



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO**

**“REDISEÑO Y MEJORA DEL SOFTWARE DE CALIBRACIÓN
DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE HIDROCARBUROS
USANDO LAS NORMAS API MPMS E ISO APLICABLES, PARA LA
EMPRESA PETROAFIN S.A.”**

**AUTORES: CHANGOLUISA CODENA, JONATHAN DAVID
GRIJALVA ROMAN, JOSEPH GABRIEL**

TUTOR : Msc. Ing. CARRIÓN MATAMORROS, LUIS MIGUEL

SANGOLQUÍ

2019



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, **“REDISEÑO Y MEJORA DEL SOFTWARE DE CALIBRACIÓN DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE HIDROCARBUROS USANDO LAS NORMAS API MPMS E ISO APLICABLES, PARA LA EMPRESA PETROAFIN S.A.”** fue realizado por los señores **CHANGOLUISA CODENA, JONATHAN DAVID y GRIJALVA ROMAN, JOSEPH GABRIEL**, el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, Mayo 2019

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Luis Carrión', is written over a horizontal dotted line.

Msc. Ing. Luis Carrión.

C.C: 1103574677



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y
MECÁNICA**

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

CHANGOLUISA CODENA, JONATHAN DAVID

GRIJALVA ROMAN, JOSEPH GABRIEL

DECLARAMOS QUE:

El contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **“REDISEÑO Y MEJORA DEL SOFTWARE DE CALIBRACIÓN DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE HIDROCARBUROS USANDO LAS NORMAS API MPMS E ISO APLICABLES, PARA LA EMPRESA PETROAFIN S.A.”** es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas. Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Sangolquí, Mayo 2019

Changoluisa Codena Jonathan David

Grijalva Roman Joseph Gabriel

C.C: 172122013-3

C.C: 172219278-6



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

AUTORIZACIÓN

CHANGOLUISA CODENA, JONATHAN DAVID

GRIJALVA ROMAN, JOSEPH GABRIEL

Autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación:
“REDISEÑO Y MEJORA DEL SOFTWARE DE CALIBRACIÓN DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE HIDROCARBUROS USANDO LAS NORMAS API MPMS E ISO APLICABLES, PARA LA EMPRESA PETROAFIN S.A.” en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Sangolquí, Mayo 2019

.....
Changoluisa Codena Jonathan David

Gabriel

.....
Grijalva Roman Joseph

C.C: 172122013-3

C.C: 172219278-6

DEDICATORIA

A Dios, por guiarme y darme la oportunidad de alcanzar este objetivo importante en mi vida. A mis padres por apoyarme y enseñarme los valores que hoy me han formado como la persona que soy, a mi hermana por el cariño y apoyo mostrado durante mi vida y a mi novia por la paciencia y la lealtad demostrada, y por estar a mi lado en todos los momentos difíciles de mi carrera.

Joseph Gabriel Grijalva Roman

A Dios, por ser el forjador de mi camino y aquel que me ha permitido cumplir esta meta tan importante en mi vida, a mis padres por su apoyo constante e incondicional los cuales han sabido guiarme y formarme con los mejores valores para ser una persona de bien.

A mi hermana por la ayuda y comprensión que ha demostrado en el trayecto de mi vida, así mismo, a mi novia por su apoyo inmenso y sus palabras de aliento ante las adversidades.

Jonathan David Changoluisa Codena

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a Dios por habernos acompañado hasta este momento la vida, donde pudimos culminar nuestra carrera de ingeniería y ser el apoyo y fortaleza en aquellos momentos de dificultad y de debilidad.

Gracias también a nuestra querida Universidad de las Fuerzas Armadas Espe, por darnos las herramientas para poder ser buenos profesionales y buenas personas, finalmente gracias a la empresa auspiciante por brindarnos los conocimientos necesarios para desarrollar el presente proyecto de titulación con éxito.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN.....	i
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD.....	ii
AUTORIZACIÓN.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xix
ÍNDICE DE TABLAS.....	xvii
RESUMEN.....	xxiv
PALABRAS CLAVES.....	xxiv
ABSTRACT	xxv
KEYWORDS.....	xxv
CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Introducción	1
1.2. Objetivos	2
1.2.1. Objetivo General	2

1.2.2. Objetivos Específicos.....	2
1.3. Alcance del proyecto.....	3
1.4. Antecedentes y justificación del proyecto	4
1.5. Área de Influencia.....	5
CAPITULO 2. MARCO TEÓRICO	6
2.1. Hidrocarburos.....	6
2.2. Tanques de almacenamiento de hidrocarburos	7
2.2.1. Introducción.....	7
2.2.2. Tipos de tanques de almacenamiento de hidrocarburos	8
2.2.2.1. Tanques verticales.....	9
a) Techo fijo.....	10
b) Techo Flotante.....	12
c) Sin Techo.....	16
2.2.2.2. Tanques Horizontales.....	16
a) Cabezas Elípticas.....	17
b) Torisféricas.....	18
c) Planas.....	19
d) Semielípticas	20
e) Cónicas	21
2.2.2.3. Tanques Esféricos	21
2.2.2.4. Tanques Esferoidales	22

2.3. Métodos de calibración de tanques para almacenar hidrocarburos	23
2.3.1. Introducción	23
2.3.2. Métodos de calibración de tanques de almacenamiento	25
2.3.2.1. Método de Calibración Geométrica	25
2.3.2.2. Método de Calibración Volumétrica (Líquida).....	27
2.3.2.3. Método de calibración de Distancia Electroóptica Interno	28
2.3.2.4. Método de calibración de Distancia Electroóptica Externa	30
2.3.2.5. Método de línea de referencia óptica	31
2.3.2.6. Método de triangulación óptica	32
2.3.3. Trazabilidad de patrones	33
2.3.4. Incertidumbre en la calibración de tanques de almacenamiento.	34
2.3.4.1. Incertidumbres tipo A y tipo B	35
2.3.4.1.1. Incertidumbre Tipo A.....	35
2.3.4.1.2. Incertidumbre de Tipo B	35
a) Distribución rectangular	36
a) Distribución triangular	36
b) Distribución normal	37
2.3.4.2. Incertidumbre debido al patrón o a un instrumento calibrado.	37
2.3.4.3. Incertidumbre dada por la resolución del instrumento.	38
2.3.5. Estimación de la incertidumbre	38
2.3.5.1. Propagación de incertidumbre	38
2.3.5.2. Incertidumbre expandida	38

2.4. Software de Programación	39
CAPÍTULO III. MEDICIONES.....	40
3.1. Equipos de Mediciones	40
3.1.1. Plomada con cinta para medir alturas.....	40
3.1.2. Cinta de Aceros para medidas externas	41
3.1.3. Flexómetro.....	42
3.1.4. Estación Total	43
3.1.5. Micrómetro	45
CAPÍTULO IV. CALIBRACIÓN DE TANQUES DE	
ALMACENAMIENTO.....	46
4.1. Calibración de tanques Verticales por el método de encintado	46
4.1.1. Correcciones	46
4.1.1.1. Corrección de la cinta a temperatura base	46
4.1.1.2. Corrección por la elevación de la cinta de medición	47
4.1.1.3. Corrección de circunferencia medida a base de tanque vacío	48
4.1.1.4. Corrección de circunferencia externa a interna	49
4.1.1.5. Corrección dada por el incremento de volumen por anillo.....	50
4.1.1.6. Corrección por cabezal líquido	50
4.1.1.7. Corrección por inclinación del tanque	51
4.1.1.8. Corrección de volumen almacenado por efecto de temperatura.....	51
4.1.1.9. Incrementos y reducciones.....	52
a) Volumen debido a los accesorios.....	53

b) Volumen debido al fondo del tanque	53
c) Volumen de fondo plano	54
d) Volumen de fondo cónico hacia abajo	54
e) Volumen de fondo cónico hacia arriba.....	54
f) Volumen debido al techo flotante	56

4.2. Calibración de tanques de almacenamiento Verticales por el método

Electroóptico interno	58
-----------------------------	----

4.2.1. Selección de puntos objetos.....	59
---	----

4.2.2. Determinación del radio del círculo por el método de mínimos cuadrados	
---	--

.....	61
-------	----

4.2.3. Cálculo de los radios y circunferencia interna.....	63
--	----

4.2.4. Correcciones	64
---------------------------	----

4.3. Calibración de tanques de almacenamiento Verticales por el método

Electroóptico externo	64
-----------------------------	----

4.3.1. Procedimiento según norma establecida.....	65
---	----

4.3.2. Determinación del número de estaciones	65
---	----

4.3.3. Posicionamiento de los puntos objetivos.....	66
---	----

4.3.4. Determinación del radio del círculo por el método de mínimos cuadrados	
---	--

.....	66
-------	----

4.3.5. Calculo de los radios y circunferencia externa.....	66
--	----

4.3.6. Correcciones	66
---------------------------	----

4.4. Calibración de recipientes Horizontales por el Método de encintado.....	67
--	----

4.4.1. Medidas Externas	67
4.4.2. Medidas Internas.....	69
4.4.3. Calibración Según tipo de Cabezas	69
4.4.3.1. Cabezas Torisféricas	70
4.4.3.2. Cabezas Elípticas	72
4.4.3.3. Cabezas Esféricas.....	73
4.4.3.4. Cabezas Cónicas	74
4.4.4. Correcciones	74
4.4.4.1. Corrección de Presión de Trabajo.....	75
4.4.4.2. Corrección por Temperatura	77
4.4.4.3. Corrección de Presión del líquido.....	78
4.4.4.4. Corrección de Inclinación	78
4.5. Calibración de tanques Esféricos	79
4.5.1. Procedimiento según norma establecida.....	80
4.1.1.1 Calibración por Cinta Métrica- Esferas- Esferoides	81
4.1.1.2 Calibración Por Tanque- Esferas- Esferoides	81
4.5.2. Correcciones	82
4.5.2.1. Corrección por Temperatura.....	82
4.6. Calibración de tanques por el método volumétrico.....	84
4.6.1. Corrección por calibración del medidor	85
4.6.2. Ajuste del coeficiente de temperatura (contrastador-tanque)	85
4.6.3. Ajuste del coeficiente de temperatura (entre corridas en el tanque).....	85

4.7. Incertidumbre de volumen en tanques de almacenamiento de hidrocarburos	86
4.7.1. Incertidumbre de volumen en tanques de almacenamiento por el método de encintado	86
4.7.1.1. Incertidumbre de componentes	86
4.7.1.1.1. Incertidumbre por la longitud de la cinta	86
4.7.1.1.2. Incertidumbre por lectura de la cinta.....	87
4.7.1.1.3. Incertidumbre dada por la tensión y posición de la cinta.	87
4.7.1.1.4. Incertidumbre debido a la alineación de la cinta.....	88
4.7.1.1.5. Incertidumbres de obstrucciones.	89
4.7.1.2. Incertidumbres de la circunferencia interna en condiciones de calibración.....	89
4.7.1.2.1. Incertidumbre estándar de circunferencia externa	89
4.7.1.2.2. Incertidumbres de volumen en condiciones de calibración (volumen bruto).....	90
4.7.1.2.2.1. Incertidumbre promedio de anillo	90
4.7.1.2.2.2. Incertidumbre por la forma del tanque.	90
4.7.1.2.2.3. Incertidumbre de inclinación del tanque.....	90
4.7.1.2.2.4. Incertidumbre por fondo de del tanque.....	91
4.7.1.2.2.5. Incertidumbre debido al techo flotante / volumen muerto ..	91
4.7.1.3. Incertidumbres adicionales	91
4.7.1.3.1. Incertidumbres del metal y espesor de pintura.	91
4.7.1.3.2. Circunferencia interna	92

4.7.1.3.3. Radio interno	92
4.7.1.3.4. Área transversal interna.....	92
4.7.1.3.5. Volumen Bruto	93
4.7.1.4. Incertidumbre expandida de volumen en condiciones de calibración.	93
4.7.1.5. Incertidumbre de volumen en condiciones de referencia	94
4.7.1.5.1. Mediciones y cálculos	94
4.7.1.5.2. Deformación hidrostático en condiciones de referencia.	94
4.7.1.5.3. Corrección por expansión térmica del tanque y cinta de medición en condiciones de referencia	95
4.7.1.6. Incertidumbres hidrostáticas adicionales	97
4.7.1.7. Incertidumbre expandida de volumen en la tabla de capacidad del tanque.....	98
4.7.1.8. Incertidumbre en condiciones de servicio.....	98
4.7.1.8.1. Corrección por deformación debido a la presión hidrostática....	98
4.7.1.8.2. Incertidumbre estándar expresado en porcentaje de volumen de la corrección del volumen por expansión térmica.....	98
4.7.1.8.3. Inmersión.....	99
4.7.1.8.4. Incertidumbre de volumen total	100
4.7.2. Incertidumbre de volumen en la calibración de tanques de almacenamiento por el método de electroóptico interno.....	100
4.7.2.1. Incertidumbre de componentes	100
4.7.2.2. Incertidumbres	101

4.7.3. Incertidumbre de volumen en la calibración de tanques de almacenamiento por el método de electróptico externo	103
4.7.3.1. Incertidumbre de componentes	103
4.7.3.2. Incertidumbres	104
4.7.4. Incertidumbre de volumen en la calibración de tanques de almacenamiento por el método volumétrico	105
4.7.4.1. Procedimiento para calcular la incertidumbre en la determinación volumétrica.	105
4.7.4.1.1. Incertidumbre de referencia estándar	105
4.7.4.1.2. Temperatura estándar de referencia de agua	106
4.7.4.1.3. Temperatura del agua de la capacidad estándar	106
4.7.4.1.4. Coeficiente de dilatación térmica del material del estándar de referencia.....	106
4.7.4.1.5. Coeficiente de dilatación térmica del agua	106
4.7.4.1.6. Incertidumbre por lectura de medida de capacidad estándar ...	107
4.7.4.1.2. Incertidumbre por repetitividad de medida	107
4.7.4.1.2.1. Coeficientes de sensibilidad de cada cantidad.....	107
4.7.4.1.2.2. Incertidumbre estándar combinada medida	108
CAPÍTULO V. DISEÑO DE SOFTWARE.....	109
5.1. Introducción	109
5.2. Visualización de pantalla principal para el rediseño del software	109
5.2.1. Tanques verticales	110

5.2.2. Tanques horizontales	114
5.2.3. Tanques esféricos	120
5.3. Flujoograma de programación para el rediseño del Software.....	122
CAPITULO VI. EVALUACIÓN DE SOFTWARE	130
6.1. Evaluación de resultados para tanques verticales	130
6.1.1. Tablas de calibración	130
6.2. Evaluación de resultados para tanques horizontales	151
6.2.1. Tablas de calibración- Cabezas Toriesféricas	151
6.3. Evaluación de resultados para tanques esféricos.....	167
6.3.1. Tablas de calibración	167
6.4. Evaluación de resultados para tanques esferoidales.....	173
6.4.1. Tablas de calibración	173
6.5.Evaluación de resultados para calibración Líquida.....	177
CAPÍTULO VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	181
CAPÍTULO VIII. BIBLIOGRAFÍA	183
ANEXOS.....	185
A. EJEMPLO DE CÁLCULOS.....	185
1. Calibración de tanque vertical método de encintado	185
1.1 Incertidumbre	210
2. Calibración de tanques horizontales Método de encintado	215

3. Calibración de tanques esféricos	222
4. Calibración de tanques Esferoidales	226
MANUAL DE USUARIO.....	233
1. Pantalla principal	233
1.1 TANQUES VERTICALES	234
1.2 TANQUES ESFÉRICOS-ENCINTADO	240
1.3 MANUAL TANQUES ESFEROIDALES-ENCINTADO.....	241
1.4 MANUAL TANQUES HORIZONTALES -ENCINTADO	243
1.5 INGRESO DE ACCESORIOS	247
1.6 CALIBRACIÓN LÍQUIDA.....	247
CERTIFICADO DE ACEPTACIÓN.....	251

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Número de Puntos Mínimos por anillo-API MPMS 2.2D</i>	29
Tabla 2. <i>Puntos de circunferencia para ajuste</i>	143
Tabla 3. <i>Radio ajustados</i>	144
Tabla 4. <i>Errores Volumen Tanques Verticales Método Electroóptico</i>	150
Tabla 5. <i>Errores Volumen Tanques Horizontales Cabeza Toriesférica</i>	154
Tabla 6. <i>Errores Volumen Tanques Horizontales Cabeza Elipticas</i>	158
Tabla 7. <i>Errores Volumen Tanques Horizontales Cabeza Esféricas</i>	162
Tabla 8. <i>Errores Volumen Tanques Horizontales Cabeza Cónicas</i>	166
Tabla 9. <i>Errores Volumen Tanques Esféricos</i>	172
Tabla 10. <i>Errores Volumen Tanques Esféroidales</i>	176
Tabla 11. <i>Errores Volumen Calibración líquida</i>	180

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Tanques Verticales.....	9
<i>Figura 2.</i> Tanque Vertical de Techo fijo	10
<i>Figura 3.</i> Tipos de Techos Fijos	11
<i>Figura 4</i> Tanques de techo Auto soportados	11
<i>Figura 5.</i> Tanques de techo Soportados	12
<i>Figura 6.</i> Tanque de almacenamiento con techo flotante externo (Tipo Pontón)	14
<i>Figura 7.</i> Tanque de almacenamiento con techo	15
<i>Figura 8.</i> Tanque de almacenamiento vertical con techo flotante interno	16
<i>Figura 9.</i> Tanque Horizontal-Tank and Vessel Handbook- Process Fabricators Inc.	17
<i>Figura 10.</i> Cabeza Elíptica-Slawinski products	18
<i>Figura 11.</i> Cabeza Toriesférica- Slawinski products	19
<i>Figura 12.</i> Cabeza Plana-Slawinski products.....	19
<i>Figura 13.</i> Cabeza Semielípticas-Slawinski products	20
<i>Figura 14.</i> Cabeza Semiesférica-Slawinski products	21
<i>Figura 15.</i> Tanque Esférico-EWP	22
<i>Figura 16.</i> Tanque Esferoide	23
<i>Figura 17.</i> Cinta Maestra.....	26
<i>Figura 18.</i> Encintado de Tanque Vertical	26
<i>Figura 19.</i> Calibración Volumétrica de Tanque Horizontal.....	28
<i>Figura 20.</i> Calibración Electroóptica Interna	29
<i>Figura 21.</i> Calibración Electroóptica Externa- API MPMS 7507-5	31

<i>Figura 22.</i> Método de referencia óptica	32
<i>Figura 23.</i> Pirámide de Trazabilidad	34
<i>Figura 24.</i> Distribución rectangular	36
<i>Figura 25.</i> Distribución rectangular	36
<i>Figura 26.</i> Distribución normal	37
<i>Figura 27.</i> Plomada con Cinta de Medición.....	40
<i>Figura 28.</i> Cinta de Acero-API MPMS 2.2A R 2012	41
<i>Figura 29.</i> Flexómetro	42
<i>Figura 30.</i> Estación Total	44
<i>Figura 31.</i> Micrómetro	45
<i>Figura 32.</i> Circunferencia verdadera frente a trayectoria de cinta	48
<i>Figura 33.</i> Desde y hasta de accesorios del tanque	53
<i>Figura 34.</i> Esquema de altura de cono menor a altura de platina	55
<i>Figura 35.</i> Esquema de fondo de altura de cono mayor a altura de platina	56
<i>Figura 36.</i> Diagrama de techo flotante en reposo (A) y flotante (B)	58
<i>Figura 37.</i> Diagrama de techo flotante en reposo (A) y flotante (B)	59
<i>Figura 38.</i> Ilustración de la ubicación objeto en la pared del tanque	60
<i>Figura 39.</i> Ilustración del procedimiento de calibración.....	61
<i>Figura 40.</i> Circunferencia y coordenada	62
<i>Figura 41.</i> Medidas de diámetros de circunferencias.....	68
<i>Figura 42.</i> Cálculo del Volumen del Cilindro.....	70
<i>Figura 43.</i> Calculo del Volumen de la Cabeza Torisférica	72
<i>Figura 44.</i> Sección de las cabezas (API MPMS 2.2E).....	73

Figura 45. Corrección de volumen para depósitos cilíndricos con eje inclinado.....	79
Figura 46. Tanque Esférico	80
Figura 47. Coeficiente de corrección de volumen por expansión o contracción térmica de tanques esféricos y esferoidales.	83
Figura 48. Tabla de Constantes	84
Figura 49. Tolerancias de circunferencias de tanque	88
Figura 50. Pantalla principal	109
Figura 51. Pantalla Tanques Verticales.....	110
Figura 52. Pantalla Electrónico Interno	111
Figura 53. Ventana para importar puntos.....	112
Figura 54. Pantalla Eléctroóptico externa	112
Figura 55. Ventana para importar puntos.....	113
Figura 56. Ventana Encintado.....	113
Figura 57. Ventana De calibración líquida	114
Figura 58. Pantalla Tanques horizontales	115
Figura 59. Ventana Encintado para cabezas toriesféricas	116
Figura 60. Ventana Encintado para cabezas elípticas	117
Figura 61. Ventana Encintado para cabezas esféricas	118
Figura 62. Ventana Encintado para cabezas cónicas	119
Figura 63. Ventana para Generación de resultados.....	120
Figura 64. Pantalla de tanques esféricos	120
Figura 65. Ventana de encintado en tanques esféricos	121
Figura 66. Generación de tablas.....	122

Figura 67. Introducciónn de datos de entrada y circunferencias.....	130
Figura 68. Introducción de alturas	131
Figura 69. Introducción de accesorios	131
Figura 70. Introducción de espesores.....	132
Figura 71. Introducción de datos de soldadura	132
Figura 72. Introducción de incertidumbre.....	133
Figura 73. Tabla de aforo de tanques verticales por el método de encintado en SI.....	136
Figura 74. Tabla de aforo de tanques verticales por el método de encintado en SA	138
Figura 75. Introducción de datos de entrada y altura de anillos.....	141
Figura 76. Introducción de espesores del tanque	142
Figura 77. Introducción de tipos de juntas	142
Figura 78. Tabla de aforo de tanques verticales por el método de E. Externo SI.....	147
Figura 79. Tabla de aforo de tanques verticales por el método de E. Externo SA	149
Figura 80. Introducción de datos de entrada en Tanques Horizontales-Cabeza Toriesférica	151
Figura 81. Tabla de aforo de tanques horizontales-Cabezas Toriesféricas por el método de encintado en SI.....	152
Figura 82. Tabla de aforo de tanques horizontales-Cabezas Toriesféricas por el método de encintado en SA.....	152
Figura 83. Introducción de datos de entrada en Tanques Horizontales- Cabeza Eliptica.....	155
Figura 84. Tabla de aforo de tanques horizontales-Cabezas Elípticas por el método de encintado en SI	156
Figura 85. Tabla de aforo de tanques horizontales-Cabezas Elípticas por el método de encintado en SA.....	156

Figura 86. Introducción de datos de entrada en Tanques Horizontales- Cabeza Esféricas...	159
Figura 87. Tabla de aforo de tanques horizontales-Cabezas Esfericas por el método de encintado en SI.....	160
Figura 88. Tabla de aforo de tanques horizontales-Cabezas Esfericas por el método de encintado en SA.....	161
Figura 89. Introducción de datos de entrada en Tanques Horizontales- Cabeza Cónicas	163
Figura 90. Tabla de aforo de tanques horizontales-Cabezas Conicas por el método de encintado en SI.....	164
Figura 91. Tabla de aforo de tanques horizontales-Cabezas Conicas por el método de encintado en SA.....	165
Figura 92. Introducción de datos de entrada en Tanques Esféricos	167
Figura 93. Tabla de aforo de tanques esféricos por el método de encintado en SI.....	169
Figura 94. Tabla de aforo de tanques esféricos por el método de encintado en SA	170
Figura 95. Introducción de datos de entrada en Tanques Esferoidales	173
Figura 96. Tabla de aforo de tanques esferoidales por el método de encintado en SI.....	174
Figura 97. Tabla de aforo de tanques esferoidales por el método de encintado en SA	175
Figura 98. Introducción de datos de entrada en calibración líquida	177
Figura 99. Tabla de aforo de tanques esferoidales por el método de encintado en SA	179

RESUMEN

En el presente trabajo se elaboró un rediseño y mejora del software para la calibración de tanques de almacenamiento de hidrocarburos para la empresa PETRO-AFIN S.A, con la finalidad de garantizar eficiencia, confiabilidad y seguridad en la calibración de tanques, de esta forma se contribuye a una mayor productividad de la empresa auspiciante. Analizando la situación actual del software y utilizando las normas API MPMS e ISO aplicables se desarrollo un software nuevo requerido por la empresa auspiciante, el cual incorpora nuevos métodos de calibración y confiables como la calibración electrooptica para tanques verticales, método de calibración volumétrica líquida para tanques estacionarios, se también logró calcular la incertidumbre de los tanques verticales. Posterior a que el software hace los respectivos cálculos del tanque a calibrar, se genera un reporte automatico de la calibración para su entrega al cliente.El presente software de calibración de tanques se lo dearrolló con la ayuda de un software libre, usando los modelos matemáticos de las distintas normas aplicables para cada tipo de tanque.

PALABRAS CLAVES

- **CALIBRACIÓN DE TANQUE MÉTODO DE ENCINTADO**
- **CALIBRACIÓN VOLUMÉTRICA LÍQUIDA**
- **INCERTIDUMBRE**
- **MÉTODO ELECTROOPTICO INTERNO**
- **MÈTODO ELECTROOPTICO EXTERNO**

ABSTRACT

In the present work a redesign and improvement of the software for the calibration of hydrocarbon storage tanks was developed for the company PETRO-AFIN SA, with the purpose of guaranteeing efficiency, reliability and safety in the calibration of tanks, in this way it contributes to a greater productivity of the sponsoring company. Analyzing the current situation of the software and using the applicable MPMS and ISO API standards, a new software was developed, required by the sponsoring company, which incorporates new and reliable calibration methods such as electro-optical calibration for vertical tanks, liquid volumetric tank calibration method Stationary, it was also possible to calculate the uncertainty of the vertical tanks. After the software performs the respective calculations of the tank to be calibrated, an automatic report of the calibration is generated for delivery to the client. The present tank calibration software was developed with the help of free software, using the mathematical models of the different applicable standards for each type of tank.

KEYWORDS

- **CURB METHOD TANK CALIBRATION**
- **LIQUID VOLUMETRIC CALIBRATION**
- **UNCERTAINTY**
- **INTERNAL ELECTRO-OPTICAL METHOD**
- **EXTERNAL ELECTROOPTICAL METHOD**

CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1. Introducción

La calibración de tanques de almacenamiento consiste en desarrollar una serie de mediciones para cuantificar el volumen del producto en el interior del tanque.

Los tanques y recipientes de almacenamiento no son figuras geométricas perfectas, por lo que presentan no uniformidad en su medición, siendo la superficie del fondo por la mayoría de casos no uniforme, además, la estructura del tanque cambia con el tiempo y como consecuencia también su capacidad de almacenamiento, en la fabricación de dichos tanques muchos factores pueden cambiar en su construcción respecto a los planos alterando estos la capacidad de almacenamiento. Estos recipientes están conformados por una serie de accesorios interna como externamente, estando entre estos; sumideros, manholes, tuberías, escaleras, etc., estos accesorios o elementos hacen que el volumen final del tanque cambie.

La medición de tanques se emplea en refinerías, depósitos de combustibles, terminales de almacenamiento etc., y el rendimiento de precisión del sistema o técnica de medición es muy importante a la hora de evaluar la capacidad del tanque en cualquier momento. Los métodos de calibración juegan un papel importante en la determinación de la cantidad del contenido, en la cual se deben emplear normas de calibración para llevar un alto grado de confiabilidad al momento de realizar las mediciones. Para ello se cuenta con normas de calibración, dependiendo del tipo de tanque, la API MPMS e ISO para Tanques verticales, API MPMS 2.2E para Tanques horizontales, API 2552 para Tanques esféricos y esferoidales.

PETROAFIN S.A. es una empresa dedicada a la calibración y elaboración de tablas de aforo y cuenta con un software de calibración de tanques, sin embargo, actualmente se encuentra desactualizado y bajo normas que ya no están vigentes, por tal motivo se ve en la necesidad de rediseñar el software de calibración de tanques de almacenamiento que prevea mayor rapidez, alta confiabilidad, mayor precisión y en menor tiempo en la calibración de tanques, así como, la implementación de otros métodos de calibración como el método electroóptico interno y externo, y el método de calibración volumétrico.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Realizar el rediseño y mejora del software de calibración de tanques de almacenamiento de hidrocarburos aplicando las normas API MPMS e ISO aplicables a la calibración y elaboración de tablas de aforo de tanques y recipientes para la empresa PETROAFIN S.A.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Incorporar el método de calibración en tanques verticales por el método de distancia electroóptica externa e interna.
- Incorporar el método de calibración volumétrica líquida de tanques estacionarios.
- Incorporar la generación automática de un informe de calibración final de cada tanque de almacenamiento para su entrega al cliente.

- Desarrollar una interfaz amigable con el usuario para agilizar la generación de tablas de aforo.

1.3. Alcance del proyecto

El alcance del proyecto de titulación contempla el rediseño del software de calibración, el cual debe contener:

1. Calibración Volumétrica geométrica de tanques verticales por el método manual bajo la Norma API MPMS 2.2. A e ISO 7507-1.
2. Calibración Volumétrica geométrica de tanques verticales por el método la distancia electroóptica externa bajo la Norma ISO 7507-5.
3. Calibración Volumétrica geométrica de tanques verticales por el método la distancia electroóptica interna bajo la Norma API MPMS 2.2 D, e ISO 75074.
4. Calibración Volumétrica geométrica de Esferas y Esferoides bajo la norma API 2552.
5. Calibración Volumétrica geométrica de tanques horizontales bajo la norma API MPMS 2.2 E, e ISO 12917.
6. Calibración Volumétrica líquida de tanques estacionarios bajo la norma API 2555.
7. En tanques Verticales hay que considerar el cálculo de la incertidumbre de la calibración.
8. Procesamiento de tablas de aforo de los distintos tanques a medir.

1.4. Antecedentes y justificación del proyecto

La calibración de los tanques de almacenamiento se ha convertido en un factor muy importante, ya que permite la determinación de la capacidad de los tanques de manera muy aproximada, lo cual permite tomar decisiones a las empresas dueñas de los tanques antes mencionados. (Ardila, 2011)

Si el cálculo del volumen de un fluido es erróneo podrá causar graves problemas económicos, estos problemas económicos han sido difíciles de solucionar sin que unas de las dos partes terminen perjudicadas tanto oferente como consumidor, por lo tanto, resulta sumamente importante el método y grado de exactitud en el dimensionamiento del tanque, en el cual se opta por determinar la existencia de tanques calibrados. Sin embargo, para la calibración de tanques de almacenamiento de hidrocarburos, es necesario cumplir con normas que estén vigentes y usar métodos nuevos y a la vez confiables, permitiendo tener seguridad en el futuro intercambio económico que deberá realizarse.

Existen métodos de calibración que necesitan una amplia gama de parámetros para calcular sus dimensiones y adicionalmente para corregir dichos parámetros según las respectivas normas, este proceso se hace repetitivo y por tal motivo se ve la necesidad de crear un software para disminuir el tiempo de calibración de los tanques de almacenamiento, esto conlleva en un mejoramiento en la eficacia y eficiencia de las empresas dedicadas a tal labor de calibración. (Beltran, 2006)

Actualmente la empresa de servicios Petroleros y Afines PETROAFIN S.A. cuenta con un software el cual le permite procesar los datos obtenidos en las actividades de inspección que ejecuta la empresa, cuyos resultados permiten realizar la calibración y obtención de tablas de aforo, sin embargo, la empresa se ve en la necesidad de mejorar, optimizar y actualizar el software instalado bajo normativa vigente a la entrega del presente proyecto, además requiere la implementación de otros métodos de calibración para tanques verticales, con el fin de ampliar el alcance de sus actividades en la industria hidrocarburífera.

La empresa PETROAFIN S.A. ha decidido poner en marcha la actualización del software de calibración de tanques, debido a que el software antes mencionado fue diseñado con normativa que ya no se encuentra vigente, además, el software no genera un informe de calibración y finalmente no cuenta con métodos actuales de calibración como el de distancia electro óptica para tanques verticales y el de calibración volumétrica líquida para tanques estacionarios.

1.5. Área de Influencia

El proyecto tendrá incidencia sobre la industria petrolera, específicamente en el área de inspección volumétrica de tanques y recipientes.

CAPITULO 2. MARCO TEÓRICO

2.1. Hidrocarburos

Los compuestos orgánicos más simples son aquellos compuestos de solo dos elementos: carbono e hidrógeno, estos compuestos se llaman hidrocarburos. La estructura molecular presenta un recubrimiento de átomos de carbono y están unidos a los átomos de hidrógeno.

Los hidrocarburos se encuentran entre los recursos naturales más importantes de la Tierra. En la actualidad, son la fuente principal de la energía eléctrica y la energía térmica del mundo, porque producen grandes cantidades de calor cuando se queman. Los hidrocarburos sirven como materiales base para la síntesis de productos químicos orgánicos utilizados en la producción de productos de consumo y materiales industriales.

Los hidrocarburos son los principales constituyentes del petróleo y el gas natural. El petróleo es una mezcla de hidrocarburos líquidos, mientras que el gas natural está constituido principalmente por gas metano. Los hidrocarburos se extraen de arenas bituminosas y pizarra bituminosa. Estas reservas requieren destilación y mejora para producir crudo sintético y petróleo.

Los hidrocarburos se dividen en varios tipos estructurales llamados, alcanos (C_nH_{2n+2}), alquenos (C_nH_{2n}), alquinos (C_nH_{2n-2}) y aromáticos.

2.2. Tanques de almacenamiento de hidrocarburos

2.2.1. Introducción

La creciente utilización de los productos derivados del petróleo, principalmente los combustibles, lubricantes han provocado que desemboque en el desarrollo y elaboración de tanques de almacenamiento. Dentro de la industria petrolera se opera con grandes cantidades de fluidos para el desarrollo de productos que permitan realizar las actividades humanas, de aquí la importancia del almacenamiento de hidrocarburos como paso previo o posterior a un proceso de producción. (EWP, Introduction to Storage Tanks, 2008)

Los tanques de almacenamiento contienen líquidos orgánicos, líquidos no orgánicos, vapores y se pueden encontrar en muchas industrias en especial la del petróleo. Generalmente se instalan dentro de las piletas de contención para contener derrames en caso de ruptura del tanque. Los tanques de almacenamiento han desarrollado una necesidad creciente debido a muchos factores como la alta variación de producción, venta, desastres naturales, mantenimiento de líneas de llenado y distribución, para conservar los productos de gran valor económico, así como, aquellos productos que son peligrosos al ser expuestos al medio ambiente. (Linos, 2010)

Las industrias que hacen uso del almacenamiento de hidrocarburos están obligadas a tener disponible en todo momento una cantidad de producto el cual pueda garantizar el consumo del mercado interno en un tiempo prudencial.

- Para gases y líquidos a elevadas presiones se utilizan recipientes a presión.
- Para líquidos que poseen presiones bajas se utilizan tanques de almacenamiento o atmosféricos.

Estos últimos tanques mencionados son altamente utilizados por las industrias petroleras para el almacenamiento de sus productos. El almacenamiento presenta una variable de importantísimo valor dentro de las diferentes industrias y su importancia se detalla en el siguiente cuadro. (Ministerio del Ambiente, 2011)

2.2.2. Tipos de tanques de almacenamiento de hidrocarburos

La clasificación de tanques de almacenamiento es la siguiente:

Por su construcción se clasifican en:

- Vertical
 - Techo fijo
 - Techo Flotante
 - Sin techo
- Horizontal
 - Con Cabezas Torisféricas
 - Con Cabezas Esféricas
 - Con Cabezas Elípticas
 - Otras
- Esféricas
- Esferoides

Por su uso se clasifican en:

- Producción
- Yacimiento
- Reserva

Por su producto se clasifican en:

- Crudo
- Naftas
- LPG, etc.

2.2.2.1. Tanques verticales

Este tipo de tanques trabaja a una presión aproximadamente igual a la atmosférica o a presiones internas relativamente bajas hasta 2.5 [psi]. Para evitar la presión de llenado o succión al descargar se prevén válvulas de venteo en la parte superior del tanque.



Figura 1. Tanques Verticales

Fuente: (Gasoducto Monteverde-Chorillo, Provincia de Santa Elena, 2012)

Los tanques verticales se clasifican de acuerdo al tipo de techo, y tipo de fondo.

- Tipo de Techo
 - Fijo.
 - Flotante
 - Sin techo
- Tipo de Fondo
 - Plano
 - Esférico
 - Hemisférico
 - Semi-elípticas o cónico

a) Techo fijo

Los tanques de almacenamiento vertical con techo fijo son empleados para almacenar productos no volátiles como son: agua, diésel, asfalto, petróleo crudo, etc. Este tipo de techos trabajan con un espacio o cámara de aire para los vapores generados en el interior del tanque el cual cambia al variar la columna del fluido. Los venteos son encargados de la emisión de vapores permitiendo que en el interior del tanque la presión sea aproximadamente a la presión atmosférica, debido a la variación de la temperatura las pérdidas de vapores se hacen inevitables.



Figura 2. Tanque Vertical de Techo fijo

Fuente: (Lennart H. La guía del Ingeniero para medición de tanques, 2017)

Los techos fijos pueden presentarse de formas de: domo, paraguas, cono.

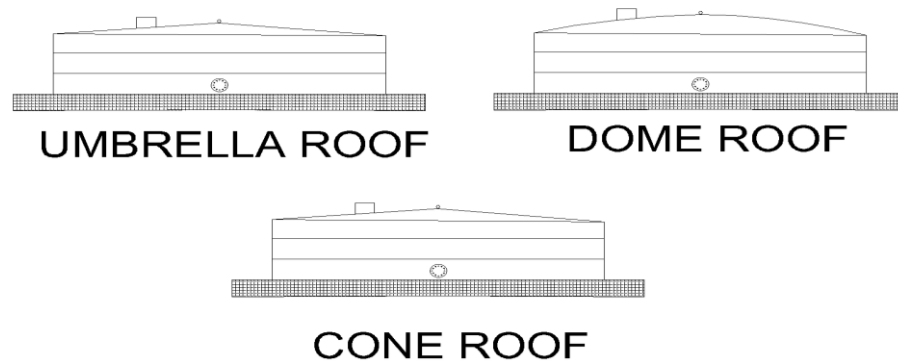


Figura 3. Tipos de Techos Fijos

Fuente: (Lennart H. La guía del Ingeniero para medición de tanques, 2017)

Según su cubierta se hace una subclasificación, siendo estos:

-Techos auto soportados

-Techos Soportados

Los techos auto soportados son los que se apoyan únicamente en la pared del tanque, los más comunes son los cónicos, por otro lado, los techos soportados requieren de una estructura interna, esto se debe a la inclinación y su diámetro.

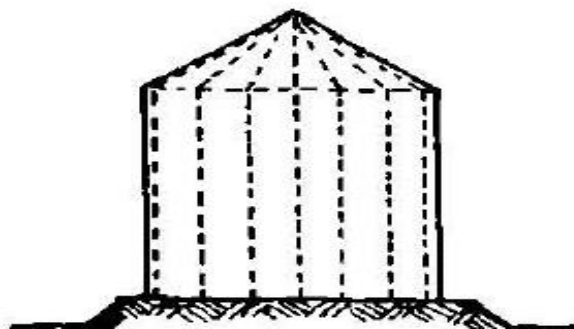


Figura 4 Tanques de techo Auto soportados

Fuente: (Lennart H. La guía del Ingeniero para medición de tanques, 2017)

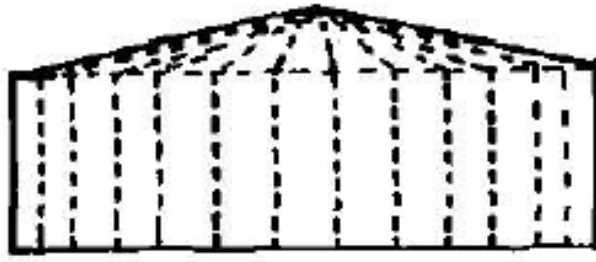


Figura 5. Tanques de techo Soportados

Fuente: (Lennart H. La guía del Ingeniero para medición de tanques, 2017)

b) Techo Flotante

Los tanques de almacenamiento se pueden construir con techo flotante, el mismo que como su nombre lo indica, flota sobre el producto almacenado, estos tienen el objetivo de disminuir el espacio de aire o la cámara de aire formado entre el techo y la superficie del líquido, permitiendo reducir la acumulación de vapores, para su posterior expulsión de estos vapores a la atmósfera.

Los tanques de techo flotante son empleados para almacenar productos con presiones cercanas a la presión atmosférica, los productos que son almacenados en este tipo de tanque son fluidos volátiles tales como: la gasolina, nafta, alcohol, crudo ligero, entre otros.

Los tanques de techos flotantes se dividen en dos grupos: Tanques de techo flotante externo y tanques de techo flotante interno.

- **Tanques de techo flotante externo**

Este tipo de techo flotante es de tipo pontón el mismo que flota sobre la superficie del producto, esto es debido a que posee accesorios adecuados y un sistema de sello de aro.

Dentro de los tanques de techo flotante externo existen varios tipos entre ellos:

- **Techo flotante tipo Pontón**

Este tipo de techo posee dos compartimientos: una cubierta central sencilla y un reborde anular, este último se ha diseñado con el objetivo de flotar directamente en el fluido.

La placa superior del pontón cuenta con una inclinación dirigida al centro del techo y con dirección hacia abajo permitiendo contar con un espacio sobre el pontón para almacenar el agua lluvia, la misma que ayuda a drenar el agua. Los tanques construidos con este tipo de techo varían entre 50 y 300 pies de diámetro.

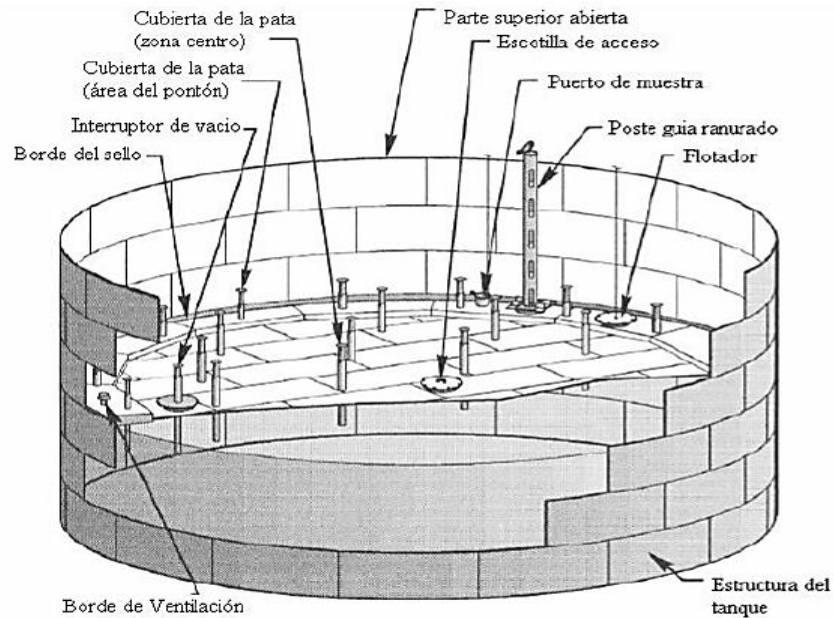


Figura 6. Tanque de almacenamiento con techo flotante externo (Tipo Pontón)

Fuente: (Sanchez M., Diseño de una hoja Excel para un tanque de almacenamiento de gasóleo de automoción, 2015)

- **Techo flotante doble cubierta.**

Este tipo de techo posee compartimientos múltiples y están construidos de manera que su volumen es suficiente para tener mayor estabilidad comparada con el de una sola cubierta, este tipo de techo flota directamente en el líquido almacenado permitiendo a su vez que los vapores condensados se realicen en la región central del techo.

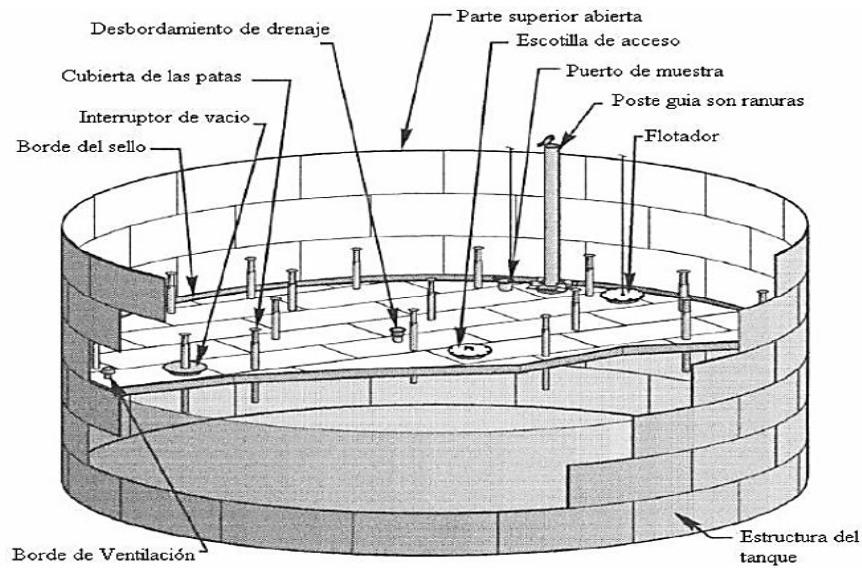


Figura 7. Tanque de almacenamiento con techo flotante interno (Tipo Doble Cubierta)

Fuente: (Sanchez M. Diseño de una hoja Excel para un tanque de almacenamiento de gasóleo de automoción, 2015)

- **Tanques de techo flotante interno**

Los tanques de techo flotante interno se caracterizan por tener un techo fijo y uno flotante interno, los tanques de este tipo se diseñan con diámetros de hasta 320 pies.

Dentro de este tipo de tanques se encuentran dos clases de techos siendo estos:

- El techo fijo el cual es soportado por columnas verticales.
- El techo auto soportado el cual no posee columnas internas.

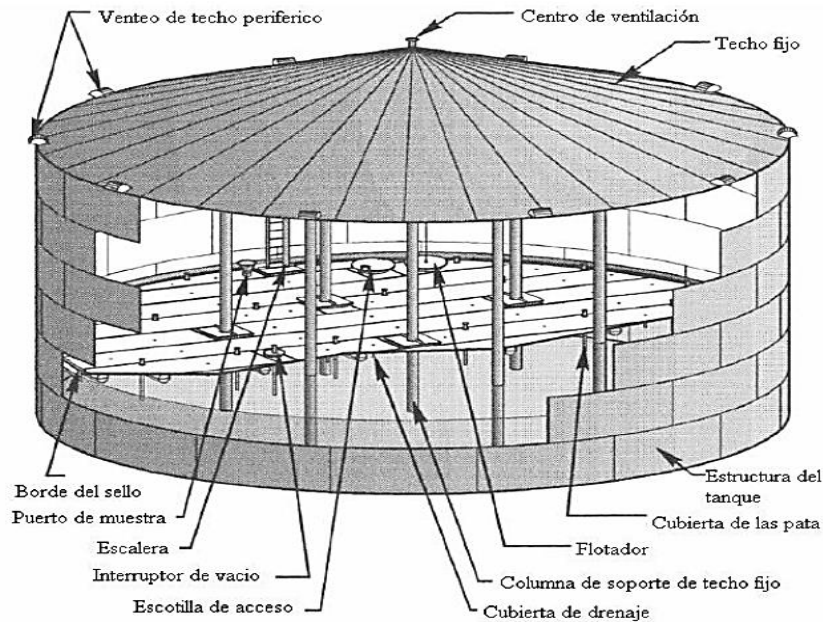


Figura 8. Tanque de almacenamiento vertical con techo flotante interno

Fuente: (Sanchez M. Diseño de una hoja Excel para un tanque de almacenamiento de gasóleo de automoción, 2015)

c) Sin Techo

Este tipo de tanques de almacenamiento verticales sin techo son utilizados para almacenar productos que no es importante que se contaminen o que se evaporen a la atmósfera, por ejemplo, se puede mencionar productos como: agua cruda, agua residual, agua contra incendios, etc.

2.2.2.2. Tanques Horizontales

Este tipo de Tanques son muy úsiles en la industria ecuatoriana ya que son muy buenos para todo tipo de aplicaciones de almacenamiento y procesamiento de líquidos. Se pueden proporcionar recubrimientos y revestimientos según se requiera para evitar el desgaste por corrosión. Estos tanques están disponibles en capacidades de hasta 50.000 gal.

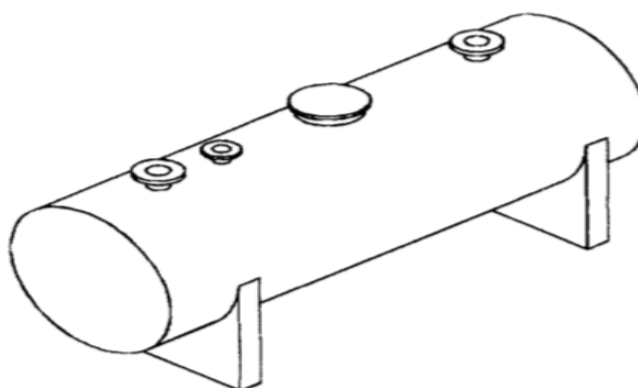


Figura 9. Tanque Horizontal-Tank and Vessel Handbook- Process Fabricators Inc.

Fuente: (Sanchez M. Diseño de una hoja Excel para un tanque de almacenamiento de gasóleo de automoción, 2015)

Son tanques cilíndricos fabricados con chapas generalmente de acero al carbono para industria petrolera, y acero inoxidable para la industria alimenticia, se los suele utilizar como depósitos para contener algún producto para su uso posterior o comercialización, generalmente cuando existe alguna limitación de altura en el lugar donde se lo va a colocar. En los tanques horizontales de almacenamiento de hidrocarburos podemos encontrar varias opciones respecto al par de cabezas o tapas ubicadas en sus extremos, cada una con una forma y geometría característica que cumplen los requisitos del Código ASME. Las más comunes son las siguientes:

a) Cabezas Elípticas

Son diseñadas para recipientes horizontales que van a trabajar bajo presión, poseen una relación de radio de bombeo y rebordeo de generalmente 2:1. Su proceso de fabricación

suele ser sencillo y económico. Estas cabezas tienen la ventaja de ser más eficientes para casos de máxima resistencia a presiones extremas accidentales.

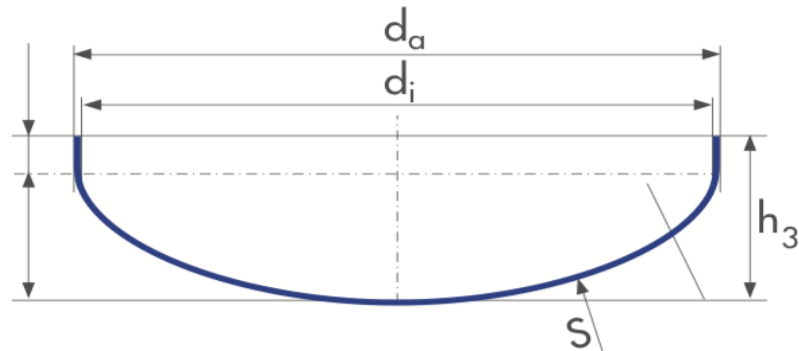


Figura 10. Cabeza Elíptica-Slawinski products

Fuente: (Gallardo J., Recipientes para contener Gas L.P., tipo no transportable. Especificaciones y métodos de prueba, 2017)

b) Torisféricas

Son cabezas fabricadas bajo los requisitos del código ASME, su proceso de manufactura es un poco complicado por su geometría y su uso es múltiple como lo afirma (Sanchez, 1995), “Este tipo de cabezas se utilizan para tanques horizontales y verticales sujetos a presiones manométricas que oscilan entre 0.35 Kg/cm² y 14 Kg/cm²”, por otro lado son las más aceptadas a nivel industrial debido a que su buena resistencia con presiones manométricas altas y su costo es muy exequible para las empresas.

