<input type="text"/> cm	<input type="text"/> bbl

se ingresan todos los datos necesarios para el cálculo del volumen muerto debido a los accesorios que posee el tanque

**Gráfico 3.13** Datos de los Volúmenes Muertos (Captura de pantalla del software)

Fuente: (ARCH D. d., 2013-2014)

**Tabla 3.4** Información de las celdas de diámetros y espesores de un Tanque

ÍTEM	HOJA	CELDA	UNIDAD
<b>DATOS DE CIRCUNFERENCIAS</b>			
DIÁMETRO ANILLO 1	ID	D11	M
DIÁMETRO ANILLO 2	ID	D13	M
CIRCUNFERENCIA 1	ID	J11	pies
CIRCUNFERENCIA 2	ID	J13	pies
<b>DATOS DE ESPESORES</b>			
ESPESOR ANILLO 1 AL	ID	X11	plg
ESPESOR ANILLO 2 AL	ID	X13	plg
<b>DATOS DE ALTURAS</b>			
ALTURA ANILLO 1	ID	F40	plg
ALTURA ANILLO 2	ID	F42	plg
<b>DATOS DE JUNTAS</b>			
TIPO DE JUNTAS	ID	O38	SOLDADA/ TRASLAPADA
NUMERO DE JUNTAS ANILLO 1	ID	Q40	
ANCHO DE LAS JUNTAS ANILLO 1	ID	T40	plg
ESPESOR DE LAS JUNTAS ANILLO 1	ID	W40	plg
NUMERO DE JUNTAS ANILLO 2	ID	Q42	
ANCHO DE LAS JUNTAS ANILLO 2	ID	T42	plg
ESPESOR DE LAS JUNTAS ANILLO 2	ID	W42	plg



DATOS DE VOLÚMENES MUERTOS			
NUMERO DE ACCESORIOS	ID	F65	
ALTURA MÍNIMA DEL ACCESORIO	ID	F69	cm
ALTURA MÁXIMA DEL ACCESORIO	ID	J69	cm
VOLUMEN MUERTO	ID	N69	bls

Fuente: (ARCH D. d., 2013-2014)

A continuación se crea la hoja denominada “CÁLCULOS” en la cual se va a realizar las ecuaciones para poder realizar los cálculos de los volúmenes incrementales que darán como resultado final una tabla de aforo que deberá ser compara con la tabla que envía la empresa solicitante.

ANILLO	CORRECCIONES DE CIRCUNFERENCIA						CIRCUNFERENCIA INTERNA AL MÁXIMO ESFUERZO	
	CORRECCIÓN POR CALIBRACIÓN ft	ELEVACIÓN DE LA CINTA ft	BASE TANQUE VACÍO ft	CIRCUNFERENCIA EXTE A INT ft	CORRECCIÓN CIRCUNFERENCIA INTERNA ft	CORRECCIÓN AL MÁXIMO ESFUERZO ft	ft Promedio	in Radios [in]
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								

Gráfico 3.14 Cálculos de las Correcciones Volumétricas (Captura de pantalla del software)

Fuente: (ARCH D. d., 2013-2014)

### 3.3.1. CORRECCIÓN POR CALIBRACIÓN

La cinta master a 10 lb de tensión = 100.0026 pies por 100 pies medidos<sup>6</sup>

$$x = \text{diametro} * 1 - \frac{100,0026}{100} \quad \text{Ec. [ 3.1]}$$

**Corrección de la cinta de medición a 60° F.-** para realizar el cálculo se aplica la ecuación 1 del literal 3.2.2. Misma que fue tomada de la norma técnica API MPMS capítulo 2, sección 2A.

El cálculo de corrección por calibración se realiza en la celda “D12” y se representa el cálculo de la siguiente manera:

```
D12 ==ID!J11*(1-DG!$F$40)+ID!J11*((DG!$F$32-60)*0,00000645)
```

### 3.3.2. ELEVACIÓN DE LA CINTA

Este cálculo se realiza en la celda “E12” y se emplea la ecuación 5 del literal 3.2.5 tomada de la norma API MPMS capítulo 2 sección 2, y en Excel va representado de la siguiente manera:

```
E12=((((2*ID!Q40*ID!W40*ID!T40)/DG!$F$26)+((8*ID!Q40*ID!W40)/3)*RAIZ(ID!W40/DG!$F$26))/12
```

### 3.3.3. CORRECCIÓN DE LAS MEDIDAS DE LA CIRCUNFERENCIA PARA BASE DE TANQUES VACÍOS

Este cálculo se realiza en la celda “F12”, empleando la ecuación 9 del literal 3.2.9; la misma que en Excel va representado de la siguiente manera:

```
F12=-(((141,5/(131,5+DG!$F$34))^62,3)*(DG!$F$28-0,2*ID!F40/12)*(ID!$D$11^2))/((2*PI()*(ID!Y11/12)*(29000000*12^2)))
```

<sup>6</sup> norma técnica API MPMS capítulo 2, sección 2A

### 3.3.4. CORRECCIÓN DE LA CIRCUNFERENCIA EXTERIOR A INTERIOR

Se realiza en la celda “G12” mediante la ecuación 2 del literal 3.2.3. Misma que se tomó de la norma técnica API MPMS capítulo 2, sección 2A; la cual se la representa en Excel de la siguiente manera:

$$G12=PI()*ID!X11/(6)$$

### 3.3.5. CORRECCIÓN DE LA CIRCUNFERENCIA INTERNA

Este cálculo va en la celda “H12” y es resultado de las correcciones realizadas en los literales anteriores y va representado de la siguiente manera:

$$H12=ID!J11-D12-E12-F12-G12$$

### 3.3.6. CORRECCIÓN AL MÁXIMO ESFUERZO

Este cálculo se realiza en la celda “I12” utilizando la ecuación 8 del literal 3.2.8. Tomado de la norma técnica API MPMS capítulo 2 sección 2A, misma que se representa en Excel de la siguiente manera:

$$I12=(((141,5/(131,5+DG!\$F\$34))^62,3)*(ID!F40/12-0,2*ID!F40/12)*(Calculos!H12^2))/((2*PI()*(ID!\$Y\$11/12)*(29000000*12^2)))$$

### 3.3.7. CIRCUNFERENCIA INTERNA AL MÁXIMO ESFUERZO

Para el cálculo del diámetro de la circunferencia interna al máximo esfuerzo se utiliza la celda “K12” en la cual se suma los valores de la corrección de la circunferencia interna y la corrección al máximo esfuerzo. Está representado de la siguiente manera:

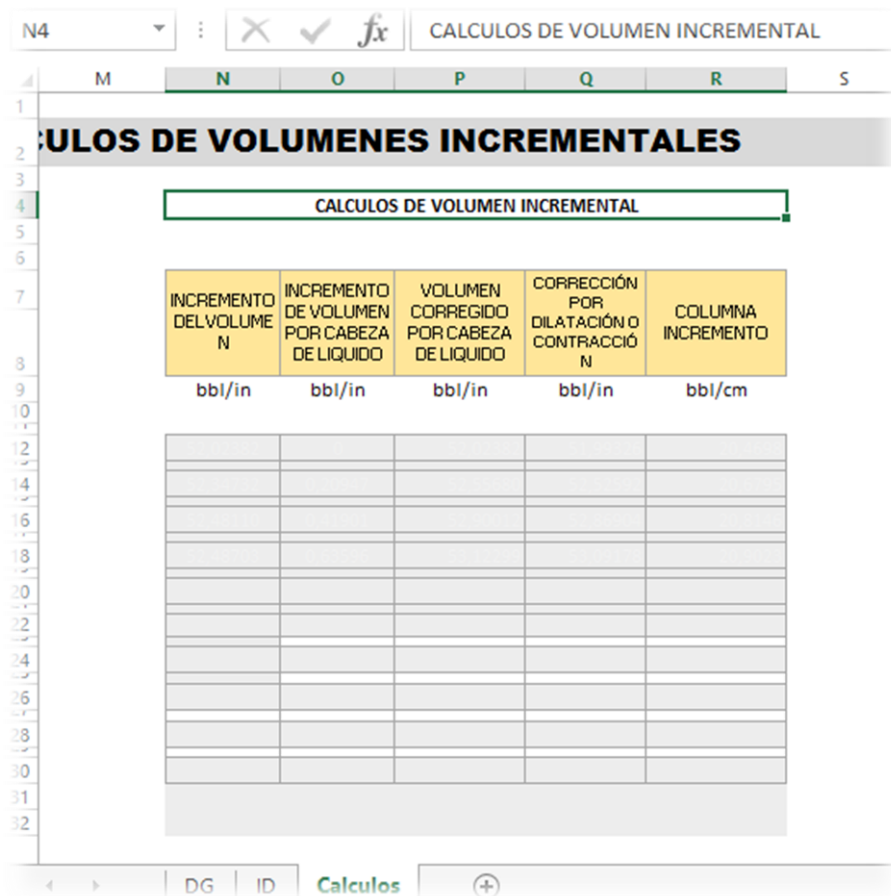
$$K12 =H12+I12$$

Para el cálculo del radio de la circunferencia externa al máximo esfuerzo se realiza en la celda “L12” y se realiza de la siguiente manera:

$$Radio = \frac{\text{diametro circunferencia interna maximo esfuerzo}}{2 * \pi * 12} \quad \text{Ec. [ 3.2]}$$