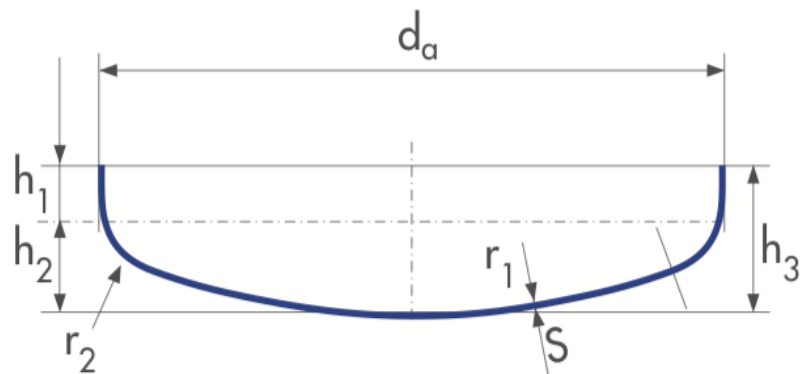


Figura 11. Cabeza Toriesférica- Slawinski products

Fuente: (Gallardo J., Recipientes para contener Gas L.P., tipo no transportable. Especificaciones y métodos de prueba, 2017)

c) Planas

Es la cabeza cuyo proceso de manufactura es el más sencillo, lo cual implica un costo muy reducido respecto a las cabezas anteriormente mencionadas. Sus aplicaciones más frecuentes son para tanques que almacenen combustibles líquidos como la gasolina.

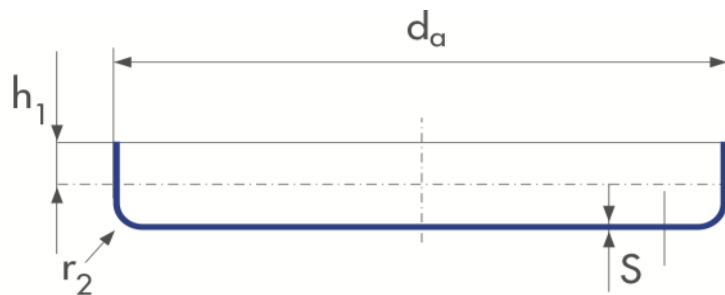


Figura 12. Cabeza Plana-Slawinski products

Fuente: (Gallardo J., Recipientes para contener Gas L.P., tipo no transportable. Especificaciones y métodos de prueba, 2017)

d) Semi-elípticas

Son cabezas que resisten altas presiones, debido a la distribución efectiva en el área curva de su geometría, pero debido a su complejo proceso de fabricación el costo es elevado y por tanto no son utilizados frecuentemente en tanques de almacenamiento.

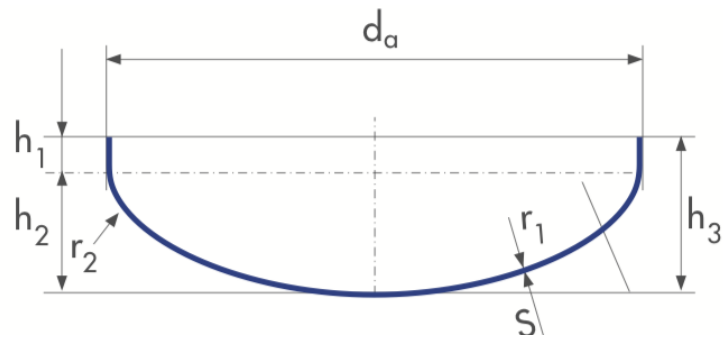


Figura 13. Cabeza Semi-elípticas-Slawinski products

Fuente: (Gallardo J., Recipientes para contener Gas L.P., tipo no transportable. Especificaciones y métodos de prueba, 2017)

Explicación Técnica

d_a = Diámetro externo

d_i = Diámetro interno

r_1 = Radio de Bombeo

r_2 = Radio de Rebordo

h_1 = Brida Recta

h_2 = Altura del radio de Bombeo

s = Espesor de la Placa

e) Cónicas

Este tipo de cabezas se usan exclusivamente en tanques horizontales cilíndricos, por su forma su manufactura es sencillo comparado al de las cabezas torisféricas, pero requiere de mucha precisión en el rolado de la plancha de acero.

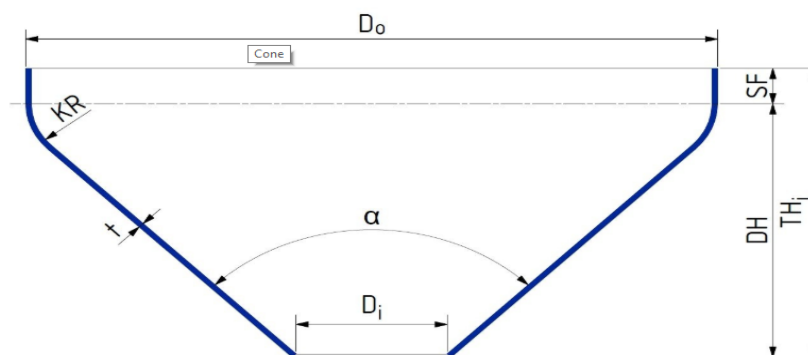


Figura 14. Cabeza Semiesférica-Slawinski products

Fuente: (Gallardo J., Recipientes para contener Gas L.P., tipo no transportable. Especificaciones y métodos de prueba, 2017)

2.2.2.3. Tanques Esféricos

Este tipo de tanques son diseñados generalmente para el almacenamiento de líquidos presurizados, debido a que dicha presión se distribuye de manera uniforme en el interior del tanque, esto debido a que de forma ideal no existe concentradores de esfuerzos evitando así el colapso de la estructura. Como se señala en el sitio (EWP, Introduction to Spherical & Cylindrical Pressure Vessels, 2008): “Una ventaja de los recipientes de almacenamiento esféricos es que tienen un área superficial más pequeña por unidad de volumen que cualquier otra forma de recipiente, esto significa que la cantidad de calor transferido desde el entorno más

cálido al líquido en la esfera será menor que la de los recipientes de almacenamiento cilíndricos o rectangulares”

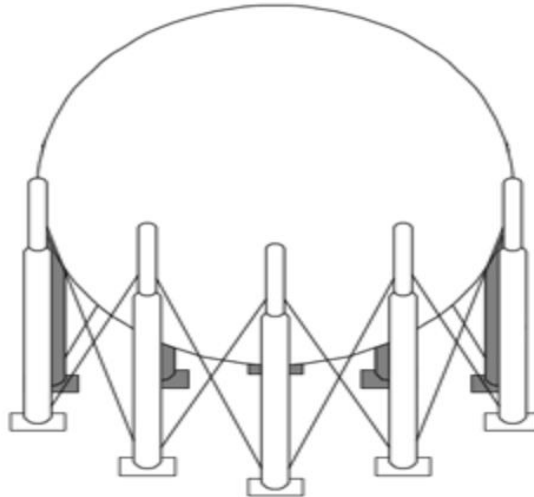


Figura 15. Tanque Esférico-EWP

Fuente: (León J., Diseño y cálculo de tanques sometido a presión, 2007)

2.2.2.4. Tanques Esferoidales

Estos tanques trabajan de manera similar a los tanques esféricos, con la diferencia en que su forma es aplanada en los polos y ensanchada en la línea Ecuador. Generalmente son de mayor capacidad que los tanques esféricos y se los usa para almacenar productos que causan una presión interna superior a los 5 psi, su uso es poco frecuente en la industria ecuatoriana.

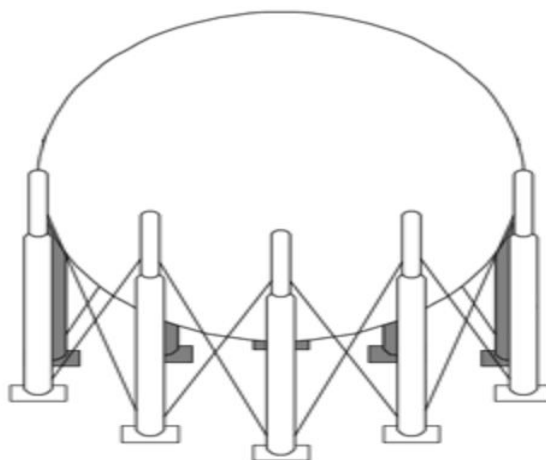


Figura 16. Tanque Esferoide

Fuente: (León J., Diseño y cálculo de tanques sometido a presión, 2007)

2.3. Métodos de calibración de tanques para almacenar hidrocarburos

2.3.1. Introducción

Los tanques usados para almacenar hidrocarburos son fabricados de una forma cilíndrica en su cuerpo, pero no son cilindros perfectos, debido al proceso de fabricación y deformación de los materiales, también se considera que la estructura puede cambiar su forma a lo largo del tiempo debido a factores como la temperatura, presión interna y fuerzas externas que provoquen su deformación, y esto finalmente conlleva a que cambie su capacidad volumétrica.

La calibración de tanques de almacenamiento de productos afines a los hidrocarburos, es básicamente la obtención de tablas de aforo para conocer la capacidad del tanque a calibrar lo más aproximada a la realidad, las tablas antes mencionadas se generan al relacionar medidas

obtenidas directa e indirectamente del tanque a calibrar con la ayuda de los equipos de medición como la cintas de medición, plomada, estación total, flexómetros, etc., los cuales deben ser calibrados por una entidad autorizada previo a ser utilizados en las medidas antes mencionadas, esto para reducir el error en la generación de tablas de aforo.

Las medidas de la geometría del tanque a calibrar se toman a distintos niveles, esto ayudará a cuantificar el aumento o reducción de volumen debido a la presencia de accesorios propios de cada tanque, dependiendo su ubicación en el mismo.

Finalmente se debe considerar correcciones debido a la temperatura, deformaciones de los materiales, deformación por presión hidrostática, presión interna de trabajo , etc.

Como lo menciona (Adere, 2012), en su informe sobre calibración de tanques: “El máximo error permitido en la determinación de los datos que integran la tabla. Por ejemplo, el error máximo en $+ / -$ será igual a:

- 0,2% del volumen indicado para tanques cilíndricos verticales calibrados por el método geométrico.
- 0,3% del volumen indicado para tanques cilíndricos horizontales o inclinados calibrados por el método geométrico y para cualquier tanque calibrado por el método volumétrico
- 0,5% del volumen indicado para recipientes esféricos o esferoidales calibrados por el método geométrico”

2.3.2. Métodos de calibración de tanques de almacenamiento

2.3.2.1. Método de Calibración Geométrica

Es un método manual muy antiguo y tradicional que se realizan a los tanques cuando estos se encuentran generalmente vacíos o sin producto en su interior. Este método consiste en encintar cada anillo del tanque con una cinta certificada, el encintado debe tener una tensión sugerida por la norma aplicable, y deben ser paralelas a las costuras de soldadura del tanque en el caso de que las uniones de placas sean a tope. Para poder obtener las tablas de calibración, así como los volúmenes parciales y el volumen total del tanque se deben tomar medidas del diámetro exterior, de los espesores de las placas que conforman el tanque y sus respectivas alturas para posteriormente procesarlas con fórmulas sugeridas en las normas (API MPMS 2.2A)¹ y así obtener las tablas de aforo. Este método tradicional puede llegar a ser muy rentable en muchos casos de calibración.

Se suele usar este método para la calibración de tanques Esféricos, Esferoidales Verticales y Horizontales,

¹ ((Measurement and Calibration of Upright Cylindrical Tanks by the Manual Tank Strapping Method-Section 2A), 2012)

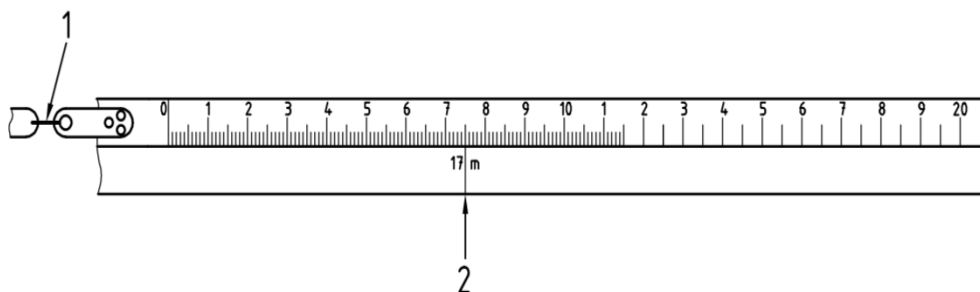


Figura 17. Cinta Maestra

Fuente: (API 7507-1, Norma de calibración de tanques de almacenamiento verticales por el método de encintado, 2012)



Figura 18. Encintado de Tanque Vertical

Fuente: (Lennart H. La guía del Ingeniero para medición de tanques de almacenamiento de hidrocarburos, 2017)

La parte compleja de este método en el caso de los tanques horizontales se enfoca en análisis matemático que lleva a la resolución de una integral muy compleja que será resuelta por el método de integración numérica de Simpson para determinar el volumen incremental en las cabezas en función de la altura del líquido, lo cual se lo hace con la ayuda de algún programa orientado al cálculo numérico.

2.3.2.2. Método de Calibración Volumétrica (Líquida)

Es un método tradicional al igual que el de calibración geométrica según la norma ISO 4269 (API 2555), se suele calibrar tanques más pequeños debido a la cantidad de líquido usado para este procedimiento el cual generalmente es agua. El procedimiento básicamente es transferir un volumen conocido de agua de un recipiente estándar (se conoce su capacidad) al recipiente que se desea calibrar, sin derramar líquido, para lo cual se van tomando varias medidas de volumen de manera indirecta en el tanque a calibrar de acuerdo se vaya transfiriendo cierta cantidad de volumen, esto para conocer el volumen incremental del tanque, y de esta forma elaborar su respectiva tabla de aforo, en la cual se deben considerar correcciones debido a efectos de temperatura, oxidación, desnivel del tanque a calibrar, etc. “Este procedimiento generalmente se realiza por encima del nivel de 10 galones”.

En el caso de los tanques underground o soterrados el método más satisfactorio es el método volumétrico debido a la limitación para obtener medidas físicas directas confiables. Antes de proceder con la calibración se recomienda llevar a cabo un proceso de inspección y limpieza del tanque a calibrar, esto para evitar que se realice el proceso de forma inadecuada por la presencia de fugas o grietas en el tanque.

Es muy común emplear este método para la calibración de tanques horizontales, debido a la cantidad de líquido empleado. (Espinosa Delgado, Hernández Apacero, Franco Fernández, & Peon, 2007)

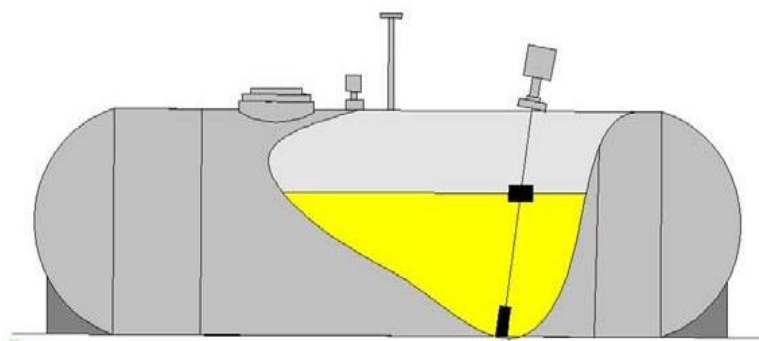


Figura 19. Calibración Volumétrica de Tanque Horizontal

Fuente: (Santana R., Análisis comparativo de soporte tipo IPR para recipientes sujetos a presión, 2009)

2.3.2.3. Método de calibración de Distancia Electroóptica Interno

El método de calibración electroóptica ((API MPMS 2.2D), 2003)² es un método relativamente nuevo y alternativo al método de calibración geométrica mencionado previamente, que nos permite de obtener la tabla de aforo del tanque en mención.

El procedimiento de este método se lo realiza colocando una estación total en el centro del tanque vertical, con lo cual mediante la estación total se va a tomar los radios del tanque para obtener así una nube de puntos formando el perímetro del tanque a calibrar, posteriormente con la ayuda del método de mínimos cuadrados se ajustan estos puntos para obtener la curva del perímetro más aproximado.

Este proceso de calibración es usado generalmente para tanques verticales.

² Calibration of Upright Cylindrical Tanks Using the Internal Electrooptical Distance Ranging Method, Section 2D, August 2003

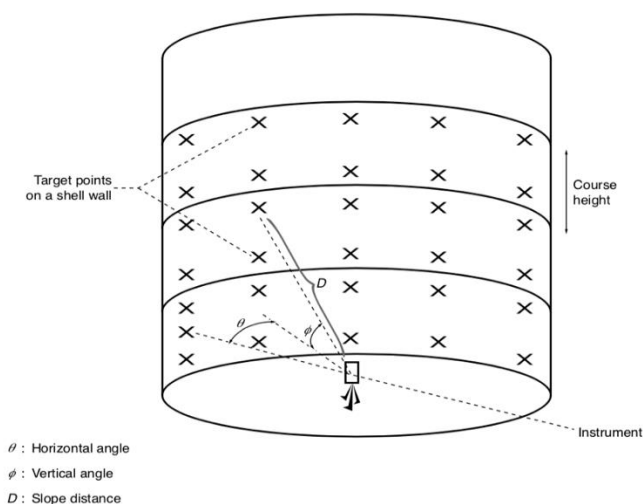


Figura 20. Calibración Electroóptica Interna

Fuente: (API MPMS 2.2D, Normas de calibración de tanques de almacenamiento verticales por el método electroóptico interno, 2012)

El número de puntos (radios) tomados por la estación depende del tamaño del tanque, ver (Tabla 1), los puntos deben ser tomados a $\frac{1}{4}$ o $\frac{1}{5}$ de la altura de los anillos sobre los cordones de soldadura.

Tabla 1.

Número de Puntos Mínimos por anillo-API MPMS 2.2D

Circunferencia del Tanque, C (m)	Número Mínimo de Puntos Obtenidos
$C \leq 50$	8
$50 < C \leq 100$	12
$100 < C \leq 150$	16
$150 < C \leq 200$	20
$200 < C \leq 250$	24
$250 < C \leq 300$	30
$300 \leq C$	36

“El fondo del tanque debe ser calibrado por el método líquido de acuerdo con la norma API 2555, o mediante el uso del instrumento de medición electroóptica como nivel de agrimensor o mediante el uso de un nivel de agrimensor de acuerdo con API MPMS Capítulo 2.2A, o mediante el uso de tubos llenos de agua de acuerdo con API MPMS Capítulo 2.2A.”
 API Chapter 2, Section 2B "Calibration of Upright Cylindrical Tanks Using the Internal Electro-optical Distance Ranging Method" API, Washington, D.C.

2.3.2.4. Método de calibración de Distancia Electroóptica Externa

Este método es muy parecido al método de calibración de distancia electroóptica interna, con la diferencia que para este procedimiento se necesitan varias estaciones ubicadas en la parte exterior del tanque a calibrar. Para llevar a cabo la calibración. ((ISO 7507-5), 2000)³

“El tanque y sus alrededores se inspeccionan visualmente y, habiendo calculado el número de estaciones requeridas, se elige la ubicación de las estaciones de medición.”

El número de estaciones se calculará con la siguiente fórmula:

$$N = \frac{C}{8}$$

C : Circunferencia Nominal del tanque en metros

N: Número de estaciones redondeado al número par mas cercano

“Estas mediciones, después de cualquier ajuste de curvas permiten el cálculo de coordenadas tridimensionales que se ajustan matemáticamente en una matriz que describe el tanque. Las circunferencias en las diversas posiciones verticales en la carcasa del tanque se

³ Petroleum and liquid petroleum products — Calibration of vertical cylindrical tanks — Part 5: External electro-optical distance-ranging method

calculan a partir de esta información y la tabla de capacidad desarrollada de acuerdo con (ISO 7507-1), API MPMS 2.2A”

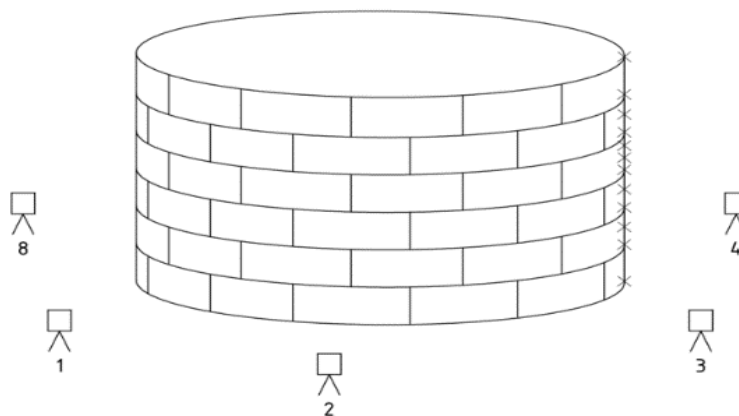


Figura 21. Calibración Electroóptica Externa- API MPMS 7507-5

Fuente: (ISO 7507-5, Normas de calibración de tanques de almacenamiento Verticales por el método electroóptico externo, 2012)

2.3.2.5. Método de línea de referencia óptica

El método de línea de referencia óptica se ha convertido en un método alternativo al del encintado manual para medir y determinar el diámetro del tanque. Mediante el método de referencia óptica se realiza la medición de un diámetro de referencia en la base del tanque el cual es el primer anillo haciendo uso del encintado manual, así mismo, se realiza la medición de desviación del diámetro con otras estaciones horizontales y verticales utilizando otros dispositivos ópticos, el número de estaciones dependen del diámetro del tanque. La diferencia entre el método de la línea de referencia óptica y el método de encintado manual se basa en el procedimiento para determinar el diámetro del tanque en los anillos del cilindro diferentes a los anillos de la base.

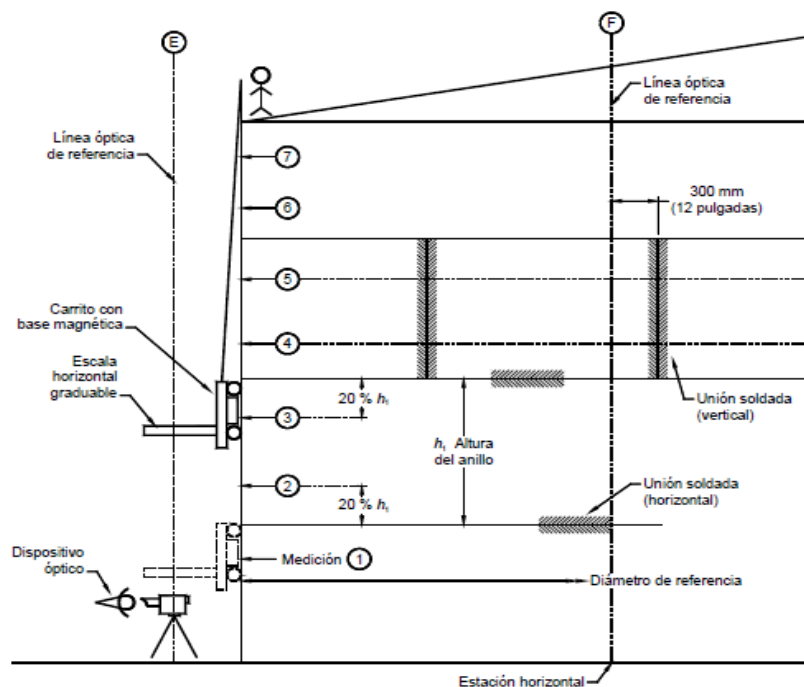


Figura 22. Método de referencia óptica

Fuente: (API MPMS 2.2D, Calibración de tanques de almacenamiento Verticales por el método electroóptico interno, 2012)

2.3.2.6. Método de triangulación óptica

La circunferencia del tanque se determina a diferentes niveles por referencia a una línea de base, que puede ser una circunferencia de referencia medida con un fleje o una línea de base entre dos estaciones de un teodolito medido por medio de una cinta o por un método óptico. Las circunferencias externas se corrigen a dar verdaderas circunferencias internas.

El método es una alternativa a otros métodos como el de encintado (ISO 7507-1), API MPMS 2.2A y la línea de referencia óptica. Método (ISO 7507-2).

2.3.3. Trazabilidad de patrones

“Ninguna medición es completamente exacta. Cualquier tipo de instrumento o equipo, incluso si es usado perfectamente, solo puede registrar una medición con una exactitud y precisión limitadas (Trump, 1998).” Por este motivo en el sector petrolero y especialmente en la calibración de tanques de almacenamiento de productos afines, se necesita ser lo más exactos al calcular el volumen real de los tanques relacionando las medidas tomadas de manera directa de sus características, ya que un error en este ámbito puede provocar grandes pérdidas económicas.

Es por ello necesario entender que la trazabilidad es muy importante para la calibración de tanques de almacenamiento de hidrocarburos. Según el CEM⁴, se define a la trazabilidad como: “Propiedad del resultado de una medición o del valor de un patrón, tal que ésta pueda ser relacionada con referencias determinadas, generalmente patrones nacionales o internacionales, por medio de una cadena ininterrumpida de comparaciones, teniendo establecidas las incertidumbres”. (Centro Español de Metrología, 2011)

En palabras más sencillas para mantener la exactitud de los elementos a utilizar en la calibración de tanques, estos se deben comprar con patrones de mayor exactitud y estos a su vez con otros patrones de mayor exactitud y así sucesivamente hasta llegar a un patrón materializado

⁴ CEM.- Centro Español de Metrología

a partir de un concepto, y estos patrones existen en los laboratorios acreditado como se puede ver en la (Figura 23). Este proceso puede llegar a costar mucho dinero.



Figura 23. Pirámide de Trazabilidad

Fuente: (Real A., Guía para aplicación del sistema de trazabilidad ,2015)

2.3.4. Incertidumbre en la calibración de tanques de almacenamiento.

La incertidumbre de la medición se define como un parámetro asociado con el resultado de una medición que caracteriza la dispersión de valores o, como un parámetro no negativo que caracteriza la dispersión de los valores de cantidad que se atribuyen a un mensurando.

La incertidumbre de la medición y la trazabilidad son conceptos interrelacionados que afectan la información transmitida por un resultado cuantitativo. Como todas las mediciones son propensas a errores, a menudo se afirma que una medición se completa solo cuando se acompaña de una declaración cuantitativa de su incertidumbre. Esta evaluación de incertidumbre es necesaria para decidir si el resultado es adecuado para el propósito previsto y para determinar si es consistente con otros resultados similares o anteriores.

“La trazabilidad proporciona el medio para colocar todas las medidas relacionadas en una escala de medida coherente, mientras que la incertidumbre caracteriza la 'fortaleza' de los vínculos en la cadena y el acuerdo que se espera entre laboratorios que realizan mediciones similares”.

2.3.4.1. Incertidumbres tipo A y tipo B

Existen dos tipos de incertidumbres, categorizadas respectivamente como Tipo A y Tipo B.

2.3.4.1.1. Incertidumbre Tipo A

La evaluación de la incertidumbre estándar se basa en el análisis estadístico de una serie de mediciones (por ejemplo, datos estadísticos obtenidos de los resultados del control de calidad).

2.3.4.1.2. Incertidumbre de Tipo B

Se ha obtenido mediante procedimientos no estadísticos y puede incluir:

- Información asociada a una cantidad numérica autorizada publicada.
- Información asociada a la cantidad numérica de un material de referencia certificado.
- Datos obtenidos de un certificado de calibración.
- Información obtenida de los límites deducidos a través de la experiencia personal.
- La incertidumbre asignada a valores de referencia procedentes de libros y manuales.

En la determinación de incertidumbre tipo B se supone una distribución de probabilidad para variable de entrada, teniendo así:

a) Distribución rectangular

La distribución rectangular se la utiliza cuando se tiene un intervalo sin especificar cuál sea el nivel de confianza y se puede atribuir que todos los valores sean igualmente probables.

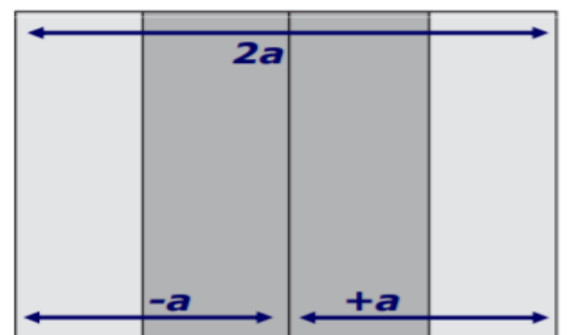


Figura 24. Distribución rectangular

Fuente: (Hernandez P., Estimación de incertidumbre, GUIA GUM, 2012)

a) Distribución triangular

La distribución triangular se la utiliza cuando se tiene una información menos limitada que para una rectangular por lo que se puede intuir valores cercanos al valor central serán más probables que los valores extremos.

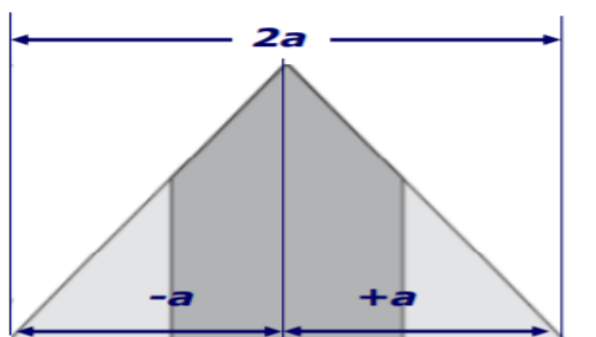


Figura 25. Distribución triangular

Fuente: (Hernandez P., Estimación de incertidumbre, GUIA GUM, 2012)

b) Distribución normal

La distribución normal se la utiliza cuando se tiene los datos experimentales de observaciones repetidas por lo que la incertidumbre normal es igual a la desviación estándar.

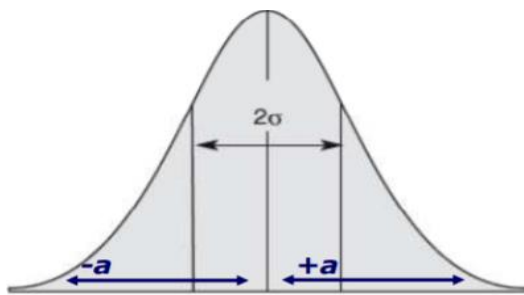


Figura 26. Distribución normal

Fuente: (Hernandez P., Estimación de incertidumbre, GUIA GUM, 2012)

2.3.4.2. Incertidumbre debido al patrón o a un instrumento calibrado.

La incertidumbre con respecto al instrumento calibrado se encuentra al dividir la incertidumbre dada en el documento o certificado de calibración del patrón o instrumento para el factor de cobertura (k), este factor de cobertura es común que sea igual a 2, en el caso de incertidumbre normal el factor de cobertura 2 representa a un nivel de confianza de aproximadamente 95%

$$u(p) = \frac{U(p)}{k}$$

2.3.4.3. Incertidumbre dada por la resolución del instrumento.

La resolución de un dispositivo indicador es una de las fuentes de incertidumbre del instrumento, si se trata de un instrumento analógico la resolución dependerá del operador o de los medios que se utilicen para la lectura.

$$U_{lec} = \frac{(res_{lec})}{\sqrt{12}}$$

2.3.5. Estimación de la incertidumbre

2.3.5.1. Propagación de incertidumbre

En la mayoría de los casos el mensurando (H) que se realizan no se efectúan directamente, es decir, que se determinan a partir de otras N magnitudes. X_1, X_2, \dots, X_n

$$\mathbf{H=f(X_n)}$$

La función f describe un proceso de medida y debe contener todas las medidas debidas para llegar al resultado final, se debe también incluir las correcciones, aunque sean de valor cero así se podrá controlar las incertidumbres de las correcciones calculadas.

2.3.5.2. Incertidumbre expandida

La incertidumbre combinada nos ayuda a caracterizar la calidad de las medidas que se han registrado. Se debe trabajar dentro de un intervalo del cual es razonable suponer, pero con alta probabilidad de no equivocarse, en el cual, se hallan los infinitos valores que pueden ser tomados y asignados al mensurando que se está trabajando.

2.4. Software de Programación

El software con el cual se realizó la programación es Java, el cual es un lenguaje de programación muy versátil para la programación orientada a objetos, además es muy rápido, seguro y fiable para el desarrollo de aplicaciones y sitios web, por lo cual Java está en todas partes. El código de programación de Java es muy parecido a C y C++. Java ha sido elegido en el presente proyecto dado que es un Software libre el cual nos ha permitido desarrollar de manera satisfactoria los algoritmos y modelos matemáticos desarrollados en otro software de análisis matemático

CAPÍTULO III. MEDICIONES

3.1. Equipos de Mediciones

3.1.1. Plomada con cinta para medir alturas

Este instrumento de medición es normalmente fabricado de plomo o de cualquier otro metal, posee una forma cilíndrica y cónica en su parte inferior (Figura 27), suspendida de la cinta de medición calibrada nos permite tensar la cinta de manera vertical para tomar medidas de alturas del tanque más exactas.

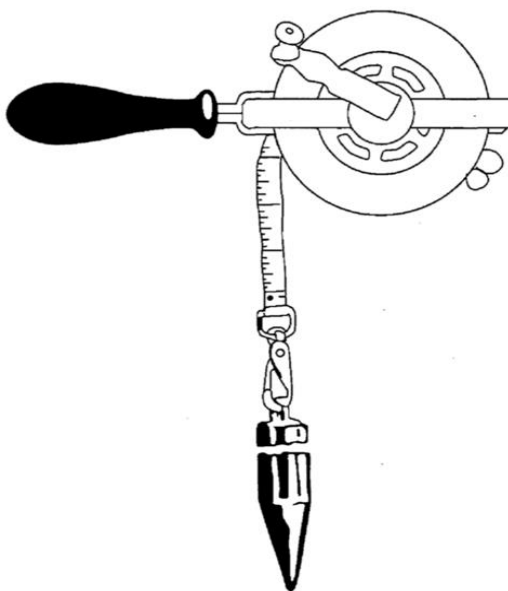


Figura 27. Plomada con Cinta de Medición

Fuente: (API MPMS 2.2A., Norma para calibrar tanques de almacenamiento de hidrocarburos por el método de encintado, 2012)

3.1.2. Cinta de Aceros para medidas externas

Para mediciones de circunferencia externa de tanques de almacenamiento de hidrocarburos, se recomienda una cinta de acero suave, (Figura 28) de una longitud conveniente con respecto a la circunferencia del tanque. La cinta de trabajo suele tener 100,200, 300 o 500 pies de largo y no debe tener más de 0.25 pulgada de ancho y aproximadamente 0.01 pulgada de grosor. La cinta puede graduarse en pies, con una longitud adicional de 1 pie en el extremo cero de la cinta y graduada en décimas y centésimas de pie, o puede graduarse en metros, décimas y centésimas de metro en toda su longitud (para cintas métricas, consulte IP Petroleum Measurement Manual, Part 2, Section 1). Todas las cintas de trabajo deben calibrarse con una cinta maestra (consulte MPMS 2.2A.7).

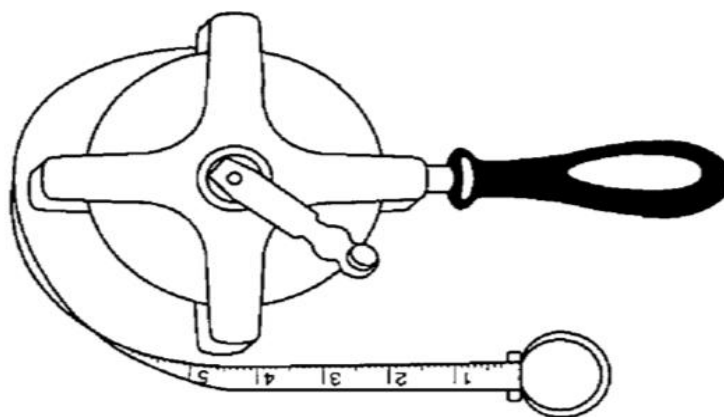


Figura 28. Cinta de Acero-API MPMS 2.2A R 2012

Fuente: (API MPMS 2.2A., Norma para calibrar tanques de almacenamiento de hidrocarburos por el método de encintado, 2012)

3.1.3. Flexómetro

Este instrumento de medición es el más comúnmente usado en la gran mayoría de los procesos de manufactura. Básicamente es una cinta de acero templado enrollado dentro de una caja con un dispositivo que permite que esta siempre regrese dentro de la caja una vez efectuada la lectura de la medida. La cinta está grabada generalmente con los dos sistemas internacionalmente vigentes, el sistema métrico decimal y el sistema imperial de unidades. Tiene una precisión de hasta 0.5 de mm, o de 1/32" para el sistema imperial de unidades (ingles), la longitud que tienen estos instrumentos generalmente depende de su fabricante. (Ibero, s.f.)

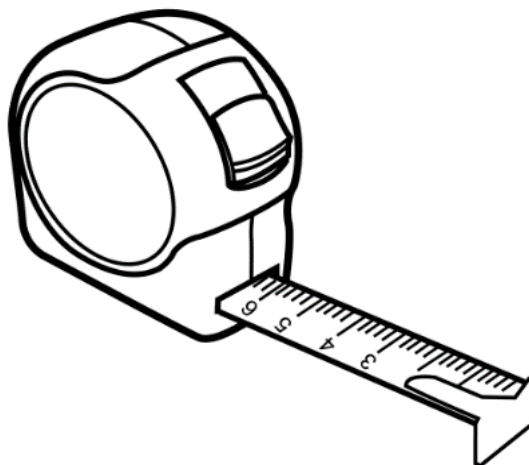


Figura 29. Flexómetro

Fuente: (API MPMS 2.2A., Norma para calibrar tanques de almacenamiento de hidrocarburos por el método de encintado, 2012)

3.1.4. Estación Total

Se denomina estación total a un instrumento electroóptico utilizado en topografía, cuyo funcionamiento se apoya en la tecnología electrónica. Consiste en la incorporación de un distanciómetro y un microprocesador a un teodolito electrónico.

Algunas de las características que incorpora, y con las cuales no cuentan los teodolitos, son una pantalla alfanumérica de cristal líquido (LCD), leds de avisos, iluminación independiente de la luz solar, calculadora, distanciómetro, trackeador (seguidor de trayectoria) y la posibilidad de guardar información en formato electrónico, lo cual permite utilizarla posteriormente en ordenadores personales. Vienen provistas de diversos programas sencillos que permiten, entre otras capacidades, el cálculo de coordenadas en campo, replanteo de puntos de manera sencilla y eficaz y cálculo de distancias (Topoequipos S.A, s.f.).

Una estación total se utiliza para medir ángulos tanto horizontales como verticales, así como las distancias inclinadas. La mayoría de las estaciones totales tienen la capacidad de realizar mediciones angulares horizontales utilizando el método direccional o el método de repetición.

Método direccional. -

El círculo horizontal permanece fijo durante una serie de observaciones. La dirección de cada previsión se mide en relación con la referencia. El ángulo horizontal medio es entonces igual al promedio de todos los ángulos.

Método de repetición. -

Se pueden acumular medidas sucesivas de un ángulo. El ángulo medio es entonces igual a la suma del ángulo total dividido por el número de observaciones. Con la ayuda de este instrumento se pueden tomar puntos de la estructura del tanque para por medio de un programa de ajuste de curvas obtener de manera indirecta el diámetro más aproximado del tanque para posteriormente realizar las tablas de aforo.

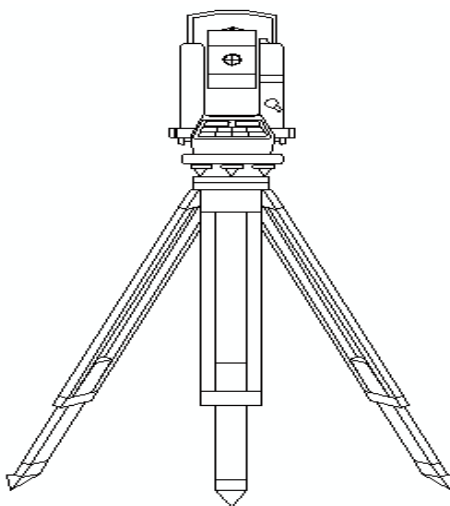


Figura 30. Estación Total

Fuente: (ISO 7507-4., Norma para calibrar tanques de almacenamiento de hidrocarburos por el método electroóptico externo, 2012)

3.1.5. Micrómetro

Un micrómetro es un instrumento de alta precisión para medir distancias pequeñas hasta la micra. Al ser un instrumento muy preciso es muy sensible al calor, por lo cual las variaciones de temperatura pueden afectar las medidas registradas por los usuarios. Este instrumento es útil generalmente para verificar los espesores de las chapas con las que se construyeron los tanques de almacenamiento.

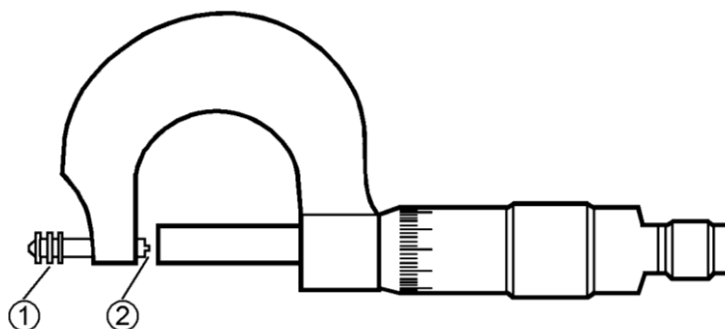


Figura 31. Micrómetro

Fuente: (API MPMS 2.2A., Norma para calibrar tanques de almacenamiento de hidrocarburos por el método de encintado, 2012)

CAPÍTULO IV. CALIBRACIÓN DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO

4.1. Calibración de tanques de almacenamiento Verticales por el método de encintado

La norma API MPMS 2.2A describe los procedimientos para calibrar tanques cilíndricos verticales utilizados principalmente para el almacenamiento de líquidos de petróleo.

La sección 2.2A.19 de la API MPMS 2.2A se detalla los procedimientos para tomar las medidas necesarias para determinar volúmenes de tanques totales e incrementales y luego presenta los procedimientos recomendados para calcular volúmenes.

4.1.1. Correcciones

En la ingeniería para la calibración de tanques, los principios matemáticos deberían ser utilizados en todos los cálculos para el desarrollo de tablas de capacidad de acuerdo a la norma establecida para la calibración de tanques verticales.

4.1.1.1. Corrección de la cinta a temperatura base

Dentro de las industrias del petróleo se usa una temperatura de 60°F o 15°C representándose como una temperatura estándar, para productos derivados del petróleo (API MPMS 2.2A.19.2.1). La cinta empleada debe ser corregida a la temperatura mencionada y para ello se tiene la siguiente ecuación.

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

Donde:

Tc: Temperatura estándar de calibración (60 °F)

Ts: Temperatura Ambiente

C: Coeficiente de expansión para acero ($0.00000645 \frac{ft/ft}{°F}$)

4.1.1.2. Corrección por la elevación de la cinta de medición

En ciertas ocasiones la cinta de medición no puede entrar en contacto con la carcasa del tanque en todos los puntos en la trayectoria de medición, esto se debe a cordones de soldadura o juntas traslapadas (API MPMS-2.2A.19.4), por lo tanto, se deben realizar las correcciones respectivas haciendo uso de las ecuaciones indicadas a continuación:

- *Para juntas soldadas a tope*

$$\text{Corrección} = \frac{2Ntw}{d} + \frac{8Nt}{3} \sqrt{\frac{t}{d}}$$

Donde:

N = número de cordones de soldadura o juntas traslapadas.

t = espesor o proyección del cordón de soldadura o juntas traslapadas (pulgadas)

w = ancho del cordón de soldadura (pulgadas)

d = diámetro nominal del tanque (pulgadas)

- *Para juntas soldadas a traslape*

$$\text{Corrección} = \frac{4Nt}{3} \sqrt{\frac{t}{2d}}$$

Donde:

N = número de cordones de soldadura o juntas traslapadas.

t = espesor o proyección del cordón de soldadura o juntas traslapadas (pulgadas)

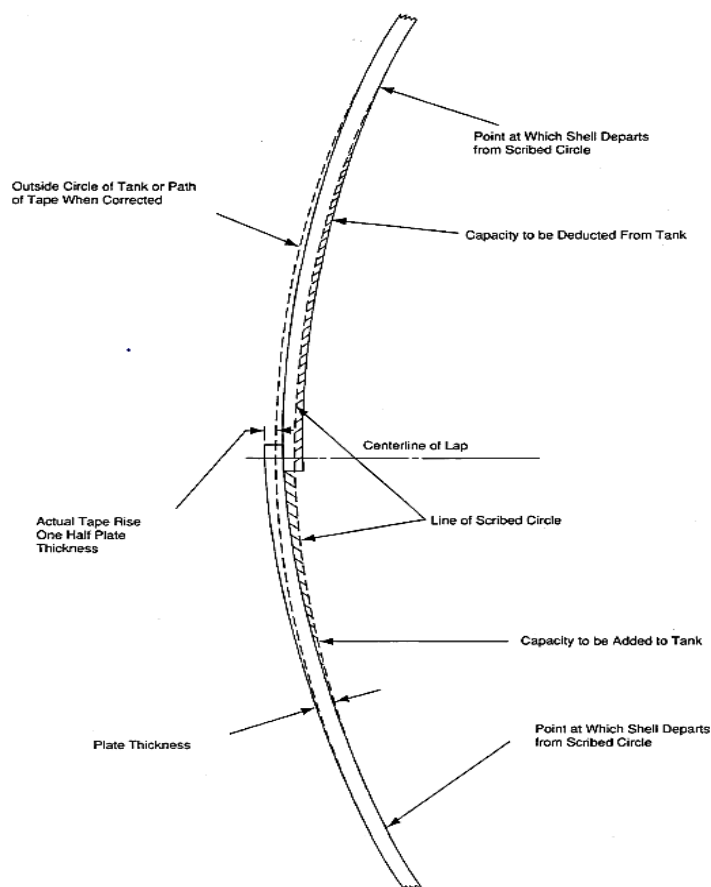


Figura 32. Circunferencia verdadera frente a trayectoria de cinta

Fuente: (API MPMS 2.2A., Norma para calibrar tanques de almacenamiento de hidrocarburos por el método de encintado, 2012)

4.1.1.3. Corrección de circunferencia medida a base de tanque vacío

Debido al líquido almacenado se genera presión en las paredes del tanque por lo cual hay que tener en cuenta la expansión y contracción del cuerpo del tanque, se debe recordar que

esta corrección no se aplica para tanques con capacidad menores a 500barriles (API MPMS 2.2A.19.5).

Esta corrección pretende ajustar la circunferencia a la condición de esfuerzo cero mediante el uso de la siguiente ecuación.

$$\text{Corrección} = -K \frac{GhC^2}{t}$$

$$K = \frac{62.3}{24\pi E} = 0.00000002849239$$

Donde:

- h = Altura del líquido (pies)
- C = circunferencia medida (pis)
- t = espesor de la placa (pulgadas).
- E = módulo de elasticidad del acero (29,000000 psi)
- W = Peso de líquido 62.3 lb/ft³
- G =Gravedad especifica del líquido en el tanque

4.1.1.4. Corrección de circunferencia externa a interna

Ya que la medición se realiza en la circunferencia externa del tanque se debe realizar una corrección de circunferencia externa a circunferencia interna (API MPMS 2.2A.19.4.1).

$$\text{Corrección} = \frac{\pi t}{6}$$

Donde:

- t = Espesor de la placa (pulgadas).
- Cc = Corrección por espesor de la placa.

4.1.1.5. Corrección dada por el incremento de volumen por anillo

Esta corrección se realiza cuando se expande la carcasa del tanque en función de la densidad del producto que se almacena en el tanque. Esta corrección se utiliza para determinar el diámetro interno promedio del tanque.

4.1.1.6. Corrección por cabezal líquido

Esta corrección es debida a la carga hidrostática desde un nivel de referencia llegando al nivel superior de cada anillo o hasta una altura definida.

$$\text{Corrección} = -K \frac{GhC^2}{t}$$

Donde:

- h = Altura del líquido (pies)
- C = circunferencia medida (pis)
- t = espesor de la placa (pulgadas).
- E = módulo de elasticidad del acero (29,000000 psi)
- W = Peso de líquido 62.3 lb/ft³
- G = Gravedad especifica del líquido en el tanque
- K = Constante, ya calculado

Incremental de cada anillo de acuerdo con el cabezal líquido

Los anillos son afectados debido a la carga hidrostática.

$$\Delta v = \frac{\pi * W * G * d^2 * h}{4 * E * t}$$

Donde:

- Δv = Incremental por cabezal líquido arriba de cada anillo
- t = espesor de la placa (pulgadas).
- E = módulo de elasticidad del acero (29,000000 psi)
- W = Peso de líquido 62.3 lb/ft³
- G = Gravedad específica del líquido en el tanque
- d = Promedio del diámetro interno
- h = Altura de cada anillo

4.1.1.7. Corrección por inclinación del tanque

Los tanques de almacenamiento se encuentran posicionados de tal manera que presentan cierta inclinación, por efecto debe ser medida ya que presentan variaciones en las tablas de calibración. Para los tanques que presentan inclinación con menos de 1/70 partes el error en la tabla de capacidad será menor al 0,01%. Para tanques que presentan una inclinación de 1/70 partes o más, la tabla de capacidad se ajusta a cero. (API MPMS 2.2A.19.7)

$$\%Corrección\ Inclinación = 100(\sqrt{1 + m^2} - 1)$$

Donde:

- m = Inclinación del tanque (pies)

4.1.1.8. Corrección de volumen almacenado por efecto de temperatura

Se produce la expansión de los tanques por el efecto de la temperatura, por lo tanto, es necesario calcular dicha corrección. (API MPMS 2.2A.19.6.1) Esta corrección se aumentará al volumen total y calculado haciendo uso de la siguiente ecuación:

$$kc = 1 + (12,4 \times 10^{-6} \Delta T_s) + (1 \times 10^{-9} \Delta^2 T_s)$$

$$\Delta T_s = T_s - 60^\circ F$$

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

Donde:

Kc= Corrección por temperatura

Tl= Temperatura del liquido

Ta= Temperatura ambiente

Ts=Temperatura del tanque

ΔT_s =Temperatura del tanque menos 60°F

4.1.1.9. Incrementos y reducciones.

Los incrementos y reducciones de volumen se deben a los diferentes componentes con que el tanque está comprendido por el cual se tiene incrementos y reducciones debido a los accesorios que se encuentran en el tanque, incrementos y reducciones debido al fondo del tanque y reducciones e incrementos debido al techo flotante, estos volúmenes se los puede denominar volumen muerto, que pueden ser sumados o restados al volumen final del tanque.

a) Volumen debido a los accesorios.

El volumen muerto por accesorios se refiere a los componentes con los que el tanque está construido y afecta al cálculo de volumen del tanque, estos accesorios pueden ser sumados o restados al volumen final del tanque, por ejemplo, las tuberías, escaleras, columnas, internas reducen la capacidad del tanque por el contrario las entradas de limpieza o bridas aumentan su capacidad.

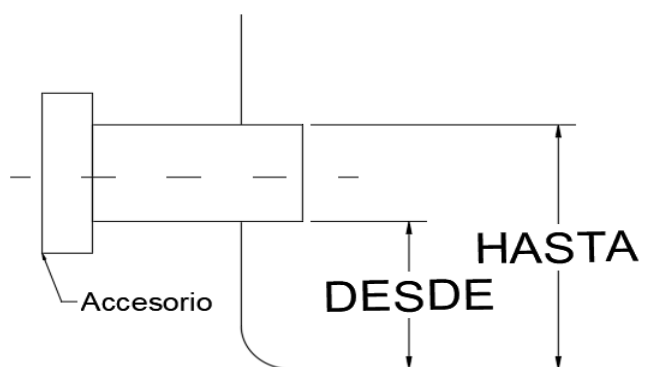


Figura 33. Desde y hasta de accesorios del tanque

Fuente: (API MPMS 2.2A., Norma para calibrar tanques de almacenamiento de hidrocarburos por el método de encintado, 2012)

b) Volumen debido al fondo del tanque

Los tanques del almacenamiento poseen diferentes tipos de fondos como planos, cónicos hacia arriba, cónicos hacia abajo, etc., en el cual se debe calcular el volumen que tienen debajo de la platina de aforo, ya que la platina de aforo es la referencia inferior desde donde comienza el punto cero y desde ahí se realizará los incrementales para las determinadas alturas y será el nivel cero para las tablas de aforo. (Ver API MPMS 2.2A.16)

c) Volumen de fondo plano

$$V_{Fondo} = \frac{R_i^2 * \pi * H_{PLA}}{158987,294938922}$$

V_{Fondo} =Volumen de fondo a la altura de platina de aforo (bbl)

R_i =Radio interno de primer anillo del tanque (ft)

H_{PLA} =Haltura de la platina de aforo (ft)

d) Volumen de fondo cónico hacia abajo

$$V_{Fondo} = \frac{R_i^2 * \pi * H_{cono}}{3 * 158987,294938922}$$

V_{Fondo} =Volumen de fondo a la altura de platina de aforo (bbl)

R_i =Radio interno de primer anillo del tanque (ft)

H_{cono} =Haltura del cono (ft)

e) Volumen de fondo cónico hacia arriba

- Platina de aforo es mayor o igual que la altura del cono ($H_{cono} < H_{PLA}$)

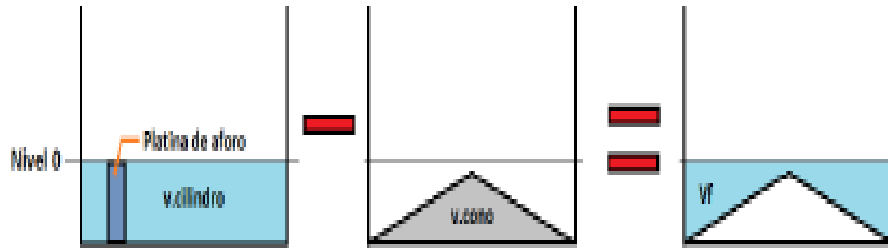


Figura 34. Esquema de altura de cono menor a altura de platina

Fuente: (Carvajal J., Diseño de software para calibrar tanques de almacenamiento de hidrocarburos, 2010)

$$V_{Fondo_{cilindro}} = \frac{R_i^2 * \pi * H_{PLA}}{158987,294938922}$$

$$V_{Fondo_{cono}} = \frac{R_i^2 * \pi * H_{cono}}{3 * 158987,294938922}$$

$$V_{Fondo} = V_{Fondo_{cilindro}} - V_{Fondo_{cono}}$$

V_{Fondo} =Volumen del fondo del tanque (bbl)

$V_{Fondo_{cono}}$ =Volumen del cono (bbl)

$V_{Fondo_{cilindro}}$ =Volumen del cilindro medido hasta la platina de aforo (bbl)

- Platina de aforo es mayor o igual que la altura del cono ($H_{cono} > H_{PLA}$)

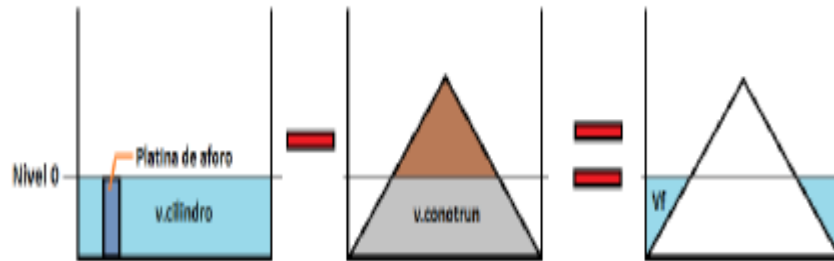


Figura 35. Esquema de fondo de altura de cono mayor a altura de platina

Fuente: (Carvajal J., Diseño de software para calibrar tanques de almacenamiento de hidrocarburos, 2010)

$$V_{Fondo_{cono.truncado}} = \frac{R_i^2 * \pi}{H_{cono}^2 * 158987,294938922} \left[(H_{PLA} * H_{cono}^2) - (H_{cono} * H_{PLA}^2) + \left(\frac{H_{PLA}^3}{3} \right) \right]$$

$$V_{Fondo_{cilindro}} = \frac{R_i^2 * \pi * H_{PLA}}{158987,294938922}$$

$$V_{Fondo} = V_{Fondo_{cilindro}} - V_{Fondo_{cono.truncado}}$$

V_{Fondo} =Volumen del fondo del tanque (bbl)

$V_{Fondo_{cono.truncado}}$ =Volumen del cono truncado (bbl)

$V_{Fondo_{cilindro}}$ =Volumen del cilindro medido hasta la platina de aforo (bbl)

f) Volumen debido al techo flotante

Para los tanques que poseen techo flotante existirá un desplazamiento de producto, por lo tanto, existirá una reducción de capacidad del tanque. La norma (API MPMS 2.2A.19.8.4),

establece como realizar el cálculo de desplazamiento de producto y como parámetros de entrada se tiene: la altura critica inferior, altura critica superior, peso del techo y la densidad del producto.

La altura critica inferior se refiere a la altura que se tiene cuando el techo aún está siendo soportado por los soportes (Ver figura 36), mientras que la altura critica superior se refiere a la altura cuando el techo está flotando, es decir, altura que se hunde.

$$V_{des} = \frac{wt}{\rho * 42}$$

Donde:

V_{des} = Volumen que se ha desplazado el techo

Wt = peso del techo (libras)

ρ = densidad del fluido (lb/gal)

El volumen desplazado se reducirá en el rango donde interactúan la altura critica superior y la altura critica inferior, este volumen deberá transformarse en un decremento por longitud de medida, es decir, se dividirá el volumen desplazado para la resta de las dos alturas interactuantes.

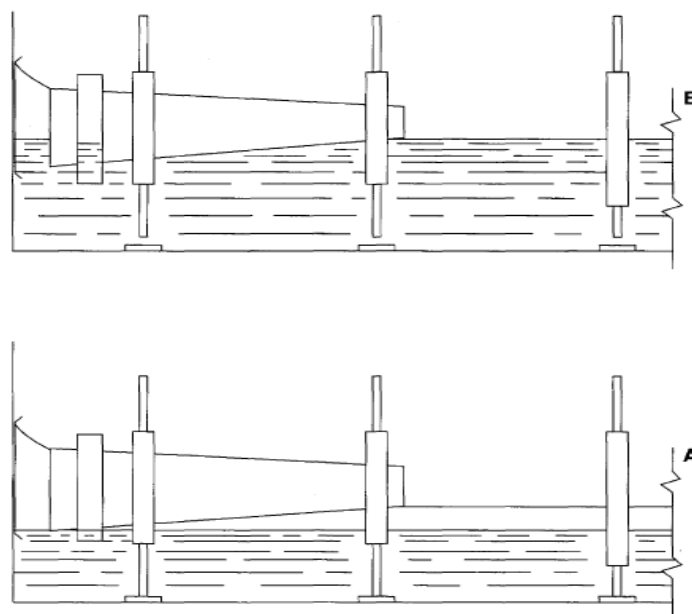


Figura 36. Diagrama de techo flotante en reposo (A) y flotante (B)

Fuente: (API MPMS 2.2A., Norma para calibrar tanques de almacenamiento de hidrocarburos por el método de encintado, 2012)

4.2. Calibración de tanques de almacenamiento Verticales por el método Electroóptico interno

La norma (ISO 7507-4)⁵ especifica un método para la calibración de tanques cilíndricos verticales que tengan diámetros superiores a 5 m por medio de mediciones internas utilizando un método electroóptico, para construir la tabla de calibración. La calibración de tanques por el método electroóptico interno no es aplicable para tanques deformados o abollados, así como a tanques no circulares.

⁵ Petroleum and liquid Petroleum products - Calibration of vertical cylindrical tanks - Part 4: Internal electro--Optical distance-t-anging method

4.2.1. Selección de puntos objetos

Al comenzar las mediciones se selecciona dos conjuntos de puntos por cada anillo, uno situado encima de la junta horizontal inferior a $1/5$ hasta $1/4$ de la altura del anillo, el otro por debajo de la junta horizontal superior a $1/5$ hasta $1/4$ de la altura del anillo.

El número de puntos objeto por cada conjunto en cada anillo de la carcasa del tanque depende de la circunferencia del tanque.

El mínimo número de puntos objetos por cada conjunto está en función de la circunferencia medida del tanque y se ilustra en la (Figura 37). Los puntos objeto deben estar separadas mínimo 300mm de cualquier junta vertical soldada.

Tank Circumference, C m	Minimum Number of Target Points
$C \leq 50$	8
$50 < C \leq 100$	12
$100 < C \leq 150$	16
$150 < C \leq 200$	20
$200 < C \leq 250$	24
$250 < C \leq 300$	30
$300 < C$	36

Figura 37. Diagrama de techo flotante en reposo (A) y flotante (B)

Fuente: (ISO 7507-4., Norma para calibrar tanques de almacenamiento de Hidrocarburos por el método electroóptico interno, 2012)

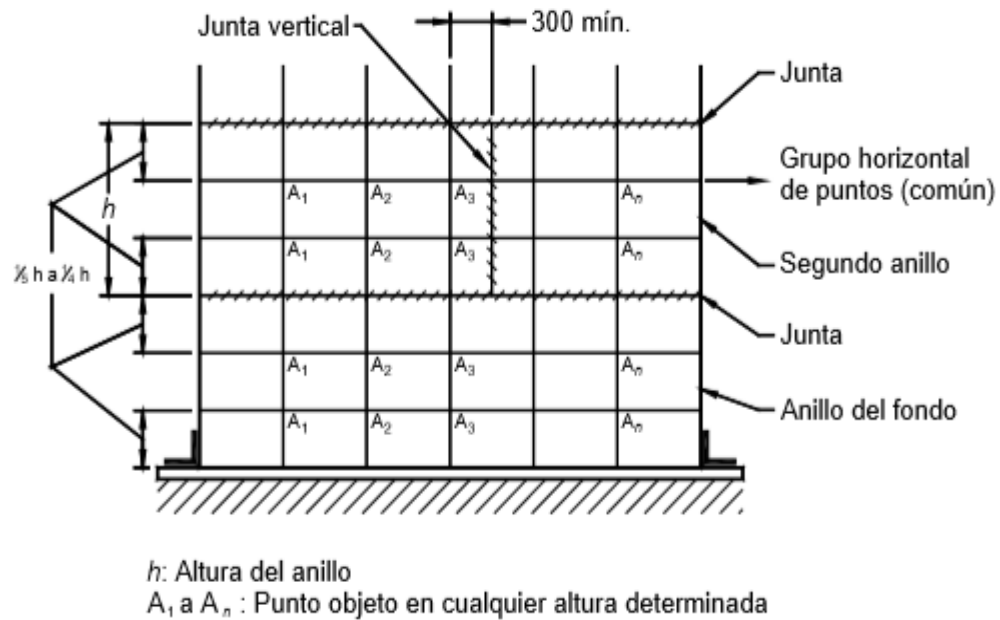


Figura 38. Ilustración de la ubicación objeto en la pared del tanque

Fuente: (ISO 7507-4., Norma para calibrar tanques de almacenamiento de hidrocarburos por el método electroóptico interno, 2012)

Determinar todos los puntos a lo largo del plano horizontal en ubicación de cada anillo, posteriormente se mide el ángulo que forma con la horizontal y el ángulo que forma con la vertical y la distancia de inclinación, (ver Figura 38) se mide y se registra la distancia de inclinación y los ángulos ya mencionados para cada uno de los puntos objeto de referencia.

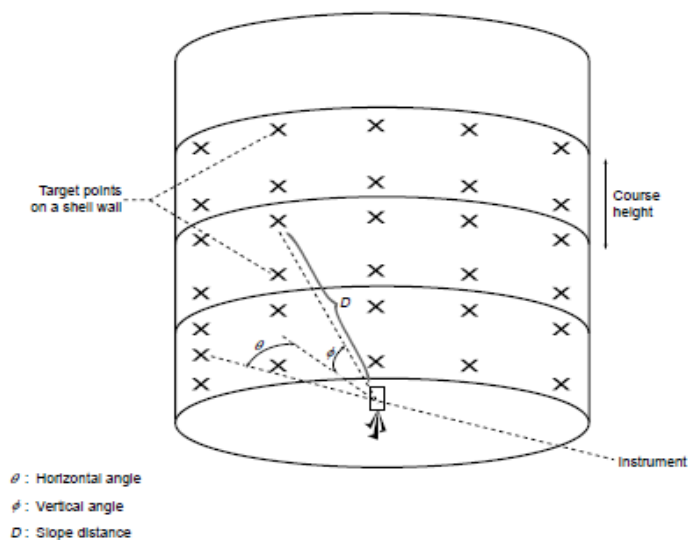


Figura 39. Ilustración del procedimiento de calibración

Fuente: (ISO 7507-4., Norma para calibrar tanques de almacenamiento de hidrocarburos por el método electroóptico interno, 2012)

Los siguientes datos serán determinados y procesados de acuerdo con API MPMS

Capítulo 2.2A. ya mencionada con anterioridad en la presente tesis.

- La densidad y la temperatura de trabajo del líquido a ser almacenado en el tanque.
- La altura de cada anillo, el espesor de cada lamina en los diferentes anillos.
- Volumen muerto
- La inclinación

4.2.2. Determinación del radio del círculo por el método de mínimos cuadrados

Para determinar el radio del círculo que mejor se ajusta a los n puntos (x_i, y_i) , donde $i = 1, 2, \dots, n$. Estos puntos son obtenidos de la medición con el dispositivo de medición electroóptico. (7507-4, 2006)

- **Solución Teórica**

La distancia del punto (x_i, y_i) de la circunferencia del círculo se calcula a partir:

$$P_{(x_i, y_i)} = \left(\sqrt{(x_i - a)^2 + (y_i - b)^2} \right) - r$$

Donde

(a, b) =Puntos de las coordenadas del centro del círculo mostrados (Ver figura 34)

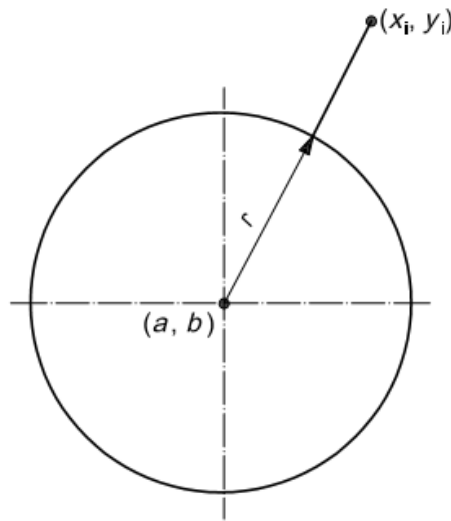


Figura 40. Circunferencia y coordenada

Fuente: (ISO 7507-3., Norma para calibrar tanques de almacenamiento de hidrocarburos por el método de triangulación óptica, 2006)

La suma de los cuadrados de las distancias de los n puntos del círculo está dado por:

$$\sum P_{(x_i, y_i)} = \sum \left\{ \left[\sqrt{(x_i - a)^2 + (y_i - b)^2} \right] - r \right\}^2$$

$$na = [\sum x_i] - \left[r \sum \frac{(x_i - a)}{r_i} \right]$$

$$nb = [\sum y_i] - \left[r \sum \frac{(y_i - b)}{r_i} \right]$$

$$nr = [\sum r_i]$$

Donde:

$$r_i = \sqrt{(x_i - a)^2 + (y_i - b)^2}$$

n = Número de puntos medidos

4.2.3. Cálculo de los radios y circunferencia interna

Las ecuaciones (3), (4), (5), se pueden resolver por cualquier método iterativo, sin embargo, la norma recomienda utilizar el siguiente método de ajuste, dando los siguientes pasos: (7507-4, 2006)

- Paso 1: Ajustar a , b y r a cero.
- Paso 2: Calcular los n valores r_i
- Paso 3: Si alguno de estos es cero, reemplazarlos por un valor de 1 mm (esto es para evitar la división por cero en el siguiente paso).
- Paso 4: Calcular los nuevos valores de a , b y r

$$\text{Nuevo valor de } a = \left[\sum x_i - r \sum \frac{(x_i - a)}{r_i} \right] x \frac{1}{n} \quad 7$$

$$\text{Nuevo valor de } b = \left[\sum y_i - r \sum \frac{(y_i - a)}{r_i} \right] x \frac{1}{n} \quad 8$$

$$\text{Nuevo valor de } r = (\sum r_i) x \frac{1}{n} \quad 9$$

- Paso 5: Si el nuevo valor de r difiere del valor antiguo en más de 0,01 mm, reemplace los valores antiguos de a , b y r por los nuevos valores y vuelva al paso 2, de lo contrario vaya al paso 6.
- Paso 6: Redondear el nuevo valor de r al número más cercano como el radio interno para el grupo de puntos. (7507-4, 2006)

4.2.4. Correcciones

Las correcciones en el método electroóptico interno comparten o son iguales al método de encintado (API MPMS 2.2A) y por tanto siguen el mismo procedimiento de cálculo, dichas correcciones se enumeran a continuación.

1. Corrección dada por el incremento de volumen por anillo
2. Corrección por inclinación del tanque
3. Corrección de volumen por efecto de temperatura
4. Incrementos y reducción en accesorios.

4.3. Calibración de tanques de almacenamiento Verticales por el método Electroóptico externo

La norma (ISO 7507-5)⁶ especifica un método para la calibración de tanques cilíndricos verticales no aislados que tienen diámetros superiores a 5 m, mediante medición externa, utilizando un método electroóptico de alcance de distancia (EODR), para elaborar la

⁶ Petroleum and liquid Petroleum products - Calibration of vertical cylindrical tanks - Part 5: External electro--Optical distance-ranging method

tabla de calibración. Esta parte de la norma ISO 7507 es aplicable a tanques con fondos con o sin cono, así como a tanques con fondos planos, así como también, tanques de techo fijo o flotante y tanques con o sin fluido durante la calibración.

4.3.1. Procedimiento según norma establecida

Al realizar las mediciones por el método electroóptico externo se debe tener en cuenta que si existe contenido este debe permanecer estático durante la calibración completa. La inmersión (es decir, la profundidad), la temperatura y la densidad del líquido deben medirse y registrarse. Sin embargo, si la temperatura de la pared del tanque difiere en más de 10°C entre la parte vacía del tanque y la parte completa del tanque, el tanque deberá estar completamente lleno o vacío. No se realizarán transferencias de líquido hacia o desde el tanque durante la calibración.

4.3.2. Determinación del número de estaciones

El número de estaciones utilizadas en una calibración depende de la circunferencia nominal del tanque. El número de estaciones se determinará mediante la siguiente ecuación:

$$N = \frac{C}{8}$$

Donde:

N = es el número de estaciones redondeadas al número par más cercano

C = es la circunferencia nominal del tanque, en metros.

4.3.3. Posicionamiento de los puntos objetivos

Se tomarán dos grupos de medidas tangentes en cada estación. En cada conjunto de tangentes, se tomarán medidas a dos tangentes por anillo, uno situado encima de la junta horizontal inferior a $1/5$ hasta $1/4$ de la altura del anillo, el otro por debajo de la junta horizontal superior a $1/5$ hasta $1/4$ de la altura del anillo.

Se puede elegir un número de puntos de destino mayor que el número mínimo de puntos de destino recomendado según las circunstancias específicas y las condiciones del tanque, es decir, si un tanque se deforma de manera anormal, o esta abollada o no circular, el número de puntos tangenciales y las lecturas deben aumentarse para tener en cuenta las áreas de deformación.

4.3.4. Determinación del radio del círculo por el método de mínimos cuadrados (Ver Sección 4.2.2 del presente escrito)

4.3.5. Calculo de los radios y circunferencia externa (Ver Sección 4.2.3 del presente escrito)

4.3.6. Correcciones

Las correcciones en el método electroóptico externo comparten o son iguales al método de encintado (API MPMS 2.2A) y por tanto siguen el mismo procedimiento de cálculo, dichas correcciones se enumeran a continuación.

1. Corrección de circunferencia medida a base de tanque vacío

2. Corrección dada por el incremento de volumen por anillo.
3. Corrección por inclinación del tanque.
4. Corrección de volumen por efecto de temperatura.

4.4. Calibración de recipientes Horizontales por el Método de encintado

La norma (API MPMS 2.2E)⁷ describe los procedimientos para calibrar tanques horizontales cilíndricos instalados en una posición fija, sea esta sobre tierra o bajo tierra. Esta norma es aplicable para tanques de hasta 4m de diámetro y 30m de longitud, y con una inclinación hasta el 10% desde la horizontal. Esta norma se aplica para tanques horizontales que tengan cabezas (Torisféricas, Elípticas y Esféricas).

Según la Norma API MPMS 2.2E. los tanques horizontales anteriormente mencionados se los puede calibrar mediante tablas de aforo donde se tomará en cuenta las correcciones debido a presión de trabajo, temperatura, inclinación, presión del líquido. Las medidas para calibrar este tipo de tanques pueden ser tomadas tanto externa como internamente.

4.4.1. Medidas Externas

Las mediciones externas se pueden realizar con cualquier cantidad de líquido y presión de líquido en el tanque. La profundidad, la temperatura, densidad y presión del líquido se registrará en el momento de la calibración. Sin embargo, si la temperatura de la pared del tanque difiere en más de 10 ° C entre la parte vacía y la parte completa del tanque, mientras que se están

⁷ ISO 12917-1:2002, Petroleum and liquid petroleum Products, API MPMS Chapter 2.2E- Calibration of horizontal cylindrical tanks Part 1: Manual Methods, First Edition, April 2004

tomando las medidas, el tanque debe estar completamente llenado o vaciado durante el procedimiento.

Para los procedimientos de medición, se debe utilizar una cinta circunferencial de longitud suficientemente larga para rodear completamente el tanque, y se tomarán medidas de la circunferencia total. En todos los casos, la cinta a utilizar debe aplicarse a la superficie del tanque en los lugares prescritos por el procedimiento de envoltura (al 20% y al 80% de la longitud de cada anillo, como muestra la Figura 40); es decir, la longitud requerida de la cinta debe aplicarse en una condición correcta y apretado por la aplicación de la tensión adecuada. (API MPMS 2.2E)

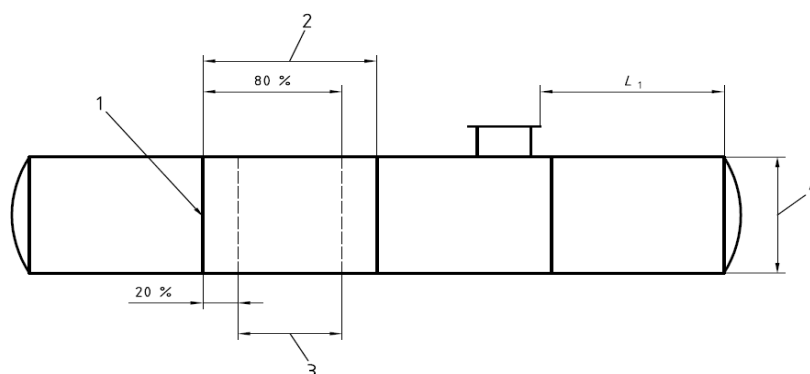


Figura 41. Medidas de diámetros de circunferencias

(API MPMS 2.2E/ISO 12917-1)

Fuente: (API MPMS 2.2E/ISO 12917-1, Norma para calibrar recipientes a presión horizontales, 2004)

Las mediciones deben leerse con una precisión de 1 mm y deben considerarse satisfactorias si se realizan dos lecturas consecutivas y están dentro de $\pm 0,03\%$ de la circunferencia o 3 mm, el que sea mayor.

4.4.2. Medidas Internas

Para los procedimientos de medición interna se utilizará una varilla telescópica de longitud suficiente para medir completamente el interior del tanque. Este método interno es aplicable a tanques con menos de 4 m de diámetro.

En todos los casos, la varilla telescópica se aplicará al tanque en los lugares prescritos, en cuatro posiciones, igualmente dividido en torno a la circunferencia. Se registrará el promedio de estas cuatro mediciones.

Las mediciones deben leerse con una precisión de 1 mm y deben considerarse satisfactorias si se encuentran dentro de $\pm 0,05\%$ del diámetro o ± 1 mm, el que sea mayor.

4.4.3. Calibración Según tipo de Cabezas

Para la calibración de los tanques horizontales se debe calcular el volumen de la parte cilíndrica y de las cabezas por separado, dependiendo el tipo de cabeza con las que fueron fabricados. El volumen de la parte cilíndrica se la calcula de la siguiente manera según apartado de la (API MPMS Sección 16.2)

$$V = A * L \quad \text{Desde } 0 \leq h \leq 2R$$

Donde

$$A = 0,5 * R^2(\alpha - \sin\alpha^N)$$

$$\alpha^N = 2 * \arccos \frac{(R - h)}{R}$$

$$R = \frac{D}{2}$$

Donde

D es el promedio interno del diámetro del tanque

h es la altura del líquido en el tanque

V es el volumen como función de la altura del líquido

L es la longitud de la parte cilíndrica del tanque.

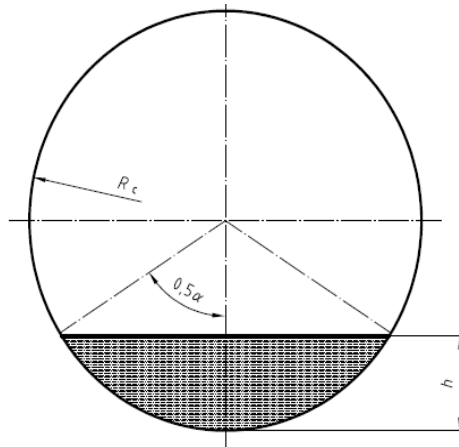


Figura 42. Cálculo del Volumen del Cilindro

Fuente: (API MPMS 2.2E/ISO 12917-1, Norma para calibrar recipientes a presión horizontales, 2004)

4.4.3.1. Cabezas Toriféricas

El cálculo del volumen de las cabezas toriféricas está basado en los siguientes datos según apartado de la (API MPMS 2.2E Sección 16.3)

- a) Radio de Rebombeo, R_k
- b) Radio de Bombeo, R_d
- c) Radio del Cilindro, R

De la Figura 37, se derivan las siguientes ecuaciones:

$$\sin \beta = \frac{(R - R_k)}{(R_d - R_k)}$$

$$R_2 = R_d * \sin \beta$$

$$x_2 = R_k * \cos \beta$$

$$x_1 = R_d - (R_d - R_k) * \cos \beta$$

Utilizando esta información, se calcularán los radios de la cabeza en función de la distancia,

Rx:

$$0 \leq x \leq x_2$$

$$R_x = (R - R_k) + \sqrt{R_k^2 - x^2}$$

$$x_2 \leq x \leq x_1$$

$$R_x = \sqrt{R_d^2 - (M - x)^2}$$

Donde

$$M = (R_d - R_k) * \cos \beta$$

El volumen incremental como función del nivel del líquido (h) de las cabezas torisféricas se calculará por integración numérica, mediante el método de Simpson:

$$V_h = \int_0^h A_h(x) dx$$

Donde:

$$A_h(x) = R_k^2 * (0,5 * \alpha_x - 0,5 \sin \alpha_x)$$

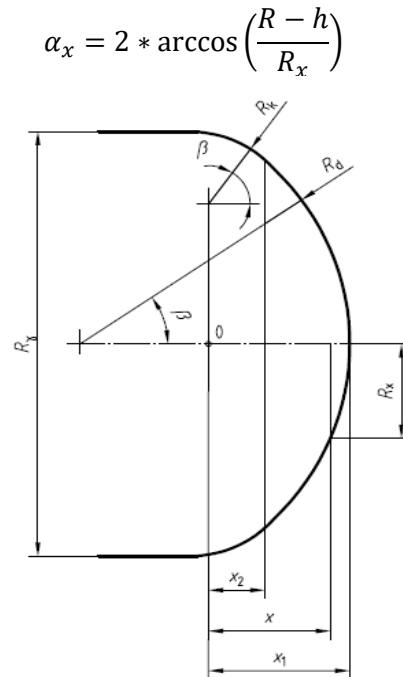


Figura 43. Calculo del Volumen de la Cabeza Torisférica

Fuente: (API MPMS 2.2E/ISO 12917-1, Norma para calibrar recipientes a presión horizontales, 2004)

4.4.3.2. Cabezas Elípticas

El volumen total de la cabeza elíptica es calculado de la forma siguiente según apartado (API MPMS 2.2E Sección 16.4)

$$V_t = \frac{2}{3} * \pi * R^2 * L_1$$

Donde

R es el radio de la cabeza

L_1 es la longitud de la cabeza

El volumen incremental de este tipo de cabezas se las calcula con la siguiente fórmula:

$$V_h = \frac{\pi * L_1 * h^2}{2} * \left(1 - \frac{h}{3R}\right)$$

Donde

h es la altura del producto o del líquido (ver figura 44)

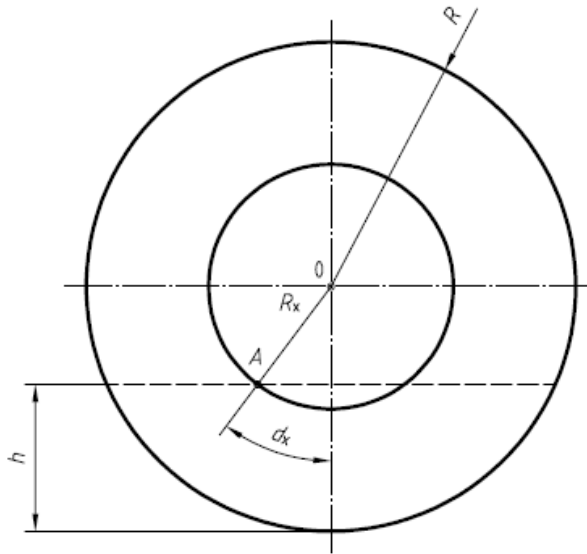


Figura 44. Sección de las cabezas (API MPMS 2.2E)

Fuente: (API MPMS 2.2E/ISO 12917-1, Norma para calibrar recipientes a presión horizontales, 2004)

4.4.3.3. Cabezas Esféricas

El volumen total de la cabeza esférica es calculado de la forma siguiente según la (API MPMS 2.2E Sección 16.5)

$$V_t = \frac{\pi * L_1}{6} * (3R^2 + L_1^2)$$

El volumen incremental de la cabeza esférica es calculado de igual forma que en el caso de las cabezas torisféricas, con la diferencia que el radio de rebordeo es 0

$$(R_k = 0)$$

4.4.3.4. Cabezas Cónicas

Debido a que existe la necesidad de calibrar tanques horizontales fabricados con cabezas cónicas, los cuales no se encuentran normados en la API MPMS 2.2E para tanques horizontales, se tomó el modelo matemático para el cálculo del área mojada en cabezas cónicas, y se emplea una integral en función de la altura del líquido para conocer el volumen que contienen este tipo de cabezas, como lo menciona (Jones, 2017) en su artículo científico.

El modelo matemático para obtener el área o superficie mojada es la siguiente:

$$S = \frac{2\sqrt{a^2 + R^2}}{R} \left(R^2 \cos^{-1} \frac{R-h}{R} - (R-h)\sqrt{2Rh - h^2} \right)$$

Donde

$$0 \leq h \leq D$$

Aplicando una integral definida, podremos calcular el volumen almacenado en cada una de este tipo de cabezas, el método de resolución de esta integral será integración numérica de Simpson. (Dan Jones, 2011)

4.4.4. Correcciones

En la ingeniería para la calibración de tanques, los principios matemáticos deberían ser utilizados en todos los cálculos para el desarrollo de tablas de capacidad de acuerdo a la norma establecida para la calibración de tanques horizontales. Los siguientes parámetros deben ser considerados para el desarrollo de tablas de capacidad, así como correcciones debido a

factores que cambian la medición final de los tanques para el cálculo posterior de su respectivo volumen.

4.4.4.1. Corrección de Presión de Trabajo

Se realizarán correcciones en el volumen del tanque, para la presión de trabajo del tanque una vez calibrado según la (API MPMS 2.2E Anexo B.2). De acuerdo con el principio de “Módulo de Young”. Los esfuerzos en una dirección provocan una extensión de la pared en esa dirección. También provoca una contracción en la dirección perpendicular, cuyo tamaño depende de la relación de Poisson para el material. La combinación de estos dos efectos causa una tensión uniforme en el material de los extremos hemisféricos de un cilindro. dada por:

$$\frac{pr}{2tE}(1 - \sigma)$$

Donde

p Presión de Trabajo en (Pa)

r Radio del Tanque en (m)

t Espesor de cuerpo en (m)

E Modulo de Young, en (Pa)

σ Coeficiente de Poisson

Este esfuerzo corresponde a un incremento en el radio de la cabeza, re , dado por:

$$\frac{\delta re}{r} = \frac{pr}{2tE}(1 - \sigma)$$

En la parte cilíndrica de un tanque, la tensión del aro es $\frac{pr}{t}$, debido a la tracción ejercida por los extremos hemisféricos, la tensión longitudinal es $\frac{pr}{2t}$.

Por lo tanto, se tiene lo siguiente.

La deformación en la dirección longitudinal se tiene:

$$\frac{\delta l}{l} = \frac{pr}{2tE} (1 - 2\sigma)$$

La deformación en la dirección circunferencial se tiene:

$$\frac{\delta rc}{r} = \frac{pr}{2tE} (2 - \sigma)$$

Donde:

l Longitud de la parte Cilíndrica en (m)

δl Incremento de la longitud en (m)

δc Incremento en el radio de la parte cilíndrica en (m)

p Presión de trabajo en (Pa)

r Radio del Tanque en (m)

t Espesor del Cuerpo en (m)

σ Coeficiente de Poisson

E Modulo de Young, en (Pa)

Combinando las fórmulas anteriormente presentadas se obtiene el factor de corrección del volumen del tanque.

$$V_{full} = V_C * C_{pvc} + V_e * C_{pve}$$

Con ello

$$C_{pvc} = 1 + \frac{pr}{2tE} (5 - 4\sigma)$$

$$C_{pve} = 1 + \frac{3pr}{2tE} (1 - \sigma)$$

Donde

Vc Volumen total de la parte cilíndrica del Tanque

Ve Volumen total de las cabezas

4.4.4.2. Corrección por Temperatura

Esta corrección se la aplica debido a que la temperatura de la carcasa del tanque es diferente a la temperatura cuando se calibró según (API MPMS 2.2E Anexo B.3). Se da por la siguiente fórmula:

$$C_{tv} = 1 + 2C_1(Ts - Tr)$$

Donde:

C₁ Coeficiente lineal de expansión del material

Tr Temperatura de referencia del material

Ts Temperatura actual del tanque.

$$Ts = \frac{7Tl - Ta}{8}$$

Donde:

Tl Es la temperatura del Líquido.

Ta Es la temperatura del ambiente.

Nota: Para los tanques aislados la temperatura de la carcasa se asume iguala a la temperatura del líquido.

4.4.4.3. Corrección de Presión del líquido

Las correcciones al volumen de los tanques cilíndricos horizontales debido a la presión del líquido pueden ignorarse ya que el efecto es mínimo debido a las dimensiones limitadas de 4m de diámetro y 30 m de longitud.

4.4.4.4. Corrección de Inclinación

Se debe ignorar el efecto de inclinación si el valor E/D, es mejor que 0,012. Para tanques con inclinación superior al límite de 0,012 según (API MPMS 2.2E Anexo B.4) la corrección del volumen se realizará de acuerdo con la Figura 44.

La posición inclinada se determina tomando porcentajes del volumen total_{nkVolumenes} incrementales para la corrección satisfactoria y factores para el volumen en cualquier punto de tanques inclinados. El efecto de la inclinación sobre el volumen de las cabezas es despreciable, para tanques de más de 4 m de diámetro y 30 m de longitud.

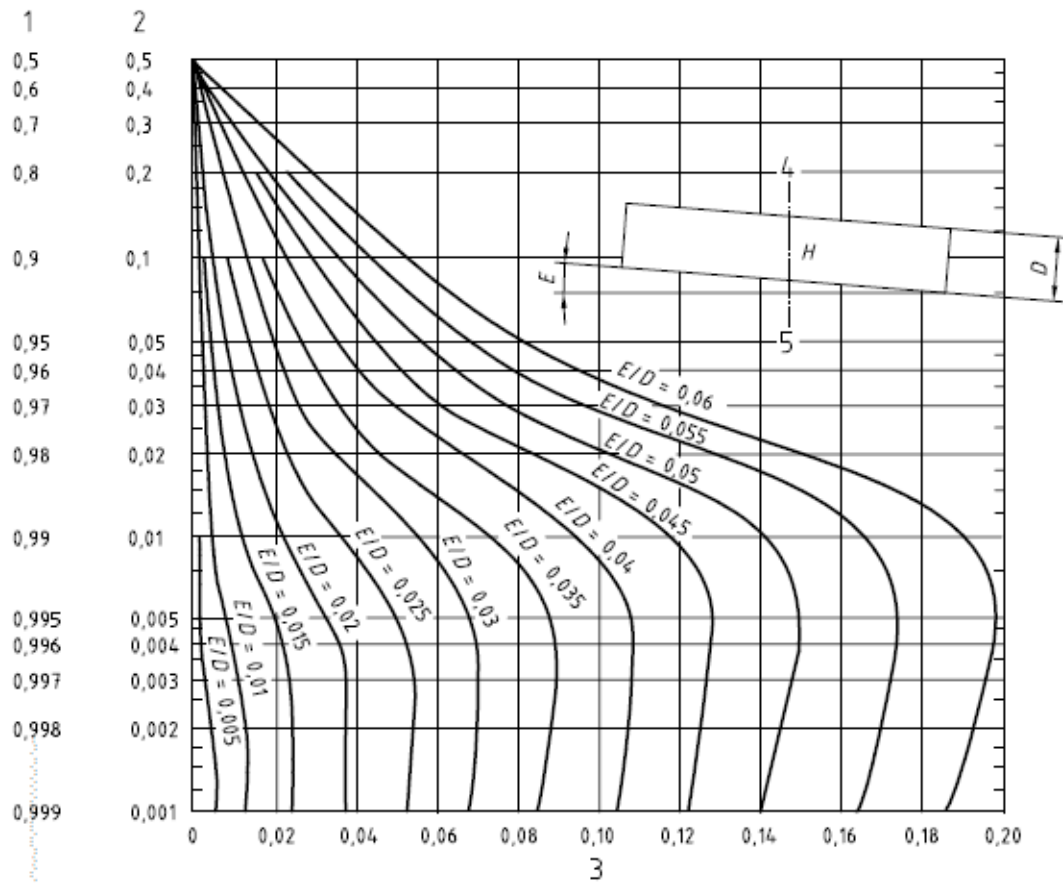


Figura 45. Corrección de volumen para depósitos cilíndricos con eje inclinado

Fuente: (API MPMS 2.2E/ISO 12917-1, Norma para calibrar recipientes a presión horizontales, 2004)

4.5. Calibración de tanques Esféricos

La norma API 2552⁸ describe los procedimientos para calibrar tanques esféricos y esferoides, utilizados principalmente para el almacenamiento de líquidos de petróleo.

⁸ Measurement and Calibration of Spheres and Spheroids. API Standard 2552

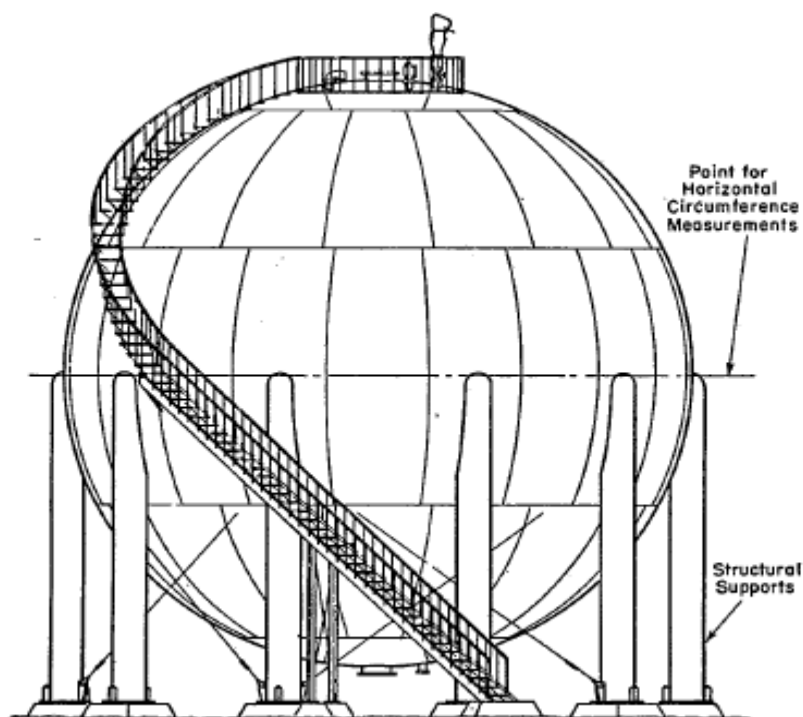


Figura 46. Tanque Esférico

Fuente: (API 2552, Norma para calibrar recipientes a presión esféricos, 2004)

4.5.1. Procedimiento según norma establecida

La parte I de la norma API 2552 se trata sobre la calibración de tanques esféricos, mientras que en la parte II de la misma trata sobre la calibración de tanques esferoidales. Las dos partes de la norma tiene dos métodos diferentes de calibración de sus respectivos tanques, los cuales son: Calibración líquida, Calibración por cinta métrica.

- *Calibración Líquida-Esferas*

Este tipo de calibración es preferida para cualquier tanque o porción de tanque que no es susceptible al movimiento (ver la norma API 2552-ASTM).

- *Calibración Líquida-Esferoides*

Este tipo de calibración es preferida para cualquier tanque o porción de tanque que no es susceptible al movimiento. Las mediciones circunferenciales en un esferoide están limitadas a dos, se prefiere la calibración líquida (vea la norma API 2552-ASTM D 1408) al procedimiento de medición. (c) La calibración del líquido se puede realizar por medio de un metro, también usando agua o un producto de baja volatilidad, como el aceite combustible.

Cuando se calibra con líquido, el esferoide debería haberse llenado al menos una vez con un líquido al menos tan pesado como el líquido a almacenar.

Cuando se utilizan tanques de calibración, deben ser calibrados con precisión mediante el procedimiento de medición crítica (tal como se describe en la Norma API 2550-ASTM D 1220).

4.1.1.1 Calibración por Cinta Métrica- Esferas- Esferoides

En este método las esfera o esferoide a calibrar pueden estar inicialmente llenos o vacíos, la calibración debe proseguir introduciendo o retirando el líquido. Las lecturas del medidor deben tomarse cada pulgada sobre y bajo el 25% de la altura entre el punto inferior y el punto superior de la estructura.

4.1.1.2 Calibración Por Tanque- Esferas- Esferoides

Cuando la calibración de tanques es usada, deben ser precisas. La esfera o esferoides deben llenarse con agua hasta la línea superior. El agua debe ser descargada en tanques de calibración donde se mide con precisión la cantidad de líquido.

La calibración debe obtenerse para cada pulgada del 25% superior y el 25% inferior de la altura entre las líneas de capacidad inferior y superior

4.5.2. Correcciones

4.5.2.1. Corrección por Temperatura

La base y el método para corregir el volumen de tanques esféricos y tanques esferoidales que han sido afectados por cambios en la temperatura se detallan en Sección 10 de la norma API2552. El coeficiente, K_t , se obtiene a partir de la curva que se muestra a continuación (ver Figura 46), que se basa en una media del coeficiente de expansión térmico, α_m , de 0,0000065 por grado F.

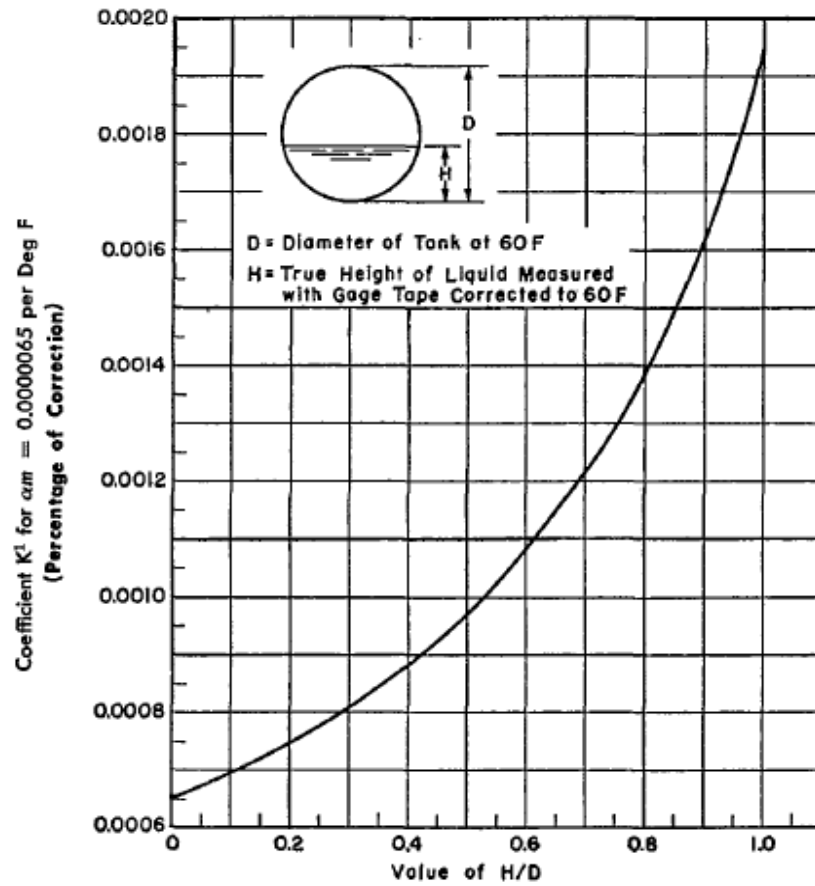


Figura 47. Coeficiente de corrección de volumen por expansión o contracción térmica de tanques esféricos y esferoidales.

Fuente: (API 2552, Norma para calibrar recipientes a presión esféricos, 2004)

El valor, K' , tomado de la curva, debe ajustarse a la expansión térmica actual, α_m , del material del tanque a la temperatura real del tanque, t . Para acero de bajo carbono y aluminio estructural, los valores de α_m son:

Tank Shell Temperature, <i>t</i> , °F	Value of αm per °F
Steel	
-70 to -21	0.000060
-20 to +28	0.000061
+29 to 78	0.000062
79 to 128	0.000063
129 to 177	0.000064
178 to 227	0.000065
228 to 276	0.000066
277 to 326	0.000067
327 to 376	0.000068
377 to 425	0.000069
Aluminum	
-70 to -11	0.0000122
-10 to +49	0.0000124
+50 to 109	0.0000126
110 to 169	0.0000128
170 to 229	0.0000130
230 to 289	0.0000132
290 to 349	0.0000134
350 to 409	0.0000136

Figura 48. Tabla de Constantes

Fuente: (API 2552, Norma para calibrar recipientes a presión esféricos, 2004)

El valor de K para el uso en la Sección 10 es igual al K_i de la curva que se muestra en la Fig. 46, dividido por 0.0000065 por grado F y multiplicado por el valor adecuado de αm para el material y la estructura de la carcasa del tanque; es decir: 0.0000065 donde: αm el coeficiente medio de expansión lineal entre temperaturas, t y 60 F.

$$K = K' * \frac{\alpha m}{0.0000065}$$

Donde:

αm : La media entre el coeficiente lineal de expansión entre temperaturas, t , y 60°

4.6. Calibración de tanques por el método volumétrico

El método de calibración volumétrico se usa para tanques que tengan capacidades entre 80 y 800m³ como restricción volumétrica según la norma (ISO-4269, API 2555). El

método de calibración presentado consiste en llenar o vaciar por etapas el tanque a calibrar y haciendo uso de instrumentos de medición como cintas o plomadas se va midiendo el nivel de llenado del líquido, así se va obteniendo una tabla de nivel respecto al volumen.

4.6.1. Corrección por calibración del medidor

$$VC_n = VR_n * FC_1$$

VC_n =Volumen corregido para cada corrida

VR_n =Volumen registrado para cada corrida

FC_1 =0.9997

n =Numero de corrida

4.6.2. Ajuste del coeficiente de temperatura (contrastador-tanque)

$$CCT_n = 1 + (Tn_t - Tn_c)$$

Tn_t =Temperatura del liquido en el tanque para cada corrida

Tn_c =Temperatura del liquido en el contrastador para cada corrida

n =Numero de corrida

4.6.3. Ajuste del coeficiente de temperatura (entre corridas en el tanque)

$$CCT_n = 1 + (T_{n+1} - Tn)$$

T_{n+1} =Temperatura del liquido corrida posterior

Tn =Temperatura del liquido corrida actual

n =Número de corrida

El volumen al final de cada corrida será registrado con el siguiente modelo matemático registrado en concordancia con la Norma API 2555.- Method for Liquid Calibration of Tanks.

$$V_n = VC_n * CCT_n * CTT_n$$

4.7. Incertidumbre de volumen en tanques de almacenamiento de hidrocarburos.

4.7.1. Incertidumbre de volumen en tanques de almacenamiento por el método de encintado

Los modelos matemáticos para el cálculo de la incertidumbre en calibración de tanques de almacenamiento por el método de encintado se presentan en la norma (ISO 7507-1/Anexo D):

- Cintas y correcciones por obstrucciones;
- Circunferencia externa;
- Correcciones térmicas de cinta de medición.

4.7.1.1. Incertidumbre de componentes

4.7.1.1.1. Incertidumbre por la longitud de la cinta

La incertidumbre expandida UL_{cinta} dada por el certificado de calibración para toda la cinta, o un estimado de incertidumbre de la parte de la cinta que se está utilizando para la medición, con un factor de cobertura k (generalmente $k = 2$, correspondiente a un nivel de confianza del 95%), produce la incertidumbre estándar:

$$uL_{cinta} = \frac{UL_{cinta}}{k} [m]$$

$u_{L_{cinta}}$ =Incertidumbre por longitud de la cinta de medición

UL_{cinta} =Incertidumbre expandida dada por el certificado de calibración de la cinta.

4.7.1.1.2. Incertidumbre por lectura de la cinta

Si res_{lec} es la resolución de la cinta (generalmente, $res_{lec}= 1\text{mm}$), la incertidumbre estándar correspondiente es:

$$u_{lec} = \frac{(res_{lec})}{\sqrt{12}} [m]$$

res_{lec} =Resolución de lectura

4.7.1.1.3. Incertidumbre dada por la tensión y posición de la cinta de medición.

La tensión de la cinta de medición y la incertidumbre de posición incluyen los siguientes componentes:

- Incertidumbre de la tensión en el dispositivo que mide la longitud (cinta);
- Incertidumbre sobre la distribución de esta tensión a lo largo de la cinta, debido a la fricción contra el tanque;
- Incertidumbre debido a que la cinta no está en un plano;
- Incertidumbre debido a que el plano de la cinta no es perpendicular al eje del tanque.

Tank circumference m	Tolerance tL_{tp} mm (m)
< 25	2 (0,002)
> 25 ≤ 50	3 (0,003)
> 50 ≤ 100	5 (0,005)
> 100 ≤ 200	6 (0,006)
> 200	8 (0,008)

Figura 49. Tolerancias de circunferencias de tanque

Fuente: (API 2552, Norma para calibrar recipientes a presión esféricos, 2004)

$$T_{TPC} = tL_{tp}$$

$$u_{TPC} = \frac{T_{TPC}}{2\sqrt{3}} [m]$$

u_{TPC} =Incertidumbre por posición y tensión de la cinta

T_{TPC} =Tolerancia de tensión y posición de cinta

4.7.1.1.4. Incertidumbre debido a la alineación de la cinta

Si se usan varias cintas para medir la circunferencia del tanque, los errores en su alineación dan como resultado una incertidumbre adicional. Si E_{al} es el error máximo de la alineación de cada par de cintas (típicamente, $E_{al} = 1$ mm), la correspondiente. La incertidumbre estándar de (n - 1) alineaciones entre n cintas es:

$$u_{al} = \frac{\sqrt{n-1} * E_{al}}{2\sqrt{3}} [m]$$

u_{al} =Incertidumbre por alineación de cinta
 n =Número de cintas
 E_{al} =Error máximo de alineamiento permitido

4.7.1.1.5. Incertidumbres de obstrucciones.

Las correcciones de la longitud de la cinta de medición que corre sobre las obstrucciones están sujetas a incertidumbres (por ejemplo, incertidumbres de las dimensiones de las obstrucciones).

La incertidumbre estándar de la longitud de la cinta debido a obstrucciones no se calcula, pero se incluye en "incertidumbres adicionales" (u_{Vad})

4.7.1.2. Incertidumbres de la circunferencia interna en condiciones de calibración.

4.7.1.2.1. Incertidumbre estándar de circunferencia externa

Dado que todos los errores de medición son aditivos, la incertidumbre de la circunferencia externa se obtiene como la raíz cuadrada de todas las incertidumbres del componente de medición.

$$U_{C.ext} = \left[\frac{uL_{cinta}^2 + u_{lec}^2 + u_{TPC}^2 + u_{al}^2}{mc} \right]^{1/2} [m]$$

$U_{C.ext}$ =Incertidumbre estándar de la circunferencia externa medida

mc =Número de circunferencias medidas por anillo de tanque

4.7.1.2.2. Incertidumbres de volumen en condiciones de calibración (volumen bruto)

4.7.1.2.2.1. Incertidumbre promedio de anillo

Esta incertidumbre se debe al hecho de que se asigna una circunferencia promedio a cada anillo del tanque. Si el anillo no es cilíndrico, sus partes diferirán de la media. Las incertidumbres estándar de las circunferencias del tanque debidas al promedio del anillo no se calculan, pero se incluyen en “incertidumbres adicionales” ($uVad$).

4.7.1.2.2.2. Incertidumbre por la forma del tanque.

Las incertidumbres se deben al hecho de que el tanque puede no ser un cilindro ideal.

Incertidumbre estándar generalizada es $uV_{FO} = 0.05\%$ del volumen, según datos experimentales.

La incertidumbre por la forma del tanque se trata de un factor adicional de ($uVad$) y se aplica a todos los métodos de calibración.