En la hoja de Excel va representado de la siguiente manera:

$$L12 = K12 / (2 * \pi()) * 12$$



**Gráfico 3.15** Calculo del Volumen Incremental (Captura de pantalla del software)

Fuente: (ARCH D. d., 2013-2014)

### 3.3.8. CÁLCULO DEL INCREMENTO DE VOLUMEN

Se calcula mediante la fórmula obtenida de la norma técnica API MPMS capítulo 2 sección 2 A:

$$V_{inc} = \frac{\text{radio}^2 * \pi}{9702}$$

**Ec. [ 3.3]**

Esta fórmula va representada en la columna “N12” de la siguiente manera:

$$N12 = (PI()) * L12^2 / 9702$$

### 3.3.9. INCREMENTO DE VOLUMEN POR CABEZA DE LÍQUIDO

El cálculo se realiza con la ecuación 9 del literal 3.2.9. Tomada de la norma técnica API MPMS capítulo 2, sección 2 A, la cual se calcula en la celda “O12” y en Excel va representada de la siguiente manera:

$$O12 = ((((((141,5 / (131,5 + DG!F\$34))^62,3)) * (1/12^3) * PI()) * (PROMEDIO(\$L\$12; \$L\$18)^2)^3 * ID!F42) / (4 * 29000000 * ID!Y\$11 * (1/9702))) + O12$$

Para el caso del primer anillo va el valor de 0 debido a que este incremento se da por cada pulgada de líquido que esta sobre el anillo

### 3.3.10. VOLUMEN CORREGIDO POR CABEZA DE LÍQUIDO

Es la suma del incremento de volumen más el incremento de volumen por cabeza de líquido, está desarrollado en la celda “P12”:

$$V_c = V_{inc} + V_{cab}$$

**Ec. [ 3.4]**

En Excel va representado de la siguiente manera:

$$P12 = N12 + O12$$

### 3.3.11. CORRECCIÓN POR DILATACIÓN O CONTRACCIÓN

Este cálculo se realiza en la celda “Q12” en donde se aplica la ecuación 11 del literal 3.2.11. Tomado de la norma técnica API MPMS capítulo 2, sección 2-A. en Excel va representada de la siguiente manera:

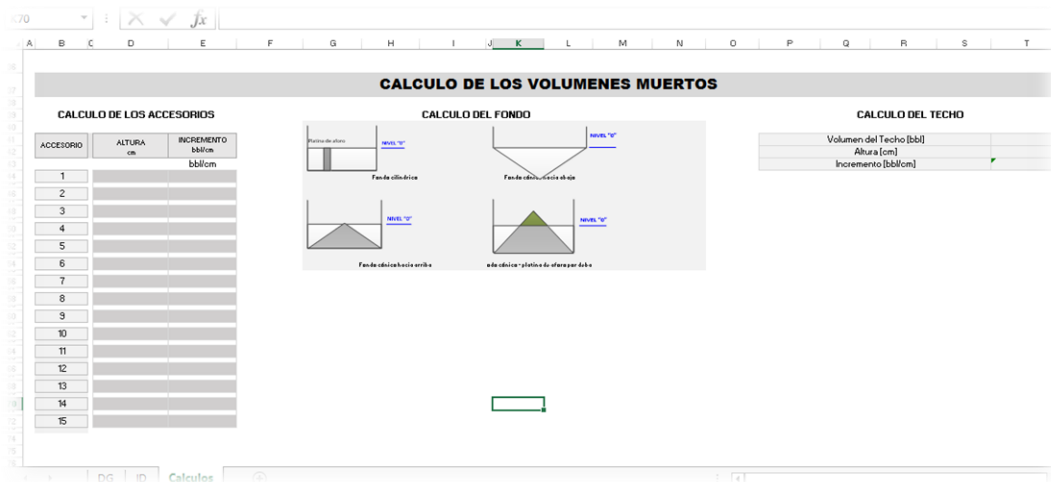
$$Q12 = (1 + (12,4 * 10^{-6} * (\$Q\$10 - 60)) + (4 * 10^{-9} * (\$Q\$10 - 60)^2)) * P12$$

### 3.3.12. COLUMNA INCREMENTO

Es la sumatoria de los volúmenes incrementales de cada anillo transformando el valor resultante del literal 3.5.12 a barriles por pulgada calculado en la celda “R12” y se expresa en Excel de la siguiente manera:

$$R12 = Q12 / 2,54$$

### 3.3.13. CÁLCULO DE VOLÚMENES MUERTOS



**Gráfico 3.16** Calculo de volúmenes muertos (Captura de pantalla del software)

**Fuente: (ARCH D. d., 2013-2014)**

### Altura

El cálculo se realiza en la celda “D39” en el que se resta las alturas mínimas y máximas de los accesorios considerados volúmenes muertos descritas en la hoja de cálculo ID; para el caso de Excel se realiza el cálculo de la siguiente manera:

$$D39 = -ID!F69 + ID!J69$$

### **Incremento del volumen de los accesorios**

Este cálculo se realiza en la celda “E39” dividiendo el volumen del accesorio para la altura del mismo; se expresa de la siguiente manera:

$$E39 = ID!N69/Calculos!D39$$

### **Cálculo del Volumen del Techo**

Este cálculo se lo realiza en la celda “T36” expresado de la siguiente manera:

$$T41 = DG!N35/(DG!N41*42)$$

Para el cálculo se divide el peso del techo para la densidad

### **Altura total del tanque**

Este cálculo se lo realiza en la celda “T37” expresado de la siguiente manera:

$$T37 = DG!N39-DG!N37$$

### **Incremento por el techo del tanque**

Se realiza en la celda “T38” expresado de la siguiente manera:

$$T38 = (T36/T37)^{-1}$$

Se crea la hoja resultados en la cual se reflejara la tabla de aforo final que representa el volumen de acuerdo a la altura de cada tanque.

	A	B	C	D	E	Volumenes Muertos				Volumen Total	Volumen Total
						Accesorios	Fondo	Techo	Total		
		Altura [cm]	Incremento V. (bbl/cm)	Incremento bbl	Inclinación bbl	Accesorios bbl/cm	Fondo bbl	Techo bbl/cm	Total bbl	bbl	[m³]
1											
2											
3											
4											
5											
6											
7											
8											
9											
10											
11											
12											
13											
14											
15											
16											
17											
18											
19											
20											
21											
22											
23											
24											
25											
26											
27											
28											
29											
30											
31											
32											
33											
34											
35											
36											
37											
38											
39											
40											
41											
42											
43											
44											
45											

**Gráfico 3.17** tabla de aforo final (Captura de pantalla del software)

**Fuente: (ARCH D. d., 2013-2014)**

**3.3.14. COLUMNA ALTURA**

Esta columna representa la altura total en cm del tanque

**3.3.15. COLUMNA INCREMENTO V.**

Es el mismo valor del literal 3.5.12 que para una fácil lectura fue copiado a esta hoja.

**3.3.16. COLUMNA INCREMENTO**

Sumatoria de cada centímetro del literal 3.5.15. y va representado de la siguiente manera:

$D6=C6+D5$
------------



### **3.3.17. CORRECCIÓN POR INCLINACIÓN**

Para el cálculo de la inclinación del tanque se utiliza la ecuación 10 tomada de la norma técnica API MPMS capítulo 2, sección 2-A la cual está representada en Excel de la siguiente manera:

$E5=D5*(1+(RAIZ(1+((DG!\$F\$38/(SUMA(ID!\$F\$40:\$F\$58)*25,4)^2)))-1))$
--

### **3.3.18. COLUMNAS VOLÚMENES MUERTOS**

En estas columnas se coloca a los accesorios indicados en el literal 3.5.13.2. De acuerdo a la altura indicada en la hoja de cálculo "ID".

### **3.3.19. COLUMNA VOLUMEN TOTAL**

Esta columna es la representación del volumen existente en cada centímetro de la altura del tanque. Se tiene que expresar en barriles y en metros cúbicos de acuerdo a estándares de calidad.