4.7.1.2.2.3. Incertidumbre de inclinación del tanque

La incertidumbre estándar de la inclinación del tanque depende de la precisión de las mediciones de las distancias. La incertidumbre por inclinación del tanque no se calcula, pero se incluye en “incertidumbres adicionales” ($uVad$).

4.7.1.2.2.4. Incertidumbre por fondo de del tanque

Se puede calcular la incertidumbre estándar del fondo del tanque. Un valor típico puede ser estimado como: $uV_b = 0.25\%$ [% del volumen del fondo (V_b)].

4.7.1.2.2.5. Incertidumbre debido al techo flotante / volumen muerto

La incertidumbre estándar (uV_{des}), basada en la experiencia, se estima en un 1,5% del volumen desplazado (V_{des}).

4.7.1.3. Incertidumbres adicionales

Las influencias de las siguientes correcciones se incluyen en las incertidumbres adicionales:

- Correcciones por inclinación del tanque;
- Correcciones relacionadas con deformaciones del tanque distintas de las deformaciones hidrostáticas;
- Aproximaciones numéricas;
- Otras influencias no cuantificables.

La incertidumbre estándar adicional (uV_{ad}), basada en la experiencia, se estima, para tanques cilíndricos verticales, como 0,02% de volumen.

4.7.1.3.1. Incertidumbres del metal y espesor de pintura.

La incertidumbre estándar del metal y espesor de pintura es:

$$ut_{MP} = \frac{wt_{MP}}{2\sqrt{3}} [m]$$

ut_{MP} =Incertidumbre del metal y espesor de pintura

wt_{MP} = Máxima incertidumbre de espesor de la pared del tanque de metal y pintura, donde generalmente se recomienda 0,001m.

4.7.1.3.2.Circunferencia interna

La incertidumbre estándar de la circunferencia interna (corregida por el espesor del metal y la pintura) es:

$$uC_{in} = [uC_{ET}^2 + (2\pi * ut_{MP})^2]^{\frac{1}{2}} [m]$$

uC_{in} =Incertidumbre estándar de la circunferencia interna

uC_{ET} =Incertidumbre

4.7.1.3.3. Radio interno

La incertidumbre estándar del radio interno es:

$$uR_{in} = \frac{uC_{in}}{2\pi} [m]$$

uR_{in} =Incertidumbre estándar de radio interno

4.7.1.3.4. Área transversal interna

La incertidumbre estándar del área transversal interna es:

$$uA_{in} = \frac{2 * uC_{in} * A_{sin}}{C_{in}} [m]$$

C_{in} =Circunferencia interna de cada anillo

A_{sin} =Área de sección interna de cada anillo

4.7.1.3.5. Volumen Bruto

La incertidumbre adicional en el volumen debido a las incertidumbres en las mediciones de nivel. Se producen cuando cambia el área de la sección transversal

- a. En la calibración
- b. En servicio

$$V_R = (A_{in1} * h_{a1}) + (A_{in1} * h_{a2}) + (A_{in1} * h_{a3}) [m^3]$$

V_R =Volumen Bruto

A_{in1} =Área de sección interna de anillos

h_{a1} =Altura de cada anillo

Incetidumbre de estándar de volumen bruto

$$uV_R = \sqrt{(uA_{in1} * h_{a1})^2 + (uA_{in2} * h_{a2})^2 + (uA_{in3} * h_{a3})^2} [m^3]$$

4.7.1.4. Incertidumbre expandida de volumen en condiciones de calibración.

La incertidumbre ampliada del volumen en las condiciones de calibración, incluidas las incertidumbres sobre el volumen del fondo del tanque, las incertidumbres causadas por su forma y por varios factores adicionales son iguales a:

$$UV_R = k \sqrt{uV_R^2 + (uVb * Vb)^2 + (uVad * V_R)^2 + (uV_{des} * V_{des})^2 + (uV_{FO} * V_R)^2} \quad [m^3]$$

UV_R =Incertidumbre expandida de volumen en condiciones de calibración

4.7.1.5. Incertidumbre de volumen en condiciones de referencia

4.7.1.5.1. Mediciones y cálculos

Las siguientes correcciones se especifican en la ISO 7507-1 para corregir las dimensiones de la tabla del tanque en calibración para:

- a. Deformación hidrostática debida a la altura
- b. Temperatura y densidad del líquido (cabeza hidrostática), esta corrección da una tabla de calibración para un tanque vacío
- c. Expansión térmica de la carcasa del tanque desde la temperatura de calibración hasta la temperatura de referencia

4.7.1.5.2. Deformación por cabezal hidrostático en condiciones de referencia.

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

R_{in} =Radio interno

ρ =Densidad observada del líquido contenido, el valor de la incertidumbre de la

densidad $u\rho$ puede ser estimado como $\frac{5}{\sqrt{3}} \quad \left[\frac{kg}{m^3} \right]$

$u\rho$ =Incertidumbre estándar de la densidad del liquido

E =Módulo de elasticidad de referencia del material de la pared del tanque; valor típico de incertidumbre (uE) puede ser estimado en $\left(\frac{5*10^9}{\sqrt{3}} \frac{N}{m^2}\right)$.

uE =Incertidumbre de módulo de elasticidad de la pared del tanque

t_{MP} =espesor de la pared del tanque de metal y pintura; la incertidumbre, ut_{MP} , se calculo con anterioridad

Se asume que las incertidumbres de las siguientes variables son cero y se ignoran sus efectos:

U_L = incertidumbre del nivel (ficticio) de líquido en el tanque;

ug = incertidumbre de la aceleración local debido a la gravedad;

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

Incertidumbre estándar de volumen de expansión causado por la cabeza hidrostática

$$uV_{HI} = V_H * \sqrt{\left(3 * \frac{uR_{in}}{R_{in}}\right)^2 + \left[\frac{u\rho}{\rho - u\rho_{ref}}\right]^2 + \left(\frac{uE}{E}\right)^2 + \left(\frac{ut_{MP}}{t_{MP}}\right)^2} \quad [m^3]$$

4.7.1.5.3. Corrección por expansión térmica del tanque y cinta de medición en condiciones de referencia

La incertidumbre estándar de la circunferencia externa corregida por la expansión térmica de la cinta de medición y la carcasa del tanque incluye:

- a. Incertidumbre estándar de los coeficientes de expansión de la cinta y del tanque, y

- b. Incertidumbre estándar de las temperaturas (se asume que son las mismas para la cinta y el tanque).

K_{st} =Coeficiente de expansión lineal de la cinta [$^{\circ}C^{-1}$]

K_{tk} =Coeficiente de expansión lineal del tanque [$^{\circ}C^{-1}$]

T_{ref} =Temperatura de referencia del tanque y conta [$^{\circ}C$]

T_{ct} =Temperatura en la cinta (igual para cinta y tanque) [$^{\circ}C$]

La incertidumbre estándar de la temperatura de encintado es:

$$uT_{ct} = \frac{eT_{ct}}{2 * \sqrt{3}} \quad [^{\circ}C]$$

eT_{ct} =Máximo error de temperatura estimado de la cinta típicamente

$$eT_{ct} = 5 \quad [^{\circ}C]$$

uT_{ct} =Incertidumbre estándar de temperatura de la cinta de medición

Suponiendo una distribución rectangular, las incertidumbres estándar del coeficiente de expansión lineal de la cinta y el material de la cáscara del tanque son:

$$uK_{st} = \frac{eK_{st}}{2 * \sqrt{3}} \quad [^{\circ}C^{-1}]$$

$$uK_{tk} = \frac{eK_{tk}}{2 * \sqrt{3}} \quad [^{\circ}C^{-1}]$$

$eK_{st} = eK_{tk}$ =Error máximo estimado de coeficiente expansión lineal
 $2 * 10^{-6} \quad [^{\circ}C^{-1}]$

uK_{st} =Incertidumbre por coeficiente de expansión lineal de la cinta

uK_{tk} =Incertidumbre por coeficiente de expansión lineal del tanque

La incertidumbre estándar de la circunferencia externa corregida es:

$$uC_{ETT} = \sqrt{[uC_{ext} * (K_{st} - K_{tk}) * (T_{ct} - T_{ref})]^2 + [uT_{ct} * C_{ex} * (K_{st} - K_{tk})]^2 + (uK_{st}^2 + uK_{tk}^2) * [C_{ex} * (T_{ct} - T_{ref})]^2} \quad [m]$$

uC_{ETT} =Incertidumbre estándar de la circunferencia externa corregida

uC_{ex} =Incertidumbre de circunferencia exterior

C_{ex} =Circunferencia externa medida

Incertidumbre estándar de volumen por expansión térmica

$$uV_T = 2 * \frac{uC_{ETT}}{C_{ex}} * 100\% \quad [\%Volumen]$$

4.7.1.6. Incertidumbres hidrostáticas adicionales

La influencia de las siguientes cantidades se incluye en las incertidumbres hidrostáticas adicionales:

- Deformación hidrostática del fondo del tanque en condiciones de referencia;
- Incertidumbre del modelo de corrección de la cabeza hidrostática.

La incertidumbre estándar uV_{fon} causada por la deformación del fondo del tanque debido a la cabeza hidrostática depende de condiciones como el tamaño o el estado del fondo.

No se calcula, pero un valor típico puede estimarse como:

$$uV_{fon} = \frac{0,25}{L} \quad [\%Volumen]$$

donde L es la altura de llenado (ficticia), en metros, con $1 < L$.

uV_C = Incertidumbre estándar relacionada con la corrección de volumen debida a la cabeza hidrostática se puede estimar como $1.25 * 10^{-4} [m^3]$

4.7.1.7. Incertidumbre expandida de volumen en la tabla de capacidad del tanque.

Incertidumbre expandida de los valores dados en la tabla de capacidad del tanque (con factor de cobertura $k = 2$), incluida la incertidumbre de las correcciones del volumen bruto extendido como la deformación debido a la cabeza hidrostática, la expansión térmica y las incertidumbres hidrostáticas adicionales, teniendo así:

$$UV = 2 * \sqrt{uV_R^2 + uV_{HI}^2 + uV_C^2 + uV_T^2 * V_{PA}^2 + uV_o^2 * V_{PA}^2} [m^3]$$

V_{PA} = Volumen contenido en el tanque correspondiente a cada altura de anillo.

4.7.1.8. Incertidumbre en condiciones de servicio

4.7.1.8.1. Corrección por deformación debido a la presión hidrostática

$$Uvhs = \sqrt{uV_{HI}^2 + \left(\frac{V_{HI} * u\rho}{p_{ref} - \rho} \right)^2} [m^3]$$

4.7.1.8.2. Incertidumbre estándar expresado en porcentaje de volumen de la corrección del volumen por expansión térmica

$$UV_{TS} = \sqrt{\left(\frac{uV_{HI}}{V_{HI}}\right)^2 + [K_{ST} * (T_{CT} - T_{ref})]^2 + (uT_{TP} * K_{ct})^2 + [2 * uK_{ST}^2 * (T_{CT} - T_{ref})]^2 + (uT_{TK} * 2 * K_{tk})^2}$$

UV_{TS} =Incertidumbre estándar de volumen por expansión térmica en servicio.

4.7.1.8.3. Inmersión

$$edm = 1.3 + 0.2L_{cinta}$$

$$DH = \frac{R_p * N_L * \rho * g}{1 * 0,3 * E * es_{pr}}$$

$$u_{NS} = \frac{e_{NS}}{\sqrt{3}}$$

$$uL_{CT} = \frac{rL_{CT}}{\sqrt{12}}$$

$$uIN = \frac{1}{100} * \sqrt{udm^2 + uL_{ct}^2 + DH^2}$$

edm = Longitud de la cinta que se encuentra inmersa en el líquido

L_{cinta} =Error máximo de la medición de la superficie del líquido y el punto de inmersión.

es_{pr} =Espesor promedio

DH = Error de estimación de altura de liquido

N_L =Nivel de liquido

u_{NS} =Incertidumbre estándar del nivel que se encuentra sumergido

e_{NS} =Estimación máximo de error de nivel que se encuentra sumergido

uL_{CT} =Incertidumbre de lectura de cinta sumergida

rL_{CT} =Resolución de la cinta

uIN =Incertidumbre por inmersión

4.7.1.8.4. Incertidumbre de volumen total

$$U_{vt} = \frac{2}{100} * \left\{ \left[\sqrt{\left(\frac{UV}{k}\right) + uVb^2 + (UV_{TS}^2 * V_R^2) + (uIN * R_{in}^2 * \pi)^2} \right] + uV_c \right\}$$

Es la incertidumbre en cada anillo dad por todas las incertidumbres provocas durante la calibración del tanque de almacenamiento

4.7.2. Incertidumbre de volumen en la calibración de tanques de almacenamiento por el método de electroóptico interno.

La calibración de tanques de almacenamiento verticales por el método electroóptico interno tiene una serie de mediciones y se detallará los modelos matemáticos para hallar la incertidumbre mediante este método.

4.7.2.1. Incertidumbre de componentes

En la calibración de tanques de almacenamiento verticales por el método electroóptico interno se tiene presente que no se utiliza la cinta de medición de circunferencia externa salvo para el primer anillo, los siguientes anillos son medidos con otro instrumento de medición. También se debe tener muy claro que en este tipo de calibración el tanque debe estar completamente vacío, su fondo de tanque debe ser plano, y debe ser tanque de techo fijo.

Para realizar el cálculo de incertidumbre de los tanques de almacenamiento por el método electroóptico interno seguimos los siguientes pasos:

- Para el primer anillo del tanque se realiza el cálculo de incertidumbre igual al cálculo de incertidumbre por el método de encintado.
- Para los anillos siguiente se omiten los cálculos de incertidumbre referente a la cinta de medición.
- En el presente cálculo de incertidumbre los tanques deben estar completamente vacíos por el cual se omiten cálculos de incertidumbre referenciado por el nivel del líquido presente, así como también se omitirán incertidumbres debido al techo flotante dado que solo se calibrarán tanques de techo fijo.

4.7.2.2. Incertidumbres

- Incertidumbre por la forma del tanque.
- Incertidumbre de inclinación del tanque
- Incertidumbre por fondo de del tanque
- Incertidumbre debido al techo flotante / volumen muerto
- Incertidumbres adicionales
- Incertidumbres del metal y espesor de pintura.
- Incertidumbre de Circunferencia interna
- Incertidumbre del Radio interno
- Incertidumbre de Área transversal interna

- Volumen Bruto
- Incertidumbre de estándar de volumen bruto
- Incertidumbre expandida de volumen en condiciones de calibración.
- Incertidumbre de volumen en condiciones de referencia
- Deformación por cabezal hidrostático en condiciones de referencia.
- Incertidumbre estándar de volumen de expansión causado por la cabeza hidrostática
- Corrección por expansión térmica del tanque y cinta de medición en condiciones de referencia
- La incertidumbre estándar de la temperatura de encintado
- La incertidumbre estándar de la circunferencia externa corregida
- Incertidumbre estándar de volumen por expansión térmica
- Incertidumbres estándar del fondo del tanque
- Incertidumbre expandida de volumen en la tabla de capacidad del tanque.
- Corrección por deformación debido a la presión hidrostática en servicio
- Incertidumbre estándar expresado en porcentaje de volumen de la corrección del volumen por expansión térmica
- Inmersión
- Incertidumbre de volumen total

4.7.3. Incertidumbre de volumen en la calibración de tanques de almacenamiento por el método de electróptico externo

La calibración de tanques de almacenamiento verticales por el método electroóptico-externo tiene una serie de mediciones y se detallará los modelos matemáticos para hallar la incertidumbre mediante este método.

4.7.3.1. Incertidumbre de componentes

En la calibración de tanques de almacenamiento verticales por el método electróptico-externo se tiene presente que no se utiliza la cinta de medición de circunferencia externa salvo para el primer anillo, los siguientes anillos son medidos con otro instrumento de medición. Con el método presente el tanque puede contener fluido, presentar cualquier tipo de techo y fondo durante la calibración del tanque de almacenamiento.

Para realizar el cálculo de incertidumbre de los tanques de almacenamiento por el método electroóptico externo seguimos los siguientes pasos:

- Para el primer anillo del tanque se realiza el cálculo de incertidumbre igual al cálculo de incertidumbre por el método de encintado.
- Para los anillos siguiente se omiten los cálculos de incertidumbre referente a la cinta de medición.

4.7.3.2. Incertidumbres

- Incertidumbre por la forma del tanque.
- Incertidumbre de inclinación del tanque
- Incertidumbre por fondo de del tanque
- Incertidumbre debido al techo flotante / volumen muerto
- Incertidumbres adicionales
- Incertidumbres del metal y espesor de pintura.
- Incertidumbre de Circunferencia interna
- Incertidumbre del Radio interno
- Incertidumbre de Área transversal interna
- Volumen Bruto
- Incertidumbre de estándar de volumen bruto
- Incertidumbre expandida de volumen en condiciones de calibración.
- Incertidumbre de volumen en condiciones de referencia
- Deformación por cabezal hidrostático en condiciones de referencia.
- Incertidumbre estándar de volumen de expansión causado por la cabeza hidrostática
- Corrección por expansión térmica del tanque y cinta de medición en condiciones de referencia
- La incertidumbre estándar de la temperatura de encintado
- La incertidumbre estándar de la circunferencia externa corregida
- Incertidumbre estándar de volumen por expansión térmica
- Incertidumbres estándar del fondo del tanque
- Incertidumbre expandida de volumen en la tabla de capacidad del tanque.

- Corrección por deformación debido a la presión hidrostática en servicio
- Incertidumbre estándar expresado en porcentaje de volumen de la corrección del volumen por expansión térmica
- Inmersión
- Incertidumbre de volumen total

4.7.4. Incertidumbre de volumen en la calibración de tanques de almacenamiento por el método volumétrico

Los principales parámetros que pueden influir en la calidad del resultado durante la calibración volumétrica. La incertidumbre estándar de referencia es uno de los componentes más importantes en la determinación de la incertidumbre del volumen de la medida de capacidad estándar.

4.7.4.1. Procedimiento para calcular la incertidumbre en la determinación volumétrica.

4.7.4.1.1. Incertidumbre de referencia estándar

La incertidumbre para la calibración del estándar de referencia estará dada por:

$$uV_o = \frac{n * U_{cal}}{2}$$

n =Numero de veces que se usa el patrón

U_{cal} =Incertidumbre de calibración dad en el certificado de patrón

4.7.4.1.2. Temperatura estándar de referencia de agua

$$u_{tRS} = \sqrt{(u_{cal.tRS})^2 + (u_{rep.tRS})^2}$$

$u_{cal.tRS}$ =Incertidumbre del instrumento de medición de temperatura del líquido

$u_{rep.tRS}$ =Desviación estándar de todas las mediciones de temperatura

4.7.4.1.3. Temperatura del agua de la capacidad estándar

$$u_{cal.tSCM} = \frac{u_{tSCM}}{2}$$

4.7.4.1.4. Coeficiente de dilatación térmica del material del estándar de referencia

$$u_{\gamma RS} = \gamma_{RS} * \frac{0.05}{\sqrt{3}}$$

$$u_{\gamma SCM} = \gamma_{SCM} * \frac{0.05}{\sqrt{3}}$$

γ_{SCM} =Coeficiente de expansión térmica de capacidad estándar (Acero $33 \cdot 10^{-6} \text{ 1/C}$)

γ_{RS} =Coeficiente de expansión térmica de estándar de referencia (Acero $33 \cdot 10^{-6} \text{ 1/C}$)

4.7.4.1.5. Coeficiente de dilatación térmica del agua

$$t = \frac{t_{RS} + t_{SCM}}{2}$$

$$u_{\beta} = \frac{\beta}{\sqrt{3}}$$

t_{RS} =Temperatura de agua de referencia estándar

t_{SCM} =Temperatura de agua de capacidad estándar

4.7.4.1.6. Incertidumbre por lectura de medida de capacidad estándar

$$u_{\delta V.menSCM} = \frac{0.0249}{\sqrt{3}}$$

4.7.4.1.2. Incertidumbre por repetitividad de medida

$$u_{\delta V.rep} = \frac{S_{V_0}}{\sqrt{3}}$$

4.7.4.1.2.1. Coeficientes de sensibilidad de cada cantidad

1. Referencia estándar

$$S_{V_0} = 1$$

2. Temperatura de agua de referencia estándar

$$S_{t_{RS}} = V_0 * (\gamma_{RS} - 0,0002125)$$

3. Temperatura de agua en la capacidad estándar

$$S_{t_{SCM}} = V_0 * (0,0002125 - \gamma_{SCM})$$

4. Coeficiente de dilatación térmica estándar de referencia

$$S_{\gamma_{RS}} = -V_0 * (-t_{SCM} - 0,5 + t_{RS})$$

5. Coeficiente de expansión térmica de la capacidad estándar medida

$$S_{\gamma_{SCM}} = V_0 * (-t_{SCM} + t_{RS} - 0,55)$$

6. Coeficiente de expansión térmica del agua

$$S_{\beta} = V_0 * (t_{SCM} - t_{RS})$$

7. Lectura de mediciones

$$S_{V_{men}} = 1$$

8. Repetitividad

$$S_{Vrep} = 1$$

9. Factores adicionales

$$S_{Vad} = 1$$

4.7.4.1.2.2. Incertidumbre estándar combinada medida

$$u_{VT} = \sqrt{S_{V_0}^2 * u_{V_0}^2 + S_{tRS}^2 * u_{tRS}^2 + S_{tSCM}^2 * u_{tSCM}^2 + S_{\gamma RS}^2 * u_{\gamma RS}^2 + S_{\gamma SCM}^2 * u_{\gamma SCM}^2 + S_{\beta}^2 * u_{\beta}^2 + u_{\delta V.menSCM}^2 + (u_{\delta V.rep}^2 + u_{\delta V.menSCM}^2)^2 + 0.14^2}$$

$$U_{VT} = 2 * u_{VT}$$

U_{VT} =Incertidumbre total de capacidad de tanque

CAPÍTULO V. DISEÑO DE SOFTWARE

5.1. Introducción

El software se ha desarrollado en Java y nos ha permitido crear un programa eficiente y confiable, haciendo uso de los distintos modelos matemáticos que exige las diferentes normas. Además, se ha creado una interfaz amigable con el usuario haciendo que todos los métodos sean fáciles de llenar y fácil de obtener los resultados finales. Los tanques de almacenamiento presentan distinta forma de obtención de datos debido a que las normas lo exigen. Dentro del software se ha creado una pestaña llamada “AYUDA” en el cual se detallan todas las normas de los diferentes tanques de almacenamiento para dar guía de cómo se calibran los distintos tanques.

5.2. Visualización de pantalla principal para el rediseño del software

La pantalla principal presenta la selección de los diferentes tanques y recipientes de almacenamiento.



Figura 50. Pantalla principal

Fuente: (Propia)

5.2.1. Tanques verticales

Seleccionamos tanques verticales y presionamos “Calibrar tanque”.



Figura 51. Pantalla Tanques Verticales
Fuente: (Propia)

Ahora accedemos a los 4 métodos de calibración para tanques de almacenamiento verticales.

1) Método Electroóptico Interno

En el método electroóptico ingresamos los respectivos datos, tener en cuenta que se debe ingresar todos los datos correspondientes dado que si algún campo está vacío mostrará “Campo Vacío”.

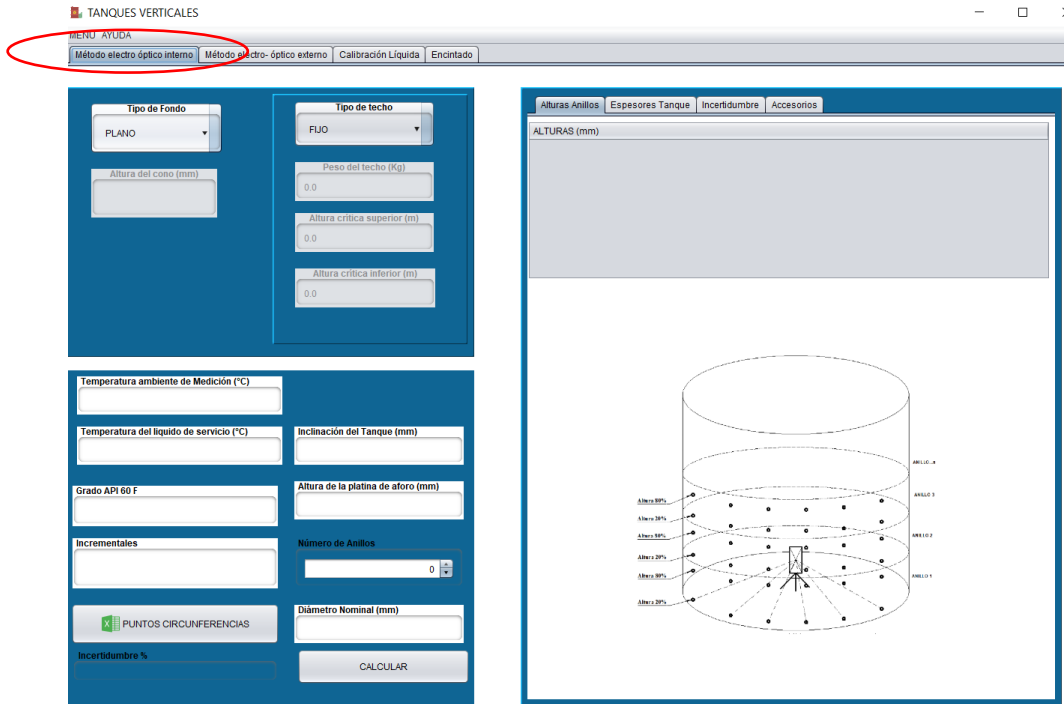


Figura 52. Pantalla Electrónico Interno
Fuente: (Propia)

También se cuenta con un botón para importar puntos de coordenadas en Excel, estos puntos son ajustados y devuelven un radio que serán utilizados en los cálculos posteriores para la calibración del tanque.

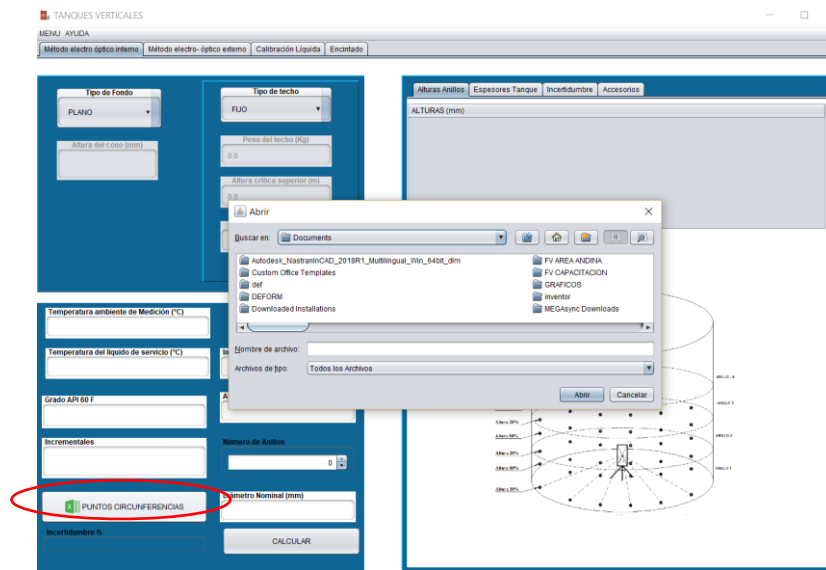


Figura 53. Ventana para importar puntos
Fuente: (Propia)

Buscamos los puntos donde fueron guardados y los abrimos con el software.

2) Método Electroóptico Externo

En el método Electroóptico externo ingresamos los respectivos datos, tener en cuenta que se debe ingresar todos los datos correspondientes dado que si algún campo está vacío mostrará “Campo Vacío”.

Figura 54. Pantalla Eléctroóptico externa
Fuente: (Propia)

También se cuenta con un botón para importar puntos de coordenadas en Excel, estos puntos son ajustados y devuelven un radio que serán utilizados en los cálculos posteriores para la calibración del tanque.

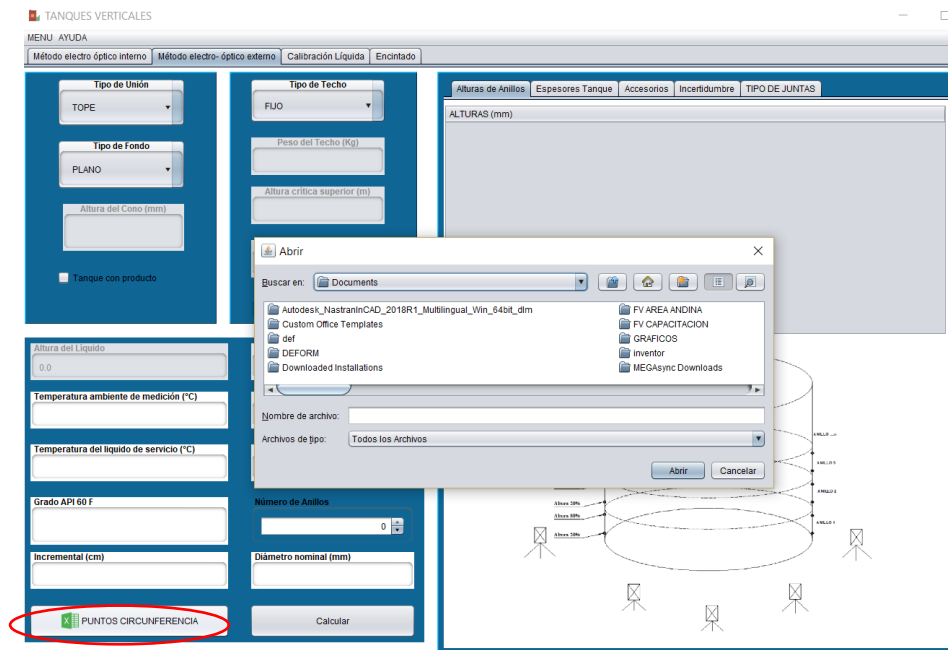


Figura 55. Ventana para importar puntos
Fuente: (Propia)

3) Método Encintado

En el método de encintado ingresamos los respectivos datos, tener en cuenta que se debe ingresar todos los datos correspondientes dado que si algún campo está vacío mostrará “Campo Vacío”. Esta ventana no cuenta con importación de datos dado que las circunferencias se ingresan por la interfaz.

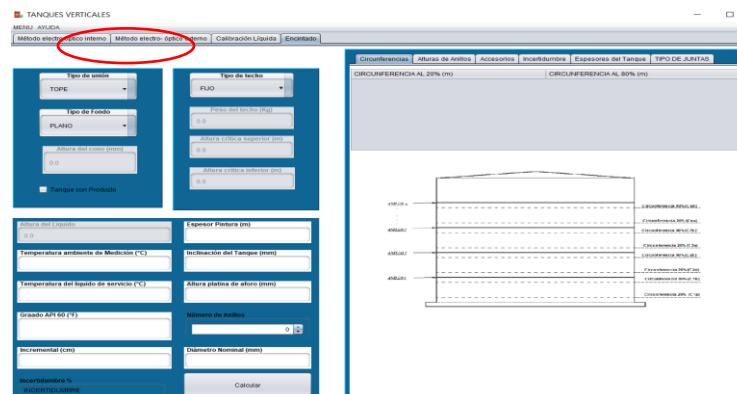


Figura 56. Ventana Encintado
Fuente: (Propia)

4) Método de calibración líquida

Los datos que se requieren en este método son menores que los anteriores métodos según como la norma lo exige.

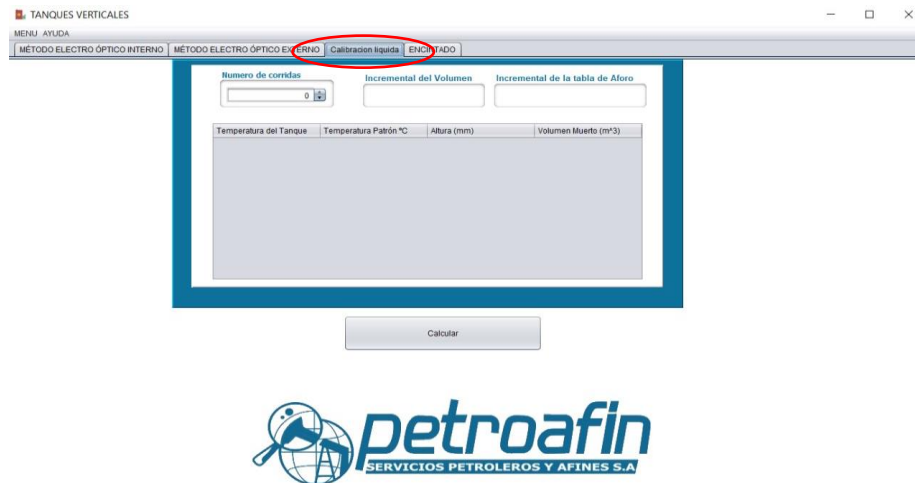


Figura 57. Ventana De calibración líquida
Fuente: (Propia)

5) Generación de resultados

5.2.2. Tanques horizontales

Seleccionamos tanques Horizontales y presionamos “Calibrar tanque”.



Figura 58. Pantalla Tanques horizontales
Fuente: (Propia)

Calibración de Recipientes horizontales por el método de encintado.

1) Tanques horizontales con cabeza Toriesférica.

En la calibración de tanques de almacenamiento horizontales de cabeza toriesférica se debe llenar todos los campos correspondientes, dado que si algún campo no se ha ingresado, la interfaz arroja un error de “Campo Vacío”. El Valor de “E/D”, ayuda a calcular el factor de corrección por inclinación en cada incremental de la tabla de aforo La pestaña de los accesorios se llenará si se lo requiere.

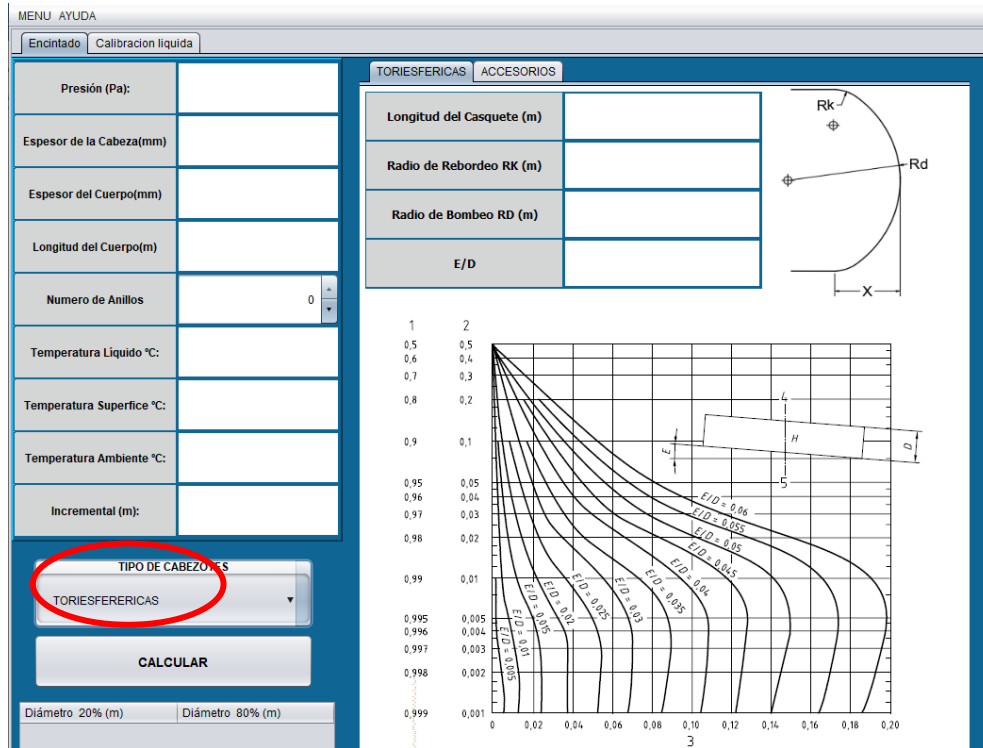


Figura 59. Ventana Encintado para cabezas toriesféricas
Fuente: (Propia)

2) Tanques horizontales con cabeza Elíptica

En la calibración de tanques de almacenamiento horizontales con cabeza elíptica se debe llenar todos los campos correspondientes, dado que si algún campo no se ha ingresado, la interfaz arroja un error de “Campo Vacío”. El Valor de “E/D”, ayuda a calcular el factor de corrección por inclinación en cada incremental de la tabla de aforo. La pestaña de accesorios se llenará si el tanque lo requiere.

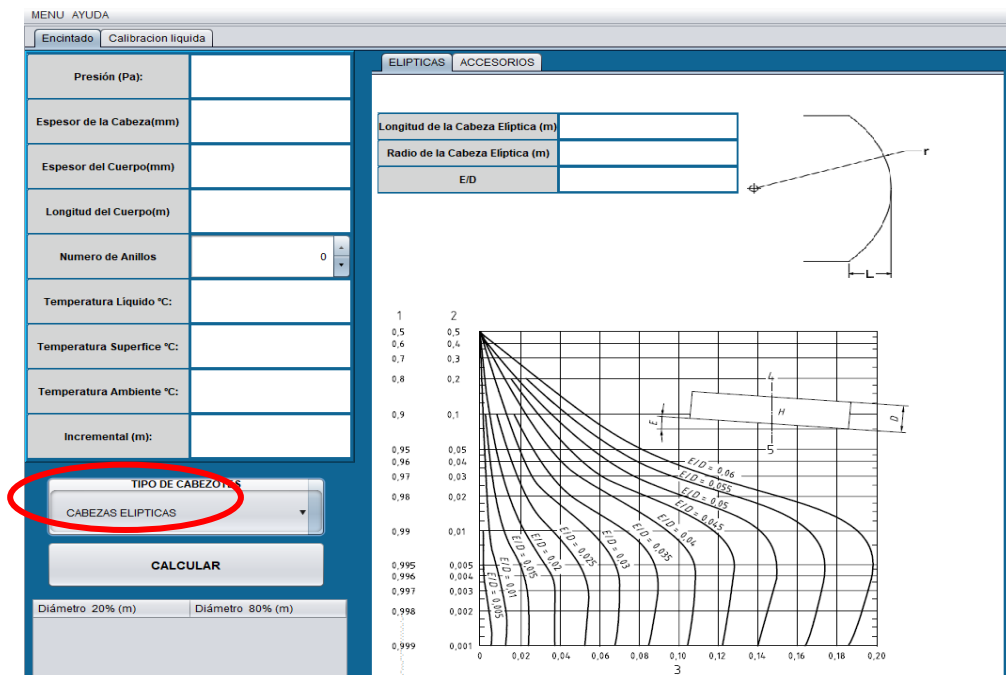


Figura 60. Ventana Encintado para cabezas elípticas
Fuente: (Propia)

3) Tanques horizontales con cabeza Esférica

En la calibración de tanques de almacenamiento con cabeza esférica se debe llenar todos los campos correspondientes, dado que si algún campo no se ha ingresado, la interfaz arroja un error de “Campo Vacío. El Valor de “E/D”, ayuda a calcular el factor de corrección por inclinación en cada incremental de la tabla de aforo. La pestaña de accesorios se llenará si el tanque lo requiere.

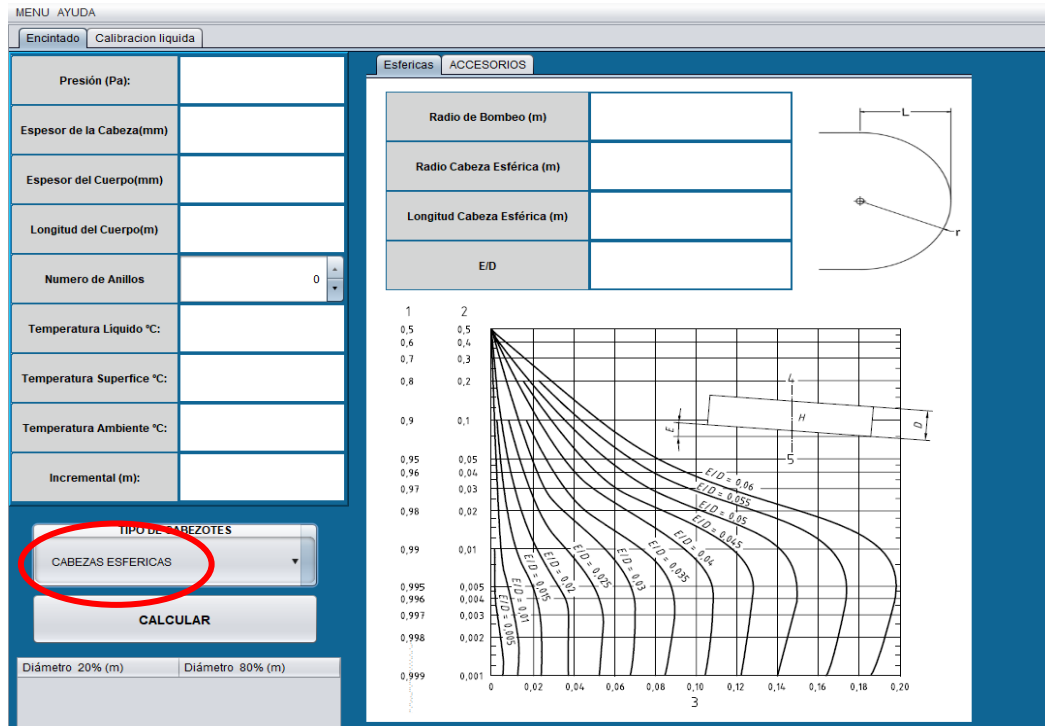


Figura 61. Ventana Encintado para cabezas esféricas
Fuente: (Propia)

4) Tanques horizontales con cabeza cónica

En la calibración de tanques de almacenamiento con cabeza cónica se debe llenar todos los campos correspondientes, dado que si algún campo no se llena dará un error de “Campo Vacío”. El Valor de “E/D”, ayuda a calcular el factor de corrección por inclinación en cada incremental de la tabla de aforo. Los accesorios se llenarán si el tanque lo requiere.

MENU AYUDA

Encintado Calibracion liquida

CÓNICA ACCESORIOS

Presión (Pa):

Espesor de la Cabeza(mm)

Espesor del Cuerpo(mm)

Longitud del Cuerpo(m)

Numero de Anillos 0

Temperatura Líquido °C:

Temperatura Superfice °C:

Temperatura Ambiente °C:

Incremental (m):

TIPO DE CABEZOTES

CABEZAS CONICAS

CALCULAR

Diámetro 20% (m) Diámetro 80% (m)

Altura del Cono (m)

E/D

d

Figura 62. Ventana Encintado para cabezas cónicas
Fuente: (Propia)

- 5) *El método de calibración líquida se realiza idénticamente al mostrado en los tanques verticales ya que este método se realiza para todo tipo de tanque.*
- 6) Generación de Tablas

La generación de tablas se obtiene a presionar “CALCULAR” y se despliega la ventana para generación de tablas en EXCEL.

ESTACIÓN DE SERVICIO: PUMA
 UBICACIÓN: QUITO
 FECHA DE INSPECCIÓN:

CÓDIGO DEL TANQUE: 1
 PRODUCTO QUE ALMACENA: DIESEL
 MATERIAL DE CUERPO Y CASQUETES: ORO
 TIPO DE TANQUE E INSTALACIÓN: NON

DATOS GENERALES

Capacidad máxima (galones): 1
 Capacidad nominal (galones)(1): 2
 Tipo de casquetes: 3
 Número de anillos: 4
 Temperatura ambiente (°C): 5
 Temperatura promedio de líquido contrastador (°C): 6
 Temperatura promedio de líquido del tanque (°C): 7
 Fluido de prueba: 8

Equipos utilizados

Descripción	Código / Fecha calibración
Contrastador de 50 galones	3
Cinta de aforo con plomada	2
Termometro con sonda inmersión	1

Medidas Generales del Tanque

Longitud cuerpo / total (mm)	1212
Diametro prom. tanque (mm)	12321
Altura prom. del tanque (mm)	213213
Altura de referencia (mm)	123123

Incremental (m): 0.002

TIPO DE CABEZOTES: TORIESFERICAS

CALCULAR

GENERAR EXCEL

Figura 63 Ventana para Generación de resultados
 Fuente: (Propia)

5.2.3. Tanques esféricos

Seleccionamos los tanques esféricos

MENU AYUDA

petroafin
 SERVICIOS PETROLEROS Y AFINES S.A

Tipo de Tanque

Tanques Verticales
 Tanques Horizontales
 Tanques Esféricos
 Tanques Esfeordales

CALIBRAR TANQUE

Figura 64 Pantalla de tanques esféricos
 Fuente: (Propia)

Calibración de Recipientes esféricos por el método de encintado.

1) Tanques esféricos

La calibración de tanques esféricos se detalla en la siguiente ventana en el cual se ingresan los respectivos datos como la norma lo muestra. Se presenta las imágenes para dar guía de las variables utilizadas.

Circunferencia Plano Horizontal:	36.47846394
Circunferencia Plano Vertical:	36.50284794
Circunferencia 90 - C2 Plano Vertical:	36.49675194
Altura Interna Vertical:	11.44898902
Distancia C sobre la línea Ecuador:	0.253999863

Tanque con Producto:	<input type="checkbox"/>
Altura del Líquido:	11.58239375
Incremental:	0.025399986

Distancia desfasada línea cenital:	10.6679998
Temperatura del tanque C:	25
Espesor 1:	0.018999977
Espesor 2:	0.01799998
Espesor 3:	0.0179998
Volumen Muerto:	0

Diagrama de un tanque esférico con diámetros $C1$, $C2$, $C3$ y altura $H1$. Se muestra una escala de $2m$.

CALCULAR

Figura 65. Ventana de encintado en tanques esféricos
Fuente: (Propia)

2) Generación de Tablas.

Al presionar “CALCULAR” se despliega la pantalla para la generación de tablas en el formato del EXCEL.

La ventana siguiente se debe llenar los campos respectivos para obtener las tablas con el encabezado correcto.