## **3.4. METODOLOGÍA DE ANÁLISIS Y VERIFICACIÓN**

El proceso de la verificación de las tablas de aforo empieza con una solicitud de las operadoras mediante oficio dirigido al Director Ejecutivo de la ARCH – el tramite solo puede ser atendido en la agencia matriz-, con el requerimiento de aprobación de tablas de aforo de tanques de almacenamiento.

El Coordinador del Proceso de Control y Fiscalización de Transporte y Almacenamiento de Hidrocarburos y Gas Natural (al granel), reciben el documento a través del Sistema de Gestión Documental (QUIPUX) y lo direcciona al Sub-proceso de Almacenamiento para el trámite correspondiente.

El Técnico asignado recibe el trámite a través del Sistema QUIPUX, descarga los archivos de formato digital y solicita la documentación física al Departamento de Archivo, con lo que inicia la revisión de la documentación para la aprobación de la solicitud.

El funcionario responsable del trámite deberá revisar la documentación, en formato físico y digital, que debe contener lo siguiente:

- El comprobante de pago original según los ítems 80, 81 y 82 de la Resolución 002 del 20 de diciembre del 2012.
- Actas de toma de datos de campo.
- Certificados de calibración de los equipos utilizados para la calibración.
- Acreditación en el SAE de la compañía VERIFICADORA INDEPENDIENTE según resolución 005-003-DIRECTORIO-ARCH-2013
- El funcionario debe registrar el pago a través del sistema correspondiente el cual generará un comprobante de ingreso y/o recaudación por el ítem de la Resolución 002 del 20 de diciembre del 2012
- Estudios complementarios de redondez, verticalidad y asentamiento.

Todas las pruebas requeridas para la aprobación del inicio de Operación de los Tanques, deben ser realizadas por una Compañía Inspectoría Independiente registrada en la ARCH, las mismas que emitirán un Informe de Inspección respaldado con los reportes de pruebas debidamente firmados por el Representante Legal de la Operadora o su delegado y el técnico de la ARCH (Regional) que validó la ejecución de pruebas.

Es responsabilidad de la Agencia Regional correspondiente verificar en campo mediante inspección y seguimiento al proyecto, lo siguiente:

- Entrega por parte de la operadora a la Regional respectiva (representante en campo) el Dossier de Calidad completo y debidamente firmado, en formato físico y digital.
- Verificación de la ejecución de pruebas Hidrostáticas y Ensayos no Destructivos.

- Inspección del dique, accesos de entrada y salida peatonal y drenaje del Cubeto Perimetral del tanque en buenas condiciones y operativos.
- Inspección Sistema Contra Incendios (funcionalidad operativa).
- Prueba de funcionamiento del Sistema de Protección Catódica del tanque (verificación).

Todas estas pruebas que deben ser asentadas registradas y firmadas en actas o registros de campo, y deben estar debidamente firmadas por las dos partes para constancia de la ejecución de las mismas.

Enviar el “Comprobante de gestión ingresos y/o recaudación” a la Operadora, mediante Oficio firmado por el Coordinador del Proceso de Control y Fiscalización de Transporte y Almacenamiento de hidrocarburos y gas natural (al granel), conforme a delegación otorgada por el Director Ejecutivo de la ARCH.

Una vez revisada toda la documentación y si está conforme a los requisitos establecidos por la ARCH, el técnico responsable del trámite emitirá un informe técnico con recomendaciones técnicas, luego de lo cual recomendará al Director Ejecutivo o su Delegado, la aprobación de inicio de operación del tanque. Ver **Anexo 1**

Adjunto al informe técnico, las recomendaciones técnicas se enviará enviar el proyecto de Resolución (Ver **Anexo 2.**) y el Oficio para la firma del Director Ejecutivo o su Delegado, emitiendo la autorización correspondiente con el fin de comunicar a la Operadora la autorización correspondiente. Ver **Anexo 3.**

Si el técnico responsable del trámite, luego de la revisión de la documentación, determina que existe incumplimiento de alguno de los requisitos o la información está incompleta, elaborar un informe mencionando los incumplimientos y emitiendo consideraciones técnicas, con

la recomendación y recomendando al Director Ejecutivo de la ARCH la negación de la autorización.

Adjuntar el informe técnico a las consideraciones técnicas elaborando un Oficio para la firma del Director Ejecutivo o su Delegado, comunicando a la Operadora los motivos por los que se niega la solicitud.

En los dos casos mencionados, se subirá la documentación al sistema QUIPUX, para aprobación del Coordinador de la Unidad y firma del Director Ejecutivo o su Delegado.

## ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para el análisis de los resultados obtenidos con el software elaborado se comparó con las tablas enviadas por la empresa Verificadora Independiente, correspondientes al tanque de almacenamiento de diesel T-4602, el cual tiene los siguientes datos que serán analizados para verificar el funcionamiento del software.

### 4.1. EJEMPLO DE CÁLCULO UTILIZANDO EL SOFTWARE PROPUESTO PARA EL TANQUE T-4062

Ingresamos todos los datos que nos envía la empresa verificadora en su acta de toma de datos de campo para generar nuestra tabla de aforo y poder comparar el resultado con el presentado para la aprobación.

The screenshot displays a software interface for tank identification. On the left, a grid shows row numbers 1 through 44. The main area is divided into several sections:

- INFORMACIÓN GENERAL:** A table with the following data:

Fecha de calibración	20 diciembre de 2014
Propietario	Empresa Operadora
Nombre del campo	XXX
Localización	XXX
Material del Tanque	Acero
Capacidad Nominal	300
Código del tanque	T-4602
- Datos:** A form with the following fields:

Diametro Nominal	139.09 in
Altura del liquido	0 ft
Temp. Del liquido	0 °F
Temp. Ambiente	95 °F
Grados API a 60 °F	37
Altura platina de Aforo	0 mm
Inclinación Tanque	0 mm
Corrección de la cinta n	1
- Fondo del tanque:** A form with the following fields:

Tipo de Fondo	Cónico
Altura del cono	0.051 m
- Techo del tanque:** A form with the following fields:

Tipo de techo	Fijo
Peso del Techo	0 lb
Altura Critica inferior	0 cm
Altura Critica Superior	0 cm
Densidad del fluido	12.57534 lb/gal

The interface also includes a photo of a large industrial tank and a bottom navigation bar with tabs for 'DG', 'ID', 'Calculos', 'Resultados', and 'Hoja1'.

**Gráfico 4.1** hoja de identificación de circunferencia, espesor, alturas y juntas del tanque

Fuente: (ARCH D. d., 2013-2014)

T-4602 REPSOL - Excel

ARCHIVO INICIO INSERTAR DISEÑO DE PÁGINA FÓRMULAS DATOS REVISAR VISTA

L61

Datos de circunferencias			Datos de espesores		
<b>Diametro promedio</b>			<b>espesor promedio al 20%</b>		
Anillo 1	3,5383	m	Anillo x1	0,0068	0,2591 in
Anillo 2	3,5536	m	Anillo x2	0,0068	0,2579 in
Anillo 3		m	Anillo x3		in
Anillo 4		m	Anillo x4		in
Anillo 5		m	Anillo x5		in
Anillo 6		m	Anillo x6		in
Anillo 7		m	Anillo x7		in
Anillo 8		m	Anillo x8		in
Anillo 9		m	Anillo x9		in
Anillo 10		m	Anillo x10		in

MEDICIÓN CIRCUNFERENCIA TAHO VERTICAL

Datos de alturas			Datos de juntas			TIPO Soldada	
Anillo	h1	94,8425 in	Anillo	n1	17	w1	0,59 in
Anillo	h2	96,4567 in	Anillo	n2	17	w2	0,59 in
Anillo	h3		Anillo	n3		w3	
Anillo	h4		Anillo	n4		w4	
Anillo	h5		Anillo	n5		w5	
Anillo	h6		Anillo	n6		w6	
Anillo	h7		Anillo	n7		w7	
Anillo	h8		Anillo	n8		w8	
Anillo	h9		Anillo	n9		w9	
Anillo	h10		Anillo	n10		w10	

Se ingresan las alturas de cada anillo del tanque vertical

Se ingresan las dimensiones de la soldadura a del trape y el número de junta vertical que hay en cada anillo

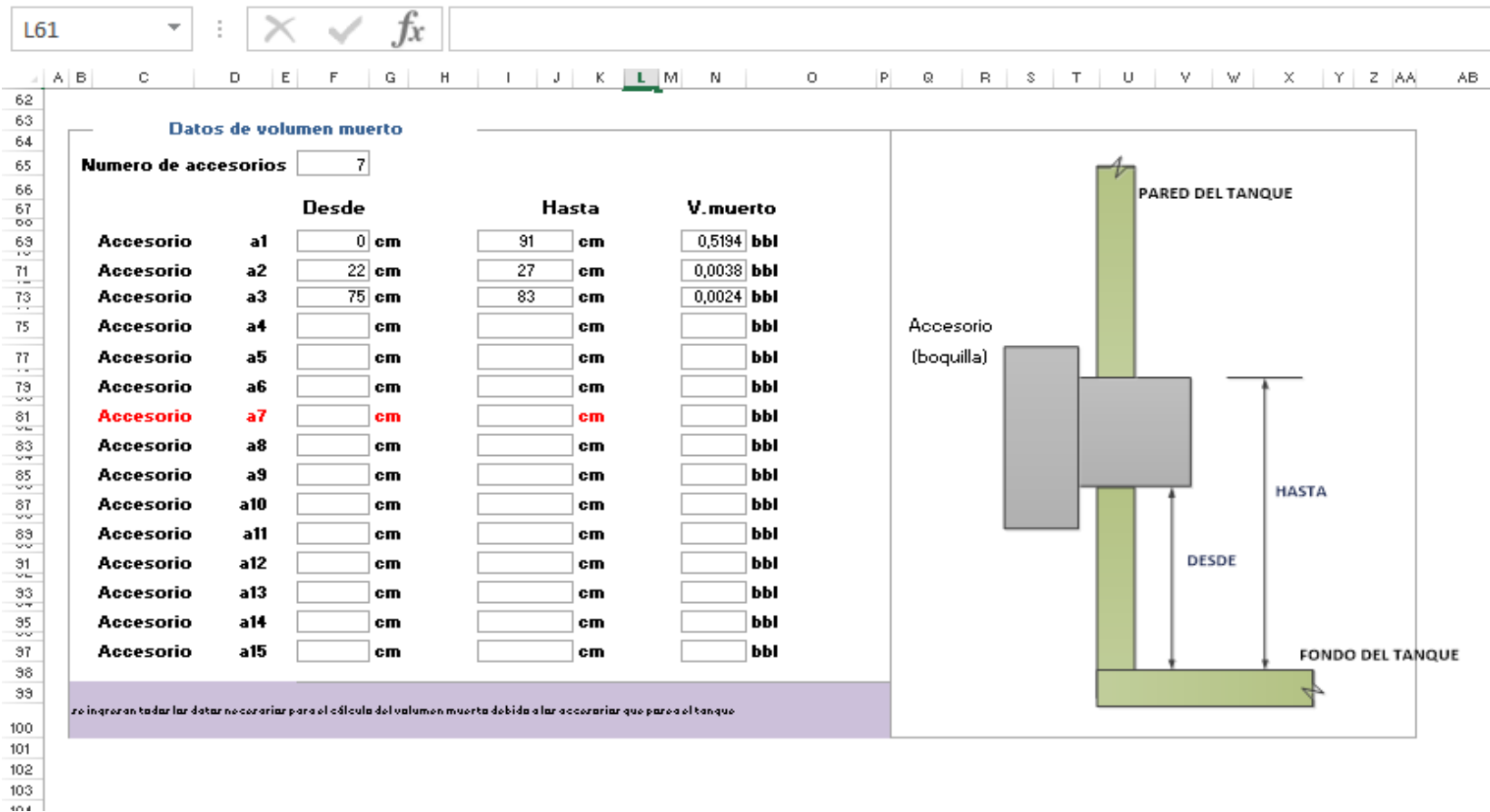
TIPO Soldada		TIPO TRASLAPADA	
w	e	w	e

217,500

DG ID Calculos Resultados Hoja1

Gráfico 4.2 Datos generales del tanque

Fuente: (ARCH D. d., 2013-2014)



**Gráfico 4.3** datos de accesorios considerados volúmenes muertos

Fuente: (ARCH D. d., 2013-2014)

En la hoja denominada cálculos se realiza el cálculo incremental por cada anillo además de calcular el volumen incremental de cada accesorio que será sumado o restado en la tabla de aforo final.

Q45

**CALCULOS DE VOLUMENES INCREMENTALES**

**CALCULOS PARA LA CIRCUNFERENCIA**

ANILLO	CORRECCIONES DE CIRCUNFERENCIA						CIRCUNFERENCIA INTERNA AL MAXIMO ESFUERZO		INCREMENTO DEL VOLUMEN N	INCREMENTO DE VOLUMEN POR CABEZA DE LIQUIDO	VOLUMEN CORREGIDO POR CABEZA DE LIQUIDO	CORRECCIÓN POR DILATACIÓN O CONTRACCIÓN N	COLUMNA INCREMENTO
	CORRECCIÓN POR CALIBRACIÓN	ELEVACIÓN DE LA CINTA	BASE TANQUE VACÍO	CIRCUNFERENCIA EXTE A INT	CORRECCIÓN CIRCUNFERENCIA INTERNA	CORRECCIÓN AL MAXIMO ESFUERZO	ft CIR	in Radio					
1	0,007282914	0,01442328	0,00000	0,135640944	36,30279	0,000769636	36,30356	69,3347	1,55665	0	1,55665	1,55573	0,6125
2	0,007314406	0,01442328	0,00000	0,13502252	36,46104	0,000789573	36,46183	69,636962	1,57025	0	1,57025	1,56933	0,6178

**CALCULO DE LOS VOLUMENES MUERTOS**

**CALCULO DE LOS ACCESORIOS**

ACCESORIO	ALTURA om	INCREMENTO bbl/cm
1	91	0,005708172
2	5	0,000764925
3	8	0,000296446
4		
5		
6		
7		
8		

**CALCULO DEL FONDO**

**CALCULO DEL TECHO**

Volumen del Techo [bbl]	0
Altura [cm]	0
Incremento [bbl/cm]	#¡DIV/0!

DG ID **Calculos** Resultados Hoja1

**Gráfico 4.4** Hoja de cálculo de los volúmenes incrementales

Fuente: (ARCH D. d., 2013-2014)



J490 :  $\times$   $\checkmark$   $fx$  =E490+I490

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1													
2		Altura [cm]	Incremento V.	Incremento	Inclinación	Volumenes Muertos				Volumen Total	Volumen Total	ACCES	
3						Accesorios	Fondo	Techo	Total				
4			(bbi/cm)	bbi	bbi	bbi/cm	bbi	bbi/cm	bbi	bbi	[m^3]		
5		0	0,0000	0,00	0,00	0,006			0,01	0,0	0,00		0,0
6		1	0,1100	0,11	0,11	0,006			0,01	0,1	0,02		0,0
7		2	0,4200	0,42	0,42	0,006			0,02	0,4	0,07		0,0
8		3	0,8700	0,87	0,87	0,006			0,02	0,9	0,14		0,0
9		4	1,4200	1,42	1,42	0,006			0,03	1,4	0,23		0,0
10		5	2,0300	2,03	2,03	0,006			0,03	2,1	0,33		0,0
11		6	0,6125	0,61	0,61	0,006			0,04	0,7	0,10		0,0
12		7	0,6125	0,61	0,61	0,006			0,05	0,7	0,10		0,0
13		8	0,6125	1,22	1,22	0,006			0,05	1,3	0,20		0,0
14		9	0,6125	1,84	1,84	0,006			0,06	1,9	0,30		0,0
481		476	0,6178	289,13	289,13	0,000			0,53	289,7	46,05		
482		477	0,6178	289,75	289,75	0,000			0,53	290,3	46,15		
483		478	0,6178	290,37	290,37	0,000			0,53	290,9	46,25		
484		479	0,6178	290,99	290,99	0,000			0,53	291,5	46,35		
485		480	0,6178	291,61	291,61	0,000			0,53	292,1	46,45		
486		481	0,6178	292,22	292,22	0,000			0,53	292,8	46,54		
487		482	0,6178	292,84	292,84	0,000			0,53	293,4	46,64		
488		483	0,6178	293,46	293,46	0,000			0,53	294,0	46,74		
489		484	0,6178	294,08	294,08	0,000			0,53	294,6	46,84		
490		485	0,6178	294,70	294,70	0,000			0,53	295,2	46,94		
491													
492													
493													
494													
495													
496					298,38	3,152							
497													
498													

DG | ID | Calculos | Resultados | Hoja1

**Gráfico 4.5** Hoja de resultados en la cual se aprecia la tabla de aforo final

**Fuente:** (ARCH D. d., 2013-2014)

## 4.2. CALCULO DEL VOLUMEN INCREMENTAL DEL PRIMER ANILLO SIN EL SOFTWARE PROPUESTO

### 4.2.1. CALIBRACION DE LA CINTA DE TRABAJO CON LA CINTA MASTER

La cinta master a 10 lb de tensión= 100.0026 pies por cada 100 pies medidos.