ESTACIÓN DE SERVICIO: PUMA | CÓDIGO DEL TANQUE: 1
 UBICACIÓN: QUITO | PRODUCTO QUE ALMACENA: DIESEL
 FECHA DE INSPECCIÓN: | MATERIAL DE CUERPO Y CASQUETES: ORO
 TIPO DE TANQUE E INSTALACIÓN: NON

DATOS GENERALES

Capacidad máxima (galones) 1
 Capacidad nominal (galones)(1) 2
 Tipo de casquetes 3
 Número de anillos 4
 Temperatura ambiente (°C) 5
 Temperatura promedio de líquido contrastador (°C) 6
 Temperatura promedio de líquido del tanque (°C) 7
 Fluido de prueba 8

Equipos utilizados

Descripción Código / Fecha calibración
 Contrastador de 50 galones 3
 Cinta de aforo con plomada 2
 Termometro con sonda inmersión 1

Medidas Generales del Tanque

Longitud cuerpo / total (mm) 1212
 Diametro prom. tanque (mm) 12321
 Altura prom. del tanque (mm) 213213
 Altura de referencia (mm) 123123

GENERAR EXCEL

Distancia C sobre la linea Ecuador:	0.253999863
-------------------------------------	-------------

Distancia desfasada linea cental:	10.6679998
Temperatura del tanque C	25
Espesor 1:	0.018999977
Espesor 2:	0.01799998
Espesor 3:	0.0179998
Volumen Muerto	0

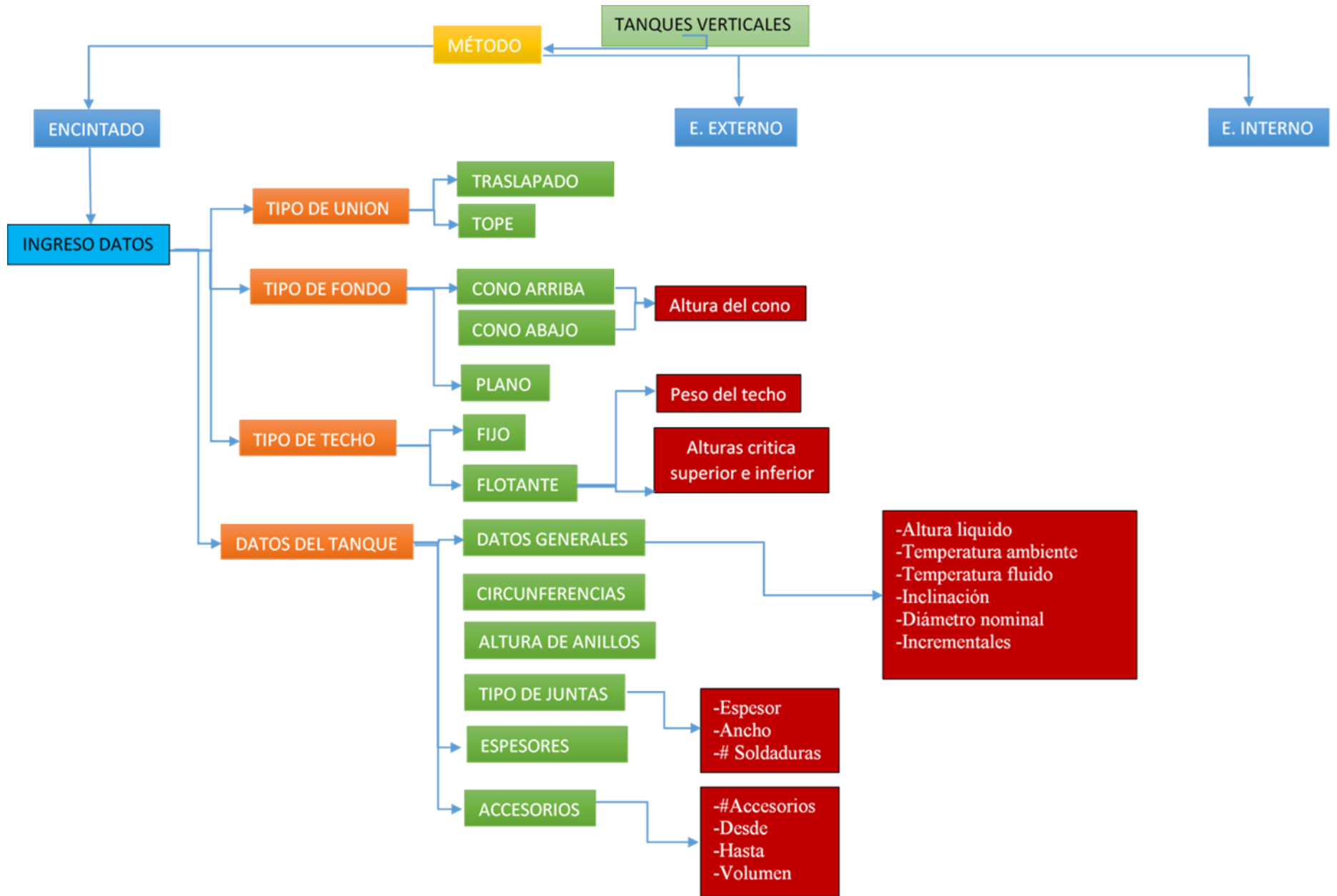
CALCULAR

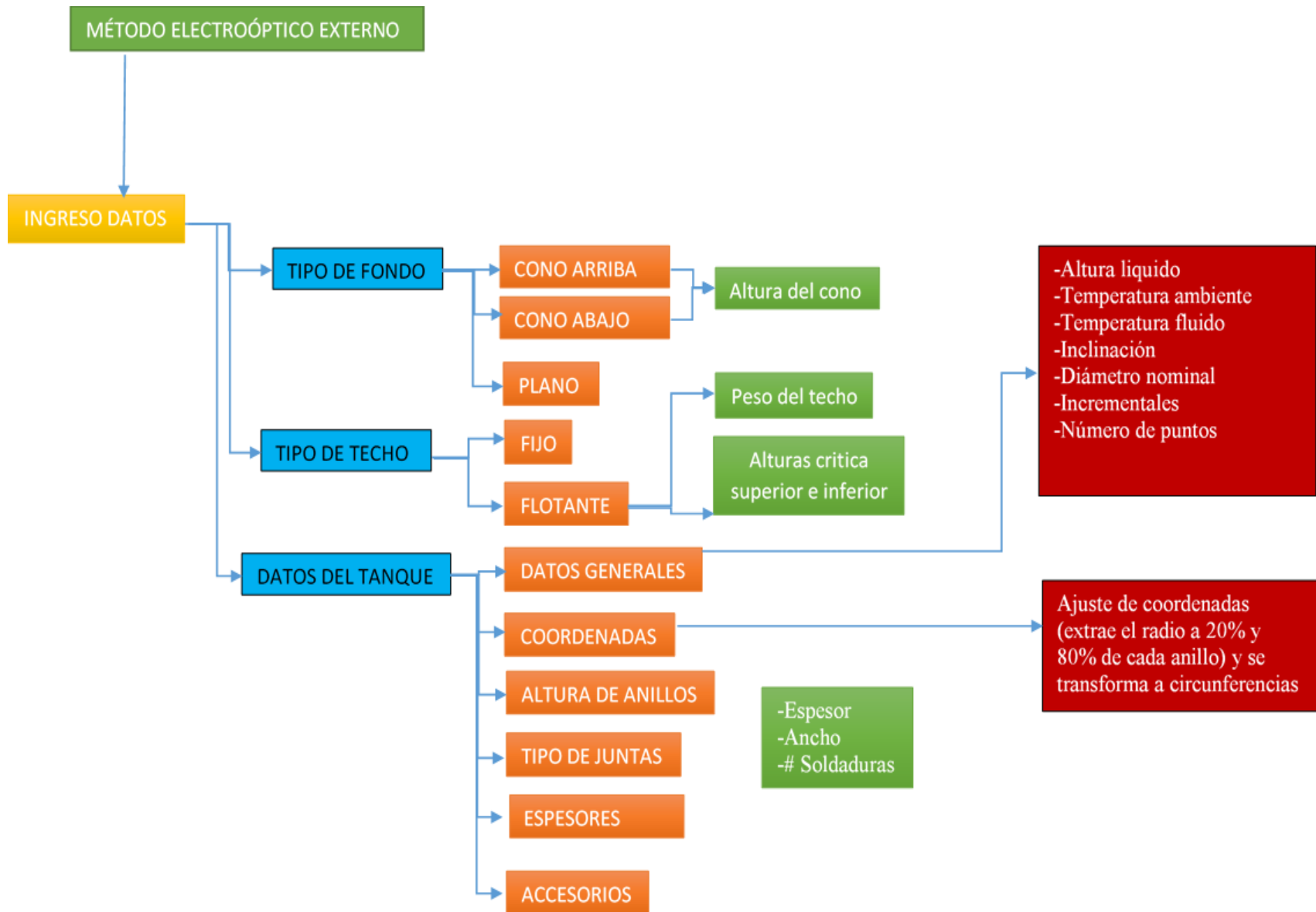
Figura 66. Generación de tablas

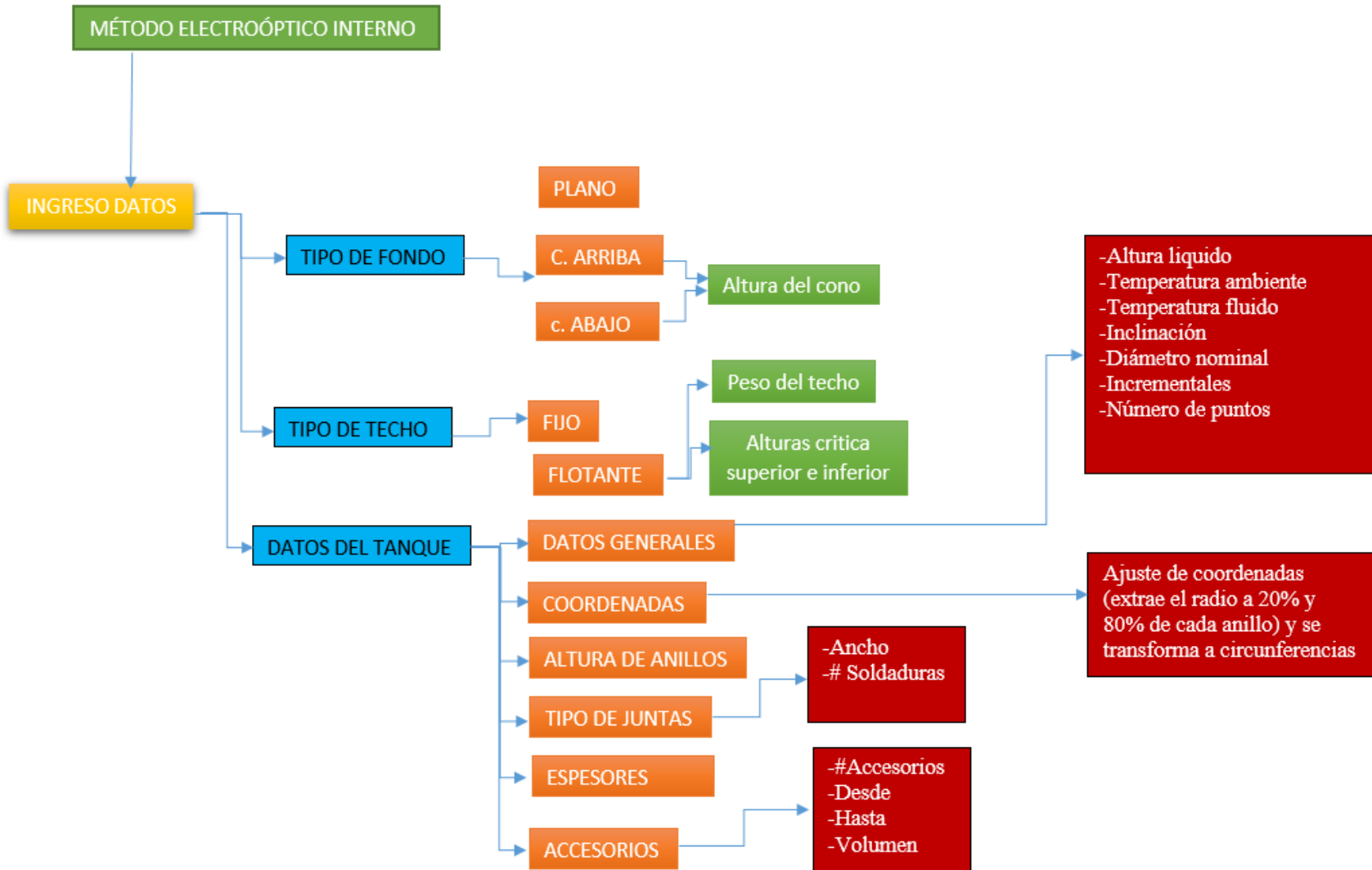
Fuente: (Propia)

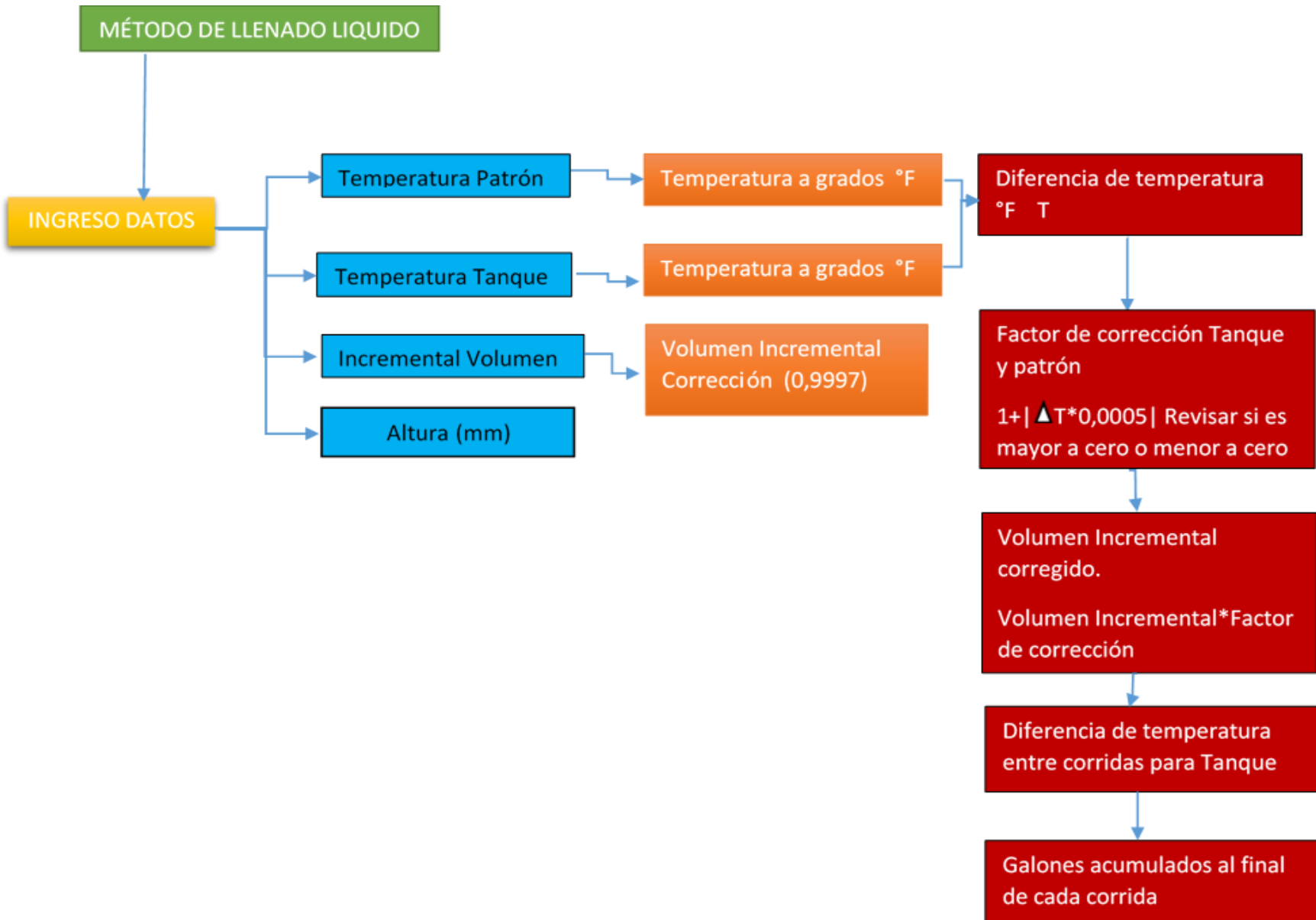
5.3. Flujograma de programación para el rediseño del Software

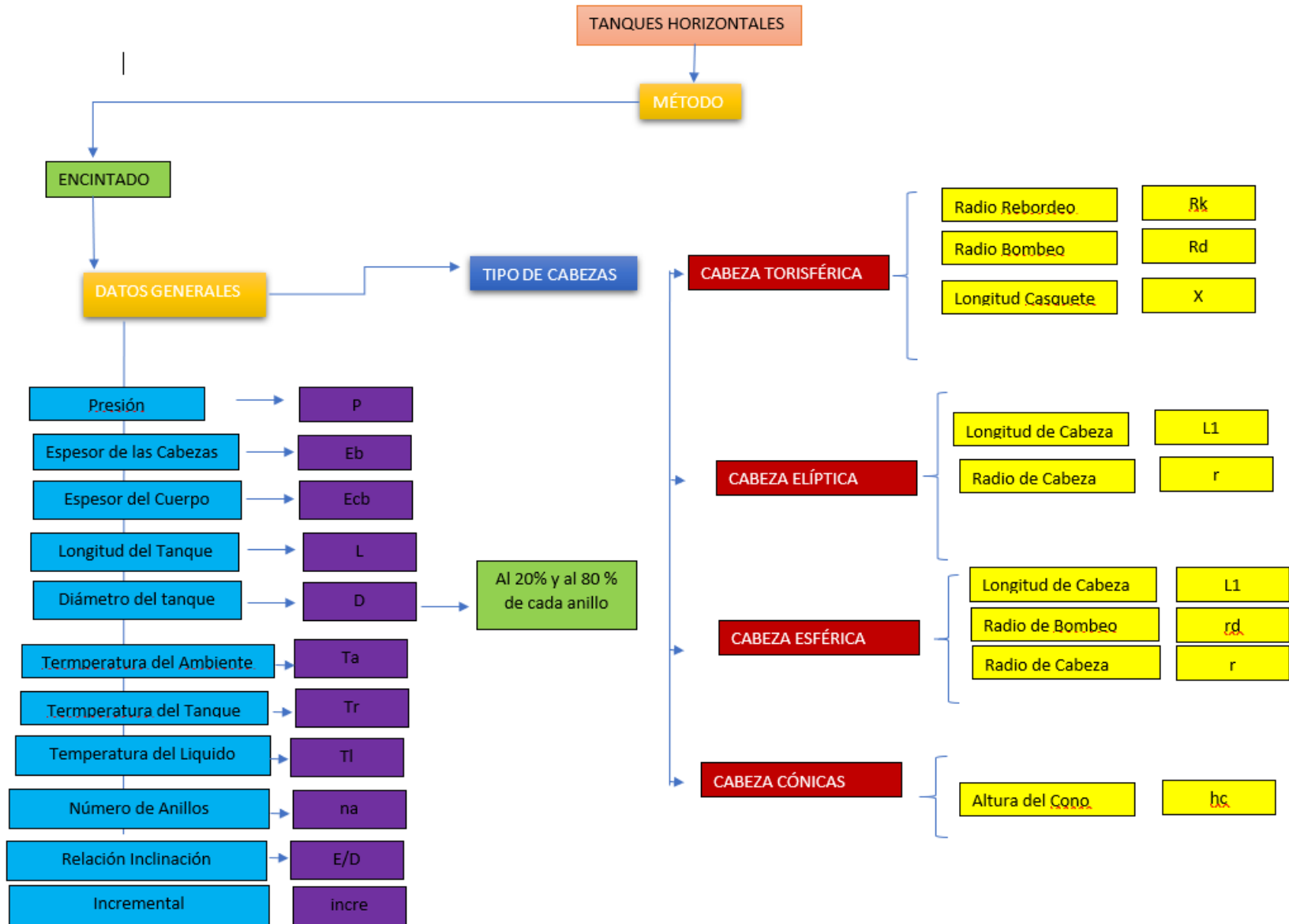
- 1) Tanques verticales por el Método de Encintado
- 2) Tanques verticales por el Método Electroóptico Externo
- 3) Tanques verticales por el Método Electroóptico Interno
- 4) Método de llenado Líquido
- 5) Tanques Horizontales
- 6) Tanques Esféricos
- 7) Tanques Esferoidales

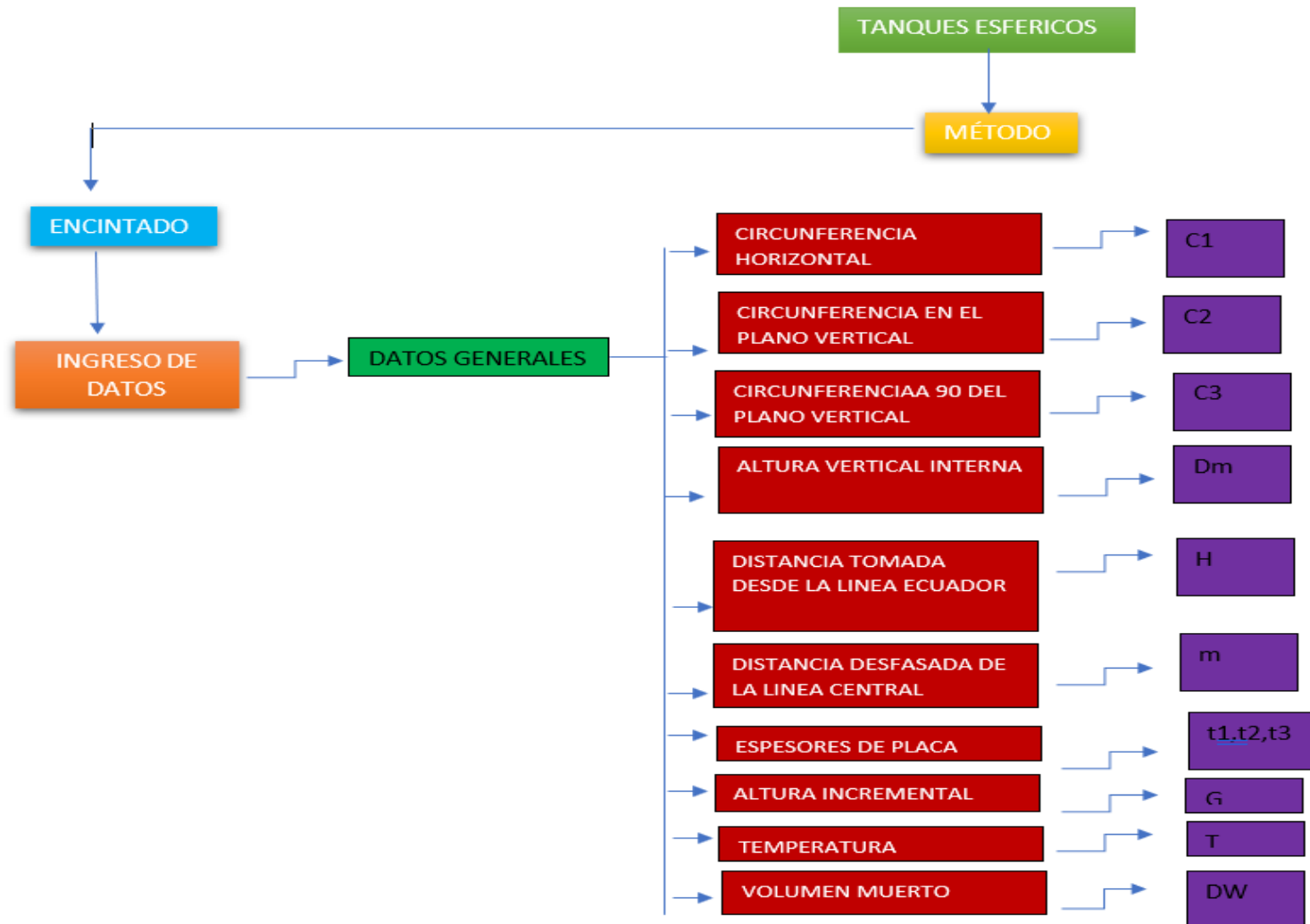


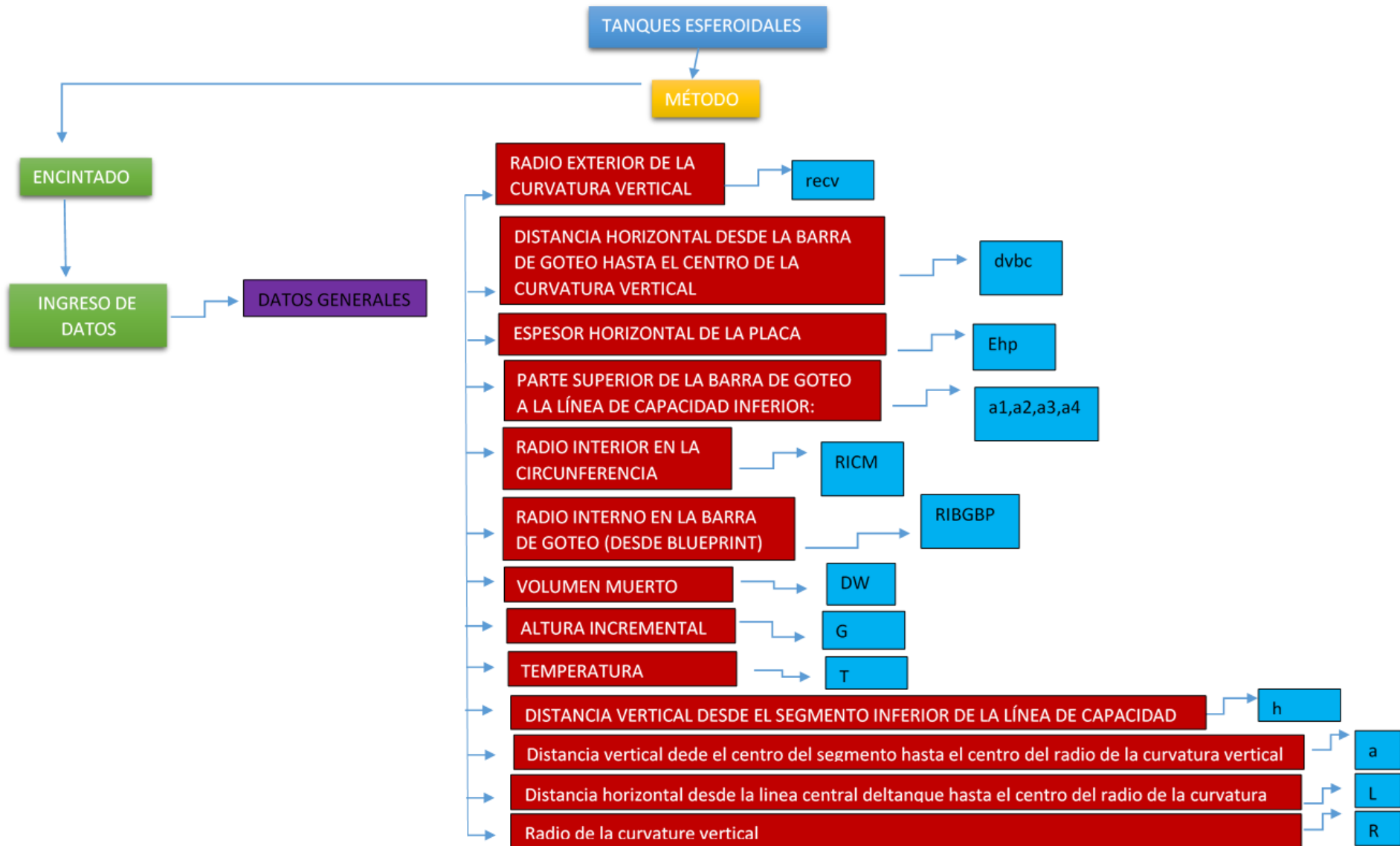












CAPITULO VI. EVALUACIÓN DE SOFTWARE

6.1. Evaluación de resultados para tanques verticales

6.1.1. Tablas de calibración

1) Calibración de tanques por el método de encintado

Se ingresa todos los datos como se presenta a continuación:

The screenshot shows the 'TANQUES VERTICALES' software interface. The left panel contains input fields for various parameters:

- Tipo de unión:** TOPE
- Tipo de Fondo:** CONO ARRIBA
- Altura del cono (mm):** 125.0
- Tanque con Producto:**
- Tipo de techo:** FLOTANTE
- Peso del techo (Kg):** 3363.64
- Altura crítica superior (m):** 1.96
- Altura crítica inferior (m):** 1.85
- Altura del Líquido (m):** 0.0
- Espesor Pintura (m):** 0.0002
- Temperatura ambiente de Medición (°C):** 32.5
- Inclinación del Tanque (mm):** 119
- Temperatura del líquido de servicio (°C):** 25.556
- Altura platina de aforo (mm):** 10.2
- Grado API 60 (°F):** 58.79
- Número de Anillos:**
- Incremental (cm):** 2.54
- Diámetro Nominal (mm):** 14316
- Incertidumbre %:** 0.14858016667607005
- Calcular:**

The right panel displays a table of circumferences and a diagram of a tank with measurement points:

CIRCUNFERENCIA AL 20%		CIRCUNFERENCIA AL 80%	
	45,063		45,066
	45,058		45,052
	45,049		45,05
	45,05		45,065
	45,068		45,037
	44,996		44,964
	44,994		45,017

The diagram shows a tank with measurement points labeled ANE1.0 through ANE4.0 and corresponding circumference values (e.g., Circunferencia 20% (C=45.063)).

Figura 67. Introducciónn de datos de entrada y circunferencias

Fuente: (Propia)

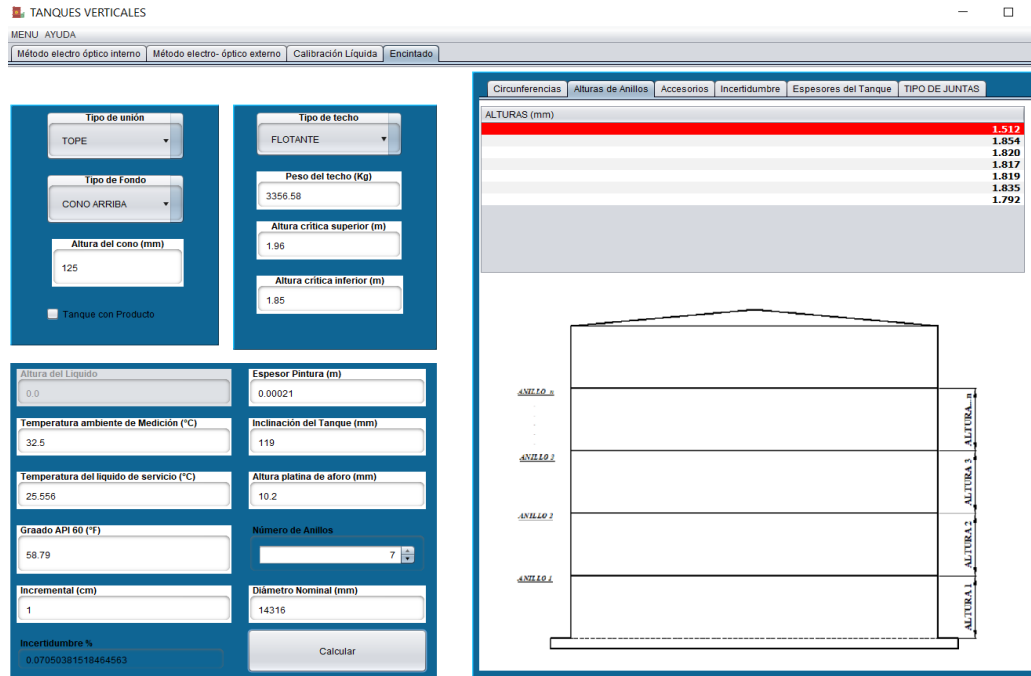


Figura 68. Introducción de alturas
Fuente: (Propia)

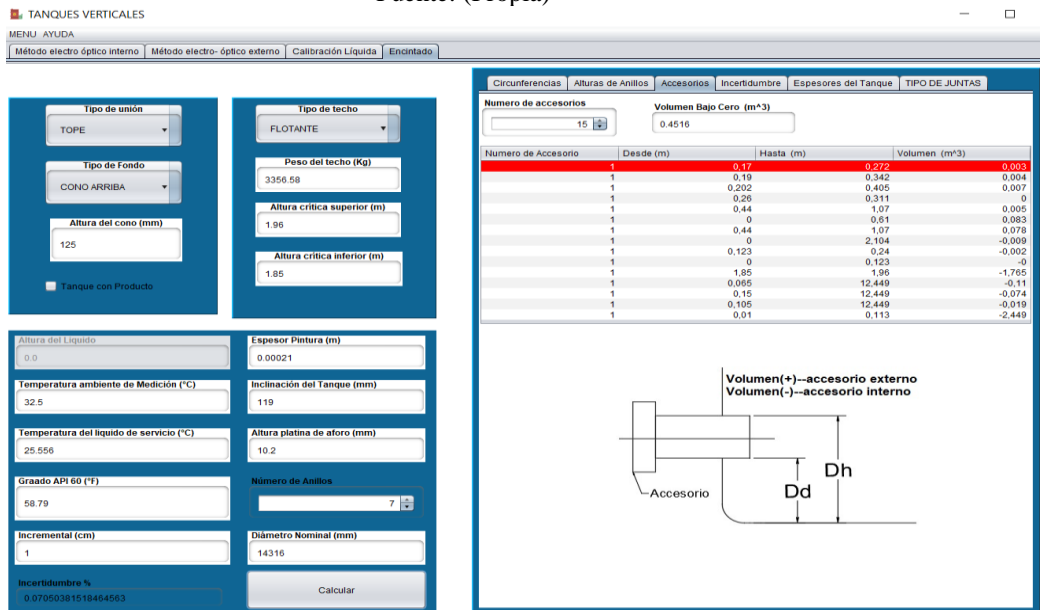


Figura 69. Introducción de accesorios
Fuente: (Propia)

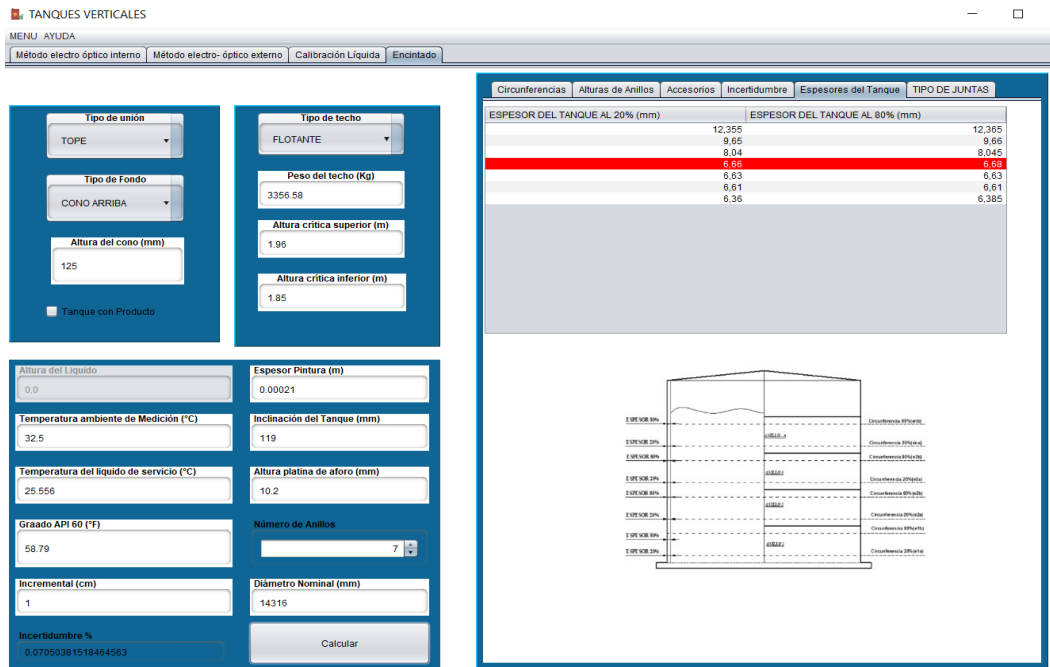


Figura 70. Introducción de espesores
Fuente: (Propia)

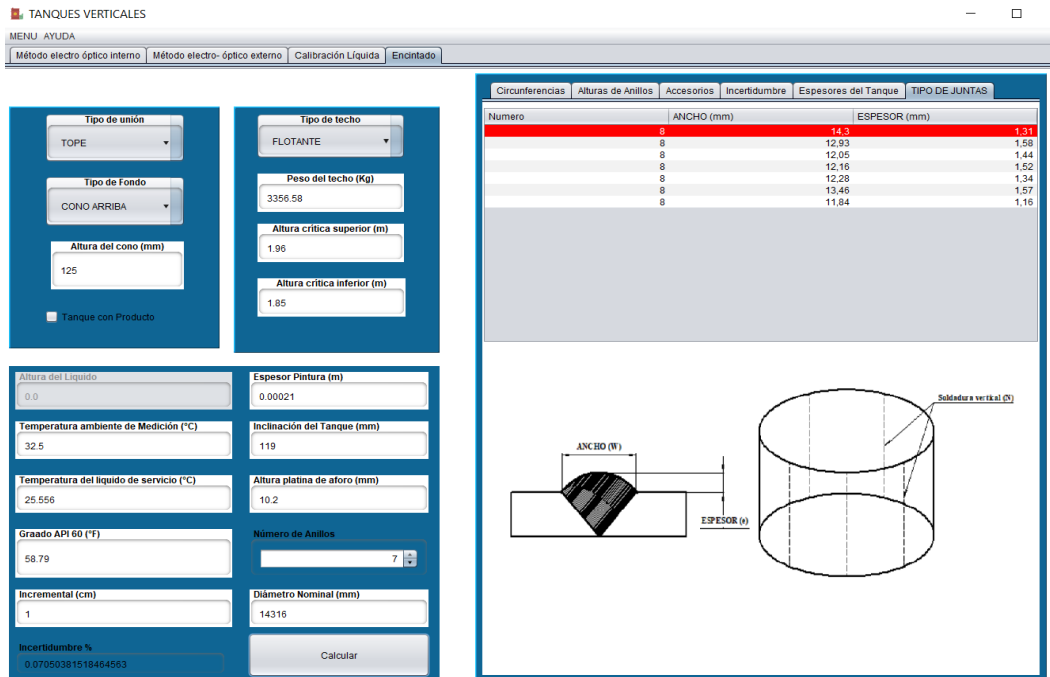


Figura 71. Introducción de datos de soldadura
Fuente: (Propia)

TANQUES VERTICALES

MENU AYUDA

Método electro óptico interno | Método electro-óptico externo | Calibración Líquida | Encintado

Circunferencias | Alturas de Anillos | Accesorios | Incertidumbre | Espesores del Tanque | TIPO DE JUNTAS

Tipo de unión
 TOPE

Tipo de Fondo
 CONO ARRIBA

Altura del cono (mm)
 125

Tanque con Producto

Tipo de techo
 FLOTANTE

Peso del techo (Kg)
 3356.58

Altura crítica superior (m)
 1.96

Altura crítica inferior (m)
 1.85

Altura del Líquido
 0.0

Temperatura ambiente de Medición (°C)
 32.5

Temperatura del líquido de servicio (°C)
 25.556

Graado API 60 (°F)
 58.79

Incremental (cm)
 1

Incertidumbre %
 0.07050381518464563

Espesor Pintura (m)
 0.00021

Inclinación del Tanque (mm)
 119

Altura platina de aforo (mm)
 10.2

Número de Anillos
 7

Diámetro Nominal (mm)
 14316

Calcular

Número de Cintas [nc]
 2

Número de Cintas Circunferencia[n]
 1

Número de Circunferencias [m]
 2



Temperatura de la Cinta [Tst] (°C)
 23

Densidad de Referencia [Dref] (kg/m³)
 700

Longitud de la Cinta sumergida

Figura 72. Introducción de incertidumbre
 Fuente: (Propia)

Ejemplo: Tanque Vertical desde una altura de 0 cm a 1244 cm (Capacidad Total = 1995.721 m³)

		REGISTRO							
		Inspección Volumétrica Geométrica de Tanques Verticales Método Manual							
		INFORME - TABLAS DE AFORO							
INSPECTORA INDEPENDIENTE		Norma de referencia: API MPSM 2.2A						FR-IT-HL-02-02/18	
ESTACIÓN DE SERVICIO:	Refinería La Libertad					CÓDIGO DEL TANQUE:		T-202	
UBICACIÓN:	LA LIBERTAD					PRODUCTO QUE ALMACENA:		Gasolina	
FECHA DE INSPECCIÓN:	9/4/2019					MATERIAL DE CUERPO Y CASQUETES:		Acero	
					TIPO DE TANQUE E INSTALACIÓN:				
Datos Generales					Equipos utilizados				
Capacidad máxima (galones)					-	Descripción		Código / Fecha calibración	
Capacidad nominal (galones) ₍₁₎					-	Contrastador de 50 galones		-	
Tipo de casquetes					-	Cinta de aforo con plomada		-	
Número de anillos					-	Termometro con sonda inmersión		-	
Temperatura ambiente (°C)					-	Medidas Generales del Tanque			
Temperatura promedio de líquido contrastador (°C)					-	Longitud cuerpo / total (mm)		-	
Temperatura promedio de líquido del tanque (°C)					-	Diámetro prom. tanque (mm)		-	
Fluido de prueba					-	Altura prom. del tanque (mm)		-	
					Altura de referencia (mm)		-		
CORRIDA DE CALIBRACIÓN - ALTURAS Y SUS CORRESPONDIENTES CAPACIDADES									
Altura (cm)	Volumen (m ³)	Altura (cm)	Volumen (m ³)	Altura (cm)	Volumen (m ³)	Altura (cm)	Volumen (m ³)	Altura (cm)	Volumen (m ³)
0	0,452	41	64,397	82	130,494	123	196,544	164	262,573
1	1,825	42	66,009	83	132,106	124	198,154	165	264,184
2	3,199	43	67,621	84	133,717	125	199,765	166	265,794
3	4,572	44	69,234	85	135,329	126	201,375	167	267,406
4	5,946	45	70,847	86	136,94	127	202,985	168	269,016
5	7,319	46	72,46	87	138,552	128	204,596	169	270,627
6	8,693	47	74,073	88	140,164	129	206,206	170	272,238
7	10,066	48	75,686	89	141,775	130	207,816	171	273,849
8	11,439	49	77,299	90	143,387	131	209,426	172	275,46
9	12,813	50	78,912	91	144,998	132	211,036	173	277,071
10	14,225	51	80,525	92	146,61	133	212,647	174	278,682
11	16,036	52	82,138	93	148,221	134	214,257	175	280,293
12	17,648	53	83,751	94	149,833	135	215,867	176	281,904
13	19,259	54	85,364	95	151,444	136	217,477	177	283,515
14	20,871	55	86,977	96	153,056	137	219,088	178	285,125
15	22,482	56	88,59	97	154,667	138	220,698	179	286,736
16	24,094	57	90,203	98	156,279	139	222,308	180	288,347
17	25,706	58	91,815	99	157,891	140	223,918	181	289,958
18	27,318	59	93,428	100	159,502	141	225,529	182	291,569
19	28,93	60	95,04	101	161,114	142	227,139	183	293,18
20	30,542	61	96,652	102	162,725	143	228,749	184	294,63
21	32,154	62	98,263	103	164,337	144	230,359	185	295,671
22	33,767	63	99,875	104	165,948	145	231,97	186	296,711
23	35,379	64	101,486	105	167,56	146	233,58	187	297,751
24	36,992	65	103,098	106	169,17	147	235,19	188	298,791
25	38,604	66	104,709	107	170,78	148	236,8	189	299,832
26	40,217	67	106,321	108	172,391	149	238,411	190	300,872
27	41,829	68	107,932	109	174,001	150	240,021	191	301,912
28	43,441	69	109,544	110	175,611	151	241,631	192	302,952
29	45,053	70	111,155	111	177,221	152	243,242	193	303,992
30	46,666	71	112,767	112	178,832	153	244,853	194	305,033
31	48,278	72	114,379	113	180,442	154	246,464	195	306,233
32	49,89	73	115,99	114	182,052	155	248,075	196	307,434
33	51,502	74	117,602	115	183,662	156	249,686	197	309,045
34	53,114	75	119,213	116	185,273	157	251,296	198	310,656
35	54,726	76	120,825	117	186,883	158	252,907	199	312,267
36	56,338	77	122,436	118	188,493	159	254,518	200	313,878
37	57,95	78	124,048	119	190,103	160	256,129	201	315,489
38	59,562	79	125,659	120	191,714	161	257,74	202	317,099
39	61,174	80	127,271	121	193,324	162	259,351	203	318,71
40	62,785	81	128,883	122	194,934	163	260,962	204	320,321



Altura (cm)	Volumen (m ³)	Altura (cm)	Volumen (m ³)	Altura (cm)	Volumen (m ³)	Altura (cm)	Volumen (m ³)	Altura (cm)	Volumen (m ³)
205	321,932	263	415,367	321	508,802	379	602,259	437	695,723
206	323,543	264	416,978	322	510,413	380	603,87	438	697,334
207	325,154	265	418,589	323	512,024	381	605,481	439	698,946
208	326,765	266	420,2	324	513,635	382	607,093	440	700,557
209	328,376	267	421,811	325	515,246	383	608,704	441	702,169
210	329,987	268	423,422	326	516,856	384	610,316	442	703,78
211	331,598	269	425,033	327	518,467	385	611,927	443	705,392
212	333,209	270	426,644	328	520,078	386	613,539	444	707,003
213	334,82	271	428,254	329	521,689	387	615,15	445	708,615
214	336,43	272	429,865	330	523,3	388	616,762	446	710,226
215	338,041	273	431,476	331	524,911	389	618,373	447	711,838
216	339,652	274	433,087	332	526,522	390	619,985	448	713,449
217	341,263	275	434,698	333	528,133	391	621,596	449	715,061
218	342,874	276	436,309	334	529,744	392	623,207	450	716,672
219	344,485	277	437,92	335	531,355	393	624,819	451	718,283
220	346,096	278	439,531	336	532,966	394	626,43	452	719,895
221	347,707	279	441,142	337	534,577	395	628,042	453	721,506
222	349,318	280	442,753	338	536,189	396	629,653	454	723,118
223	350,929	281	444,364	339	537,8	397	631,265	455	724,729
224	352,54	282	445,975	340	539,412	398	632,876	456	726,341
225	354,151	283	447,586	341	541,023	399	634,488	457	727,952
226	355,762	284	449,197	342	542,635	400	636,099	458	729,564
227	357,373	285	450,808	343	544,246	401	637,711	459	731,175
228	358,984	286	452,419	344	545,858	402	639,322	460	732,787
229	360,595	287	454,03	345	547,469	403	640,934	461	734,398
230	362,206	288	455,641	346	549,08	404	642,545	462	736,009
231	363,817	289	457,251	347	550,692	405	644,156	463	737,621
232	365,428	290	458,862	348	552,303	406	645,768	464	739,232
233	367,039	291	460,473	349	553,915	407	647,379	465	740,844
234	368,649	292	462,084	350	555,526	408	648,991	466	742,455
235	370,26	293	463,695	351	557,138	409	650,602	467	744,067
236	371,871	294	465,306	352	558,749	410	652,214	468	745,678
237	373,482	295	466,917	353	560,361	411	653,825	469	747,29
238	375,093	296	468,528	354	561,972	412	655,437	470	748,901
239	376,704	297	470,139	355	563,584	413	657,048	471	750,513
240	378,315	298	471,75	356	565,195	414	658,66	472	752,124
241	379,926	299	473,361	357	566,807	415	660,271	473	753,736
242	381,537	300	474,972	358	568,418	416	661,882	474	755,347
243	383,148	301	476,583	359	570,029	417	663,494	475	756,958
244	384,759	302	478,194	360	571,641	418	665,105	476	758,57
245	386,37	303	479,805	361	573,252	419	666,717	477	760,181
246	387,981	304	481,416	362	574,864	420	668,328	478	761,793
247	389,592	305	483,027	363	576,475	421	669,94	479	763,404
248	391,203	306	484,637	364	578,087	422	671,551	480	765,016
249	392,814	307	486,248	365	579,698	423	673,163	481	766,627
250	394,425	308	487,86	366	581,31	424	674,774	482	768,239
251	396,035	309	489,47	367	582,921	425	676,386	483	769,85
252	397,646	310	491,081	368	584,533	426	677,997	484	771,462
253	399,257	311	492,692	369	586,144	427	679,609	485	773,073
254	400,868	312	494,303	370	587,756	428	681,22	486	774,685
255	402,479	313	495,914	371	589,367	429	682,831	487	776,296
256	404,09	314	497,525	372	590,978	430	684,443	488	777,907
257	405,701	315	499,136	373	592,59	431	686,054	489	779,519
258	407,312	316	500,747	374	594,201	432	687,666	490	781,13
259	408,923	317	502,358	375	595,813	433	689,277	491	782,742
260	410,534	318	503,969	376	597,424	434	690,889	492	784,353
261	412,145	319	505,58	377	599,036	435	692,5	493	785,965
262	413,756	320	507,191	378	600,647	436	694,112	494	787,576

Altura (cm)	Volumen (m ³)	Altura (cm)	Volumen (m ³)	Altura (cm)	Volumen (m ³)	Altura (cm)	Volumen (m ³)	Altura (cm)	Volumen (m ³)
1075	1723,637	1133	1817,015	1191	1910,393				
1076	1725,247	1134	1818,625	1192	1912,003				
1077	1726,857	1135	1820,235	1193	1913,613				
1078	1728,467	1136	1821,845	1194	1915,223				
1079	1730,077	1137	1823,455	1195	1916,833				
1080	1731,687	1138	1825,065	1196	1918,443				
1081	1733,297	1139	1826,675	1197	1920,053				
1082	1734,907	1140	1828,285	1198	1921,663				
1083	1736,516	1141	1829,895	1199	1923,273				
1084	1738,127	1142	1831,505	1200	1924,883				
1085	1739,736	1143	1833,115	1201	1926,493				
1086	1741,347	1144	1834,725	1202	1928,103				
1087	1742,956	1145	1836,335	1203	1929,713				
1088	1744,566	1146	1837,944	1204	1931,323				
1089	1746,176	1147	1839,555	1205	1932,933				
1090	1747,786	1148	1841,164	1206	1934,543				
1091	1749,396	1149	1842,775	1207	1936,153				
1092	1751,006	1150	1844,384	1208	1937,763				
1093	1752,616	1151	1845,994	1209	1939,373				
1094	1754,226	1152	1847,604	1210	1940,983				
1095	1755,836	1153	1849,214	1211	1942,592				
1096	1757,446	1154	1850,824	1212	1944,203				
1097	1759,056	1155	1852,434	1213	1945,812				
1098	1760,666	1156	1854,044	1214	1947,422				
1099	1762,276	1157	1855,654	1215	1949,032				
1100	1763,886	1158	1857,264	1216	1950,642				
1101	1765,496	1159	1858,874	1217	1952,252				
1102	1767,106	1160	1860,484	1218	1953,862				
1103	1768,716	1161	1862,094	1219	1955,472				
1104	1770,326	1162	1863,704	1220	1957,082				
1105	1771,936	1163	1865,314	1221	1958,692				
1106	1773,546	1164	1866,924	1222	1960,302				
1107	1775,156	1165	1868,534	1223	1961,912				
1108	1776,766	1166	1870,144	1224	1963,522				
1109	1778,376	1167	1871,754	1225	1965,132				
1110	1779,986	1168	1873,364	1226	1966,742				
1111	1781,596	1169	1874,974	1227	1968,352				
1112	1783,206	1170	1876,584	1228	1969,962				
1113	1784,816	1171	1878,194	1229	1971,572				
1114	1786,426	1172	1879,804	1230	1973,182				
1115	1788,036	1173	1881,414	1231	1974,792				
1116	1789,645	1174	1883,024	1232	1976,402				
1117	1791,255	1175	1884,634	1233	1978,012				
1118	1792,865	1176	1886,244	1234	1979,622				
1119	1794,475	1177	1887,854	1235	1981,232				
1120	1796,085	1178	1889,464	1236	1982,842				
1121	1797,695	1179	1891,074	1237	1984,452				
1122	1799,305	1180	1892,683	1238	1986,062				
1123	1800,915	1181	1894,293	1239	1987,672				
1124	1802,525	1182	1895,903	1240	1989,282				
1125	1804,135	1183	1897,513	1241	1990,892				
1126	1805,745	1184	1899,123	1242	1992,502				
1127	1807,355	1185	1900,733	1243	1994,112				
1128	1808,965	1186	1902,343	1244	1995,721				
1129	1810,575	1187	1903,953						
1130	1812,185	1188	1905,563						
1131	1813,795	1189	1907,173						
1132	1815,405	1190	1908,783						

Figura 73. Tabla de aforo de tanques verticales por el método de encintado en SI

Teniendo al final el volumen total del tanque en metros cúbicos y un incremental a 1cm.

Ejemplo: Tanque Vertical desde una altura de 0 in a 489 in (Capacidad Total =12531,604 bbl)

		REGISTRO							
		Inspección Volumétrica Geométrica de Tanques Verticales Método Manual							
INSPECTORA INDEPENDIENTE		Norma de referencia: API MPSM 2.2A						FR-IT-HL-02-02/18	
ESTACIÓN DE SERVICIO:	Refinería la libertad			CÓDIGO DEL TANQUE:			T-202		
UBICACIÓN:	LA LIBERTAD			PRODUCTO QUE ALMACENA:			Gasolina		
FECHA DE INSPECCIÓN:	9/4/2019			MATERIAL DE CUERPO Y CASQUETES:			Acero		
				TIPO DE TANQUE E INSTALACIÓN:			-		
Datos Generales				Equipos utilizados					
Capacidad máxima (galones)	12546,00			Descripción			Código / Fecha calibración		
Capacidad nominal (galones)(1)	-			Contrastador de 50 galones			-		
Tipo de casquetes	-			Cinta de aforo con plomada			-		
Número de anillos	-			Termometro con sonda inmersión			-		
Temperatura ambiente (°C)	-			Medidas Generales del Tanque					
Temperatura promedio de líquido contrastador (°C)	-			Longitud cuerpo / total (mm)			-		
Temperatura promedio de líquido del tanque (°C)	-			Diámetro prom. tanque (mm)			-		
Fluido de prueba	-			Altura prom. del tanque (mm)			-		
				Altura de referencia (mm)			-		
CORRIDA DE CALIBRACIÓN - ALTURAS Y SUS CORRESPONDIENTES CAPACIDADES									
Altura (in)	Volumen (bbl)	Altura (in)	Volumen (bbl)	Altura (in)	Volumen (bbl)	Altura (in)	Volumen (bbl)	Altura (in)	Volumen (bbl)
0,0	2,84	41,0	1047,274	82,0	2056,674	123,0	3111,877	164,0	4167,342
1,0	24,784	42,0	1072,999	83,0	2082,411	124,0	3137,614	165,0	4193,087
2,0	46,726	43,0	1098,725	84,0	2108,147	125,0	3163,351	166,0	4218,831
3,0	68,668	44,0	1124,451	85,0	2133,884	126,0	3189,087	167,0	4244,576
4,0	94,414	45,0	1150,176	86,0	2159,621	127,0	3214,824	168,0	4270,321
5,0	120,159	46,0	1175,901	87,0	2185,357	128,0	3240,561	169,0	4296,066
6,0	145,909	47,0	1201,626	88,0	2211,094	129,0	3266,297	170,0	4321,811
7,0	171,662	48,0	1227,352	89,0	2236,831	130,0	3292,034	171,0	4347,555
8,0	197,421	49,0	1253,077	90,0	2262,567	131,0	3317,771	172,0	4373,3
9,0	223,182	50,0	1278,803	91,0	2288,304	132,0	3343,507	173,0	4399,045
10,0	248,94	51,0	1304,528	92,0	2314,041	133,0	3369,252	174,0	4424,79
11,0	274,698	52,0	1330,254	93,0	2339,777	134,0	3394,997	175,0	4450,535
12,0	300,454	53,0	1355,979	94,0	2365,514	135,0	3420,742	176,0	4476,28
13,0	326,207	54,0	1381,704	95,0	2391,251	136,0	3446,487	177,0	4502,024
14,0	351,96	55,0	1407,43	96,0	2416,987	137,0	3472,231	178,0	4527,769
15,0	377,712	56,0	1433,155	97,0	2442,724	138,0	3497,976	179,0	4553,514
16,0	403,46	57,0	1458,881	98,0	2468,461	139,0	3523,721	180,0	4579,259
17,0	429,228	58,0	1484,606	99,0	2494,197	140,0	3549,466	181,0	4605,004
18,0	454,997	59,0	1510,331	100,0	2519,934	141,0	3575,211	182,0	4630,749
19,0	480,765	60,0	1536,067	101,0	2545,671	142,0	3600,956	183,0	4656,493
20,0	506,534	61,0	1561,803	102,0	2571,407	143,0	3626,7	184,0	4682,238
21,0	532,302	62,0	1587,539	103,0	2597,144	144,0	3652,445	185,0	4707,983
22,0	558,071	63,0	1613,275	104,0	2622,881	145,0	3678,19	186,0	4733,728
23,0	583,839	64,0	1639,011	105,0	2648,617	146,0	3703,935	187,0	4759,473
24,0	609,586	65,0	1664,747	106,0	2674,354	147,0	3729,68	188,0	4785,218
25,0	635,332	66,0	1690,483	107,0	2700,091	148,0	3755,424	189,0	4810,962
26,0	661,078	67,0	1716,219	108,0	2725,827	149,0	3781,169	190,0	4836,707
27,0	686,825	68,0	1741,955	109,0	2751,564	150,0	3806,914	191,0	4862,452
28,0	712,571	69,0	1767,691	110,0	2777,301	151,0	3832,659	192,0	4888,197
29,0	738,318	70,0	1793,427	111,0	2803,037	152,0	3858,404	193,0	4913,942
30,0	764,064	71,0	1819,163	112,0	2828,774	153,0	3884,149	194,0	4939,687
31,0	789,81	72,0	1844,899	113,0	2854,511	154,0	3909,893	195,0	4965,431
32,0	815,557	73,0	1870,635	114,0	2880,247	155,0	3935,638	196,0	4991,176
33,0	841,303	74,0	1896,371	115,0	2905,984	156,0	3961,383	197,0	5016,921
34,0	867,049	75,0	1922,107	116,0	2931,721	157,0	3987,128	198,0	5042,666
35,0	892,796	76,0	1947,843	117,0	2957,457	158,0	4012,873	199,0	5068,411
36,0	918,542	77,0	1973,579	118,0	2983,194	159,0	4038,618	200,0	5094,155
37,0	944,289	78,0	1999,315	119,0	3008,931	160,0	4064,362	201,0	5119,9
38,0	970,035	79,0	2025,051	120,0	3034,667	161,0	4090,107	202,0	5145,645
39,0	995,781	80,0	2050,787	121,0	3060,404	162,0	4115,852	203,0	5171,39
40,0	1021,528	81,0	2076,523	122,0	3086,141	163,0	4141,597	204,0	5197,135

Altura (in)	Volumen (bbl)	Altura (in)	Volumen (bbl)	Altura (in)	Volumen (bbl)	Altura (in)	Volumen (bbl)	Altura (in)	Volumen (bbl)
205,0	5222,902	263,0	6717,398	321,0	8211,815	379,0	9703,679	437,0	11194,109
206,0	5248,669	264,0	6743,165	322,0	8237,58	380,0	9729,365	438,0	11219,83
207,0	5274,436	265,0	6768,932	323,0	8263,346	381,0	9755,051	439,0	11245,551
208,0	5300,203	266,0	6794,699	324,0	8289,111	382,0	9780,737	440,0	11271,272
209,0	5325,971	267,0	6820,466	325,0	8314,877	383,0	9806,424	441,0	11296,993
210,0	5351,738	268,0	6846,233	326,0	8340,642	384,0	9832,11	442,0	11322,714
211,0	5377,505	269,0	6872,001	327,0	8366,408	385,0	9857,796	443,0	11348,435
212,0	5403,272	270,0	6897,768	328,0	8392,173	386,0	9883,483	444,0	11374,157
213,0	5429,039	271,0	6923,535	329,0	8417,939	387,0	9909,169	445,0	11399,878
214,0	5454,806	272,0	6949,302	330,0	8443,704	388,0	9934,855	446,0	11425,599
215,0	5480,574	273,0	6975,069	331,0	8469,47	389,0	9960,541	447,0	11451,32
216,0	5506,341	274,0	7000,836	332,0	8495,235	390,0	9986,228	448,0	11477,041
217,0	5532,108	275,0	7026,604	333,0	8521,001	391,0	10011,914	449,0	11502,762
218,0	5557,875	276,0	7052,369	334,0	8546,766	392,0	10037,6	450,0	11528,483
219,0	5583,642	277,0	7078,135	335,0	8572,532	393,0	10063,287	451,0	11554,204
220,0	5609,409	278,0	7103,9	336,0	8598,297	394,0	10088,973	452,0	11579,925
221,0	5635,177	279,0	7129,665	337,0	8624,062	395,0	10114,659	453,0	11605,646
222,0	5660,944	280,0	7155,431	338,0	8649,828	396,0	10140,345	454,0	11631,367
223,0	5686,711	281,0	7181,196	339,0	8675,593	397,0	10166,032	455,0	11657,088
224,0	5712,478	282,0	7206,962	340,0	8701,359	398,0	10191,718	456,0	11682,809
225,0	5738,245	283,0	7232,727	341,0	8727,124	399,0	10217,404	457,0	11708,53
226,0	5764,012	284,0	7258,493	342,0	8752,89	400,0	10243,091	458,0	11734,251
227,0	5789,78	285,0	7284,258	343,0	8778,655	401,0	10268,777	459,0	11759,972
228,0	5815,547	286,0	7310,024	344,0	8804,421	402,0	10294,463	460,0	11785,693
229,0	5841,314	287,0	7335,789	345,0	8830,186	403,0	10320,15	461,0	11811,414
230,0	5867,081	288,0	7361,555	346,0	8855,952	404,0	10345,836	462,0	11837,135
231,0	5892,848	289,0	7387,32	347,0	8881,717	405,0	10371,522	463,0	11862,857
232,0	5918,615	290,0	7413,086	348,0	8907,403	406,0	10397,208	464,0	11888,578
233,0	5944,383	291,0	7438,851	349,0	8933,09	407,0	10422,895	465,0	11914,299
234,0	5970,15	292,0	7464,617	350,0	8958,776	408,0	10448,581	466,0	11940,02
235,0	5995,917	293,0	7490,382	351,0	8984,462	409,0	10474,267	467,0	11965,741
236,0	6021,684	294,0	7516,147	352,0	9010,149	410,0	10499,954	468,0	11991,462
237,0	6047,451	295,0	7541,913	353,0	9035,835	411,0	10525,64	469,0	12017,183
238,0	6073,218	296,0	7567,678	354,0	9061,521	412,0	10551,326	470,0	12042,904
239,0	6098,986	297,0	7593,444	355,0	9087,207	413,0	10577,012	471,0	12068,625
240,0	6124,753	298,0	7619,209	356,0	9112,894	414,0	10602,699	472,0	12094,346
241,0	6150,52	299,0	7644,975	357,0	9138,58	415,0	10628,385	473,0	12120,067
242,0	6176,287	300,0	7670,74	358,0	9164,266	416,0	10654,071	474,0	12145,788
243,0	6202,054	301,0	7696,506	359,0	9189,953	417,0	10679,758	475,0	12171,509
244,0	6227,821	302,0	7722,271	360,0	9215,639	418,0	10705,444	476,0	12197,23
245,0	6253,589	303,0	7748,037	361,0	9241,325	419,0	10731,13	477,0	12222,951
246,0	6279,356	304,0	7773,802	362,0	9267,012	420,0	10756,815	478,0	12248,672
247,0	6305,123	305,0	7799,568	363,0	9292,698	421,0	10782,502	479,0	12274,393
248,0	6330,89	306,0	7825,333	364,0	9318,384	422,0	10808,293	480,0	12300,114
249,0	6356,657	307,0	7851,099	365,0	9344,07	423,0	10834,014	481,0	12325,835
250,0	6382,424	308,0	7876,864	366,0	9369,757	424,0	10859,735	482,0	12351,556
251,0	6408,192	309,0	7902,629	367,0	9395,443	425,0	10885,457	483,0	12377,278
252,0	6433,959	310,0	7928,395	368,0	9421,129	426,0	10911,178	484,0	12402,999
253,0	6459,726	311,0	7954,16	369,0	9446,816	427,0	10936,899	485,0	12428,72
254,0	6485,493	312,0	7979,926	370,0	9472,502	428,0	10962,62	486,0	12454,441
255,0	6511,26	313,0	8005,691	371,0	9498,188	429,0	10988,341	487,0	12480,162
256,0	6537,027	314,0	8031,457	372,0	9523,874	430,0	11014,062	488,0	12505,883
257,0	6562,795	315,0	8057,222	373,0	9549,561	431,0	11039,783	489,0	12531,604
258,0	6588,562	316,0	8082,988	374,0	9575,247	432,0	11065,504		
259,0	6614,329	317,0	8108,753	375,0	9600,933	433,0	11091,225		
260,0	6640,096	318,0	8134,519	376,0	9626,62	434,0	11116,946		
261,0	6665,863	319,0	8160,284	377,0	9652,306	435,0	11142,667		
262,0	6691,63	320,0	8186,05	378,0	9677,992	436,0	11168,388		

Figura 74. Tabla de aforo de tanques verticales por el método de encintado en SA

Error de volumen final comparado con los calculados usando otro software y
 mualmente se tiene errores muy bajos.