$$X = \frac{\text{circunferencia anillo} \times 100.0026}{100} =$$

$$X = \frac{36.4601 \times 100.0026}{100} = 36.4611 \text{ pies}$$

### 4.2.2. CORRECCIÓN DE LA CINTA DE MEDICIÓN A 60°F.

$$\text{grados a corregir} = 95 - 60 = 35^\circ F$$

$$\text{coeficiente de expansion} = 0.0000064$$

$$\text{factor de corrección} = 1 - gc \times ce$$

$$\text{factor de corrección} = 1 - 35 \times 0.0000064 = 0.999776$$

$$\text{corrección de la circunferencia medida} = 36.4601 - 36.4611 \times 0.999776$$

$$\text{corrección de la circunferencia medida} = 0.0072 \text{ pies}$$

**4.2.3. DEDUCCIÓN DEL AUMENTO DE LA CINTA POR JUNTAS SOLDADAS (CC)**

$$CC = \frac{\frac{2 \times 5 \times 0.1 \times 0.59}{139.09} + \frac{8 \times 5 \times 0.1}{3} \frac{5}{139.09}}{12}$$

$$CC = 0.00423 \text{ pies}$$

**4.2.4. CORRECCIÓN DE LAS MEDIDAS DE LA CIRCUNFERENCIA PARA BASE DE TANQUES VACÍOS (CV).**

$$K = \frac{62.3}{24 \times \pi \times 29000000} =$$

$$K = 2.8492 \times 10^{-8}$$

$$CV = 2.8492 \times 10^{-8} \times \frac{0 - \frac{94.84 \times 0.20}{12} \times (35.4601 - 0.00423)^2}{0}$$

$$CV = 0.0000018 \text{ pies}$$

**4.2.5. CORRECCIÓN DE LA CIRCUNFERENCIA EXTERIOR HACIA LA CIRCUNFERENCIA INTERIOR (CT).**

$$CT = \frac{\pi \times 0.2591}{6}$$

$$CT = 0.1356 \text{ pies}$$

**4.2.6. RESULTADO DE LAS CORRECCIONES EN LAS CIRCUNFERENCIAS INTERNAS (Cc).**

$$Cc = 35.4601 - 0.0072 - 0.00423 - 0.0000018 - 0.1356$$

$$Cc = 36.313 \text{ pies}$$

#### 4.2.7. CORRECCIÓN DE LA CIRCUNFERENCIA INTERNA AL MÁXIMO ESFUERZO (CS).

$$CS = 2.8492 \times 10^{-8} \times \frac{141.5}{37 + 131.5} \times (94.843 - 94.843 \times 0.20) \times 35.313^2$$

$$0.2591 \times 12$$

$$CS = 0.00077 \text{ pies}$$

#### 4.2.8. CALCULO DE LA CIRCUNFERENCIA INTERNA AL MÁXIMO ESFUERZO (CE).

$$CE = 36.313 + 0.00077$$

$$CE = 36.3137 \text{ pies}$$

#### 4.2.9. CALCULO DEL INCREMENTO DEL VOLUMEN (V)

$$\text{factor de conversión} = 9702 \frac{plg^3}{bl}$$

$$V = \frac{\pi \times \left(\frac{36.3137}{2 \times \pi} \times 12\right)}{9702}$$

$$V = 1.5576 \frac{bl}{plg}$$

#### 4.2.10. INCREMENTO DEL VOLUMEN POR ANILLO Y POR CADA PULGADA DE LIQUIDO SOBRE EL ANILLO ( $\Delta V$ )

Se realiza el cálculo del incremento del segundo anillo ya que en el primer anillo el valor es 0.

$$\Delta V = \frac{\pi \times 62.3 \times 0.83976 \times \frac{(69.354 + 69656)}{2}}{4 \times 2.9 \times 10^7} \times \frac{96.457}{0.2579}$$

$$\Delta V = 0.017 \frac{bl}{plg}$$

#### 4.2.11. SUMATORIA DE LAS CORRECCIONES REALIZADAS

$$V = 1.5576 \frac{bl}{plg}$$

#### 4.2.12. EXPANSIÓN Y CONTRACCIÓN DEL TANQUE DEBIDO A LA TEMPERATURA (TS)

$$TS = \frac{7 \times 0 + 95}{8}$$

$$TS = 11.875 \text{ } ^\circ F$$

#### 4.2.13. CORRECCIÓN DEL VOLUMEN A LA TEMPERATURA DEL ACERO

$$V = (1 + 12 \times 4 \times 10^{-6} \times 11.875 - 60 + 4 \times 10^{-9} \times 11.875 - 60^2) \times 1.5576$$

$$V = 1.5566 \frac{bl}{plg}$$

Realizamos a transformación de unidades para dejar expresado en bl/cm

$$VT = \frac{1.5566}{2.54} =$$

$$\text{Volumen incremental} = 0.6128 \frac{bl}{cm}$$

Con este resultado se procede a elaborar la tabla de aforo sumando el valor centímetro a centímetro hasta alcanzar la altura del primer anillo

### 4.3. COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE EL SOFTWARE ELABORADO Y LA TABLA PRESENTADA POR LA VERIFICADORA INDEPENDIENTE

La siguiente tabla presenta los resultados obtenidos mediante el cálculo realizado con el software propuesto y los presentados por la empresa verificadora independiente para la aprobación respectiva, además se presenta el porcentaje de error entre los valores exhibidos.

La tabla de aforo es muy extensa motivo por el que se tomó valores aleatorios de la cada anillo con el fin de poder apreciar el comportamiento de los resultados y así poder otorgar la aprobación o negación respectiva.

Comparadas las tablas de aforo con los valores aleatorios de los resultados obtenidos con el software y con los valores presentados por la empresa verificadora independiente se observa que el mayor porcentaje de error obtenido es de 0,008%, concluyendo que el softwares es confiable y puede ser utilizado para verificar las tablas de calibración de los diferentes tanques de almacenamiento de la industria hidrocarburífera.

Los datos del tanque vertical utilizado para verificar la confiabilidad del software propuesto en el acta de toma de datos de campo, las memorias de cálculo y datos del fondo del tanque se encuentran en el **Anexo 4, Anexo 5 y Anexo 6** respectivamente.

**Tabla 4.1** Comparación del volumen total entre el software propuesto y la verificadora independiente

Altura cm	software propuesto	verificadora independiente	error
	volumen total bls	volumen total bls	%
10	5,16	5,12	0,007%
11	5,77	5,73	0,008%
12	6,39	6,35	0,007%
13	7,01	6,97	0,006%
14	7,63	7,59	0,005%
15	8,25	8,2	0,006%
16	8,86	8,82	0,005%
17	9,48	9,44	0,004%
18	10,10	10,06	0,004%
19	10,72	10,67	0,005%
20	11,34	11,29	0,004%
476	292,31	292,81	-0,002%
477	292,93	293,43	-0,002%
478	293,55	294,04	-0,002%
479	294,16	294,66	-0,002%
480	294,78	295,28	-0,002%
481	295,40	295,9	-0,002%
482	296,02	296,52	-0,002%
483	296,63	297,14	-0,002%
484	297,25	297,76	-0,002%
485	297,87	298,38	-0,002%

**Fuente: (ARCH D. d., 2013-2014)**

# CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

## 5.1. CONCLUSIONES

- La calibración volumétrica de tanques de almacenamiento en el área hidrocarburífera es un procedimiento de mucha importancia tanto para el país como para la empresa que opera el tanque debido a que está en juego grandes cantidades de dinero, por lo que es importante verificar que las tablas de aforo de los tanques de almacenamiento vertical estén correctas.
- Para el desarrollo de la metodología se utilizó el procedimiento descrito en la norma API MPMS capítulo 2, sección 2-A, que es la normativa utilizada en la industria hidrocarburífera del país.
- El diseño del software de verificación de la calibración se realizó en hojas de cálculo de Microsoft Excel obteniéndose un margen de error en el ejemplo presentado de 0,008% concluyendo que es útil para la verificación respectiva.
- La utilización de la metodología para la verificación de tablas de aforo de tanques de almacenamiento servirá como guía para que futuros profesionales se puedan desenvolver de una mejor manera en su trabajo.
- La metodología presentada servirá para generar un mayor control de la documentación que las empresas operadoras deberán presentar para la de aprobación del uso de las tablas de calibración de los tanques de almacenamiento verticales.
- Este trabajo es un aporte para la Agencia de Regulación y Control de Hidrocarburos que permitirá realizar la aprobación del uso de tablas de aforo de tanques de almacenamiento verticales, permitiendo llevar.