ALTURA (in)	CALCULADO (BBL)	SA (BBL)	ERROR
1	2,8410	2,84047368	0,019
2	24,7845674	24,7840382	0,002
3	46,72671773	46,7261855	0,001
4	68,66886805	68,6683329	0,001
5	94,41431942	94,4137904	0,001
6	120,1597708	120,159248	0,000
7	145,9093356	145,908839	0,000
8	171,66263	171,662254	0,000
9	197,4210797	197,42082	0,000
10	223,1825739	223,182431	0,000
11	248,940195	248,940154	0,000
12	274,6978162	274,697876	0,000
13	300,4542309	300,454387	0,000
14	326,2069163	326,207075	0,000
15	351,9596016	351,959762	0,000
16	377,712287	377,712449	0,000
17	403,4598169	403,459986	0,000
18	429,2389668	429,228471	0,002
19	455,0181166	454,996956	0,005
20	480,7972665	480,765441	0,007
21	506,5764163	506,533925	0,008
22	532,3555662	532,30241	0,010
23	558,134716	558,070895	0,011
24	583,9138659	583,83938	0,013
25	609,6708966	609,585746	0,014
26	635,4279273	635,332112	0,015
27	661,184958	661,078478	0,016
28	686,9419887	686,824843	0,017
29	712,6990194	712,571209	0,018
458	11708,79229	11708,5302	0,002
459	11734,51333	11734,2512	0,002
460	11760,23438	11759,9723	0,002
461	11785,95542	11785,6933	0,002
462	11811,67646	11811,4144	0,002
463	11837,3975	11837,1355	0,002
464	11863,11854	11862,8565	0,002
465	11888,83958	11888,5776	0,002
466	11914,56062	11914,2986	0,002
467	11940,28166	11940,0197	0,002
468	11966,00271	11965,7407	0,002
469	11991,72375	11991,4618	0,002
470	12017,44479	12017,1828	0,002
471	12043,16583	12042,9039	0,002
472	12068,88687	12068,6249	0,002
473	12094,60791	12094,346	0,002
474	12120,32895	12120,067	0,002
475	12146,05	12145,7881	0,002
476	12171,77104	12171,5091	0,002
477	12197,49208	12197,2302	0,002
478	12223,21312	12222,9512	0,002
479	12248,93416	12248,6723	0,002
480	12274,6552	12274,3933	0,002
481	12300,37624	12300,1144	0,002
482	12326,09728	12325,8354	0,002
483	12351,81833	12351,5565	0,002
484	12377,53937	12377,2775	0,002
485	12403,26041	12402,9986	0,002
486	12428,98145	12428,7196	0,002
487	12454,70249	12454,4407	0,002
488	12480,42353	12480,1617	0,002
489	12506,14457	12505,8828	0,002
490	12531,86562	12531,6039	0,002

Datos para realizar el cálculo de la incertidumbre:

$UL_{st} := 0.00$	m	Incertidumbre expandida de la longitud de la cinta
$k := 2$		Factor de cobertura
$rL_{tr} := 0.00$	m	Resolución de la cinta
$tL_{tp} := 0.00$	m	Tolerancia de la tension de la cinta y posición
$eL_{ta} := 0.00$	m	Es el error máximo de la alineación de cada par de cintas
$uV_{sh} := \frac{0.0}{10}$	%	Incertidumbre estandar por la forma del tanque
$uV_{ad} := \frac{0.0}{10}$	%	Incertidumbres adicionales
$w_{tmp} := 0.00$	mm	Incertidumbre expandida de espesor
$\alpha_{st} := 0.00001$	C^{-1}	Coefficiente de expansion lineal de cinta
$\alpha_{tk} := 0.00001$	C^{-1}	Coefficiente de expansion lineal de tanque
$e\alpha_{st} := 2 \cdot 10^{-6}$	C^{-1}	Maximo error estimado de coeficiente de expansion lineal
$e\alpha_{kt} := 2 \cdot 10^{-6}$	C^{-1}	Maximo error estimado de coeficiente de expansion lineal
$eT_{st} := 5$	C	Maximo error estimado de temprtura de cinta
$uV_o := 0.2$		Incertidumbre de fondo
$g_1 := 9.80$		Gravedad
$rL_{td} := 0.00$	m	Resolucion de cinta de inmersion
$eT_{tp} := 5$		Error de tenoeratura de cinta de inmersion

La incertidumbre promedio es de 0,070%

Anillos	Incertidumbre %
1	0,02
2	0,044
3	0,068
4	0,092
5	0,116
6	0,14
7	0,164

2) Calibración de tanques por el método Electroóptico externo

Se ingresa todos los datos como se presenta a continuación:

TANQUES VERTICALES

MENU AYUDA

Método electro óptico interno | Método electro- óptico externo | Calibración Líquida | Encintado

Tipo de Unión: TOPE

Tipo de Fondo: CONO ARRIBA

Altura del Cono (mm): 62

Tanque con producto

Tipo de Techo: FLOTANTE

Peso del Techo (Kg): 17753.18

Altura crítica superior (m): 2.02

Altura crítica inferior (m): 1.75

Incertidumbre%: 0.09981487817661772

Altura del Líquido: 4.08

Espesor pintura (m): 0.0001

Temperatura ambiente de medición (°C): 32.3

Inclinación del Tanque (mm): 33

Temperatura del líquido de servicio (°C): 33.6

Altura platina de Aforo (mm): 7

Grado API 60 F: 64.1

Número de Anillos: 4

Incremental (cm): 1

Diámetro nominal (mm): 21348.7

PUNTOS CIRCUNFERENCIA

Calcular

ALTURAS (mm)

	2.427
	2.424,4
	2.424,3
	2.477,1

Diagrama de un tanque vertical con cuatro anillos y puntos de medición en la circunferencia.

Figura 75. Introducción de datos de entrada y altura de anillos
Fuente: (Propia)

TANQUES VERTICALES

MENU AYUDA

Método electro óptico interno Método electro-óptico externo Calibración Líquida Encintado

Tipo de Unión

TOPE

Tipo de Fondo

CONO ARRIBA

Altura del Cono (mm)

62

Tanque con producto

Tipo de Techo

FLOTANTE

Peso del Techo (Kg)

17753.18

Altura crítica superior (m)

2.02

Altura crítica inferior (m)

1.75

Incertidumbre%

0.09981487817661772

Alturas de Anillos | **Espesores Tanque** | Accesorios | Incertidumbre | TIPO DE JUNTAS

ESPESOR DEL TANQUE AL 20% (mm)	ESPESOR DEL TANQUE AL 80% (mm)
7.92	7.92
6.35	6.35
6.35	6.35

Altura del Líquido

4.08

Temperatura ambiente de medición (°C)

32.3

Temperatura del líquido de servicio (°C)

33.6

Grado API 60 F

64.1

Incremental (cm)

1

PUNTOS CIRCUNFERENCIA

Espesor pintura (m)

0.0001

Inclinación del Tanque (mm)

33

Altura platina de Aforo (mm)

7

Número de Anillos

4

Diámetro nominal (mm)

21348.7

Calcular

Figura 76. Introducción de espesores del tanque
Fuente: (Propia)

TANQUES VERTICALES

MENU AYUDA

Método electro óptico interno Método electro-óptico externo Calibración Líquida Encintado

Tipo de Unión

TOPE

Tipo de Fondo

CONO ARRIBA

Altura del Cono (mm)

62

Tanque con producto

Tipo de Techo

FLOTANTE

Peso del Techo (Kg)

17753.18

Altura crítica superior (m)

2.02

Altura crítica inferior (m)

1.75

Incertidumbre%

0.09981487817661772

Alturas de Anillos | **Espesores Tanque** | Accesorios | Incertidumbre | **TIPO DE JUNTAS**

Numero	ANCHO (mm)	ESPESOR (mm)
12	12.37	1.82
11	13.08	1.78
11	13.08	2.33
11	12.9	1.52

Altura del Líquido

4.08

Temperatura ambiente de medición (°C)

32.3

Temperatura del líquido de servicio (°C)

33.6

Grado API 60 F

64.1

Incremental (cm)

1

PUNTOS CIRCUNFERENCIA

Espesor pintura (m)

0.0001

Inclinación del Tanque (mm)

33

Altura platina de Aforo (mm)

7

Número de Anillos

4

Diámetro nominal (mm)

21348.7

Calcular

Figura 77. Introducción de tipos de juntas
Fuente: (Propia)

Los puntos de circunferencia son los siguientes:

Tabla 2.
Puntos de circunferencia para ajuste



AAñillos	X 20% (m)	Y 20% (m)	X 80% (m)	Y 80% (m)
11	5015,7555	5013,8513	5015,7476	5013,848
11	5010,153	5019,8106	5010,1538	5019,8125
11	5001,9827	5020,0867	5001,9898	5020,067
11	4996,0281	5014,4832	4996,0241	5014,4848
11	4995,7676	5006,3191	4995,7721	5006,321
11	5001,3526	5000,3567	5001,3491	5000,348
11	5009,5181	5000,0928	5009,5148	5000,100
11	5015,4816	5005,6817	5015,4785	5005,6834
32	5015,7546	5013,8511	5015,7625	5013,8545
32	5010,1536	5019,8121	5010,1562	5019,818
32	5001,9934	5020,0574	5001,9954	5020,0514
32	4996,019	5014,4865	4996,0048	5014,492
32	4995,7787	5006,3238	4995,7768	5006,323
32	5001,3522	5000,3555	5001,3547	5000,3613
32	5009,5126	5000,106	5009,5248	5000,0775
32	5015,4778	5005,6836	5015,4843	5005,6805
23	5015,7762	5013,8604	5015,7829	5013,8633
33	5010,155	5019,8154	5010,1553	5019,816
33	5001,9963	5020,0489	5001,9931	5020,0576
33	4996,0004	5014,4936	4996,0023	5014,4929
33	4995,7776	5006,3234	4995,772	5006,321
33	5001,355	5000,3619	5001,351	5000,3526
33	5009,5249	5000,077	5009,5197	5000,0894
33	5015,4767	5005,6843	5015,4804	5005,6825
44	5015,7842	5013,8639	5015,7984	5013,87
44	5010,1533	5019,8119	5010,1501	5019,8051
44	5001,9965	5020,0483	5002,0042	5020,0269
44	4996,0072	5014,491	4996,006	5014,4914
44	4995,7741	5006,3219	4995,7677	5006,3191
44	5001,3491	5000,3475	5001,3402	5000,326
44	5009,5168	5000,0961	5009,512	5000,1075
44	5015,4867	5005,6794	5015,4928	5005,6765

Ajustando estos puntos tenemos los respectivos radios al 20 y 80% de cada anillo.

Tabla 3.
Radios ajustados

Radio 20% (m)	Radio 80% (m)
10,678819	10,674978
10,672549	10,67978
10,6803434	10,683105
10,68118	10,6825667

Ejemplo: Tanque Vertical desde una altura de 0 cm a 974 cm (Capacidad Total = 3462.42 m³)



		REGISTRO							
		Inspección Volumétrica Electroóptica Externa INFORME - TABLAS DE AFORO Norma de referencia: ISO 7507-5							
INSPECTORA INDEPENDIENTE		FR-IT-HL-02-02/18							
ESTACIÓN DE SERVICIO:	-	CÓDIGO DEL TANQUE:				-			
UBICACIÓN:	-	PRODUCTO QUE ALMACENA:				-			
FECHA DE INSPECCIÓN:	-	MATERIAL DE CUERPO Y CASQUETES:				-			
		TIPO DE TANQUE E INSTALACIÓN:				-			
Datos Generales					Equipos utilizados				
Capacidad máxima (galones)	-	Descripción			Código / Fecha calibración				
Capacidad nominal (galones) ⁽¹⁾	-	Contrastador de 50 galones			-				
Tipo de casquetes	-	Cinta de aforo con plomada			-				
Número de anillos	-	Termometro con sonda inmersión			-				
Temperatura ambiente (°C)	-	Medidas Generales del Tanque							
Temperatura promedio de líquido contrastador (°C)	-	Longitud cuerpo / total (mm)			-				
Temperatura promedio de líquido del tanque (°C)	-	Diámetro prom. tanque (mm)			-				
Fluido de prueba	-	Altura prom. del tanque (mm)			-				
		Altura de referencia (mm)			-				
CORRIDA DE CALIBRACIÓN - ALTURAS Y SUS CORRESPONDIENTES CAPACIDADES									
Altura (cm)	Volumen (m ³)	Altura (cm)	Volumen (m ³)	Altura (cm)	Volumen (m ³)	Altura (cm)	Volumen (m ³)	Altura (cm)	Volumen (m ³)
0,0	0,0	41	146,642	82	293,284	123	439,926	164	586,568
1	3,577	42	150,219	83	296,86	124	443,502	165	590,144
2	7,153	43	153,795	84	300,437	125	447,079	166	593,721
3	10,73	44	157,372	85	304,014	126	450,656	167	597,297
4	14,306	45	160,948	86	307,59	127	454,232	168	600,874
5	17,883	46	164,525	87	311,167	128	457,809	169	604,451
6	21,46	47	168,102	88	314,744	129	461,386	170	608,027
7	25,036	48	171,678	89	318,32	130	464,962	171	611,604
8	28,613	49	175,255	90	321,897	131	468,539	172	615,181
9	32,19	50	178,832	91	325,474	132	472,115	173	618,757
10	35,766	51	182,408	92	329,05	133	475,692	174	622,334
11	39,343	52	185,985	93	332,627	134	479,269	175	625,911
12	42,92	53	189,562	94	336,203	135	482,845	176	629,488
13	46,496	54	193,138	95	339,78	136	486,422	177	633,065
14	50,073	55	196,715	96	343,357	137	489,999	178	636,642
15	53,649	56	200,291	97	346,933	138	493,575	179	640,219
16	57,226	57	203,868	98	350,51	139	497,152	180	643,796
17	60,803	58	207,445	99	354,086	140	500,728	181	647,373
18	64,379	59	211,021	100	357,663	141	504,305	182	650,950
19	67,956	60	214,598	101	361,24	142	507,882	183	654,527
20	71,533	61	218,175	102	364,816	143	511,458	184	658,104
21	75,109	62	221,751	103	368,393	144	515,035	185	661,681
22	78,686	63	225,328	104	371,97	145	518,612	186	665,258
23	82,263	64	228,905	105	375,546	146	522,188	187	668,835
24	85,839	65	232,481	106	379,123	147	525,765	188	672,412
25	89,416	66	236,058	107	382,7	148	529,342	189	675,989
26	92,992	67	239,634	108	386,276	149	532,918	190	679,566
27	96,569	68	243,211	109	389,853	150	536,495	191	683,143
28	100,146	69	246,788	110	393,429	151	540,071	192	686,720
29	103,722	70	250,364	111	397,006	152	543,648	193	690,297
30	107,299	71	253,941	112	400,583	153	547,225	194	693,874
31	110,876	72	257,517	113	404,159	154	550,801	195	697,451
32	114,452	73	261,094	114	407,736	155	554,378	196	701,028
33	118,029	74	264,671	115	411,313	156	557,955	197	704,605
34	121,605	75	268,247	116	414,889	157	561,531	198	708,182
35	125,182	76	271,824	117	418,466	158	565,108	199	711,759
36	128,759	77	275,401	118	422,043	159	568,685	200	715,336
37	132,335	78	278,977	119	425,619	160	572,261	201	718,913
38	135,912	79	282,554	120	429,196	161	575,838	202	722,490
39	139,489	80	286,131	121	432,772	162	579,414	203	726,067
40	143,065	81	289,707	122	436,349	163	582,991	204	729,644

Altura (cm)	Volumen (m ³)	Altura (cm)	Volumen (m ³)	Altura (cm)	Volumen (m ³)	Altura (cm)	Volumen (m ³)	Altura (cm)	Volumen (m ³)
495	1745,444	553	1953,311	611	2161,178	669	2369,044	727	2576,911
496	1749,028	554	1956,895	612	2164,761	670	2372,628	728	2580,496
497	1752,612	555	1960,479	613	2168,345	671	2376,212	729	2584,081
498	1756,196	556	1964,062	614	2171,929	672	2379,796	730	2587,666
499	1759,779	557	1967,646	615	2175,513	673	2383,38	731	2591,251
500	1763,363	558	1971,23	616	2179,097	674	2386,964	732	2594,836
501	1766,947	559	1974,814	617	2182,681	675	2390,548	733	2598,422
502	1770,531	560	1978,398	618	2186,265	676	2394,132	734	2602,007
503	1774,115	561	1981,982	619	2189,849	677	2397,716	735	2605,592
504	1777,699	562	1985,566	620	2193,433	678	2401,3	736	2609,177
505	1781,283	563	1989,15	621	2197,017	679	2404,883	737	2612,762
506	1784,867	564	1992,734	622	2200,601	680	2408,467	738	2616,347
507	1788,451	565	1996,318	623	2204,184	681	2412,051	739	2619,932
508	1792,035	566	1999,902	624	2207,768	682	2415,635	740	2623,517
509	1795,619	567	2003,485	625	2211,352	683	2419,219	741	2627,102
510	1799,202	568	2007,069	626	2214,936	684	2422,803	742	2630,687
511	1802,786	569	2010,653	627	2218,52	685	2426,387	743	2634,272
512	1806,37	570	2014,237	628	2222,104	686	2429,971	744	2637,857
513	1809,954	571	2017,821	629	2225,688	687	2433,555	745	2641,442
514	1813,538	572	2021,405	630	2229,272	688	2437,139	746	2645,027
515	1817,122	573	2024,989	631	2232,856	689	2440,723	747	2648,612
516	1820,706	574	2028,573	632	2236,44	690	2444,306	748	2652,197
517	1824,29	575	2032,157	633	2240,024	691	2447,89	749	2655,782
518	1827,874	576	2035,741	634	2243,607	692	2451,474	750	2659,367
519	1831,458	577	2039,324	635	2247,191	693	2455,058	751	2662,952
520	1835,042	578	2042,909	636	2250,775	694	2458,642	752	2666,538
521	1838,626	579	2046,492	637	2254,359	695	2462,226	753	2670,123
522	1842,209	580	2050,076	638	2257,943	696	2465,81	754	2673,708
523	1845,793	581	2053,66	639	2261,527	697	2469,394	755	2677,293
524	1849,377	582	2057,244	640	2265,111	698	2472,978	756	2680,878
525	1852,961	583	2060,828	641	2268,695	699	2476,562	757	2684,463
526	1856,545	584	2064,412	642	2272,279	700	2480,146	758	2688,048
527	1860,129	585	2067,996	643	2275,863	701	2483,73	759	2691,633
528	1863,713	586	2071,58	644	2279,447	702	2487,313	760	2695,218
529	1867,297	587	2075,164	645	2283,031	703	2490,897	761	2698,803
530	1870,881	588	2078,748	646	2286,614	704	2494,481	762	2702,388
531	1874,465	589	2082,331	647	2290,198	705	2498,065	763	2705,973
532	1878,049	590	2085,915	648	2293,782	706	2501,649	764	2709,558
533	1881,632	591	2089,499	649	2297,366	707	2505,233	765	2713,143
534	1885,216	592	2093,083	650	2300,95	708	2508,817	766	2716,728
535	1888,8	593	2096,667	651	2304,534	709	2512,401	767	2720,313
536	1892,384	594	2100,251	652	2308,118	710	2515,985	768	2723,898
537	1895,968	595	2103,835	653	2311,702	711	2519,569	769	2727,483
538	1899,552	596	2107,419	654	2315,286	712	2523,153	770	2731,068
539	1903,136	597	2111,003	655	2318,87	713	2526,736	771	2734,654
540	1906,72	598	2114,587	656	2322,453	714	2530,32	772	2738,239
541	1910,304	599	2118,171	657	2326,037	715	2533,904	773	2741,824
542	1913,888	600	2121,754	658	2329,621	716	2537,488	774	2745,409
543	1917,472	601	2125,338	659	2333,205	717	2541,072	775	2748,994
544	1921,055	602	2128,922	660	2336,789	718	2544,656	776	2752,579
545	1924,639	603	2132,506	661	2340,373	719	2548,24	777	2756,164
546	1928,223	604	2136,09	662	2343,957	720	2551,824	778	2759,749
547	1931,807	605	2139,674	663	2347,541	721	2555,408	779	2763,334
548	1935,391	606	2143,258	664	2351,125	722	2558,992	780	2766,919
549	1938,975	607	2146,842	665	2354,709	723	2562,576	781	2770,504
550	1942,559	608	2150,426	666	2358,293	724	2566,159	782	2774,089
551	1946,143	609	2154,01	667	2361,876	725	2569,743	783	2777,674
552	1949,727	610	2157,594	668	2365,461	726	2573,327	784	2781,259

Altura (cm)	Volumen (m ³)	Altura (cm)	Volumen (m ³)	Altura (cm)	Volumen (m ³)	Altura (cm)	Volumen (m ³)	Altura (cm)	Volumen (m ³)
785	2784,844	843	2992,778	901	3200,711	959	3408,644		
786	2788,43	844	2996,363	902	3204,296	960	3412,229		
787	2792,015	845	2999,948	903	3207,881	961	3415,814		
788	2795,6	846	3003,533	904	3211,466	962	3419,399		
789	2799,185	847	3007,118	905	3215,051	963	3422,984		
790	2802,77	848	3010,703	906	3218,636	964	3426,569		
791	2806,355	849	3014,288	907	3222,221	965	3430,154		
792	2809,94	850	3017,873	908	3225,806	966	3433,739		
793	2813,525	851	3021,458	909	3229,391	967	3437,324		
794	2817,11	852	3025,043	910	3232,976	968	3440,91		
795	2820,695	853	3028,628	911	3236,561	969	3444,495		
796	2824,28	854	3032,213	912	3240,146	970	3448,08		
797	2827,865	855	3035,798	913	3243,731	971	3451,665		
798	2831,45	856	3039,383	914	3247,316	972	3455,25		
799	2835,035	857	3042,968	915	3250,902	973	3458,835		
800	2838,62	858	3046,553	916	3254,487	974	3462,42		
801	2842,205	859	3050,139	917	3258,072				
802	2845,79	860	3053,724	918	3261,657				
803	2849,375	861	3057,309	919	3265,242				
804	2852,96	862	3060,894	920	3268,827				
805	2856,546	863	3064,479	921	3272,412				
806	2860,131	864	3068,064	922	3275,997				
807	2863,716	865	3071,649	923	3279,582				
808	2867,301	866	3075,234	924	3283,167				
809	2870,886	867	3078,819	925	3286,752				
810	2874,471	868	3082,404	926	3290,337				
811	2878,056	869	3085,989	927	3293,922				
812	2881,641	870	3089,574	928	3297,507				
813	2885,226	871	3093,159	929	3301,092				
814	2888,811	872	3096,744	930	3304,677				
815	2892,396	873	3100,329	931	3308,262				
816	2895,981	874	3103,914	932	3311,847				
817	2899,566	875	3107,499	933	3315,432				
818	2903,151	876	3111,084	934	3319,018				
819	2906,736	877	3114,67	935	3322,603				
820	2910,321	878	3118,255	936	3326,188				
821	2913,906	879	3121,84	937	3329,773				
822	2917,491	880	3125,425	938	3333,358				
823	2921,076	881	3129,01	939	3336,943				
824	2924,662	882	3132,595	940	3340,528				
825	2928,247	883	3136,18	941	3344,113				
826	2931,832	884	3139,765	942	3347,698				
827	2935,417	885	3143,35	943	3351,283				
828	2939,002	886	3146,935	944	3354,868				
829	2942,587	887	3150,52	945	3358,453				
830	2946,172	888	3154,105	946	3362,038				
831	2949,757	889	3157,69	947	3365,623				
832	2953,342	890	3161,275	948	3369,208				
833	2956,927	891	3164,86	949	3372,794				
834	2960,512	892	3168,445	950	3376,379				
835	2964,097	893	3172,03	951	3379,964				
836	2967,682	894	3175,615	952	3383,549				
837	2971,267	895	3179,2	953	3387,134				
838	2974,852	896	3182,786	954	3390,719				
839	2978,437	897	3186,371	955	3394,304				
840	2982,022	898	3189,956	956	3397,889				
841	2985,607	899	3193,541	957	3401,474				
842	2989,192	900	3197,126	958	3405,059				

Figura 78. Tabla de aforo de tanques verticales por el método de E. Externo SI

Ejemplo: Tanque Vertical desde una altura de 0 cm a 383 cm (Capacidad Total =21737.281 bbl)

		REGISTRO							
		Inspección Volumétrica Electroóptica externa							
INSPECTORA INDEPENDIENTE		Norma de referencia: ISO 7507-5						FR-IT-HL-02-02/18	
ESTACIÓN DE SERVICIO:		-				CÓDIGO DEL TANQUE:		-	
UBICACIÓN:		-				PRODUCTO QUE ALMACENA:		-	
FECHA DE INSPECCIÓN:		-				MATERIAL DE CUERPO Y CASQUETES:		-	
						TIPO DE TANQUE E INSTALACIÓN:		-	
Datos Generales					Equipos utilizados				
Capacidad máxima (galones)		-				Descripción		Código / Fecha calibración	
Capacidad nominal (galones) ⁽¹⁾		-				Contrastador de 50 galones		-	
Tipo de casquetes		-				Cinta de aforo con plomada		-	
Número de anillos		-				Termometro con sonda inmersión		-	
Temperatura ambiente (°C)		-				Medidas Generales del Tanque			
Temperatura promedio de líquido contrastador (°C)		-				Longitud cuerpo / total (mm)		-	
Temperatura promedio de líquido del tanque (°C)		-				Diámetro prom. tanque (mm)		-	
Fluido de prueba		-				Altura prom. del tanque (mm)		-	
						Altura de referencia (mm)		-	
CORRIDA DE CALIBRACIÓN - ALTURAS Y SUS CORRESPONDIENTES CAPACIDADES									
Altura (in)	Volumen (bbl)	Altura (in)	Volumen (bbl)	Altura (in)	Volumen (bbl)	Altura (in)	Volumen (bbl)	Altura (in)	Volumen (bbl)
0,0	0,0	41,0	2342,769	82,0	4511,338	123,0	6854,807	164,0	9198,6
1,0	57,141	42,0	2399,909	83,0	4568,479	124,0	6911,972	165,0	9255,766
2,0	114,281	43,0	2457,05	84,0	4625,619	125,0	6969,138	166,0	9312,932
3,0	171,422	44,0	2514,191	85,0	4682,76	126,0	7026,304	167,0	9370,097
4,0	228,563	45,0	2571,331	86,0	4739,901	127,0	7083,469	168,0	9427,263
5,0	285,703	46,0	2628,472	87,0	4797,041	128,0	7140,635	169,0	9484,429
6,0	342,844	47,0	2685,613	88,0	4854,182	129,0	7197,801	170,0	9541,595
7,0	399,985	48,0	2742,753	89,0	4911,323	130,0	7254,967	171,0	9598,76
8,0	457,126	49,0	2799,894	90,0	4968,464	131,0	7312,132	172,0	9655,926
9,0	514,266	50,0	2857,035	91,0	5025,604	132,0	7369,298	173,0	9713,092
10,0	571,407	51,0	2914,176	92,0	5082,745	133,0	7426,464	174,0	9770,257
11,0	628,548	52,0	2971,316	93,0	5139,886	134,0	7483,629	175,0	9827,423
12,0	685,688	53,0	3028,457	94,0	5197,026	135,0	7540,795	176,0	9884,589
13,0	742,829	54,0	3085,598	95,0	5254,167	136,0	7597,961	177,0	9941,755
14,0	799,97	55,0	3142,738	96,0	5311,308	137,0	7655,126	178,0	9998,92
15,0	857,11	56,0	3199,879	97,0	5368,448	138,0	7712,292	179,0	10056,086
16,0	914,251	57,0	3257,02	98,0	5425,589	139,0	7769,458	180,0	10113,252
17,0	971,392	58,0	3314,16	99,0	5482,73	140,0	7826,624	181,0	10170,417
18,0	1028,533	59,0	3371,301	100,0	5539,871	141,0	7883,789	182,0	10227,583
19,0	1085,673	60,0	3428,442	101,0	5597,012	142,0	7940,955	183,0	10284,749
20,0	1142,814	61,0	3485,583	102,0	5654,153	143,0	7998,121	184,0	10341,914
21,0	1199,955	62,0	3542,723	103,0	5711,294	144,0	8055,286	185,0	10399,08
22,0	1257,095	63,0	3599,864	104,0	5768,435	145,0	8112,452	186,0	10456,246
23,0	1314,236	64,0	3657,005	105,0	5825,576	146,0	8169,618	187,0	10513,412
24,0	1371,377	65,0	3714,145	106,0	5882,717	147,0	8226,783	188,0	10570,577
25,0	1428,517	66,0	3771,286	107,0	5940,158	148,0	8283,949	189,0	10627,743
26,0	1485,658	67,0	3828,427	108,0	5997,321	149,0	8341,115	190,0	10684,909
27,0	1542,799	68,0	3885,567	109,0	6054,487	150,0	8398,281	191,0	10742,166
28,0	1599,94	69,0	3942,708	110,0	6111,653	151,0	8455,446	192,0	10799,423
29,0	1657,08	70,0	3970,816	111,0	6168,818	152,0	8512,612	193,0	10856,68
30,0	1714,221	71,0	4013,44	112,0	6225,984	153,0	8569,778	194,0	10913,937
31,0	1771,362	72,0	4056,064	113,0	6283,15	154,0	8626,943	195,0	10971,194
32,0	1828,502	73,0	4098,688	114,0	6340,315	155,0	8684,109	196,0	11028,451
33,0	1885,643	74,0	4141,312	115,0	6397,481	156,0	8741,275	197,0	11085,708
34,0	1942,784	75,0	4183,936	116,0	6454,647	157,0	8798,44	198,0	11142,965
35,0	1999,924	76,0	4226,56	117,0	6511,812	158,0	8855,606	199,0	11200,222
36,0	2057,065	77,0	4269,184	118,0	6568,978	159,0	8912,772	200,0	11257,479
37,0	2114,206	78,0	4311,808	119,0	6626,144	160,0	8969,938	201,0	11314,736
38,0	2171,346	79,0	4354,432	120,0	6683,31	161,0	9027,103	202,0	11371,992
39,0	2228,487	80,0	4397,057	121,0	6740,475	162,0	9084,269	203,0	11429,249
40,0	2285,628	81,0	4454,197	122,0	6797,641	163,0	9141,435	204,0	11486,506

Altura (in)	Volumen (bbl)	Altura (in)	Volumen (bbl)	Altura (in)	Volumen (bbl)	Altura (in)	Volumen (bbl)	Altura (in)	Volumen (bbl)
205,0	11543,763	263,0	14864,669	321,0	18186,214	379,0	21508,18		
206,0	11601,02	264,0	14921,926	322,0	18243,489	380,0	21565,455		
207,0	11658,277	265,0	14979,183	323,0	18300,765	381,0	21622,73		
208,0	11715,534	266,0	15036,44	324,0	18358,04	382,0	21680,006		
209,0	11772,791	267,0	15093,697	325,0	18415,315	383,0	21737,281		
210,0	11830,048	268,0	15150,954	326,0	18472,59				
211,0	11887,305	269,0	15208,211	327,0	18529,866				
212,0	11944,562	270,0	15265,468	328,0	18587,141				
213,0	12001,819	271,0	15322,725	329,0	18644,416				
214,0	12059,076	272,0	15379,982	330,0	18701,691				
215,0	12116,333	273,0	15437,239	331,0	18758,967				
216,0	12173,59	274,0	15494,496	332,0	18816,242				
217,0	12230,847	275,0	15551,753	333,0	18873,517				
218,0	12288,104	276,0	15609,01	334,0	18930,793				
219,0	12345,361	277,0	15666,267	335,0	18988,068				
220,0	12402,618	278,0	15723,524	336,0	19045,343				
221,0	12459,875	279,0	15780,781	337,0	19102,618				
222,0	12517,132	280,0	15838,038	338,0	19159,894				
223,0	12574,389	281,0	15895,295	339,0	19217,169				
224,0	12631,646	282,0	15952,552	340,0	19274,444				
225,0	12688,903	283,0	16009,809	341,0	19331,719				
226,0	12746,16	284,0	16067,066	342,0	19388,995				
227,0	12803,417	285,0	16124,323	343,0	19446,27				
228,0	12860,674	286,0	16181,58	344,0	19503,545				
229,0	12917,931	287,0	16238,855	345,0	19560,821				
230,0	12975,188	288,0	16296,13	346,0	19618,096				
231,0	13032,445	289,0	16353,405	347,0	19675,371				
232,0	13089,702	290,0	16410,681	348,0	19732,646				
233,0	13146,959	291,0	16467,956	349,0	19789,922				
234,0	13204,216	292,0	16525,231	350,0	19847,197				
235,0	13261,473	293,0	16582,506	351,0	19904,472				
236,0	13318,73	294,0	16639,782	352,0	19961,747				
237,0	13375,987	295,0	16697,057	353,0	20019,023				
238,0	13433,244	296,0	16754,332	354,0	20076,298				
239,0	13490,501	297,0	16811,608	355,0	20133,573				
240,0	13547,758	298,0	16868,883	356,0	20190,849				
241,0	13605,015	299,0	16926,158	357,0	20248,124				
242,0	13662,272	300,0	16983,433	358,0	20305,399				
243,0	13719,529	301,0	17040,709	359,0	20362,674				
244,0	13776,786	302,0	17097,984	360,0	20419,95				
245,0	13834,043	303,0	17155,259	361,0	20477,225				
246,0	13891,3	304,0	17212,534	362,0	20534,5				
247,0	13948,557	305,0	17269,81	363,0	20591,775				
248,0	14005,814	306,0	17327,085	364,0	20649,051				
249,0	14063,071	307,0	17384,36	365,0	20706,326				
250,0	14120,328	308,0	17441,636	366,0	20763,601				
251,0	14177,585	309,0	17498,911	367,0	20820,876				
252,0	14234,842	310,0	17556,186	368,0	20878,152				
253,0	14292,099	311,0	17613,461	369,0	20935,427				
254,0	14349,356	312,0	17670,737	370,0	20992,702				
255,0	14406,613	313,0	17728,012	371,0	21049,978				
256,0	14463,87	314,0	17785,287	372,0	21107,253				
257,0	14521,127	315,0	17842,562	373,0	21164,528				
258,0	14578,384	316,0	17899,838	374,0	21221,803				
259,0	14635,641	317,0	17957,113	375,0	21279,079				
260,0	14692,898	318,0	18014,388	376,0	21336,354				
261,0	14750,155	319,0	18071,663	377,0	21393,629				
262,0	14807,412	320,0	18128,939	378,0	21450,904				

Figura 79. Tabla de aforo de tanques verticales por el método de E. Externo SA

Error de volumen final comparado con el calculado, utilizando otros programas y obteniendo errores muy bajos

Tabla 4.
Errores Volumen Tanques Verticales Método Electroóptico

ALTURA (in)	CALCULADO (BBL)	SA (bbl)	Error %
1	0,177049475	0,1770495	0,00
2	57,14069728	57,140697	0,00
3	114,2813946	114,28139	0,00
4	171,4220918	171,42209	0,00
5	228,5627891	228,56279	0,00
6	285,7034864	285,70349	0,00
7	342,8441837	342,84418	0,00
8	399,9848809	399,98488	0,00
9	457,1255782	457,12558	0,00
10	514,2662755	514,26628	0,00
11	571,4069728	571,40697	0,00
12	628,5476701	628,54767	0,00
13	685,6883673	685,68837	0,00
14	742,8290646	742,82906	0,00
15	799,9697619	799,96976	0,00
16	857,1104592	857,11046	0,00
17	914,2511564	914,25116	0,00
18	971,3918537	971,39185	0,00
19	1028,532551	1028,5326	0,00
20	1085,673248	1085,6732	0,00
21	1142,813946	1142,8139	0,00
22	1199,954643	1199,9546	0,00
23	1257,09534	1257,0953	0,00
24	1314,236037	1314,236	0,00
25	1371,376735	1371,3767	0,00
26	1428,517432	1428,5174	0,00
27	1485,658129	1485,6581	0,00
28	1542,798827	1542,7988	0,00
29	1599,939524	1599,9395	0,00
30	1657,080221	1657,0802	0,00
355	20076,29796	20076,298	0,00
356	20133,57323	20133,573	0,00
357	20190,8485	20190,849	0,00
358	20248,12377	20248,124	0,00
359	20305,39904	20305,399	0,00
360	20362,67431	20362,674	0,00
361	20419,94958	20419,95	0,00
362	20477,22485	20477,225	0,00
363	20534,50013	20534,5	0,00
364	20591,7754	20591,775	0,00
365	20649,05067	20649,051	0,00
366	20706,32594	20706,326	0,00
367	20763,60121	20763,601	0,00
368	20820,87648	20820,876	0,00
369	20878,15175	20878,152	0,00
370	20935,42702	20935,427	0,00
371	20992,70229	20992,702	0,00
372	21049,97756	21049,978	0,00
373	21107,25283	21107,253	0,00
374	21164,5281	21164,528	0,00
375	21221,80337	21221,803	0,00
376	21279,07864	21279,079	0,00
377	21336,35391	21336,354	0,00
378	21393,62918	21393,629	0,00
379	21450,90446	21450,904	0,00
380	21508,17973	21508,18	0,00
381	21565,455	21565,455	0,00
382	21622,73027	21622,73	0,00
383	21680,00554	21680,006	0,00
384	21737,28081	21737,281	0,00

6.2. Evaluación de resultados para tanques horizontales

6.2.1. Tablas de calibración- Cabezas Toriesféricas

Se ingresa todos los datos para tanques horizontales con cabezas toriesféricas como se presenta a continuación:

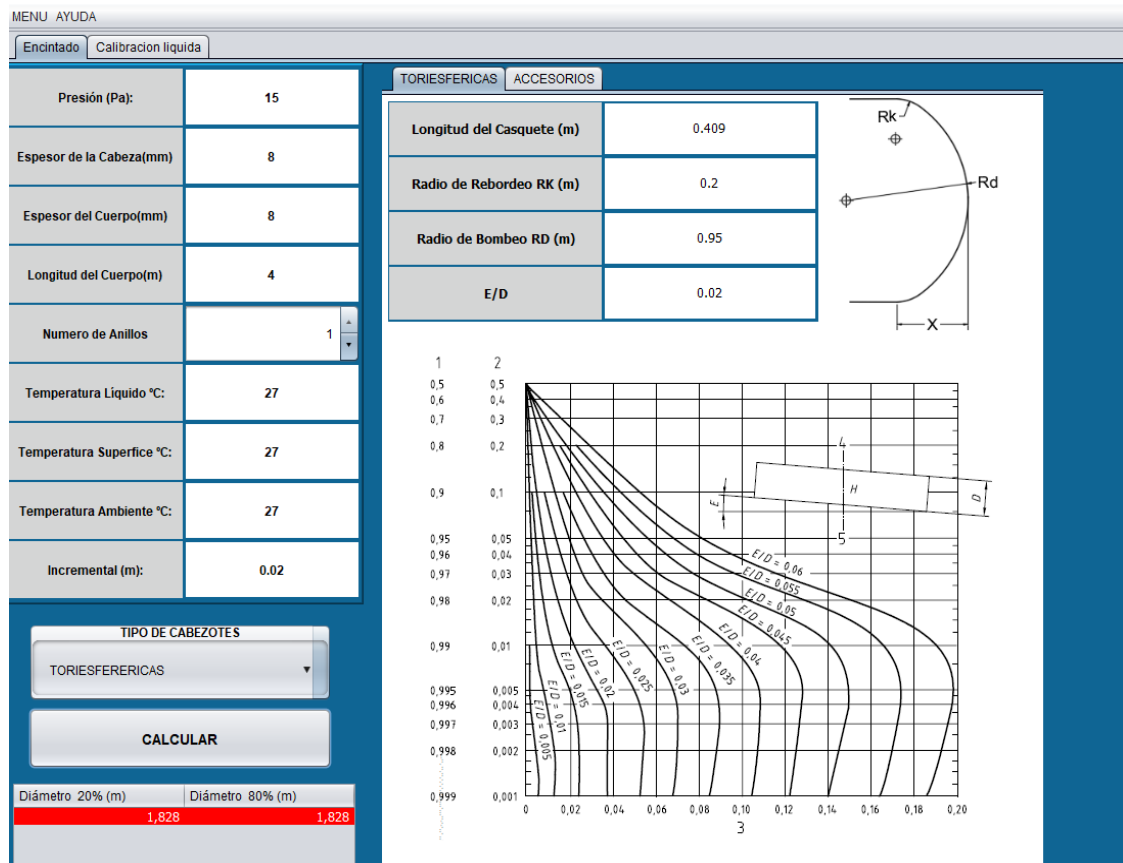


Figura 80. Introducción de datos de entrada en Tanques Horizontales-Cabeza Toriesférica

Fuente: (Propia)

A continuación, se muestran las tablas de aforo obtenidas.

Ejemplo: Tanque Horizontal con Cabeza Toriesferica desde una altura de 0 cm a 182.8 cm

(Capacidad Total = 11.9184 m³)



		REGISTRO							
		Inspección Volumétrica Líquida de Tanques Estacionarios							
INSPECTORA INDEPENDIENTE		Norma de referencia: API 2555				FR-IT-HL-02-02/18			
ESTACIÓN DE SERVICIO:		PETROAMAZONAS		CÓDIGO DEL TANQUE:		TANQUE HORIZONTAL			
UBICACIÓN:		ORIENTE		PRODUCTO QUE ALMACENA:		DIESEL			
FECHA DE INSPECCIÓN:		01-abr-2019		MATERIAL DE CUERPO Y CASQUETES:		ACERO			
				TIPO DE TANQUE E INSTALACIÓN:		CAB. TOR			
Datos Generales				Equipos utilizados					
Capacidad máxima (galones)		-		Descripción		Código / Fecha calibración			
Capacidad nominal (galones) ₍₁₎		-		Contrastador de 50 galones		-			
Tipo de casquetes		-		Cinta de aforo con plomada		-			
Número de anillos		-		Termometro con sonda inmersión		-			
Temperatura ambiente (°C)		-		Medidas Generales del Tanque					
Temperatura promedio de líquido contrastador (°C)		-		Longitud cuerpo / total (mm)		-			
Temperatura promedio de líquido del tanque (°C)		-		Diametro prom. tanque (mm)		-			
Fluido de prueba		-		Altura prom. del tanque (mm)		-			
				Altura de referencia (mm)		-			
CORRIDA DE CALIBRACIÓN - ALTURAS Y SUS CORRESPONDIENTES CAPACIDADES									
Altura (cm)	Volumen (m ³)	Altura (cm)	Volumen (m ³)	Altura (cm)	Volumen (m ³)	Altura (cm)	Volumen (m ³)	Altura (cm)	Volumen (m ³)
0,0	0,0	82,0	5,184945	166,8	11,335306				
2,0	0,035159	84,0	5,346106	168,8	11,431904				
4,0	0,086385	86,0	5,507526	170,8	11,523349				
6,0	0,147882	88,0	5,669136	172,8	11,609532				
8,0	0,217538	91,4	5,944108	174,8	11,689646				
10,0	0,294995	94,8	6,219081	176,8	11,763227				
12,0	0,378953	96,8	6,38069	178,8	11,828057				
14,0	0,468895	98,8	6,542111	180,8	11,881872				
16,0	0,563889	100,8	6,703271	182,8	11,918454				
18,0	0,663511	102,8	6,864101						
20,0	0,767854	104,8	7,024528						
22,0	0,876184	106,8	7,18448						
24,0	0,988231	108,8	7,343886						
26,0	1,103756	110,8	7,502671						
28,0	1,222545	112,8	7,660761						
30,0	1,344401	114,8	7,818081						
32,0	1,469146	116,8	7,974552						
34,0	1,596614	118,8	8,130098						
36,0	1,726653	120,8	8,284638						
38,0	1,859706	122,8	8,438091						
40,0	1,995063	124,8	8,590373						
42,0	2,132598	126,8	8,741398						
44,0	2,272188	128,8	8,891079						
46,0	2,41372	130,8	9,039325						
48,0	2,557084	132,8	9,186042						
50,0	2,702175	134,8	9,331132						
52,0	2,848891	136,8	9,474496						
54,0	2,997137	138,8	9,616028						
56,0	3,146818	140,8	9,755619						
58,0	3,297844	142,8	9,893153						
60,0	3,450126	144,8	10,028511						
62,0	3,603579	146,8	10,161564						
64,0	3,758119	148,8	10,292753						
66,0	3,913664	150,8	10,421346						
68,0	4,070136	152,8	10,547189						
70,0	4,227455	154,8	10,670113						
72,0	4,385545	156,8	10,789939						
74,0	4,54433	158,8	10,90647						
76,0	4,703736	160,8	11,019487						
78,0	4,863689	162,8	11,128749						
80,0	5,024116	164,8	11,233984						

Figura 81. Tabla de aforo de tanques horizontales-Cabezas Toriesféricas por el método de encintado en SI

Ejemplo: Tanque Horizontal con Cabeza Toriesferica desde una altura de 0 in a 71.97 in

(Capacidad Total = 3148.52 gal



		REGISTRO							
		Inspección Volumétrica Líquida de Tanques Estacionarios							
INSPECTORA INDEPENDIENTE		Norma de referencia: API 2555				FR-IT-HL-02-02/18			
ESTACIÓN DE SERVICIO:		PETROAMAZONAS		CÓDIGO DEL TANQUE:		TANQUE HORIZONTAL			
UBICACIÓN:		ORIENTE		PRODUCTO QUE ALMACENA:		DIESEL			
FECHA DE INSPECCIÓN:		01-abr-2019		MATERIAL DE CUERPO Y CASQUETES:		ACERO			
				TIPO DE TANQUE E INSTALACIÓN:		CAB. TOR			
Datos Generales				Equipos utilizados					
Capacidad máxima (galones)	-			Descripción	Código / Fecha calibración				
Capacidad nominal (galones) ⁽¹⁾	-			Contrastador de 50 galones	-				
Tipo de casquetes	-			Cinta de aforo con plomada	-				
Número de anillos	-			Termometro con sonda inmersión	-				
Temperatura ambiente (°C)	-			Medidas Generales del Tanque					
Temperatura promedio de líquido contrastador (°C)	-			Longitud cuerpo / total (mm)	-				
Temperatura promedio de líquido del tanque (°C)	-			Diametro prom. tanque (mm)	-				
Fluido de prueba	-			Altura prom. del tanque (mm)	-				
				Altura de referencia (mm)	-				
CORRIDA DE CALIBRACIÓN - ALTURAS Y SUS CORRESPONDIENTES CAPACIDADES									
Altura (in)	Volumen (gal)	Altura (in)	Volumen (gal)	Altura (in)	Volumen (gal)	Altura (in)	Volumen (gal)	Altura (in)	Volumen (gal)
0,0	0,0	32,283465	1369,717291	65,669291	2994,470457				
0,787402	9,288023	33,070866	1412,291514	66,456693	3019,988943				
1,574803	22,820498	33,858268	1454,934158	67,244094	3044,146152				
2,362205	39,066284	34,645669	1497,626995	68,031496	3066,913288				
3,149606	57,467449	35,984252	1570,266899	68,818898	3088,077163				
3,937008	77,929419	37,322835	1642,907066	69,606299	3107,515203				
4,724409	100,108772	38,110236	1685,599639	70,393701	3124,641474				
5,511811	123,86893	38,897638	1728,242547	71,181102	3138,85789				
6,299213	148,963685	39,685039	1770,816507	71,968504	3148,52183				
7,086614	175,281028	40,472441	1813,303289						
7,874016	202,845527	41,259843	1855,683611						
8,661417	231,46328	42,047244	1897,938451						
9,448819	261,06296	42,834646	1940,049052						
10,23622	291,58143	43,622047	1981,995603						
11,023622	322,962158	44,409449	2023,758555						
11,811024	355,153101	45,19685	2065,318094						
12,598425	388,107237	45,984252	2106,653351						
13,385827	421,780714	46,771654	2147,744249						
14,173228	456,133376	47,559055	2188,56939						
14,96063	491,282253	48,346457	2229,107376						
15,748031	527,039783	49,133858	2269,336016						
16,535433	563,372679	49,92126	2309,232592						
17,322835	600,248448	50,708661	2348,774122						
18,110236	637,63724	51,496063	2387,936564						
18,897638	675,509994	52,283465	2426,695087						
19,685039	713,838974	53,070866	2465,023803						
20,472441	752,597233	53,858268	2502,896557						
21,259843	791,759676	54,645669	2540,285349						
22,047244	831,301205	55,433071	2577,161382						
22,834646	871,198045	56,220472	2613,494014						
23,622047	911,426686	57,007874	2649,251808						
24,409449	951,964672	57,795276	2684,400685						
25,19685	992,789812	58,582677	2719,057146						
25,984252	1033,880446	59,370079	2753,027816						
26,771654	1075,215967	60,15748	2786,272013						
27,559055	1116,775242	60,944882	2818,745091						
28,346457	1158,538194	61,732283	2850,399766						
29,133858	1200,484745	62,519685	2881,183993						
29,92126	1242,595347	63,307087	2911,03992						
30,708661	1284,850451	64,094488	2939,903881						
31,496063	1327,230772	64,88189	2967,704021						

Figura 82. Tabla de aforo de tanques horizontales-Cabezas Toriesféricas por el método de encintado en SA

A continuación se puede evidenciar el error al comparar el software desarrollado en el presente proyecto de titulación con otro software matemático.