## 5.2. RECOMENDACIONES

- Se debe cumplir con el procedimiento indicado en la norma API MPMS capítulo 2, sección 2-A, para realizar la verificación de las tablas de aforo de los tanques de almacenamiento verticales y así evitar cualquier tipo de error en las mismas.
- Para agilizar la aprobación del uso de las respectivas tablas de aforo de los tanques de almacenamiento se recomienda verificar que la empresa operadora solicitante remita todos los requisitos mínimos para su aprobación; caso contrario el trámite tendrá que ser devuelto y no se verificara las mismas.
- Es importante que todos los datos necesarios para la verificación de las tablas de aforo, estén detallados claramente en las respectivas actas de toma de datos de campo con el fin de tener un respaldo ante cualquier eventualidad.
- Se recomienda que un fiscalizador de campo representante de la ARCH, se encuentre presente al momento de la calibración para constatar que los documentos que van a ser presentados para su aprobación, sean reales y aceptables en su totalidad.
- Se recomienda llevar un historial de las tablas de aforo de los tanques creando una base de datos, con el fin de tener un mayor control en cuanto a almacenamiento de hidrocarburos se refiere.
- No se debe confiar en los datos presentados por las empresas debido a que se tiene experiencia de tablas de aforo mal elaboradas y presentadas para su aprobación.
- Es recomendable que el funcionario que va a realizar la verificación de la tabla de aforo tenga conocimiento para el uso de Microsoft Excel.

## BIBLIOGRAFÍA

1. API, N. (2012). *MPMS 2.2 - CAPITULO 2, Sección 2*.
2. ARCH, D. d. (2013-2014). *Informe de Operaciones*.
3. Barrera, C. (2007). Estudio Para Calibración de Tanques de Almacenamiento. *Tesis de Tecnología, UTE*.
4. Chang, R. (2007). Estudio de Mediciones en Tanques de Almacenamiento de Hidrocarburos. *Tesis de Ingeniería, USCG*.
5. ECOPETROL. (2005). "Calibración de Tanques". Obtenido de [http://www.ecopetrol.com.co/documentos/41020\\_CAPITULO\\_2\\_CALIBRACION\\_TANQUES.pdf](http://www.ecopetrol.com.co/documentos/41020_CAPITULO_2_CALIBRACION_TANQUES.pdf)
6. Gupta, S. V. (2010). "Comprehensive Volume and Capacity Measurements".
7. NORMA API MPMS. (First Edition 1995. Reaffirmed 2012). Measurement and Calibration of Upright Cylindrical Tanks by the Manual Tank Strapping Method. First Edition 1995. Reaffirmed 2012. 2-2A.
8. Norma API, M. (2012). *Capítulo 2, Sección 2A*.
9. ORTIZ, J. (2013). Tecnologías para Calibración de Tanques Cilíndricos Verticales Para Almacenamiento de Crudo. Oleoductos de Crudos Pesados. *ECUADOR*.
10. Palacios, C. (2006). Tanques de Almacenamiento de Hidrocarburos. *Tesis de Ingeniería. UMB*.
11. PAREDES, C. (2006). Tanque Horizontal con Cabeza Plana. *Monografía*.
12. RAIMIR, L. (2007). *SENCAMER*. Obtenido de "Calibración en Tanques de Gran Capacidad": [www.sencamer.gob.ve/sencamer/documents/Lab\\_GV\\_Tanques.ppt](http://www.sencamer.gob.ve/sencamer/documents/Lab_GV_Tanques.ppt)
13. SCRIBD. (2008). Obtenido de Recipientes a presión: [www.scribd.com/doc/17247549/disenio-y-calculo-de-recipientes-apresion](http://www.scribd.com/doc/17247549/disenio-y-calculo-de-recipientes-apresion)
14. *Sencamer*. (2013). Obtenido de Tanques.ppt: [www.sencamer.gob.ve/sencamer/documents/Lab\\_GV\\_Tanques.ppt](http://www.sencamer.gob.ve/sencamer/documents/Lab_GV_Tanques.ppt)
15. Vásquez, R. (2012). Estudio comparativos entre los métodos de Cubicación Líquida y Cubicación Geométrica para Tanques Cilíndricos Verticales Estacionarios Para Almacenamiento de Derivados Líquidos de Petróleo Para Minimizar la Incertidumbre. *Tesis de Ingeniería, UEG*.

16. Guaranda, W (s.f.). INREDH. Apuntes sobre la Explotación Petrolera en el Ecuador. Obtenido de [http://www.inredh.org/index.php?option=com\\_content&id=288:explotacion-petrolera-en-el-ecuador&Itemid=126](http://www.inredh.org/index.php?option=com_content&id=288:explotacion-petrolera-en-el-ecuador&Itemid=126)

## NOMENCLATURA O GLOSARIO

**ABOLLADURA:** Depresión en la superficie del tanque.

**AFORO:** Calculo de la capacidad existente en un deposito

**API:** "American Petroleum Institute", formada en 1917 para organizar la industria petrolera, a fin de ordenar la demanda de petróleo durante la primera guerra mundial. Es una organización sin fines de lucro, que sirve para coordinar y promover el interés de la industria petrolera en su relación con gobierno y otros.

**CALIBRACIÓN:** La calibración es el proceso de comparar los valores obtenidos por un instrumento de medición con la medida correspondiente de un patrón de referencia (o estándar). Según la Oficina Internacional de Pesas y Medidas, la calibración es "una operación que, bajo condiciones específicas, establece en una primera etapa una relación entre los valores y las incertidumbres de medida provistas por estándares e indicaciones correspondientes con las incertidumbres de medida asociadas y, en un segundo paso, usa esta información para establecer una relación para obtener un resultado de la medida a partir de una indicación".

**CAMPO:** proyección en superficie del conjunto de yacimientos de hidrocarburos con características similares y asociados al mismo rasgo geológico.

**DOSSIER DE CALIDAD:** expediente de calidad detallado en el que constan todas las pruebas e inspecciones realizadas durante la ejecución del proyecto, el mismo que estará debidamente firmado por los responsables del control y ejecución del proyecto.

**GRADO API:** clasificación para petróleo con propósitos particulares en función de su densidad. Numéricamente el valor es obtenido de la fórmula:  $[141.5 / \text{Grav. Espec. A } 16^\circ \text{ C}] - 131.5$ .

**OXIDACIÓN:** Pérdida de electrones por el constituyente de una reacción química. (También se refiere a la corrosión de un metal expuesto a un gas oxidante a temperaturas elevadas).

**PICADURA:** Corrosión localizada de una superficie de metal, confinada a un punto o a un área pequeña, la cual tiene forma de cavidad.

**PRODUCCIÓN:** Todo tipo de actividades en el Área de Contrato o fuera de ella en la que resulte necesario, cuya finalidad sea la extracción y manipuleo de hidrocarburos y que incluye la operación y reacondicionamiento de pozos, instalación y operación de equipos, tuberías, sistemas de transporte y almacenamiento, tratamiento y medición de hidrocarburos y todo tipo de métodos de recuperación primaria y secundaria.

**PRUEBAS AL VACÍO:** Método de inspección y verificación aplicado con la finalidad de garantizar la hermeticidad de uniones soldadas, en sitios donde no es posible radiografiar el cordón de soldadura, como en el piso de un tanque de almacenamiento. El equipo utilizado es conocido como campana de vacío, llevando el tramo sujeto de inspección en el tanque a presiones bajo cero en el sitio donde se coloque la campana de vacío.

**PRUEBAS DE REDONDEZ:** Verificación de la geometría circular de un tanque, basado en los criterios y las tolerancias dimensionales de aceptación o rechazo de la norma API 650.

**PRUEBAS HIDROSTÁTICAS:** La prueba hidrostática se la realiza llenando el tanque con agua a su máxima capacidad, dejando en reposo durante 24 horas y sin necesidad de presurizar el tanque. Método de inspección y verificación aplicado con la finalidad de garantizar la hermeticidad del tanque, garantizar que el asentamiento del tanque lleno de producto, se encuentre dentro de los límites tolerables de acuerdo a norma API-650 y también comprobar su integridad mecánica; la verificación se la realiza a diferentes alturas durante la fase de llenado y vaciado del tanque con agua.

**PRUEBAS DE DESPLAZAMIENTO DE TECHO:** Durante la prueba hidrostática se verifica que no exista desplazamiento del techo con respecto al tubo guía, tanto en la etapa de llenado como en la de vaciado del líquido,

el sello debe en lo posible mantener la misma distancia de separación al cuerpo del tanque en todo momento. Este procedimiento se aplica solamente para tanques de techo flotante.

**PRUEBAS NEUMÁTICAS:** Prueba realizada a los refuerzos de bocas y accesorios de entrada y salida de un tanque, mediante la inyección de aire a presión por los agujeros previamente realizados para este fin y la utilización de agua jabonosa en el perímetro externo del refuerzo, se verifica que no existan fugas de aire, que son fácilmente comprobables por la presencia de burbujas en el jabón.

**RECALIBRACIÓN:** La calibración es el proceso de comparar los valores obtenidos por un instrumento de medición con la medida correspondiente de un patrón de referencia (o estándar). Según la Oficina Internacional de Pesas y Medidas, la calibración es "una operación que, bajo condiciones específicas, establece en una primera etapa una relación entre los valores y las incertidumbres de medida provistas por estándares e indicaciones correspondientes con las incertidumbres de medida asociadas y, en un segundo paso, usa esta información para establecer una relación para obtener un resultado de la medida a partir de una indicación.

**RESOLUCIÓN 002 DE LA ARCH:** Resolución emitida con el fin de fijar los valores correspondientes por los servicios de regulación, control y administración que presta la Agencia de Regulación y Control Hidrocarburífero, firmada por el Directorio de la ARCH con fecha 20 de diciembre de 2012.

# **ANEXOS**

## **ANEXO 1**

Memorando base que deberá elaborar el funcionario recomendando la aprobación o rechazo de las tablas de aforo presentadas por la empresa operadora.

**Memorando Nro. -XXX-ME**

**Quito, D.M., xx de XXX de 2015**

**Coordinador Responsable**

**ASUNTO:** Informe para autorización de uso de tablas de calibración del tanque de almacenamiento de agua Nos. XXX ubicados en las instalaciones de XXX.

De mi consideración:

Mediante Oficio No. XXX, de XX de XXX de 2015 la EMPRESA OPERADORA, solicita autorización de uso de tablas de calibración del tanque de almacenamiento No. XXX ubicados en las instalaciones XXX a cargo de la EMPRESA OPERADORA. Además adjuntan los comprobantes de pago por el ítem 86 correspondiente a la Resolución Nro. 002 DIRECTORIO-ARCH-2012, acta de toma de datos, reporte de inspección, memoria técnica y estimación de incertidumbre.

Realizando el análisis técnico de los documentos para autorización de uso de tablas de calibración del tanque de almacenamiento No. XXX de capacidad de XXX BLS para almacenamiento de....., ubicados en las instalaciones XXX, se determina que los mismos cumplen con lo requerido por la ENTIDAD ADSCRITA.

Del mismo modo, se ha dado cumplimiento a la Resolución Nro. 002 DIRECTORIO-ARCH-2012, vigente a partir del 20 de diciembre de 2012, referente a los pagos por los servicios de “aprobación, registro y autorización



de uso de tablas de calibración de tanques de almacenamiento de hidrocarburos y aguas de formación, hasta 50.000 barriles” de los citados tanques ya que el pago fue registrado con los comprobantes de ingreso **Nos. XXX.**

El tanque de almacenamiento No. XXXX de capacidad de XXX BLS para almacenamiento de agua de producción, ubicado en las instalaciones XXX a cargo de la EMPRESA OPERADORA. **Cumple con lo dispuesto en las Normas API MPMS, Capítulo 2, Sección 2A por lo que se recomienda se autorice (o no se autorice) el uso de tablas de calibración realizadas por la Compañía VERIFICADORA INDEPENDIENTE.**

Con sentimientos de distinguida consideración.

Atentamente,

**TÉCNICO DE HIDROCARBUROS RESPONSABLE**

**Fuente** (ARCH C. d., 2013-2014)

## **ANEXO 2**

Formato de resolución con la cual se aprueba el uso de las tablas de calibración; la resolución deberá ser impresa en hoja membretada y numerada con el fin de evitar adulteración de documentos.

**Resolución XXX**

**Fecha**

**MINISTERIO DEL RAMO**

**ENTIDAD ADSCRITA**

**C O N S I D E R A N D O**

**QUE** el artículo 313 de la Constitución de la República del Ecuador dispone que el Estado se reserva el derecho de administrar, regular, controlar y gestionar los sectores estratégicos, de conformidad con los principios de sostenibilidad ambiental, precaución, prevención y eficiencia.

**QUE** el artículo 11 de la Ley Reformatoria de Hidrocarburos dispone que la Agencia Adscrita es el organismo técnico-administrativo encargado de regular, controlar y fiscalizar las actividades técnicas y operacionales en las diferentes fases de la industria hidrocarburífera sobre la base de los reglamentos que expida el Ministerio del Ramo.

**QUE** el numeral 04 del artículo 24 del Reglamento de Aplicación de la Ley Reformatoria a la Ley de Hidrocarburos, que contiene el Decreto Ejecutivo No. 546 de 15 de noviembre de 2010, dispone que el Director de la Agencia de Regulación y Control Hidrocarburífero ejercerá el control de todas las actividades relacionadas con el uso, manejo, tratamiento, exploración, producción, comercialización, almacenamiento y transporte de hidrocarburos, para cuyo efecto, todas las personas naturales o jurídicas, nacionales y extranjeras, son sujetos de control.

**QUE** el tercer inciso del artículo 44 del Reglamento Sustitutivo del Reglamento de Operaciones Hidrocarburíferas, dispone que los tanques de almacenamiento, antes de su uso, deberán ser calibrados y el uso de las tablas de calibración volumétrica deberá ser autorizado previamente por la ARCH,

**QUE** el tercer inciso del artículo 13 del Reglamento Sustitutivo del Reglamento de Operaciones Hidrocarburíferas, dispone que las aprobaciones o autorizaciones que expida el Ministerio de Recursos Naturales No Renovables o el Director Nacional de Hidrocarburos, según el caso, se expresarán en acuerdos ministeriales y resoluciones.

**QUE** el primer inciso del artículo 57 del Reglamento Sustitutivo del Reglamento de Operaciones Hidrocarburíferas, dispone que la construcción y operación de los centros de almacenamiento de petróleo, gas natural y derivados incluido el GLP, será realizada observando las estipulaciones respectivas.

**QUE** Mediante **Oficio No. XXX**, la EMPRESA OPERADORA, solicita autorización de uso de tablas de calibración del tanque de almacenamiento No. XXX ubicado en las instalaciones de XXX a cargo de la EMPRESA OPERADORA. Además adjunta los comprobantes de pago por el ítem XX de la Resolución Nro. 002 DIRECTORIO-ARCH-2012, acta de toma de datos, reporte de inspección, memoria técnica y estimación de incertidumbre.

**QUE** mediante **Memorando Nro. XXX**, se emite informe favorable para la aprobación del uso de tablas de calibración del tanque de almacenamiento No. XXX de capacidad de XXX BLS para almacenamiento de agua de producción, ubicado en las instalaciones del XXX a cargo de la EMPRESA OPERADORA

**QUE** la ENTIDAD ADSCRITA emite los comprobantes de ingreso ingreso **Nos. XXX**, por el pago del servicio de aprobación, registro y autorización de

uso de tablas de calibración del tanque de almacenamiento No. XXX dando cumplimiento a la Resolución 002 vigente a partir del 20 de diciembre de 2012.

**QUE** es obligatorio el uso del Sistema Internacional de Unidades, (SI), establecido en La Ley del Sistema Ecuatoriano de Calidad, promulgada en el Registro Oficial No. 26 del 22 de Febrero del 2007, por lo que la calibración de los mencionados tanques ha realizado acorde a éste marco legal vigente.

**EN EJERCICIO** de la facultad conferida por los incisos terceros de los Artículos 13 y 57 del Reglamento Sustitutivo del Reglamento de Operaciones Hidrocarburíferas, en concordancia con el Art. 5 de la Ley Reformatoria de Hidrocarburos.

#### **RESUELVE**

**ART. 1.-Aprobar el uso de tablas de calibración** del tanque de almacenamiento No. XX con capacidad nominal de XXX BLS c/u ubicado en las instalaciones XXX a cargo de la EMPRESA OPERADORA, elaboradas por la **Compañía VERIFICADORA INDEPENDIENTE** en Cms-Bls-M<sup>3</sup> según la Norma API MPMS Cap. 2.2A, debidamente calificada en la ENTIDAD ADSCRITA, a cargo de la EMPRESA OPERADORA y controlar la correcta utilización de las mismas en las mediciones de campo.

**ART. 2.- Incorporar** a la presente Resolución las tablas originales de calibración del tanque de almacenamiento No. XXX, a cargo la EMPRESA OPERADORA

**ART. 3.-** El cambio o modificación de las condiciones detalladas en el artículo 1 de esta resolución, extinguirá *ipso jure* o de pleno derecho esta autorización.

**ART. 4.-** La presente Resolución comuníquese a la EMPRESA OPERADORA y a la Dirección competente, a fin de que surta los efectos legales pertinentes.

**DIRECTOR O SU DELEGADO**

**Fuente:** (ARCH C. d., 2013-2014)

### ANEXO 3

Formato de oficio con el cual se comunica a la empresa operadora la aprobación del uso de las tablas de aforo.