Tabla 5.

Errores Volumen Tanques Horizontales Cabeza Toriesférica

TANQUES HORIZONTALES -CABEZAS TORIESFERICAS			
<i>Altura (cm)</i>	<i>SOFTWARE (m3)</i>	<i>CALCULADO (m3)</i>	<i>ERROR %</i>
0	0	0,0	0,00%
1	0,01479	0,01479	0,00%
2	0,035362	0,03536	0,00%
3	0,059665	0,05966	0,00%
4	0,086958	0,08696	0,00%
5	0,117151	0,11715	0,00%
6	0,149646	0,14965	0,00%
7	0,18422	0,18422	0,00%
8	0,220848	0,22085	0,00%
9	0,259253	0,25925	0,00%
10	0,29948	0,29948	0,00%
.....
....
178,8	11,82863	11,82863	0,00%
179,8	11,856925	11,85692	0,00%
180,8	11,882075	11,88207	0,00%
181,8	11,903304	11,90330	0,00%
182,8	11,918454	11,91845	0,00%

Se puede evidenciar que el error máximo en este tipo de tanques es de aproximadamente 0.00%.

Se ingresa todos los datos para tanques horizontales con cabezas Elípticas como se presenta a continuación:

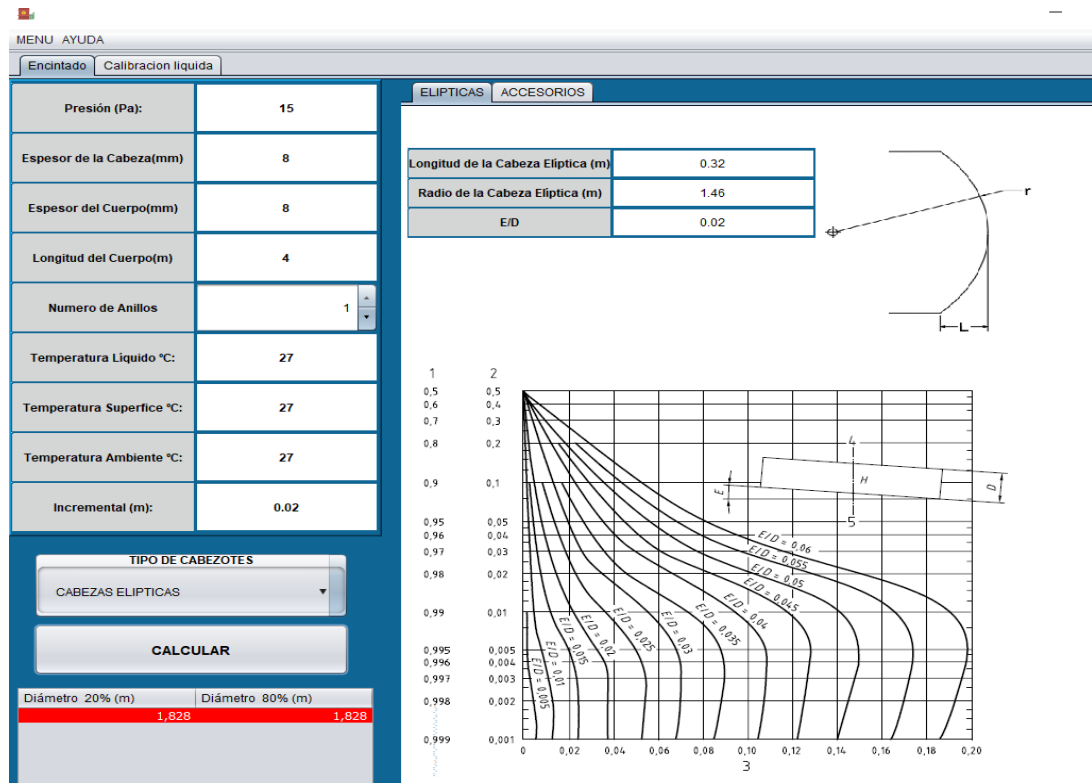


Figura 83. Introducción de datos de entrada en Tanques Horizontales- Cabeza Elíptica
Fuente: (Propia)

A continuación, se muestran las tablas de aforo obtenidas.

Ejemplo: Tanque Horizontal con Cabeza Eliptica desde una altura de 0 cm a 182.8 cm (Capacidad Total = 11.843 m³)



		REGISTRO							
		Inspección Volumétrica Líquida de Tanques Estacionarios							
INSPECTORA INDEPENDIENTE		INFORME - TABLAS DE AFORO				FR-IT-HL-02-02/18			
ESTACIÓN DE SERVICIO:		Petroamazonas		CÓDIGO DEL TANQUE:		Tanque Horizontal			
UBICACIÓN:		Oriente		PRODUCTO QUE ALMACENA:		Diesel			
FECHA DE INSPECCIÓN:		09-abr-2019		MATERIAL DE CUERPO Y CASQUETES:		Acero			
				TIPO DE TANQUE E INSTALACIÓN:		Cab. Eliptica			
Datos Generales				Equipos utilizados					
Capacidad máxima (galones)				-	Descripción		Código / Fecha calibración		
Capacidad nominal (galones) ⁽¹⁾				-	Contrastador de 50 galones		-		
Tipo de casquetes				-	Cinta de aforo con plomada		-		
Número de anillos				-	Termometro con sonda inmersión		-		
Temperatura ambiente (°C)				-	Medidas Generales del Tanque				
Temperatura promedio de líquido contrastador (°C)				-	Longitud cuerpo / total (mm)		-		
Temperatura promedio de líquido del tanque (°C)				-	Diámetro prom. tanque (mm)		-		
Fluido de prueba				-	Altura prom. del tanque (mm)		-		
				-	Altura de referencia (mm)		-		
CORRIDA DE CALIBRACIÓN - ALTURAS Y SUS CORRESPONDIENTES CAPACIDADES									
Altura (cm)	Volumen (m ³)	Altura (cm)	Volumen (m ³)	Altura (cm)	Volumen (m ³)	Altura (cm)	Volumen (m ³)	Altura (cm)	Volumen (m ³)
0,0	0,0	82,0	4,837543	164,0	10,823964				
2,0	0,019817	84,0	4,995105	166,0	10,925522				
4,0	0,056098	86,0	5,153099	168,0	11,022478				
6,0	0,10304	88,0	5,311446	170,0	11,114426				
8,0	0,158527	90,0	5,470073	172,0	11,20088				
10,0	0,22445	92,0	5,628903	174,0	11,332795				
12,0	0,296115	94,0	5,787861	176,0	11,406553				
14,0	0,374775	96,0	5,946871	178,0	11,534813				
16,0	0,457087	98,0	6,105857	180,0	11,643329				
18,0	0,544386	100,0	6,264744	182,0	11,833136				
20,0	0,639428	102,0	6,423455	182,8	11,843975				
22,0	0,736134	104,0	6,581914						
24,0	0,836899	106,0	6,740043						
26,0	0,941479	108,0	6,897764						
28,0	1,049651	110,0	7,054999						
30,0	1,161217	112,0	7,211667						
32,0	1,27599	114,0	7,367689						
34,0	1,393801	116,0	7,522982						
36,0	1,514491	118,0	7,677464						
38,0	1,645809	120,0	7,831049						
40,0	1,772418	122,0	7,983651						
42,0	1,901496	124,0	8,135183						
44,0	2,032917	126,0	8,285553						
46,0	2,166559	128,0	8,434669						
48,0	2,30231	130,0	8,582436						
50,0	2,440057	132,0	8,728756						
52,0	2,579694	134,0	8,873527						
54,0	2,721119	136,0	9,016646						
56,0	2,864233	138,0	9,158003						
58,0	3,00894	140,0	9,297485						
60,0	3,155145	142,0	9,434974						
62,0	3,302758	144,0	9,570346						
64,0	3,45169	146,0	9,703471						
66,0	3,601853	148,0	9,879738						
68,0	3,753162	150,0	10,008516						
70,0	3,905534	152,0	10,134596						
72,0	4,058886	154,0	10,25781						
74,0	4,213137	156,0	10,377977						
76,0	4,368207	158,0	10,494903						
78,0	4,524016	160,0	10,608372						
80,0	4,680487	162,0	10,718147						

Figura 84. Tabla de aforo de tanques horizontales-Cabezas Elípticas por el método de encintado en SI .

Ejemplo: Tanque Horizontal con Cabeza Elíptica desde una altura de 0 in a 71.968 in
(Capacidad Total = 3128.84 gal



		REGISTRO							
		Inspección Volumétrica Líquida de Tanques Estacionarios							
INSPECTORA INDEPENDIENTE		Norma de referencia: API 2555				FR-IT-HL-02-02/18			
ESTACIÓN DE SERVICIO:		Petroamazonas		CÓDIGO DEL TANQUE:		Tanque Horizontal			
UBICACIÓN:		Oriente		PRODUCTO QUE ALMACENA:		Diesel			
FECHA DE INSPECCIÓN:		09-abr-2019		MATERIAL DE CUERPO Y CASQUETES:		Acero			
				TIPO DE TANQUE E INSTALACIÓN:		Cab. Elíptica			
Datos Generales				Equipos utilizados					
Capacidad máxima (galones)	-			Descripción	Código / Fecha calibración				
Capacidad nominal (galones) ⁽¹⁾	-			Contrastador de 50 galones	-				
Tipo de casquetes	-			Cinta de aforo con plomada	-				
Número de anillos	-			Termometro con sonda inmersión	-				
Temperatura ambiente (°C)	-			Medidas Generales del Tanque					
Temperatura promedio de líquido contrastador (°C)	-			Longitud cuerpo / total (mm)	-				
Temperatura promedio de líquido del tanque (°C)	-			Diametro prom. tanque (mm)	-				
Fluido de prueba	-			Altura prom. del tanque (mm)	-				
				Altura de referencia (mm)	-				
CORRIDA DE CALIBRACIÓN - ALTURAS Y SUS CORRESPONDIENTES CAPACIDADES									
Altura (in)	Volumen (gal)	Altura (in)	Volumen (gal)	Altura (in)	Volumen (gal)	Altura (in)	Volumen (gal)	Altura (in)	Volumen (gal)
0,0	0,0	32,283465	1277,943409	64,566929	2859,388218				
0,787402	5,235097	33,070866	1319,566878	65,354331	2886,216998				
1,574803	14,819521	33,858268	1361,304469	66,141732	2911,830058				
2,362205	27,220283	34,645669	1403,135313	66,929134	2936,120145				
3,149606	41,878395	35,433071	1445,040125	67,716535	2958,958871				
3,937008	59,293405	36,220472	1486,998563	68,503937	2993,807121				
4,724409	78,225292	37,007874	1528,990816	69,291339	3013,291919				
5,511811	99,005061	37,795276	1570,996806	70,07874	3047,17462				
6,299213	120,749587	38,582677	1612,996455	70,866142	3075,841509				
7,086614	143,811538	39,370079	1654,969952	71,653543	3125,983203				
7,874016	168,918974	40,15748	1696,896954	71,968504	3128,846564				
8,661417	194,465991	40,944882	1738,757385						
9,448819	221,085283	41,732283	1780,530639						
10,23622	248,71239	42,519685	1822,196111						
11,023622	277,288404	43,307087	1863,733196						
11,811024	306,761017	44,094488	1905,120495						
12,598425	337,08083	44,88189	1946,337139						
13,385827	368,203198	45,669291	1987,361201						
14,173228	400,086116	46,456693	2028,17102						
14,96063	434,776655	47,244094	2068,743876						
15,748031	468,223208	48,031496	2109,057052						
16,535433	502,322001	48,818898	2149,087563						
17,322835	537,03975	49,606299	2188,811107						
18,110236	572,344224	50,393701	2228,203379						
18,897638	608,205837	51,181102	2267,239283						
19,685039	644,594738	51,968504	2305,89293						
20,472441	681,482923	52,755906	2344,137375						
21,259843	718,843448	53,543307	2381,945407						
22,047244	756,65016	54,330709	2419,287969						
22,834646	794,877698	55,11811	2456,135207						
23,622047	833,500965	55,905512	2492,455952						
24,409449	872,496186	56,692913	2528,217444						
25,19685	911,839851	57,480315	2563,385341						
25,984252	951,508711	58,267717	2609,950147						
26,771654	991,480312	59,055118	2643,969689						
27,559055	1031,732728	59,84252	2677,276495						
28,346457	1072,244032	60,629921	2709,826183						
29,133858	1112,992828	61,417323	2741,57094						
29,92126	1153,95798	62,204724	2772,459515						
30,708661	1195,118355	62,992126	2802,434848						
31,496063	1236,453612	63,779528	2831,434329						

Figura 85. Tabla de aforo de tanques horizontales-Cabezas Elípticas por el método de encintado en SA

A continuación se puede evidenciar el error al comparar el software desarrollado en el presente proyecto de titulación con otro software matemático.

Tabla 6.
Errores Volumen Tanques Horizontales Cabeza Elipticas

TANQUES HORIZONTALES CABEZAS ELIPTICAS			
<i>Altura (cm)</i>	<i>SOFTWARE (m3)</i>	<i>CALCULADO (m3)</i>	<i>ERROR %</i>
0	0	0	0,00%
1	0,01761	0,01760	0,02%
2	0,03046	0,03045	0,01%
3	0,04704	0,04703	0,01%
4	0,06661	0,06661	0,00%
5	0,08908	0,08908	0,00%
6	0,11372	0,11385	0,12%
7	0,14069	0,14071	0,01%
8	0,16913	0,16961	0,28%
9	0,19982	0,20030	0,24%
10	0,23216	0,23280	0,28%
.....
....
178,8	11,38139	11,38110	0,00%
179,8	11,41245	11,41215	0,00%
180,8	11,44036	11,44006	0,00%
181,8	11,46436	11,46405	0,00%
182,8	11,48227	11,48196	0,00%

Se puede evidenciar que el error máximo en este tipo de tanques es de aproximadamente 0.28%.

Se ingresa todos los datos para tanques horizontales con cabezas Esfericas como se presenta a continuación:

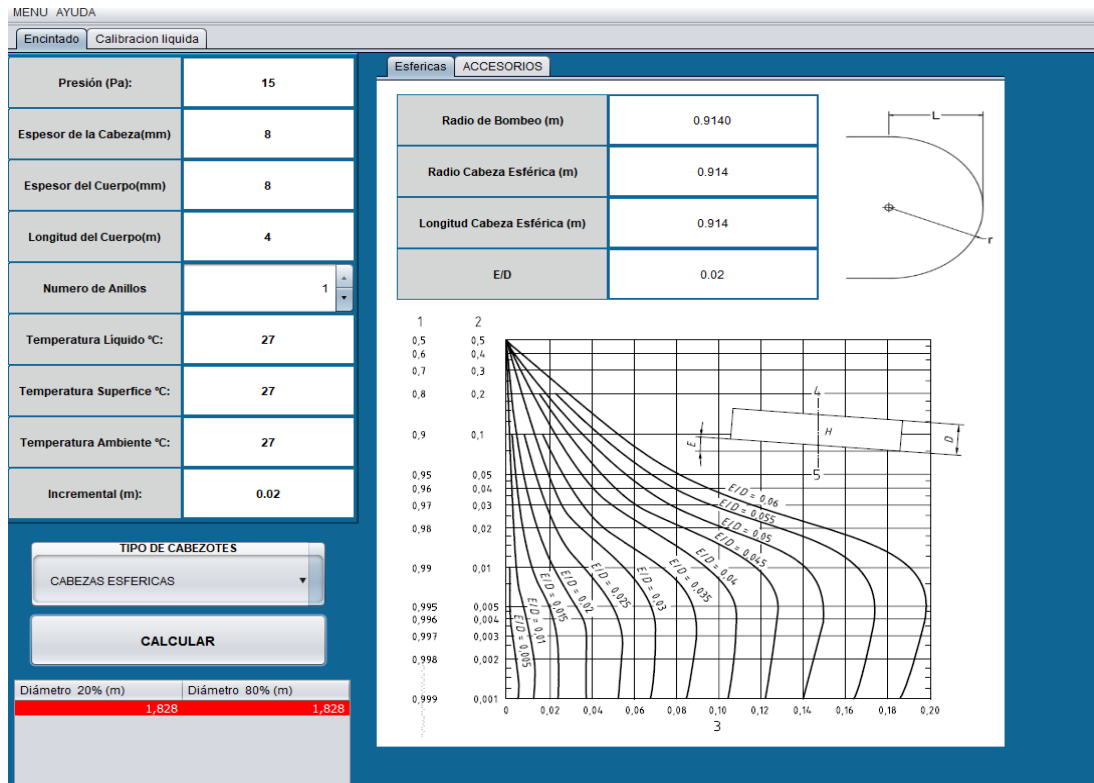


Figura 86. Introducción de datos de entrada en Tanques Horizontales- Cabeza Esféricas
Fuente: (Propia)

A continuación, se muestran las tablas de aforo obtenidas.

Ejemplo: Tanque Horizontal con Cabeza Esferica desde una altura de 0 cm a 182.8 cm
(Capacidad Total = 13.696 m³)



		REGISTRO							
		Inspección Volumétrica Líquida de Tanques Estacionarios							
INSPECTORA INDEPENDIENTE		INFORME - TABLAS DE AFORO				FR-IT-HL-02-02/18			
ESTACIÓN DE SERVICIO:		Petroamazonas		CÓDIGO DEL TANQUE:		Tanque Horizontal			
UBICACIÓN:		Oriente		PRODUCTO QUE ALMACENA:		Diesel			
FECHA DE INSPECCIÓN:		11-abr-2019		MATERIAL DE CUERPO Y CASQUETES:		Acero			
				TIPO DE TANQUE E INSTALACIÓN:		CAb. Esferica			
Datos Generales				Equipos utilizados					
Capacidad máxima (galones)	-	Descripción		Código / Fecha calibración					
Capacidad nominal (galones) ⁽¹⁾	-	Contrastador de 50 galones							
Tipo de casquetes	-	Cinta de aforo con plomada							
Número de anillos	-	Termometro con sonda inmersión							
Temperatura ambiente (°C)	-	Medidas Generales del Tanque							
Temperatura promedio de líquido contrastador (°C)	-	Longitud cuerpo / total (mm)							
Temperatura promedio de líquido del tanque (°C)	-	Diámetro prom. tanque (mm)							
Fluido de prueba	-	Altura prom. del tanque (mm)							
		Altura de referencia (mm)							
CORRIDA DE CALIBRACIÓN - ALTURAS Y SUS CORRESPONDIENTES CAPACIDADES									
Altura (cm)	Volumen (m ³)	Altura (cm)	Volumen (m ³)	Altura (cm)	Volumen (m ³)	Altura (cm)	Volumen (m ³)	Altura (cm)	Volumen (m ³)
0,0	0,0	82,0	5,982427	166,8	12,9575				
2,0	0,05461	84,0	6,163038	168,8	13,07355				
4,0	0,125287	86,0	6,34391	170,8	13,184446				
6,0	0,206234	88,0	6,52497	172,8	13,290079				
8,0	0,295341	91,4	6,833009	174,8	13,389644				
10,0	0,392249	94,8	7,141047	176,8	13,482675				
12,0	0,495658	96,8	7,322108	178,8	13,566956				
14,0	0,60505	98,8	7,502979	180,8	13,640222				
16,0	0,719495	100,8	7,68359	182,8	13,696255				
18,0	0,838568	102,8	7,86387						
20,0	0,962362	104,8	8,043748						
22,0	1,090142	106,8	8,223152						
24,0	1,22164	108,8	8,402008						
26,0	1,356617	110,8	8,580244						
28,0	1,494856	112,8	8,757785						
30,0	1,636163	114,8	8,934555						
32,0	1,780358	116,8	9,110478						
34,0	1,927277	118,8	9,285474						
36,0	2,076767	120,8	9,459465						
38,0	2,229271	122,8	9,632368						
40,0	2,384079	124,8	9,804101						
42,0	2,541064	126,8	9,974578						
44,0	2,700106	128,8	10,143709						
46,0	2,861088	130,8	10,311406						
48,0	3,023903	132,8	10,477573						
50,0	3,188444	134,8	10,642115						
52,0	3,354612	136,8	10,804929						
54,0	3,522308	138,8	10,965912						
56,0	3,69144	140,8	11,124953						
58,0	3,861916	142,8	11,281939						
60,0	4,033649	144,8	11,436747						
62,0	4,206553	146,8	11,589251						
64,0	4,380543	148,8	11,739891						
66,0	4,55554	150,8	11,887935						
68,0	4,731462	152,8	12,033228						
70,0	4,908232	154,8	12,175603						
72,0	5,085773	156,8	12,31488						
74,0	5,264009	158,8	12,450861						
76,0	5,442866	160,8	12,583329						
78,0	5,622269	162,8	12,712043						
80,0	5,802147	164,8	12,836728						

Figura 87. Tabla de aforo de tanques horizontales-Cabezas Esfericas por el método de encintado en SI

Ejemplo: Tanque Horizontal con Cabeza Esferica desde una altura de 0 in a 71.968 in (Capacidad Total = 3618.16 m³)


		REGISTRO							
		Inspección Volumétrica Líquida de Tanques Estacionarios							
INSPECTORA INDEPENDIENTE		Norma de referencia: API 2555				FR-IT-HL-02-02/18			
ESTACIÓN DE SERVICIO:		Petroamazonas				CÓDIGO DEL TANQUE:		Tanque Horizontal	
UBICACIÓN:		Oriente				PRODUCTO QUE ALMACENA:		Diesel	
FECHA DE INSPECCIÓN:		11-abr-2019				MATERIAL DE CUERPO Y CASQUETES:		Acero	
						TIPO DE TANQUE E INSTALACIÓN:		CAb. Esferica	
Datos Generales				Equipos utilizados					
Capacidad máxima (galones)				-				Descripción	Código / Fecha calibración
Capacidad nominal (galones)(1)				-				Contrastador de 50 galones	-
Tipo de casquetes				-				Cinta de aforo con plomada	-
Número de anillos				-				Termometro con sonda inmersión	-
Temperatura ambiente (°C)				-				Medidas Generales del Tanque	
Temperatura promedio de líquido contrastador (°C)				-				Longitud cuerpo / total (mm)	-
Temperatura promedio de líquido del tanque (°C)				-				Diametro prom. tanque (mm)	-
Fluido de prueba				-				Altura prom. del tanque (mm)	-
								Altura de referencia (mm)	-
CORRIDA DE CALIBRACIÓN - ALTURAS Y SUS CORRESPONDIENTES CAPACIDADES									
Altura (in)	Volumen (gal)	Altura (in)	Volumen (gal)	Altura (in)	Volumen (gal)	Altura (in)	Volumen (gal)	Altura (in)	Volumen (gal)
0,0	0,0	32,283465	1580,389705	65,669291	3423,00869				
0,787402	14,426433	33,070866	1628,102075	66,456693	3453,665851				
1,574803	33,097317	33,858268	1675,883393	67,244094	3482,961469				
2,362205	54,481248	34,645669	1723,714375	68,031496	3510,86675				
3,149606	78,020823	35,984252	1805,089654	68,818898	3537,169035				
3,937008	103,621203	37,322835	1886,464668	69,606299	3561,74522				
4,724409	130,938965	38,110236	1934,295915	70,393701	3584,0099				
5,511811	159,837269	38,897638	1982,076968	71,181102	3603,364726				
6,299213	190,070433	39,685039	2029,789337	71,968504	3618,167076				
7,086614	221,526186	40,472441	2077,414266						
7,874016	254,229094	41,259843	2124,932997						
8,661417	287,984992	42,047244	2172,32651						
9,448819	322,723082	42,834646	2219,575257						
10,23622	358,380226	43,622047	2266,660218						
11,023622	394,899099	44,409449	2313,561579						
11,811024	432,228452	45,19685	2360,259263						
12,598425	470,320734	45,984252	2406,733194						
13,385827	509,13262	46,771654	2452,962238						
14,173228	548,623692	47,559055	2498,925788						
14,96063	588,910979	48,346457	2544,601919						
15,748031	629,806918	49,133858	2589,968969						
16,535433	671,277959	49,92126	2635,004219						
17,322835	713,292402	50,708661	2679,683894						
18,110236	755,819339	51,496063	2723,984746						
18,897638	798,830503	52,283465	2767,881415						
19,685039	842,297628	53,070866	2811,348804						
20,472441	886,194561	53,858268	2854,359704						
21,259843	930,495149	54,645669	2896,886905						
22,047244	975,175088	55,433071	2938,901084						
22,834646	1020,210074	56,220472	2980,37239						
23,622047	1065,577124	57,007874	3021,268328						
24,409449	1111,253519	57,795276	3061,555615						
25,19685	1157,216805	58,582677	3101,350485						
25,984252	1203,446113	59,370079	3140,459565						
26,771654	1249,919779	60,15748	3178,841907						
27,559055	1296,617464	60,944882	3216,453396						
28,346457	1343,518825	61,732283	3253,246479						
29,133858	1390,603786	62,519685	3289,168852						
29,92126	1437,852797	63,307087	3324,163189						
30,708661	1485,246046	64,094488	3358,165823						
31,496063	1532,764777	64,88189	3391,104109						

Figura 88. Tabla de aforo de tanques horizontales-Cabezas Esfericas por el método de encintado en SA

A continuación se puede evidenciar el error al comparar el software desarrollado en el presente proyecto de titulación con otro software matemático.

Tabla 7.
Errores Volumen Tanques Horizontales Cabeza Esféricas

TANQUES HORIZONTALES CABEZAS ESFERICAS			
<i>Altura (cm)</i>	<i>SOFTWARE (m3)</i>	<i>CALCULADO (m3)</i>	<i>ERROR %</i>
0	0	0	0,00%
1	0,024516	0,02452	0,00%
2	0,054813	0,05481	0,00%
3	0,088841	0,08884	0,00%
4	0,12586	0,12586	0,00%
5	0,165778	0,16578	0,00%
6	0,207998	0,20800	0,00%
7	0,252298	0,25230	0,00%
8	0,298651	0,29865	0,00%
9	0,346782	0,34678	0,00%
10	0,396734	0,39673	0,00%
.....
....
178,8	13,567529	13,56753	0,00%
179,8	13,605549	13,60555	0,00%
180,8	13,640425	13,64043	0,00%
181,8	13,671379	13,67138	0,00%
182,8	13,696255	13,69625	0,00%

Se puede evidenciar que el error máximo en este tipo de tanques es de aproximadamente 0.00%.

Se ingresa todos los datos para tanques horizontales con cabezas Esfericas como se presenta a continuación:

MENU AYUDA

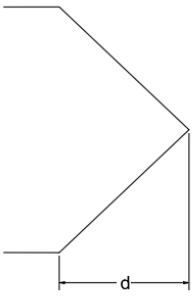
Encintado Calibración líquida

Presión (Pa):	15
Espesor de la Cabeza(mm)	8
Espesor del Cuerpo(mm)	8
Longitud del Cuerpo(m)	4
Numero de Anillos	1
Temperatura Líquido °C:	27
Temperatura Superficie °C:	27
Temperatura Ambiente °C:	27
Incremental (m):	0.02

CÓNICA ACCESORIOS

Altura del Cono (m)
0.914

E/D
0.02



TIPO DE CABEZOTES

CABEZAS CONICAS

CALCULAR



Diámetro 20% (m)	Diámetro 80% (m)
1,828	1,828

Figura 89. Introducción de datos de entrada en Tanques Horizontales- Cabeza Cónicas
Fuente: (Propia)

A continuación, se muestran las tablas de aforo obtenidas.

Figura 90. Tabla de aforo de tanques horizontales-Cabezas Conicas por el método de encintado en SI

Ejemplo: Tanque Horizontal con Cabeza Conica desde una altura de 0 cm a 182.8 cm (Capacidad Total =12.052 m3)

		REGISTRO									
		Inspección Volumétrica Líquida de Tanques Estacionarios									
INSPECTORA INDEPENDIENTE		INFORME - TABLAS DE AFORO				FR-IT-HL-02-02/18					
ESTACIÓN DE SERVICIO:		Petroamazonas		CÓDIGO DEL TANQUE:		Tanque Horizontal					
UBICACIÓN:		Oriente		PRODUCTO QUE ALMACENA:		Diesel					
FECHA DE INSPECCIÓN:		05-abr-2019		MATERIAL DE CUERPO Y CASQUETES:		Acero					
				TIPO DE TANQUE E INSTALACIÓN:		Cab. Conica					
Datos Generales				Equipos utilizados							
Capacidad máxima (galones)				Descripción				Código / Fecha calibración			
Capacidad nominal (galones) ₍₁₎				Contrastador de 50 galones				-			
Tipo de casquetes				Cinta de aforo con plomada				-			
Número de anillos				Termometro con sonda inmersión				-			
Temperatura ambiente (°C)				Medidas Generales del Tanque				Longitud cuerpo / total (mm)		-	
Temperatura promedio de líquido contrastador (°C)								Diámetro prom. tanque (mm)		-	
Temperatura promedio de líquido del tanque (°C)								Altura prom. del tanque (mm)		-	
Fluido de prueba								Altura de referencia (mm)		-	
CORRIDA DE CALIBRACIÓN - ALTURAS Y SUS CORRESPONDIENTES CAPACIDADES											
Altura (cm)	Volumen (m ³)	Altura (cm)	Volumen (m ³)	Altura (cm)	Volumen (m ³)	Altura (cm)	Volumen (m ³)	Altura (cm)	Volumen (m ³)		
0,0	0,0	82,0	5,149115	162,8	11,39933						
2,0	0,019679	84,0	5,330134	164,8	11,49344						
4,0	0,055652	86,0	5,512526	166,8	11,582971						
6,0	0,10222	88,0	5,696223	168,8	11,667148						
8,0	0,157344	90,0	5,881154	170,8	11,745578						
10,0	0,220726	91,4	6,011304	172,8	11,818192						
12,0	0,291116	92,8	6,141454	174,8	11,884231						
14,0	0,368043	94,8	6,326386	176,8	11,94328						
16,0	0,450615	96,8	6,510082	178,8	11,993182						
18,0	0,538447	98,8	6,692474	180,8	12,031743						
20,0	0,631664	100,8	6,873493	182,8	12,052845						
22,0	0,729566	102,8	7,053071								
24,0	0,831912	104,8	7,231138								
26,0	0,93849	106,8	7,407626								
28,0	1,049111	108,8	7,582466								
30,0	1,163604	110,8	7,75559								
32,0	1,281813	112,8	7,926927								
34,0	1,403594	114,8	8,096407								
36,0	1,528814	116,8	8,26396								
38,0	1,657938	118,8	8,429515								
40,0	1,790272	120,8	8,592999								
42,0	1,925706	122,8	8,754337								
44,0	2,064136	124,8	8,913457								
46,0	2,205462	126,8	9,07028								
48,0	2,349589	128,8	9,22473								
50,0	2,496425	130,8	9,376725								
52,0	2,645884	132,8	9,526183								
54,0	2,797879	134,8	9,67302								
56,0	2,952328	136,8	9,817147								
58,0	3,109151	138,8	9,958473								
60,0	3,268271	140,8	10,096902								
62,0	3,42961	142,8	10,232337								
64,0	3,593093	144,8	10,36467								
66,0	3,758648	146,8	10,493794								
68,0	3,926201	148,8	10,620165								
70,0	4,095681	150,8	10,743071								
72,0	4,267018	152,8	10,862377								
74,0	4,440142	154,8	10,977939								
76,0	4,614982	156,8	11,089597								
78,0	4,79147	158,8	11,19718								
80,0	4,969537	160,8	11,300496								

Ejemplo: Tanque Horizontal con Cabeza Conica desde una altura de 0 in a 71.968 in (Capacidad Total = 3184.024 m³)



		REGISTRO							
		Inspección Volumétrica Líquida de Tanques Estacionarios							
		INFORME - TABLAS DE AFORO							
INSPECTORA INDEPENDIENTE		Norma de referencia: API 2555				FR-IT-HL-02-02/18			
ESTACIÓN DE SERVICIO:		Petroamazonas		CÓDIGO DEL TANQUE:		Tanque Horizontal			
UBICACIÓN:		Oriente		PRODUCTO QUE ALMACENA:		Diesel			
FECHA DE INSPECCIÓN:		05-abr-2019		MATERIAL DE CUERPO Y CASQUETES:		Acero			
				TIPO DE TANQUE E INSTALACIÓN:		Cab. Conica			
Datos Generales				Equipos utilizados					
Capacidad máxima (galones)		-		Descripción		Código / Fecha calibración			
Capacidad nominal (galones) ⁽¹⁾		-		Contrastador de 50 galones		-			
Tipo de casquetes		-		Cinta de aforo con plomada		-			
Número de anillos		-		Termometro con sonda inmersión		-			
Temperatura ambiente (°C)		-		Medidas Generales del Tanque					
Temperatura promedio de líquido contrastador (°C)		-		Longitud cuerpo / total (mm)		-			
Temperatura promedio de líquido del tanque (°C)		-		Diámetro prom. tanque (mm)		-			
Fluido de prueba		-		Altura prom. del tanque (mm)		-			
				Altura de referencia (mm)		-			
CORRIDA DE CALIBRACIÓN - ALTURAS Y SUS CORRESPONDIENTES CAPACIDADES									
Altura (in)	Volumen (gal)	Altura (in)	Volumen (gal)	Altura (in)	Volumen (gal)	Altura (in)	Volumen (gal)	Altura (in)	Volumen (gal)
0,0	0,0	32,283465	1360,252008	64,094488	3011,383805				
0,787402	5,198641	33,070866	1408,072159	64,88189	3036,245032				
1,574803	14,7017	33,858268	1456,255018	65,669291	3059,896615				
2,362205	27,003662	34,645669	1504,782622	66,456693	3082,133821				
3,149606	41,565879	35,433071	1553,636214	67,244094	3102,852831				
3,937008	58,309629	35,984252	1588,0182	68,031496	3122,035417				
4,724409	76,904696	36,535433	1622,400186	68,818898	3139,481072				
5,511811	97,226655	37,322835	1671,254042	69,606299	3155,080164				
6,299213	119,039866	38,110236	1719,781382	70,393701	3168,262875				
7,086614	142,242621	38,897638	1767,964242	71,181102	3178,449612				
7,874016	166,867942	39,685039	1815,784393	71,968504	3184,024169				
8,661417	192,730909	40,472441	1863,223872						
9,448819	219,767857	41,259843	1910,264188						
10,23622	247,92278	42,047244	1956,887376						
11,023622	277,145751	42,834646	2003,075208						
11,811024	307,391596	43,622047	2048,809721						
12,598425	338,619104	44,409449	2094,072159						
13,385827	370,790234	45,19685	2138,84403						
14,173228	403,869852	45,984252	2183,106841						
14,96063	437,980797	46,771654	2226,841837						
15,748031	472,939735	47,559055	2270,029732						
16,535433	508,717605	48,346457	2312,650714						
17,322835	545,286935	49,133858	2354,685763						
18,110236	582,621307	49,92126	2396,114008						
18,897638	620,695625	50,708661	2436,915374						
19,685039	659,485585	51,496063	2477,068197						
20,472441	698,968468	52,283465	2516,550815						
21,259843	739,121291	53,070866	2555,341039						
22,047244	779,922392	53,858268	2593,415357						
22,834646	821,350638	54,645669	2630,749729						
23,622047	863,385687	55,433071	2667,318795						
24,409449	906,006933	56,220472	2703,09693						
25,19685	949,194564	57,007874	2738,055603						
25,984252	992,929559	57,795276	2772,166549						
26,771654	1037,192371	58,582677	2805,550228						
27,559055	1081,964241	59,370079	2838,018552						
28,346457	1127,226679	60,15748	2869,535857						
29,133858	1172,961192	60,944882	2900,064102						
29,92126	1219,149025	61,732283	2929,561019						
30,708661	1265,772213	62,519685	2957,981435						
31,496063	1312,812528	63,307087	2985,274629						

Figura 91. Tabla de aforo de tanques horizontales-Cabezas Conicas por el método de encintado en SA

A continuación se puede evidenciar el error al comparar el software desarrollado en el presente proyecto de titulación con otro software matemático.

Tabla 8.
Errores Volumen Tanques Horizontales Cabeza Cónicas

TANQUES HORIZONTALES CABEZAS CONICAS			
Altura (cm)	SOFTWARE (m3)	CALCULADO (m3)	ERROR %
0	0	0	0,00%
1	0,00703	0,00703	0,00%
2	0,019882	0,01988	0,00%
3	0,036523	0,03652	0,00%
4	0,056225	0,05622	0,00%
5	0,078908	0,07891	0,00%
6	0,103983	0,10398	0,00%
7	0,131239	0,13124	0,00%
8	0,160654	0,16065	0,00%
9	0,191961	0,19196	0,00%
10	0,225211	0,22521	0,00%
.....
....
178,8	11,993754	11,99375	0,00%
179,8	12,014458	12,01446	0,00%
180,8	12,031946	12,03195	0,00%
181,8	12,045455	12,04545	0,00%
182,8	12,052845	12,05284	0,00%

Se puede evidenciar que el error máximo en este tipo de tanques es de aproximadamente 0.00%.

6.3. Evaluación de resultados para tanques esféricos.

6.3.1. Tablas de calibración

Se ingresa todos los datos para tanques horizontales con cabezas Esfericas como se presenta a continuación:

Circunferencia Plano Horizontal C1-(m)	36.478
Circunferencia Plano Vertical C2-(m)	36.503
Circunferencia 90 - C3-(m)	36.496
Altura Interna Vertical Dm (m)	11.449
Distancia H (m)	0.254



Tanque con Producto:	<input type="checkbox"/>
Altura del Liquido (in)	0.0
Incremental (in)	0.0254

Distancia desfasada linea cenal:	10.668
Temperatura del tanque C	25
Espesor 1 (m)	0.01899
Espesor 2 (m)	0.01799
Espesor 3 (m)	0.01799
Volumen Muerto (8bbl/in)	0

Figura 92. Introducción de datos de entrada en Tanques Esféricos
Fuente: (Propia)

A continuación, se muestran las tablas de aforo obtenidas.

Ejemplo: Tanque Esferico desde una altura de 0 cm a 1158.624 cm(Capacidad Total =815.193 m3)

		REGISTRO							
		Inspección Volumétrica Líquida de Tanques Estacionarios							
INSPECTORA INDEPENDIENTE		Norma de referencia: API 2555				FR-IT-HL-02-02/18			
ESTACIÓN DE SERVICIO:		PETROAMAZONAS		CÓDIGO DEL TANQUE:		TANQUE ESFERICO			
UBICACIÓN:		ORIENTE		PRODUCTO QUE ALMACENA:		GLP			
FECHA DE INSPECCIÓN:		08-abr-2019		MATERIAL DE CUERPO Y CASQUETES:		ACERO			
				TIPO DE TANQUE E INSTALACIÓN:					
Datos Generales				Equipos utilizados					
Capacidad máxima (galones)		-		Descripción		Código / Fecha calibración			
Capacidad nominal (galones) ₍₁₎		-		Contrastador de 50 galones		-			
Tipo de casquetes		-		Cinta de aforo con plomada		-			
Número de anillos		-		Termometro con sonda inmersión		-			
Temperatura ambiente (°C)		-		Medidas Generales del Tanque					
Temperatura promedio de líquido contrastador (°C)		-		Longitud cuerpo / total (mm)		-			
Temperatura promedio de líquido del tanque (°C)		-		Diametro prom. tanque (mm)		-			
Fluido de prueba		-		Altura prom. del tanque (mm)		-			
				Altura de referencia (mm)		-			
CORRIDA DE CALIBRACIÓN - ALTURAS Y SUS CORRESPONDIENTES CAPACIDADES									
Altura (cm)	Volumen (m ³)	Altura (cm)	Volumen (m ³)	Altura (cm)	Volumen (m ³)	Altura (cm)	Volumen (m ³)	Altura (cm)	Volumen (m ³)
0,0	0,0	104,14	18,574	208,28	69,559	312,42	145,852	416,56	240,35
2,54	0,012	106,68	19,46	210,82	71,147	314,96	147,969	419,1	242,823
5,08	0,047	109,22	20,366	213,36	72,751	317,5	150,097	421,64	245,302
7,62	0,105	111,76	21,291	215,9	74,369	320,04	152,236	424,18	247,787
10,16	0,187	114,3	22,235	218,44	76,002	322,58	154,385	426,72	250,278
12,7	0,292	116,84	23,198	220,98	77,65	325,12	156,544	429,26	252,776
15,24	0,419	119,38	24,18	223,52	79,312	327,66	158,714	431,8	255,28
17,78	0,57	121,92	25,18	226,06	80,989	330,2	160,894	434,34	257,79
20,32	0,743	124,46	26,199	228,6	82,68	332,74	163,084	436,88	260,306
22,86	0,94	127,0	27,236	231,14	84,386	335,28	165,284	439,42	262,827
25,4	1,158	129,54	28,292	233,68	86,105	337,82	167,494	441,96	265,354
27,94	1,399	132,08	29,366	236,22	87,838	340,36	169,713	444,5	267,887
30,48	1,663	134,62	30,458	238,76	89,586	342,9	171,943	447,04	270,425
33,02	1,949	137,16	31,568	241,3	91,347	345,44	174,182	449,58	272,969
35,56	2,257	139,7	32,696	243,84	93,122	347,98	176,43	452,12	275,518
38,1	2,587	142,24	33,842	246,38	94,91	350,52	178,688	454,66	278,072
40,64	2,939	144,78	35,006	248,92	96,712	353,06	180,955	457,2	280,631
43,18	3,312	147,32	36,187	251,46	98,528	355,6	183,232	459,74	283,195
45,72	3,708	149,86	37,386	254,0	100,357	358,14	185,517	462,28	285,764
48,26	4,125	152,4	38,602	256,54	102,199	360,68	187,811	464,82	288,337
50,8	4,564	154,94	39,836	259,08	104,054	363,22	190,115	467,36	290,916
53,34	5,024	157,48	41,086	261,62	105,922	365,76	192,427	469,9	293,498
55,88	5,506	160,02	42,354	264,16	107,803	368,3	194,748	472,44	296,086
58,42	6,009	162,56	43,639	266,7	109,696	370,84	197,077	474,98	298,677
60,96	6,533	165,1	44,941	269,24	111,603	373,38	199,415	477,52	301,273
63,5	7,077	167,64	46,259	271,78	113,522	375,92	201,761	480,06	303,873
66,04	7,643	170,18	47,595	274,32	115,453	378,46	204,115	482,6	306,477
68,58	8,23	172,72	48,947	276,86	117,397	381,0	206,477	485,14	309,085
71,12	8,838	175,26	50,315	279,4	119,353	383,54	208,848	487,68	311,697
73,66	9,466	177,8	51,7	281,94	121,321	386,08	211,226	490,22	314,312
76,2	10,114	180,34	53,101	284,48	123,302	388,62	213,613	492,76	316,931
78,74	10,783	182,88	54,518	287,02	125,294	391,16	216,007	495,3	319,554
81,28	11,473	185,42	55,952	289,56	127,298	393,7	218,409	497,84	322,18
83,82	12,182	187,96	57,401	292,1	129,314	396,24	220,818	500,38	324,809
86,36	12,912	190,5	58,866	294,64	131,342	398,78	223,234	502,92	327,441
88,9	13,661	193,04	60,347	297,18	133,381	401,32	225,658	505,46	330,077
91,44	14,431	195,58	61,844	299,72	135,431	403,86	228,09	508,0	332,716
93,98	15,22	198,12	63,356	302,26	137,493	406,4	230,528	510,54	335,357
96,52	16,029	200,66	64,884	304,8	139,566	408,94	232,973	513,08	338,001
99,06	16,858	203,2	66,427	307,34	141,651	411,48	235,426	515,62	340,648
101,6	17,706	205,74	67,985	309,88	143,746	414,02	237,885	518,16	343,298

Altura (cm)	Volumen (m ³)	Altura (cm)	Volumen (m ³)	Altura (cm)	Volumen (m ³)	Altura (cm)	Volumen (m ³)	Altura (cm)	Volumen (m ³)
520,7	345,95	668,02	500,486	815,34	642,913	962,66	753,122	1109,98	811,003
523,24	348,604	670,56	503,102	817,88	645,144	965,2	754,621	1112,52	811,423
525,78	351,261	673,1	505,714	820,42	647,365	967,74	756,104	1115,06	811,822
528,32	353,92	675,64	508,323	822,96	649,576	970,28	757,572	1117,6	812,199
530,86	356,581	678,18	510,927	825,5	651,778	972,82	759,024	1120,14	812,554
533,4	359,244	680,72	513,528	828,04	653,969	975,36	760,459	1122,68	812,888
535,94	361,908	683,26	516,124	830,58	656,151	977,9	761,879	1125,22	813,199
538,48	364,575	685,8	518,716	833,12	658,322	980,44	763,283	1127,76	813,488
541,02	367,243	688,34	521,304	835,66	660,483	982,98	764,67	1130,3	813,755
543,56	369,913	690,88	523,888	838,2	662,634	985,52	766,041	1132,84	814,0
546,1	372,584	693,42	526,467	840,74	664,774	988,06	767,395	1135,38	814,222
548,64	375,256	695,96	529,041	843,28	666,903	990,6	768,733	1137,92	814,421
551,18	377,93	698,5	531,611	845,82	669,022	993,14	770,054	1140,46	814,598
553,72	380,605	701,04	534,176	848,36	671,13	995,68	771,358	1143,0	814,752
556,26	383,281	703,58	536,735	850,9	673,227	998,22	772,646	1145,54	814,883
558,8	385,958	706,12	539,29	853,44	675,313	1000,76	773,916	1148,08	814,991
561,34	388,636	708,66	541,84	855,98	677,388	1003,3	775,17	1150,62	815,077
563,88	391,314	711,2	544,384	858,52	679,451	1005,84	776,406	1153,16	815,139
566,42	393,993	713,74	546,923	861,06	681,503	1008,38	777,625	1155,7	815,177
568,96	396,673	716,28	549,457	863,6	683,544	1010,92	778,826	1158,24	815,192
571,5	399,353	718,82	551,985	866,14	685,574	1013,46	780,01	1158,624	815,193
574,04	402,033	721,36	554,507	868,68	687,591	1016,0	781,176		
576,58	404,714	723,9	557,024	871,22	689,597	1018,54	782,325		
579,12	407,394	726,44	559,534	873,76	691,591	1021,08	783,456		
581,66	410,075	728,98	562,039	876,3	693,574	1023,62	784,568		
584,2	412,755	731,52	564,538	878,84	695,544	1026,16	785,663		
586,74	415,436	734,06	567,03	881,38	697,502	1028,7	786,74		
589,28	418,116	736,6	569,517	883,92	699,447	1031,24	787,798		
591,82	420,796	739,14	571,996	886,46	701,381	1033,78	788,838		
594,36	423,475	741,68	574,47	889,0	703,301	1036,32	789,86		
596,9	426,153	744,22	576,937	891,54	705,21	1038,86	790,863		
599,44	428,831	746,76	579,397	894,08	707,105	1041,4	791,848		
601,98	431,508	749,3	581,85	896,62	708,988	1043,94	792,813		
604,52	434,184	751,84	584,296	899,16	710,858	1046,48	793,76		
607,06	436,859	754,38	586,736	901,7	712,715	1049,02	794,688		
609,6	439,533	756,92	589,168	904,24	714,559	1051,56	795,597		
612,14	442,206	759,46	591,593	906,78	716,39	1054,1	796,487		
614,68	444,877	762,0	594,011	909,32	718,207	1056,64	797,357		
617,22	447,547	764,54	596,421	911,86	720,011	1059,18	798,208		
619,76	450,216	767,08	598,824	914,4	721,802	1061,72	799,04		
622,3	452,882	769,62	601,219	916,94	723,579	1064,26	799,852		
624,84	455,547	772,16	603,607	919,48	725,342	1066,8	800,644		
627,38	458,21	774,7	605,987	922,02	727,092	1069,34	801,416		
629,92	460,872	777,24	608,358	924,56	728,827	1071,88	802,169		
632,46	463,531	779,78	610,722	927,1	730,549	1074,42	802,902		
635,0	466,188	782,32	613,078	929,64	732,256	1076,96	803,614		
637,54	468,843	784,86	615,425	932,18	733,949	1079,5	804,307		
640,08	471,495	787,4	617,764	934,72	735,628	1082,04	804,979		
642,62	474,145	789,94	620,094	937,26	737,293	1084,58	805,631		
645,16	476,792	792,48	622,416	939,8	738,943	1087,12	806,262		
647,7	479,437	795,02	624,73	942,34	740,578	1089,66	806,872		
650,24	482,079	797,56	627,034	944,88	742,199	1092,2	807,462		
652,78	484,718	800,1	629,33	947,42	743,804	1094,74	808,031		
655,32	487,354	802,64	631,617	949,96	745,395	1097,28	808,579		
657,86	489,987	805,18	633,895	952,5	746,971	1099,82	809,106		
660,4	492,617	807,72	636,163	955,04	748,532	1102,36	809,612		
662,94	495,243	810,26	638,423	957,58	750,077	1104,9	810,097		
665,48	497,866	812,8	640,673	960,12	751,607	1107,44	810,561		

Figura 93. Tabla de aforo de tanques esféricos por el método de encintado en SI

Ejemplo: Tanque Esferico desde una altura de 0 in a 456.151 in(Capacidad Total =215351.232 gal)