**Oficio Nro. XXX-OF**

**Fecha**

**Asunto:** Aprobación de instalación de tanque XXX ubicado en las instalaciones XXX, a cargo de la EMPRESA OPERADORA.

Señor

EMPRESA OPERADORA

En su Despacho

De mi consideración:

Mediante Oficio No. XXX, la EMPRESA OPERADORA, solicita autorización de uso de tablas de calibración del tanque de almacenamiento No. XXX ubicados en las instalaciones de XXX a cargo de la EMPRESA OPERADORA. Además adjuntan los comprobantes de pago por el ítem 86 correspondiente a la Resolución Nro. 002 DIRECTORIO-ARCH-2012, acta de toma de datos, reporte de inspección, memoria técnica y estimación de incertidumbre.

Al respecto, la ENTIDAD ADSCRITA, en cumplimiento de sus facultades de regulación, control y fiscalización y en virtud del informe contenido en **el Memorando Nro. XXX**, remite el comprobante de ingreso **Nos. XXX**, y la **Resolución No.-XXX**, impresa en hojas con **No. XXX**, con la cual se **aprueba el uso de las tablas de aforo**, del tanque de almacenamiento No. XXX, de una capacidad nominal de XX Bls, de almacenamiento de agua de

producción, ubicado en las instalaciones XXX, a cargo de la EMPRESA OPERADORA.

Con sentimientos de distinguida consideración.

Atentamente,

**COORDINACIÓN RESPONSABLE**

**Fuente:** (ARCH C. d., 2013-2014)

### ANEXO 4

Acta de toma de datos de campo en la cual constan los datos generales del tanque de almacenamiento T-4602.

ACTA DE TOMA DE DATOS DE CAMPO	
PLACA DEL TANQUE:	T-4602
PROPIETARIO:	
UBICACIÓN:	Po 14 yon km 1/2
TERMINAL/ESTACIÓN:	
FECHA:	21/12/2014
TIPO DE TANQUE:	Vertical
PRODUCTO A ALMACENAR:	Diesel API @ 60°F: 37
NORMA APLICADA:	API MPMS 2.2 A
CAPACIDAD APROX.:	300 BBLs
ALTURA TOTAL DEL TANQUE APROX.:	4877 mm
LARGO APROX.:	(N/A)
ANCHO DEL TANQUE APROX.:	(N/A) Diámetro nominal = 3536 mm
TEMPERATURA AMBIENTE:	32 °C
N° DE LÁMINAS:	2 Anillos
ESPESOR DE LÁMINAS:	


  

LÁMINAS	1	2	3	4	5
ESPESOR, (mm)	6,22	6,48	1,04	6,30	6,76


**NOTA:**

Los datos técnicos de la toma de datos de diámetros y longitudes de accesorios serán proporcionados en las memorias de cálculos y datos de campo, junto a las correspondientes tablas de tablas de calibración del auto tanque mencionado.


Como constancia de los datos obtenidos firman los siguientes delegados:



\_\_\_\_\_  
FUNCIONARIO DE LA I



\_\_\_\_\_  
FUNCIONARIO DE L



\_\_\_\_\_  
FUNCIONARIO DE E

Fuente: (ARCH C. d., 2013-2014)



## ANEXO 5

### Memoria de cálculo del tanque T-4602

FECHA:	diciembre-14
TANQUE N°	T-4602
PROPIETARIO	REPSOL
LOCALIZACION	POMPEYA
ALTURA TOTAL	4,859
TECHO	FLOJO
PESO TECHO	N/A                      Kg
CONTENIDO	DIESEL
*API @ 60 °F	37
ESP. LAMINA	0,00656                      M.                      8,6                      mm.

ANILLO	DIAMETRO EXTERNO M	ESPESOR C/ANILLO M	DIAMETRO INTERNO M	ALTURA C/ANILLO M	ALTURA M
A	3,5383	0,00656	3,52516	2,409	1,9272
B	3,5536	0,00655	3,54048	2,450	4,3690

3,546	0,007	3,533	4,859
-------	-------	-------	-------

**ACCESORIOS**

**DESPLAZAMIENTOS POSITIVOS**

DESCRIPCION	N°	DIAM.NOMI. PULG	DIAM.NOMI. CM	ESPESOR CM	ELEVACION (M.)		VOLUMEN BBL	VOL. INCREM. BBL*CM
					de	a		
PUERTA DE LIMPIEZA	1	60,5	91	15	0	0,91	0,519443637	0,003428671
DESCARGA DE FLUIDO	1	2	5,08	30	0,22	0,27	0,003824626	0,000752879
DRENAJE	1	3	7,62	63	0,75	0,83	0,018071358	0,002371569

**DESPLAZAMIENTOS NEGATIVOS**

DESCRIPCION	N°	DIAM.NOMI. PULG	DIAM.NOMI. CM	ESPESOR CM	ELEVACION (M.)		VOLUMEN BBL	VOL. INCREM. BBL*CM
					de	a		
N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

**1. CALCULOS**

**CIRCUNFERENCIAS INTERIORES**

CIRCUNFERENCIA	M
A	11,07463106
B	11,12274175
C	0,00000000
D	0,00000000

**VOLUMENES INCREMENTALES**

$V_i = (Cir)^2 \times 0,0050058169$  (BBL POR CM)                      CTE= 0,005005817

\*API DE = 36,0                      GRAV. ESPC = 0,844776119 g/cm<sup>3</sup>                      134,3047039                      Kg/bb

ELASTICIDAD DE PLANCHAS = 2038891100 gr/cm<sup>2</sup>

EXP = 7,35154976E-9                      F.C.T. en la pared del Tk. (15,0 C)                      1,00000

H (M)  
C (M)  
T (CM)

**2. HOJA DE CALCULO**

ALTURA M	DIAM. MEDIDO M	CIRCF. INTERI M	ALT. ANILLOS M	ESP. ANIL M	EXP. CALOR M	CIR. MED M	VOL. INCREMEN BBL X CM	VOL. INC. CORREG. BBL X CM
1,9272	3,525	11,07463106	2,409	0,007	330,28945E-6	11,074961	0,6139873	0,6139873
4,3690	3,540	11,12274175	4,859	0,007	675,03964E-6	11,123417	0,6193717	0,6193717

PARA MM                      0,061667952

**3. DATOS SUMIDERO Y FONDO**

<b>FONDO CONICO</b>	<b>SUMIDERO</b>
Altura de Cono = 0,051 metros	Diametro = 0,000 metros
Diametro = 3,53 metros	Altura = 0 metros
Volumen = 2,026 barriles	Volumen = 0,0000 barriles

Fuente: (ARCH C. d., 2013-2014)

## ANEXO 6

### Cálculo del volumen del fondo cónico del tanque T-4602

INDUSTRIA CALIBRACION DE TANQUES-HOJAS DE DATOS (MEMORIA TECNICA)				BVE-IDD-RL-RPV RAT						
				Rev No 01						
				Fecha: 01/05/2014						
				Pag 1 de 1						
				APROBADO POR:						
NORMA DE REFERENCIA		ELABORADO POR:		REVISADO POR:		COORDINADOR BVE-IDD				
ISO 17020:2012		INSPECTOR		INSPECTOR		POMPEYA KM 1 1/2				
CLIENTE:				LOCALIDAD:		POMPEYA KM 1 1/2				
TANQUE:		T-4602		DIESEL		FECHA		dic-14		
CALCULO DE VOLUMEN DEL FONDO CONICO HACIA ARRIBA										
DATOS										
DIAMETRO INTERNO DEL TANQUE:				3,525		m				
ALTURA DEL CONO:				0,051		m				
SUMIDERO:		M		Volumen		1		0,000		Blts
DIAMETRO		0								
ALTURA		0								
* NIVEL CERO										
	h	l	r	V cilindro	V cono trunc	V fondo con.	V fondo con.	V fondo con.	V tanque	
	cm	m.	m	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	BBL	Gal.	BBL	
→ 0	0	0	1,763						0,00	
1	1	0,003	1,417	0,098	0,080	0,018	0,11	4,73	0,11	
2	2	0,007	1,071	0,195	0,129	0,067	0,42	17,58	0,42	
3	3	0,010	0,726	0,293	0,154	0,138	0,87	36,58	0,87	
4	4	0,014	0,380	0,390	0,164	0,226	1,42	59,74	1,42	
5	5	0,017	0,035	0,488	0,166	0,322	2,03	85,09	2,03	
<p><b>NOTA:</b> El cono truncado está a 5,1 cm. del fondo del tanque y ya intersección con la horizontal. La placa de aforo está a 0 cm. desde el piso en el cono del tanque</p>										

Fuente: (ARCH C. d., 2013-2014)