		REGISTRO							
		Inspección Volumétrica Líquida de Tanques Estacionarios							
INSPECTORA INDEPENDIENTE		Norma de referencia: API 2555				FR-IT-HL-02-02/18			
ESTACIÓN DE SERVICIO:		PETROAMAZONAS		CÓDIGO DEL TANQUE:		TANQUE ESFERICO			
UBICACIÓN:		ORIENTE		PRODUCTO QUE ALMACENA:		GLP			
FECHA DE INSPECCIÓN:		08-abr-2019		MATERIAL DE CUERPO Y CASQUETES:		ACERO			
				TIPO DE TANQUE E INSTALACIÓN:					
Datos Generales				Equipos utilizados					
Capacidad máxima (galones)	-			Descripción	Código / Fecha calibración				
Capacidad nominal (galones) ⁽¹⁾	-			Contrastador de 50 galones	-				
Tipo de casquetes	-			Cinta de aforo con plomada	-				
Número de anillos	-			Termometro con sonda inmersión	-				
Temperatura ambiente (°C)	-			Medidas Generales del Tanque					
Temperatura promedio de líquido contrastador (°C)	-			Longitud cuerpo / total (mm)	-				
Temperatura promedio de líquido del tanque (°C)	-			Diametro prom. tanque (mm)	-				
Fluido de prueba	-			Altura prom. del tanque (mm)	-				
				Altura de referencia (mm)	-				
CORRIDA DE CALIBRACIÓN - ALTURAS Y SUS CORRESPONDIENTES CAPACIDADES									
Altura (in)	Volumen (gal)	Altura (in)	Volumen (gal)	Altura (in)	Volumen (gal)	Altura (in)	Volumen (gal)	Altura (in)	Volumen (gal)
0,0	0,0	41,0	4906,632	82,0	18375,508	123,0	38530,103	164,0	63493,889
1,0	3,1	42,0	5140,894	83,0	18795,163	124,0	39089,381	165,0	64147,022
2,0	12,383	43,0	5380,222	84,0	19218,767	125,0	39651,493	166,0	64801,872
3,0	27,822	44,0	5624,589	85,0	19646,295	126,0	40216,412	167,0	65458,413
4,0	49,388	45,0	5873,968	86,0	20077,718	127,0	40784,109	168,0	66116,616
5,0	77,056	46,0	6128,332	87,0	20513,009	128,0	41354,559	169,0	66776,455
6,0	110,797	47,0	6387,653	88,0	20952,141	129,0	41927,733	170,0	67437,903
7,0	150,585	48,0	6651,905	89,0	21395,087	130,0	42503,605	171,0	68100,932
8,0	196,392	49,0	6921,059	90,0	21841,82	131,0	43082,147	172,0	68765,514
9,0	248,191	50,0	7195,089	91,0	22292,312	132,0	43663,333	173,0	69431,624
10,0	305,955	51,0	7473,968	92,0	22746,537	133,0	44247,134	174,0	70099,233
11,0	369,657	52,0	7757,668	93,0	23204,466	134,0	44833,524	175,0	70768,314
12,0	439,268	53,0	8046,162	94,0	23666,073	135,0	45422,475	176,0	71438,841
13,0	514,763	54,0	8339,423	95,0	24131,331	136,0	46013,96	177,0	72110,785
14,0	596,114	55,0	8637,423	96,0	24600,212	137,0	46607,953	178,0	72784,12
15,0	683,294	56,0	8940,136	97,0	25072,688	138,0	47204,425	179,0	73458,819
16,0	776,275	57,0	9247,533	98,0	25548,734	139,0	47803,35	180,0	74134,853
17,0	875,03	58,0	9559,589	99,0	26028,321	140,0	48404,7	181,0	74812,197
18,0	979,532	59,0	9876,276	100,0	26511,423	141,0	49008,448	182,0	75490,822
19,0	1089,754	60,0	10197,566	101,0	26998,012	142,0	49614,566	183,0	76170,702
20,0	1205,669	61,0	10523,432	102,0	27488,061	143,0	50223,029	184,0	76851,809
21,0	1327,249	62,0	10853,847	103,0	27981,542	144,0	50833,807	185,0	77534,116
22,0	1454,467	63,0	11188,784	104,0	28478,429	145,0	51446,875	186,0	78217,596
23,0	1587,295	64,0	11528,215	105,0	28978,694	146,0	52062,205	187,0	78902,221
24,0	1725,708	65,0	11872,114	106,0	29482,31	147,0	52679,77	188,0	79587,965
25,0	1869,677	66,0	12220,453	107,0	29989,25	148,0	53299,541	189,0	80274,8
26,0	2019,175	67,0	12573,204	108,0	30499,486	149,0	53921,494	190,0	80962,699
27,0	2174,175	68,0	12930,341	109,0	31012,992	150,0	54545,599	191,0	81651,635
28,0	2334,649	69,0	13291,837	110,0	31529,74	151,0	55171,83	192,0	82341,58
29,0	2500,571	70,0	13657,664	111,0	32049,702	152,0	55800,159	193,0	83032,508
30,0	2671,914	71,0	14027,795	112,0	32572,853	153,0	56430,56	194,0	83724,39
31,0	2848,649	72,0	14402,203	113,0	33099,163	154,0	57063,005	195,0	84417,2
32,0	3030,751	73,0	14780,86	114,0	33628,607	155,0	57697,467	196,0	85110,911
33,0	3218,191	74,0	15163,739	115,0	34161,157	156,0	58333,918	197,0	85805,495
34,0	3410,942	75,0	15550,813	116,0	34696,786	157,0	58972,332	198,0	86500,925
35,0	3608,977	76,0	15942,056	117,0	35235,466	158,0	59612,681	199,0	87197,174
36,0	3812,269	77,0	16337,438	118,0	35777,17	159,0	60254,938	200,0	87894,214
37,0	4020,791	78,0	16736,935	119,0	36321,872	160,0	60899,076	201,0	88592,02
38,0	4234,516	79,0	17140,517	120,0	36869,543	161,0	61545,067	202,0	89290,562
39,0	4453,416	80,0	17548,158	121,0	37420,157	162,0	62192,884	203,0	89989,814
40,0	4677,463	81,0	17959,831	122,0	37973,686	163,0	62842,501	204,0	90689,749

Figura 94. Tabla de aforo de tanques esféricos por el método de encintado en SA

Altura (in)	Volumen (gal)	Altura (in)	Volumen (gal)	Altura (in)	Volumen (gal)	Altura (in)	Volumen (gal)	Altura (in)	Volumen (gal)
205,0	91390,339	263,0	132214,44	321,0	169839,715	379,0	198953,807	437,0	214244,36
206,0	92091,558	264,0	132905,513	322,0	170429,05	380,0	199349,812	438,0	214355,442
207,0	92793,378	265,0	133595,608	323,0	171015,828	381,0	199741,68	439,0	214460,809
208,0	93495,771	266,0	134284,698	324,0	171600,021	382,0	200129,385	440,0	214560,432
209,0	94198,711	267,0	134972,755	325,0	172181,603	383,0	200512,899	441,0	214654,286
210,0	94902,171	268,0	135659,752	326,0	172760,545	384,0	200892,194	442,0	214742,342
211,0	95606,123	269,0	136345,662	327,0	173336,822	385,0	201267,244	443,0	214824,574
212,0	96310,539	270,0	137030,458	328,0	173910,405	386,0	201638,022	444,0	214900,954
213,0	97015,394	271,0	137714,113	329,0	174481,267	387,0	202004,5	445,0	214971,454
214,0	97720,658	272,0	138396,598	330,0	175049,381	388,0	202366,65	446,0	215036,049
215,0	98426,306	273,0	139077,888	331,0	175614,72	389,0	202724,447	447,0	215094,71
216,0	99132,31	274,0	139757,955	332,0	176177,257	390,0	203077,862	448,0	215147,41
217,0	99838,643	275,0	140436,771	333,0	176736,965	391,0	203426,868	449,0	215194,123
218,0	100545,277	276,0	141114,31	334,0	177293,815	392,0	203771,438	450,0	215234,82
219,0	101252,186	277,0	141790,543	335,0	177847,782	393,0	204111,545	451,0	215269,475
220,0	101959,342	278,0	142465,445	336,0	178398,837	394,0	204447,161	452,0	215298,06
221,0	102666,718	279,0	143138,987	337,0	178946,954	395,0	204778,26	453,0	215320,549
222,0	103374,286	280,0	143811,143	338,0	179492,105	396,0	205104,814	454,0	215336,913
223,0	104082,019	281,0	144481,885	339,0	180034,263	397,0	205426,795	455,0	215347,126
224,0	104789,891	282,0	145151,186	340,0	180573,401	398,0	205744,178	456,0	215351,161
225,0	105497,874	283,0	145819,019	341,0	181109,491	399,0	206056,934	456,151	215351,232
226,0	106205,941	284,0	146485,357	342,0	181642,507	400,0	206365,036		
227,0	106914,064	285,0	147150,171	343,0	182172,421	401,0	206668,457		
228,0	107622,216	286,0	147813,436	344,0	182699,206	402,0	206967,17		
229,0	108330,371	287,0	148475,124	345,0	183222,835	403,0	207261,147		
230,0	109038,5	288,0	149135,207	346,0	183743,28	404,0	207550,361		
231,0	109746,577	289,0	149793,659	347,0	184260,514	405,0	207834,786		
232,0	110454,574	290,0	150450,452	348,0	184774,511	406,0	208114,393		
233,0	111162,464	291,0	151105,559	349,0	185285,242	407,0	208389,157		
234,0	111870,221	292,0	151758,953	350,0	185792,681	408,0	208659,048		
235,0	112577,815	293,0	152410,606	351,0	186296,8	409,0	208924,041		
236,0	113285,222	294,0	153060,491	352,0	186797,572	410,0	209184,107		
237,0	113992,413	295,0	153708,582	353,0	187294,97	411,0	209439,22		
238,0	114699,36	296,0	154354,85	354,0	187788,967	412,0	209689,353		
239,0	115406,038	297,0	154999,269	355,0	188279,535	413,0	209934,478		
240,0	116112,418	298,0	155641,812	356,0	188766,647	414,0	210174,568		
241,0	116818,473	299,0	156282,45	357,0	189250,277	415,0	210409,596		
242,0	117524,176	300,0	156921,158	358,0	189730,396	416,0	210639,534		
243,0	118229,501	301,0	157557,907	359,0	190206,977	417,0	210864,356		
244,0	118934,419	302,0	158192,67	360,0	190679,994	418,0	211084,034		
245,0	119638,903	303,0	158825,421	361,0	191149,419	419,0	211298,54		
246,0	120342,927	304,0	159456,132	362,0	191615,225	420,0	211507,849		
247,0	121046,462	305,0	160084,776	363,0	192077,384	421,0	211711,931		
248,0	121749,482	306,0	160711,325	364,0	192535,87	422,0	211910,761		
249,0	122451,96	307,0	161335,752	365,0	192990,655	423,0	212104,311		
250,0	123153,868	308,0	161958,031	366,0	193441,712	424,0	212292,554		
251,0	123855,179	309,0	162578,133	367,0	193889,013	425,0	212475,462		
252,0	124555,866	310,0	163196,032	368,0	194332,532	426,0	212653,008		
253,0	125255,902	311,0	163811,701	369,0	194772,241	427,0	212825,166		
254,0	125955,259	312,0	164425,112	370,0	195208,114	428,0	212991,907		
255,0	126653,91	313,0	165036,237	371,0	195640,122	429,0	213153,205		
256,0	127351,828	314,0	165645,051	372,0	196068,238	430,0	213309,033		
257,0	128048,985	315,0	166251,525	373,0	196492,436	431,0	213459,362		
258,0	128745,355	316,0	166855,632	374,0	196912,688	432,0	213604,167		
259,0	129440,911	317,0	167457,345	375,0	197328,967	433,0	213743,419		
260,0	130135,624	318,0	168056,637	376,0	197741,246	434,0	213877,091		
261,0	130829,468	319,0	168653,481	377,0	198149,496	435,0	214005,157		
262,0	131522,416	320,0	169247,849	378,0	198553,693	436,0	214127,589		

Figura 95. Tabla de aforo de tanques esféricos por el método de encintado en SA

A continuación se puede evidenciar el error al comparar el software desarrollado en el presente proyecto de titulación con otro software matemático.

Tabla 9.
Errores Volumen Tanques Esféricos

TANQUES ESFERICO			
<i>Altura (cm)</i>	<i>SOFTWARE (m3)</i>	<i>CALCULADO (m3)</i>	<i>ERROR %</i>
0	0	0	0,00%
2,54	0,012	0,01174	2,24%
5,08	0,047	0,04688	0,26%
7,62	0,105	0,10532	0,30%
10,16	0,187	0,18696	0,02%
12,7	0,292	0,29170	0,10%
15,24	0,419	0,41942	0,10%
17,78	0,57	0,57004	0,01%
20,32	0,743	0,74344	0,06%
22,86	0,94	0,93953	0,05%
25,4	1,158	1,15819	0,02%
.....
....
1150,62	815,096	815,09538	0,00%
1153,16	815,158	815,15732	0,00%
1155,7	815,197	815,19598	0,00%
1158,24	815,212	815,21125	0,00%
1158,624	815,212	815,21125	0,00%

Se puede evidenciar que el error máximo en este tipo de tanques es de aproximadamente 2.24%.

6.4. Evaluación de resultados para tanques esferoidales.

6.4.1. Tablas de calibración

Se ingresa todos los datos para tanques horizontales con cabezas Esfericas como se presenta a continuación:

MENU AYUDA

Encintado Calibración Líquida

Radio exterior de curvatura vertical (m)	4.4486
Distancia barra gote al centro [dvbc] (m)	3.79731
Espesor barra de goteo (m)	0.008382

a (m)	4.0124
h (m)	0.0127
R (m)	4.4402
L (m)	1.9272239
Incremental (m)	0.025399986
Temperatura del Tanque (°C)	25

Distancias (barra de goteo - línea de fondo de capacidad)

Distancia -línea Capacidad1 (m)	0.14605
Distancia -línea Capacidad2 (m)	0.14605
Distancia -línea Capacidad3 (m)	0.14605
Distancia -línea Capacidad4 (m)	0.14605

Circunferencia Horizontal Maxima (m)	39.526
Circunferencia - Barra de Goteo (m)	36.067
Volumen Muerto [8bbl/in]:	0.0000459
Radio Interio Maximo BP (m)	6.28095
Radio Interno barra de goteo BP (m)	5.7245
Altura del líquido [Hl]:	5.0926

CACULAR

Figura 96. Introducción de datos de entrada en Tanques Esferoidales
Fuente: (Propia)

A continuación, se muestran las tablas de aforo obtenidas.

Ejemplo: Tanque Esferico desde una altura de 0 cm a 508 cm(Capacidad Total =544.184 m3)



		REGISTRO							
		Inspección Volumétrica Líquida de Tanques Estacionarios							
INSPECTORA INDEPENDIENTE		Norma de referencia: API 2555				FR-IT-HL-02-02/18			
ESTACIÓN DE SERVICIO:	PETROECUADOR			CÓDIGO DEL TANQUE:		ESFEROIDE			
UBICACIÓN:	ORIENTE			PRODUCTO QUE ALMACENA:		GLP			
FECHA DE INSPECCIÓN:	06-abr-2019			MATERIAL DE CUERPO Y CASQUETES:		ACERO			
				TIPO DE TANQUE E INSTALACIÓN:		-			
Datos Generales				Equipos utilizados					
Capacidad máxima (galones)	-			Descripción	Código / Fecha calibración				
Capacidad nominal (galones) ⁽¹⁾	-			Contrastador de 50 galones	-				
Tipo de casquetes	-			Cinta de aforo con plomada	-				
Número de anillos	-			Termometro con sonda inmersión	-				
Temperatura ambiente (°C)	-			Medidas Generales del Tanque					
Temperatura promedio de líquido contrastador (°C)	-			Longitud cuerpo / total (mm)	-				
Temperatura promedio de líquido del tanque (°C)	-			Diametro prom. tanque (mm)	-				
Fluido de prueba	-			Altura prom. del tanque (mm)	-				
				Altura de referencia (mm)	-				
CORRIDA DE CALIBRACIÓN - ALTURAS Y SUS CORRESPONDIENTES CAPACIDADES									
Altura (cm)	Volumen (m ³)	Altura (cm)	Volumen (m ³)	Altura (cm)	Volumen (m ³)	Altura (cm)	Volumen (m ³)	Altura (cm)	Volumen (m ³)
0,0	0,0	104,14	70,282	208,28	173,662	312,42	296,927	416,56	429,142
2,54	1,174	106,68	72,473	210,82	176,478	314,96	300,088	419,1	432,389
5,08	2,381	109,22	74,683	213,36	179,307	317,5	303,254	421,64	435,635
7,62	3,619	111,76	76,911	215,9	182,146	320,04	306,425	424,18	438,879
10,16	4,889	114,3	79,158	218,44	184,997	322,58	309,601	426,72	442,122
12,7	6,19	116,84	81,424	220,98	187,859	325,12	312,781	429,26	445,364
15,24	7,521	119,38	83,708	223,52	190,731	327,66	315,966	431,8	448,603
17,78	8,882	121,92	86,009	226,06	193,615	330,2	319,156	434,34	451,841
20,32	10,272	124,46	88,329	228,6	196,509	332,74	322,35	436,88	455,076
22,86	11,691	127,0	90,667	231,14	199,414	335,28	325,547	439,42	458,309
25,4	13,139	129,54	93,022	233,68	202,329	337,82	328,749	441,96	461,54
27,94	14,614	132,08	95,394	236,22	205,254	340,36	331,955	444,5	464,768
30,48	16,118	134,62	97,783	238,76	208,189	342,9	335,164	447,04	467,993
33,02	17,648	137,16	100,189	241,3	211,134	345,44	338,377	449,58	471,215
35,56	19,205	139,7	102,612	243,84	214,088	347,98	341,593	452,12	474,435
38,1	20,789	142,24	105,051	246,38	217,052	350,52	344,812	454,66	477,651
40,64	22,399	144,78	107,506	248,92	220,025	353,06	348,034	457,2	480,863
43,18	24,035	147,32	109,978	251,46	223,007	355,6	351,26	459,74	484,073
45,72	25,696	149,86	112,465	254,0	225,999	358,14	354,488	462,28	487,278
48,26	27,383	152,4	114,969	256,54	228,999	360,68	357,718	464,82	490,48
50,8	29,094	154,94	117,487	259,08	232,008	363,22	360,951	467,36	493,678
53,34	30,83	157,48	120,022	261,62	235,025	365,76	364,187	469,9	496,872
55,88	32,59	160,02	122,571	264,16	238,051	368,3	367,424	472,44	500,061
58,42	34,374	162,56	125,135	266,7	241,085	370,84	370,664	474,98	503,246
60,96	36,182	165,1	127,715	269,24	244,127	373,38	373,905	477,52	506,427
63,5	38,013	167,64	130,309	271,78	247,177	375,92	377,148	480,06	509,603
66,04	39,867	170,18	132,917	274,32	250,235	378,46	380,393	482,6	512,774
68,58	41,744	172,72	135,54	276,86	253,3	381,0	383,639	485,14	515,94
71,12	43,644	175,26	138,176	279,4	256,373	383,54	386,886	487,68	519,101
73,66	45,566	177,8	140,827	281,94	259,453	386,08	390,134	490,22	522,256
76,2	47,51	180,34	143,492	284,48	262,54	388,62	393,384	492,76	525,406
78,74	49,476	182,88	146,17	287,02	265,635	391,16	396,634	495,3	528,551
81,28	51,463	185,42	148,862	289,56	268,736	393,7	399,885	497,84	531,69
83,82	53,472	187,96	151,566	292,1	271,843	396,24	403,136	500,38	534,823
86,36	55,502	190,5	154,284	294,64	274,957	398,78	406,388	502,92	537,949
88,9	57,552	193,04	157,015	297,18	278,078	401,32	409,64	505,46	541,07
91,44	59,624	195,58	159,759	299,72	281,205	403,86	412,891	508,0	544,184
93,98	61,716	198,12	162,515	302,26	284,338	406,4	416,143		
96,52	63,828	200,66	165,283	304,8	287,477	408,94	419,394		
99,06	65,96	203,2	168,064	307,34	290,621	411,48	422,644		
101,6	68,111	205,74	170,857	309,88	293,771	414,02	425,893		

Figura 97. Tabla de aforo de tanques esferoidales por el método de encintado en SI

Ejemplo: Tanque Esferico desde una altura de 0 in a 200 in (Capacidad Total =3422.816 bbl)



		REGISTRO							
		Inspección Volumétrica Líquida de Tanques Estacionarios							
INSPECTORA INDEPENDIENTE		Norma de referencia: API 2555				FR-IT-HL-02-02/18			
ESTACIÓN DE SERVICIO:		PETROECUADOR		CÓDIGO DEL TANQUE:		ESFEROIDE			
UBICACIÓN:		ORIENTE		PRODUCTO QUE ALMACENA:		GLP			
FECHA DE INSPECCIÓN:		06-abr-2019		MATERIAL DE CUERPO Y CASQUETES:		ACERO			
				TIPO DE TANQUE E INSTALACIÓN:		-			
Datos Generales				Equipos utilizados					
Capacidad máxima (galones)		-		Descripción		Código / Fecha calibración			
Capacidad nominal (galones)(1)		-		Contrastador de 50 bblones		-			
Tipo de casquetes		-		Cinta de aforo con plomada		-			
Número de anillos		-		Termometro con sonda inmersión		-			
Temperatura ambiente (°C)		-		Medidas Generales del Tanque					
Temperatura promedio de líquido contrastador (°C)		-		Longitud cuerpo / total (mm)		-			
Temperatura promedio de líquido del tanque (°C)		-		Diámetro prom. tanque (mm)		-			
Fluido de prueba		-		Altura prom. del tanque (mm)		-			
				Altura de referencia (mm)		-			
CORRIDA DE CALIBRACIÓN - ALTURAS Y SUS CORRESPONDIENTES CAPACIDADES									
Altura (in)	Volumen (bbl)	Altura (in)	Volumen (bbl)	Altura (in)	Volumen (bbl)	Altura (in)	Volumen (bbl)	Altura (in)	Volumen (bbl)
0,0	0,0	41,0	442,063	82,0	1092,3	123,0	1867,613	164,0	2699,219
1,0	7,384	42,0	455,841	83,0	1110,016	124,0	1887,495	165,0	2719,644
2,0	14,973	43,0	469,739	84,0	1127,804	125,0	1907,409	166,0	2740,06
3,0	22,763	44,0	483,755	85,0	1145,664	126,0	1927,354	167,0	2760,468
4,0	30,751	45,0	497,889	86,0	1163,595	127,0	1947,329	168,0	2780,866
5,0	38,933	46,0	512,14	87,0	1181,596	128,0	1967,334	169,0	2801,253
6,0	47,306	47,0	526,505	88,0	1199,665	129,0	1987,368	170,0	2821,629
7,0	55,866	48,0	540,983	89,0	1217,802	130,0	2007,43	171,0	2841,992
8,0	64,61	49,0	555,574	90,0	1236,006	131,0	2027,518	172,0	2862,342
9,0	73,536	50,0	570,276	91,0	1254,276	132,0	2047,632	173,0	2882,677
10,0	82,641	51,0	585,088	92,0	1272,609	133,0	2067,77	174,0	2902,998
11,0	91,922	52,0	600,008	93,0	1291,007	134,0	2087,933	175,0	2923,301
12,0	101,377	53,0	615,035	94,0	1309,468	135,0	2108,119	176,0	2943,587
13,0	111,004	54,0	630,169	95,0	1327,99	136,0	2128,326	177,0	2963,855
14,0	120,798	55,0	645,407	96,0	1346,573	137,0	2148,555	178,0	2984,104
15,0	130,761	56,0	660,749	97,0	1365,215	138,0	2168,804	179,0	3004,332
16,0	140,887	57,0	676,194	98,0	1383,916	139,0	2189,071	180,0	3024,54
17,0	151,176	58,0	691,739	99,0	1402,674	140,0	2209,358	181,0	3044,726
18,0	161,625	59,0	707,386	100,0	1421,489	141,0	2229,661	182,0	3064,888
19,0	172,232	60,0	723,131	101,0	1440,36	142,0	2249,981	183,0	3085,027
20,0	182,996	61,0	738,974	102,0	1459,286	143,0	2270,316	184,0	3105,141
21,0	193,914	62,0	754,913	103,0	1478,265	144,0	2290,666	185,0	3125,229
22,0	204,984	63,0	770,948	104,0	1497,297	145,0	2311,03	186,0	3145,29
23,0	216,206	64,0	787,078	105,0	1516,38	146,0	2331,405	187,0	3165,324
24,0	227,576	65,0	803,301	106,0	1535,514	147,0	2351,793	188,0	3185,33
25,0	239,093	66,0	819,616	107,0	1554,697	148,0	2372,191	189,0	3205,305
26,0	250,755	67,0	836,023	108,0	1573,93	149,0	2392,598	190,0	3225,25
27,0	262,561	68,0	852,519	109,0	1593,211	150,0	2413,015	191,0	3245,164
28,0	274,51	69,0	869,104	110,0	1612,538	151,0	2433,439	192,0	3265,045
29,0	286,599	70,0	885,777	111,0	1631,911	152,0	2453,871	193,0	3284,893
30,0	298,826	71,0	902,536	112,0	1651,329	153,0	2474,309	194,0	3304,707
31,0	311,192	72,0	919,381	113,0	1670,791	154,0	2494,752	195,0	3324,486
32,0	323,693	73,0	936,311	114,0	1690,296	155,0	2515,199	196,0	3344,228
33,0	336,328	74,0	953,323	115,0	1709,843	156,0	2535,65	197,0	3363,933
34,0	349,095	75,0	970,418	116,0	1729,43	157,0	2556,102	198,0	3383,6
35,0	361,994	76,0	987,595	117,0	1749,058	158,0	2576,556	199,0	3403,228
36,0	375,023	77,0	1004,851	118,0	1768,725	159,0	2597,009	200,0	3422,816
37,0	388,18	78,0	1022,187	119,0	1788,43	160,0	2617,459		
38,0	401,464	79,0	1039,601	120,0	1808,173	161,0	2637,906		
39,0	414,873	80,0	1057,092	121,0	1827,951	162,0	2658,349		
40,0	428,407	81,0	1074,659	122,0	1847,766	163,0	2678,787		

Figura 98. Tabla de aforo de tanques esferoidales por el método de encintado en SA

A continuación se puede evidenciar el error al comparar el software desarrollado en el presente proyecto de titulación con otro software matemático.

Tabla 10.
Errores Volumen Tanques Esféricos

TANQUES ESFERICALES			
<i>Altura (cm)</i>	<i>SOFTWARE (m3)</i>	<i>CALCULADO (m3)</i>	<i>ERROR %</i>
0	0	0,00000	0,00%
2,54	1,173	1,17406	0,09%
5,08	2,38	2,38068	0,03%
7,62	3,618	3,61922	0,03%
10,16	4,887	4,88918	0,04%
12,7	6,187	6,19004	0,05%
15,24	7,518	7,52117	0,04%
17,78	8,878	8,88205	0,05%
20,32	10,268	10,27230	0,04%
22,86	11,687	11,69141	0,04%
25,4	13,134	13,13900	0,04%
.....
....
500,38	534,621	534,82194	0,04%
502,92	537,746	537,94876	0,04%
505,46	540,866	541,06932	0,04%
508	543,979	544,18350	0,04%
509,27	547,085	547,29116	0,04%

Se puede evidenciar que el error máximo en este tipo de tanques es de aproximadamente 0.05%.

6.5. Evaluación de resultados para calibración Líquida.

Se ingresa todos los datos para tanques horizontales con cabezas Esfericas como se presenta a continuación:

Encintado Calibración líquida

Numero de corridas: 18

Incremental del Volumen (Gal): 50

Incremental de la tabla de Aforo (mm): 1

Temperatura del Tanque °C	Temperatura Patrón °C	Altura (mm)	Volumen Muerto (Gal)
24,5	24,5	30	0
24,5	24,6	62	0
24,5	24,7	96	0
25,1	24,8	118	0
25,1	25	137	0
25,1	25	158	0
25,1	24,8	180	0
25,3	24,8	195	0
25,3	24,8	218	0
25,3	25	235	0
25,3	25	250	0
25,3	25,1	264	0
25,3	25,2	284	0
25,3	25,2	300	0
25,3	25	317	0
25,3	25	332	0
25,3	25,4	347	0
25,4	25,4	363	0

Calcular

Encintado Calibración líquida

Numero de corridas: 18

Incremental del Volumen (Gal): 50

Incremental de la tabla de Aforo (mm): 1

Temperatura del Tanque °C	Temperatura Patrón °C	Altura (mm)	Volumen Muerto (Gal)
25,1	25	137	0
25,1	25	158	0
25,1	24,8	180	0
25,3	24,8	195	0
25,3	24,8	218	0
25,3	25	235	0
25,3	25	250	0
25,3	25,1	264	0
25,3	25,2	284	0
25,3	25,2	300	0
25,3	25	317	0
25,3	25	332	0
25,3	25,4	347	0
25,4	25,4	363	0

Calcular



Figura 99. Introducción de datos de entrada en calibración líquida

Fuente: (Propia)

A continuación, se muestran las tablas de aforo obtenidas.

Ejemplo: Tanque Esferico desde una altura de 0 mm a 363 mm (Capacidad Total =900.081

Gls)

		REGISTRO							
		Inspección Volumétrica Líquida de Tanques Estacionarios							
INSPECTORA INDEPENDIENTE		Norma de referencia: API 2555		FR-IT-HL-02-02/18					
INFORME - TABLAS DE AFORO									
ESTACIÓN DE SERVICIO:	PETROECUADOR			CÓDIGO DEL TANQUE:	DDTE45				
UBICACIÓN:	ORIENTE			PRODUCTO QUE ALMACENA:	DIESEL PREMIUM				
FECHA DE INSPECCIÓN:	05-15-2018			MATERIAL DE CUERPO Y CASQUETES:	ACERO				
				TIPO DE TANQUE E INSTALACIÓN:	HORIZONTAL				
Datos Generales				Equipos utilizados					
Capacidad máxima (galones)	900,00			Descripción	Código / Fecha calibración				
Capacidad nominal (galones) ⁽¹⁾	900			Contrastador de 50 galones	-				
Tipo de casquetes	PLANOS			Cinta de aforo con plomada	-				
Número de anillos	6			Termometro con sonda inmersión	-				
Temperatura ambiente (°C)	32,4			Medidas Generales del Tanque					
Temperatura promedio de líquido contrastador (°C)	27,5			Longitud cuerpo / total (mm)	-				
Temperatura promedio de líquido del tanque (°C)	24,5			Diametro prom. tanque (mm)	-				
Fluido de prueba	AGUA			Altura prom. del tanque (mm)	-				
				Altura de referencia (mm)	-				
CORRIDA DE CALIBRACIÓN - ALTURAS Y SUS CORRESPONDIENTES CAPACIDADES									
Altura (mm)	Volumen (Gls)	Altura (mm)	Volumen (Gls)	Altura (mm)	Volumen (Gls)	Altura (mm)	Volumen (Gls)	Altura (mm)	Volumen (Gls)
0,0	0,0	41,0	67,166	82,0	129,364	123,0	213,176	164,0	313,635
1,0	1,666	42,0	68,728	83,0	130,834	124,0	215,807	165,0	315,907
2,0	3,332	43,0	70,29	84,0	132,303	125,0	218,438	166,0	318,18
3,0	4,998	44,0	71,852	85,0	133,773	126,0	221,069	167,0	320,453
4,0	6,665	45,0	73,414	86,0	135,243	127,0	223,7	168,0	322,725
5,0	8,331	46,0	74,975	87,0	136,713	128,0	226,331	169,0	324,998
6,0	9,997	47,0	76,537	88,0	138,183	129,0	228,962	170,0	327,271
7,0	11,663	48,0	78,099	89,0	139,653	130,0	231,593	171,0	329,543
8,0	13,329	49,0	79,661	90,0	141,123	131,0	234,224	172,0	331,816
9,0	14,995	50,0	81,223	91,0	142,593	132,0	236,855	173,0	334,089
10,0	16,662	51,0	82,785	92,0	144,062	133,0	239,486	174,0	336,361
11,0	18,328	52,0	84,347	93,0	145,532	134,0	242,117	175,0	338,634
12,0	19,994	53,0	85,909	94,0	147,002	135,0	244,748	176,0	340,906
13,0	21,66	54,0	87,471	95,0	148,472	136,0	247,379	177,0	343,179
14,0	23,326	55,0	89,033	96,0	149,942	137,0	250,01	178,0	345,452
15,0	24,992	56,0	90,595	97,0	152,218	138,0	252,39	179,0	347,724
16,0	26,659	57,0	92,156	98,0	154,495	139,0	254,771	180,0	349,997
17,0	28,325	58,0	93,718	99,0	156,771	140,0	257,151	181,0	353,335
18,0	29,991	59,0	95,28	100,0	159,047	141,0	259,532	182,0	356,673
19,0	31,657	60,0	96,842	101,0	161,324	142,0	261,912	183,0	360,011
20,0	33,323	61,0	98,404	102,0	163,6	143,0	264,293	184,0	363,349
21,0	34,989	62,0	99,966	103,0	165,876	144,0	266,673	185,0	366,687
22,0	36,656	63,0	101,436	104,0	168,153	145,0	269,053	186,0	370,025
23,0	38,322	64,0	102,906	105,0	170,429	146,0	271,434	187,0	373,363
24,0	39,988	65,0	104,376	106,0	172,705	147,0	273,814	188,0	376,701
25,0	41,654	66,0	105,846	107,0	174,981	148,0	276,195	189,0	380,039
26,0	43,32	67,0	107,315	108,0	177,258	149,0	278,575	190,0	383,377
27,0	44,986	68,0	108,785	109,0	179,534	150,0	280,956	191,0	386,715
28,0	46,653	69,0	110,255	110,0	181,81	151,0	283,336	192,0	390,053
29,0	48,319	70,0	111,725	111,0	184,087	152,0	285,716	193,0	393,391
30,0	49,985	71,0	113,195	112,0	186,363	153,0	288,097	194,0	396,729
31,0	51,547	72,0	114,665	113,0	188,639	154,0	290,477	195,0	400,067
32,0	53,109	73,0	116,135	114,0	190,916	155,0	292,858	196,0	402,241
33,0	54,671	74,0	117,605	115,0	193,192	156,0	295,238	197,0	404,415
34,0	56,233	75,0	119,074	116,0	195,468	157,0	297,619	198,0	406,59
35,0	57,795	76,0	120,544	117,0	197,745	158,0	299,999	199,0	408,764
36,0	59,356	77,0	122,014	118,0	200,021	159,0	302,272	200,0	410,938
37,0	60,918	78,0	123,484	119,0	202,297	160,0	304,544	201,0	413,112
38,0	62,48	79,0	124,954	120,0	205,283	161,0	306,817	202,0	415,287
39,0	64,042	80,0	126,424	121,0	207,914	162,0	309,09	203,0	417,461
40,0	65,604	81,0	127,894	122,0	210,545	163,0	311,362	204,0	419,635

Altura (mm)	Volumen (Gls)	Altura (mm)	Volumen (Gls)	Altura (mm)	Volumen (Gls)	Altura (mm)	Volumen (Gls)	Altura (mm)	Volumen (Gls)
205,0	421,809	263,0	596,493	321,0	763,373				
206,0	423,983	264,0	600,064	322,0	766,706				
207,0	426,158	265,0	602,563	323,0	770,039				
208,0	428,332	266,0	605,063	324,0	773,372				
209,0	430,506	267,0	607,562	325,0	776,706				
210,0	432,68	268,0	610,062	326,0	780,039				
211,0	434,854	269,0	612,561	327,0	783,372				
212,0	437,029	270,0	615,061	328,0	786,705				
213,0	439,203	271,0	617,56	329,0	790,038				
214,0	441,377	272,0	620,06	330,0	793,372				
215,0	443,551	273,0	622,559	331,0	796,705				
216,0	445,726	274,0	625,058	332,0	800,038				
217,0	447,9	275,0	627,558	333,0	803,37				
218,0	450,074	276,0	630,057	334,0	806,702				
219,0	453,015	277,0	632,557	335,0	810,034				
220,0	455,956	278,0	635,056	336,0	813,366				
221,0	458,897	279,0	637,556	337,0	816,698				
222,0	461,838	280,0	640,055	338,0	820,03				
223,0	464,779	281,0	642,555	339,0	823,362				
224,0	467,72	282,0	645,054	340,0	826,695				
225,0	470,661	283,0	647,554	341,0	830,027				
226,0	473,602	284,0	650,053	342,0	833,359				
227,0	476,544	285,0	653,177	343,0	836,691				
228,0	479,485	286,0	656,302	344,0	840,023				
229,0	482,426	287,0	659,426	345,0	843,355				
230,0	485,367	288,0	662,55	346,0	846,687				
231,0	488,308	289,0	665,675	347,0	850,019				
232,0	491,249	290,0	668,799	348,0	853,148				
233,0	494,19	291,0	671,923	349,0	856,277				
234,0	497,131	292,0	675,048	350,0	859,406				
235,0	500,072	293,0	678,172	351,0	862,534				
236,0	503,405	294,0	681,296	352,0	865,663				
237,0	506,738	295,0	684,42	353,0	868,792				
238,0	510,072	296,0	687,545	354,0	871,921				
239,0	513,405	297,0	690,669	355,0	875,05				
240,0	516,738	298,0	693,793	356,0	878,179				
241,0	520,071	299,0	696,918	357,0	881,308				
242,0	523,404	300,0	700,042	358,0	884,437				
243,0	526,738	301,0	702,983	359,0	887,566				
244,0	530,071	302,0	705,924	360,0	890,694				
245,0	533,404	303,0	708,865	361,0	893,823				
246,0	536,737	304,0	711,806	362,0	896,952				
247,0	540,07	305,0	714,747	363,0	900,081				
248,0	543,404	306,0	717,688						
249,0	546,737	307,0	720,629						
250,0	550,07	308,0	723,57						
251,0	553,641	309,0	726,512						
252,0	557,212	310,0	729,453						
253,0	560,783	311,0	732,394						
254,0	564,354	312,0	735,335						
255,0	567,925	313,0	738,276						
256,0	571,496	314,0	741,217						
257,0	575,067	315,0	744,158						
258,0	578,638	316,0	747,099						
259,0	582,209	317,0	750,04						
260,0	585,78	318,0	753,373						
261,0	589,351	319,0	756,706						
262,0	592,922	320,0	760,04						

Figura 100. Tabla de aforo de tanques esferoidales por el método de encintado en SA

A continuación se puede evidenciar el error al comparar el software desarrollado en el presente proyecto de titulación con otro software matemático.

Tabla 11.
Errores Volumen Calibración líquida

TANQUES HORIZONTALES CALIBRACION LIQUIDA			
<i>Altura (mm)</i>	<i>SOFTWARE (Gls)</i>	<i>CALCULADO (Gls)</i>	<i>ERROR %</i>
0	0	0,00000	0,00%
30	49,985	49,98500	0,00%
62	99,966	99,96550	0,00%
96	149,942	149,94150	0,00%
118	200,021	200,02097	0,00%
137	250,01	250,01047	0,00%
158	299,999	299,99997	0,00%
180	349,997	349,99846	0,00%
195	400,067	400,06895	0,00%
218	450,074	450,07645	0,00%
235	500,072	500,07494	0,00%
250	550,07	550,07344	0,00%
264	600,064	600,06744	0,00%
284	650,053	650,05694	0,00%
300	700,042	700,04643	0,00%
317	750,04	750,04493	0,00%
332	800,038	800,04343	0,00%
347	850,019	850,02393	0,00%
363	900,081	900,08543	0,00%

Se puede evidenciar que el error máximo en este tipo de tanques es de aproximadamente 0.00%.

CAPÍTULO VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- En el software presentado se logró incorporar el método de calibración en tanques verticales por el método de distancia electroóptica externa e interna aplicando la norma ISO 7507-4 y la ISO 7507-5, al ser un método relativamente nuevo es por tanto más preciso en las medidas debido sus equipos de alta tecnología, esto a su vez lleva a obtener excelentes resultados en las tablas de aforo.
- Se logró incorporar el método de calibración volumétrica líquida de tanques estacionarios aplicando la norma API 2555 en el software rediseñado, obteniendo excelentes resultados en la obtención de tablas de aforo, obtenido un error aproximado del 0.00% al comprar el software desarrollado en el presente proyecto con otro software orientado al análisis matemático.
- Se logró generar satisfactoriamente un informe de calibración en el cual constan los datos y parámetros del proceso de calibración para cada tipo de tanque.
- En el presente software se pudo verificar la incertidumbre en tanques verticales, con lo cual se consiguió obtener resultados confiables de acuerdo a las normas norma en las tablas de aforo de los tanques que se van a calibrar.
- Los errores obtenidos en las tablas de aforos al compararlos con otro software de calibración son relativamente bajos. Para tanques horizontales por método de encintado el error máximo es de 0.28%, Para tanques esféricos 2.24%, para tanques esferoidales 0.05%. Para tanques horizontales por el método volumétrico líquido es 0.00%, Para tanques Verticales método encintado 0.019%, para tanques verticales por el método electrooptico externo-interno 0.00%.
- Se debe seguir cada paso de la norma para la calibración de cada tipo de tanque para obtener una calibración confiable a la hora de realizar el informe para ser entregado al cliente.

- Se debe medir haciendo uso de instrumentos calibrados y certificados, para así poder contar con datos fiables a la hora de ser utilizados en el software y obtener calibraciones con alto grado de confiabilidad.

CAPÍTULO VIII. BIBLIOGRAFÍA

- (API MPMS 2.2D). (August de 2003). Calibration of Upright Cylindrical Tanks Using the Internal Electrooptical Distance Ranging Method. Washington D.C. 20005.
- (ISO 7507-5). (2000). Petroleum and liquid petroleum products — External electro-optical distance-ranging.
- (Measurement and Calibration of Upright Cylindrical Tanks by the Manual Tank Strapping Method-Section 2A). (February de 2012).
- Adere, C. (2012). *Calibración de Tanques a Presión*. Obtenido de Ebah: <https://www.ebah.com.br/content/ABAAAevgMAI/calibracao-tanques-vasos-pressao#>
- AISC. (2010). *American Institute of Steel Construction*.
- Altan, T. (2012). *Sheet Metal Forming*. Unite State of America: ASM International.
- API MPMS 2.2E. (s.f.). ISO 12917-1:2002, Petroleum and liquid petroleum Products. *Calibration of horizontal cylindrical tanks*. Washington, d.c.20005: Services, 1220 L.
- API MPMS. (2009). *Procedimiento estándar para la medición manual de petróleo y productos de petróleo*. Obtenido de Norma DGNTI-COPANIT ISO 17020:2003.
- ARCH. (2010). *Agencia de Regulación y Control Hidrocarburiífero*. Obtenido de <http://www.controlhidrocarburos.gob.ec/>
- Ardila, J. A. (2011). *Simulador Funcional de Tanques de Almacenamiento para procedimientos de Fiscalización. Escuela de Producción. Coinspetrol LTDA. Obtenido de Escuela de Produccion*. Obtenido de https://issuu.com/jonathanbarrios/docs/proyecto_correguido__simulador_func
- Arteaga, L. (2013). Planeación de procesos de embutido de chapas mediante herramientas numéricas. *Revista Centro Azúcar*.
- Beltran, L. H. (2006). Diseño y Construcción de un sistema para aforar tanques de almacenamiento de cerveza terminada. Bogota D.C.

- Boljanovic, V. (2004). *Sheet Metal Forming Processes and Die Desing*. New York: Industrial Press.
- Centro Español de Metrología. (2011). *Gobierno de España*. Obtenido de http://www.cem.es/cem/metrologia/glosario_de_terminos?page=14
- Consulting, B. (2016). *Calibración de Tanques*.
- Dan Jones, P. (2011). Calculating Tank Wetted Area. (pág. 17). <https://www.chemicalprocessing.com/assets/Uploads/calculating-tank-wetted-area.pdf>.
- Espinosa Delgado, G., Hernández Apaceiro, M., Franco Fernández, C. J., & Peon. (2007). *Instalación volumétrica para la calibración de metros contadores patrones del servicio de metrología*. La Habana.
- EWP. (2008). *Introduction to Spherical & Cylindrical Pressure Vessels*. Obtenido de <http://www.wermac.org/equipment/pressurevessel.html>
- EWP. (2008). *Introduction to Storage Tanks*. Obtenido de http://www.wermac.org/equipment/storage_tanks_vessels_general.html
- Facultad de Ingeniería UBA. (1821). *Técnicas Energéticas - 67.56*. Obtenido de http://materias.fi.uba.ar/6756/Tanques_de_almacenamiento_de_hidrocarburos_1C_07.pdf
- Gutierrez, J. (2010). Introducción al estudio del método de elementos finitos en los procesos de embutido de chapas. Universidad Central de las Villas, Cuba.
- Ibero. (s.f.). *Taller de Diseño Industrial*. Obtenido de http://www.dis.uia.mx/taller_industrial/blog/?grid_products=flexometro
- ISO 7507-3. (2006). Optical-triangulation method. *Pétrole et produits pétroliers liquides — Jaugeage des réservoirs*.
- Jones, D. (2017). Calculating Tank Wetted Area.
- Jose Nuñez, L. H. (2010). "*Desarrollar e implementar un programa computacional de ingeniería para la calibración volumétrica de tanques atmosféricos estacionarios verticales, horizontales y esféricos de almacenamiento de hidrocarburos aplicando los métodos de calibración API*". Quito.

Linos, M. J. (2010). *Tipos de Tanques de almacenamiento de Hidrocarburos*.

Ministerio del Ambiente. (2011). *Estudio de Potenciales Impactos Ambientales y Vulnerabilidad*. Quito.

Sanchez, L. C. (1995). *Construcción de Tanques Admosféricos para Almacenamiento de Hidrocarburos*.

San Luis de Potosi, Mexico.

Topoequipos S.A. (s.f.). ¿ *Que es un a estació total?* Obtenido de <http://www.topoequipos.com/dem/ques/terminologia/que-es-una-estacion-total>

Trump, M. (14 de Agosto de 1998). “Lesson Three: Uncertainty of Measurements.” .
<http://order.ph.utexas.edu/chaos/uncertainty.html>.

ANEXOS

A. EJEMPLO DE CÁLCULOS

1. Calibración de tanque vertical método de encintado

Datos del tanque

Altura de líquido durante la calibración:	$HL = (0) * Fc = 0$	ft
Temperatura ambiente de medición:	$Tm = 90.50$	°F
Temperatura del líquido de servicio:	$Tl = 78$	°F
Diámetro nominal:	$Dn = (14316) * Fx = 563.622$	in
Gradi API:	$API = 58.79$	
Espesor de pintura:	$Ep = (0.21) * Fc = 8.26 * 10^{-3}$	in
Inclinación:	$Inc = 119 * Fx = 4.685$	in
Tipo de techo:	Flotante	
Altura de platina de aforo:	$10,2$	mm

Circunferencias (pies)

Las medidas serán en metros (m) y mm y se transformarán inmediatamente a pies (ft) o pulgadas (in).

Medida de circunferencias al 20%

			$d_{80} = (45.065) * Fc =$
Anillo	1:	$a_{20} = (45.063) * Fc = 147.844$	147.851 ft
ft			$e_{80} = (45.037) * Fc =$
Anillo	2:	$b_{20} = (45.058) * Fc = 147.828$	147.759 ft
ft			$f_{80} = (44.964) * Fc = 147.52$
Anillo	3:	$c_{20} = (45.049) * Fc = 147.799$	ft
ft			$g_{80} = (45.017) * Fc =$
Anillo	4:	$d_{20} = (45.050) * Fc = 147.802$	147.694 ft
ft			
Anillo	5:	$e_{20} = (45.068) * Fc = 147.861$	
ft			
Anillo	6:	$f_{20} = (44.996) * Fc = 147.625$	
ft			
Anillo	7:	$g_{20} = (44.994) * Fc = 147.618$	
ft			

Medida de circunferencias al 80%

	$a_{80} = (45.066) * Fc =$
147.854	ft
	$b_{80} = (45.052) * Fc =$
147.808	ft
	$c_{80} = (45.050) * Fc =$
147.802	ft

Promedio de circunferencias al 20 y 80 %

Anillo 1: $a_1 = \frac{a_{20} + a_{80}}{2} = 147.8494 \text{ ft}$

Anillo 2: $b_1 = \frac{b_{20} + b_{80}}{2} = 147.8182 \text{ ft}$

Anillo 3: $c_1 = \frac{c_{20} + c_{80}}{2} = 147.8002 \text{ ft}$

Anillo 4: $d_1 = \frac{d_{20} + d_{80}}{2} = 147.8264 \text{ ft}$

Anillo 5: $e_1 = \frac{e_{20} + e_{80}}{2} = 147.81004 \text{ ft}$

Anillo 6: $f_1 = \frac{f_{20} + f_{80}}{2} = 147.5721 \text{ ft}$

Anillo 7: $g_1 = \frac{g_{20} + g_{80}}{2} = 147.6558 \text{ ft}$

Espesores (Pulgadas “in”)

Espesor al 20%

Anillo 1: $ea_{20} = (12.355) * F$ in

Anillo 2: $eb_{20} = (9.65) * Fx$ in

Anillo 3: $ec_{20} = (8.04) * Fx$ in

Anillo 4: $ed_{20} = (6.66) * Fx$ in

Espesor al 80%

$ea_{80} = (12.365) * Fx$ in

$eb_{80} = (9.66) * Fx$ in

$ec_{80} = (8.045) * Fx$ in

$ed_{80} = (6.68) * Fx$ in

Promedio

$$\text{Anillo 1: } t_1 = \frac{ea_{20} + ea_{80}}{2} = 0.4866 \quad \text{in}$$

$$\text{Anillo 2: } t_2 = \frac{eb_{20} + eb_{80}}{2} = 0.3801 \quad \text{in}$$

$$\text{Anillo 3: } t_3 = \frac{ec_{20} + ec_{80}}{2} = 0.3166 \quad \text{in}$$

$$\text{Anillo 4: } t_4 = \frac{ed_{20} + ed_{80}}{2} = 0.2626 \quad \text{in}$$

Los demás anillos se calculan de la misma manera

Altura de los anillos (Pulgadas “in”)

Las alturas se introducen en mm

$$\text{Anillo 1: } h_1 = (1512) * F_x = 59.528 \text{ in}$$

$$\text{Anillo 2: } h_2 = (1854) * F_x = 79.992 \text{ in}$$

$$\text{Anillo 3: } h_3 = (1820) * F_x = 71.654 \text{ in}$$

$$\text{Anillo 4: } h_4 = (1817) * F_x = 71.535 \text{ in}$$

Los demás anillos se calcularán de la misma manera

Soldadura (Pulgadas “in”)

- Numero de soldaduras por anillo:

$$N_1 = N_2 = N_3 = N_4 = N_5 = N_6 = N_7 = N_8 = 8$$

Ancho:

$$\text{Anillo 1: } Ws1 = (14.30) * Fx = 0.56 \text{ in}$$

$$\text{Anillo 2: } Ws2 = (12.93) * Fx = 0.50 \text{ in}$$

$$\text{Anillo 3: } Ws3 = (12.05) * Fx = 0.47 \text{ in}$$

$$\text{Anillo 4: } Ws4 = (12.16) * Fx = 0.479 \text{ in}$$

Espesor

$$Es1 = (1.31) * Fx = 0.052 \text{ in}$$

$$Es2 = (1.58) * Fx = 0.062 \text{ in}$$

$$Es3 = (1.44) * Fx = 0.057 \text{ in}$$

$$Es4 = (1.52) * Fx = 0.060 \text{ in}$$

Los demás anillos se calcular de la misma forma

CÁLCULOS:

1. Calibración de la cinta de trabajo con la cinta máster

La cinta master a 10lb de tensión-100.0026ft por 100 ft medidos

aux1 = 100.0026 ft Cinta de trabajo por norma

aux2 = 100 ft Cinta patrón

$C_{master} = \frac{a_{80} * aux1}{aux2} = 147.8582$ ft Corrección de cinta maestra medida a Tc

2. Corrección de cintad e medición a 60°F

Ts = 60 °F Temperatura de referencia estándar

Tamb = 90.5 °F Temperatura ambiente de calibración

Co = 0.00000645 Coeficiente de expansión

$f_{60} = 1 + (Ts - Tamb) * Co$ Factor de corrección

$f_{60} = 0.9998033$

$C_{cinta.master60} = C_{master} * f_{60}$ Corrección de la cinta maestra

$C_{cinta.master60} = 147.829$ ft

$C_{total} = a_{80} - C_{cinta.master60}$ Corrección a la circunferencia de cinta de trabajo

$C_{total} = 0.025243$ ft

3. Deducción del aumento de la cinta

En este caso las juntas soldadas son a tope por lo tanto seguimos el siguiente procedimiento.

$$\text{Anillos 1: } C_{\text{aum.c1}} = \frac{\left[\frac{2 \cdot N1 \cdot Es1 \cdot Ws1}{Dn} + \frac{(8 \cdot N1 \cdot Es1)}{3} \cdot \sqrt{\frac{Es1}{Dn}} \right]}{12} = 9.4577^{-4} \quad \text{ft}$$

$$\text{Anillos 2: } C_{\text{aum.c2}} = \frac{\left[\frac{2 \cdot N2 \cdot Es2 \cdot Ws2}{Dn} + \frac{(8 \cdot N2 \cdot Es2)}{3} \cdot \sqrt{\frac{Es2}{Dn}} \right]}{12} = 1.2367^{-3} \quad \text{ft}$$

$$\text{Anillos 3: } C_{\text{aum.c3}} = \frac{\left[\frac{2 \cdot N3 \cdot Es3 \cdot Ws3}{Dn} + \frac{(8 \cdot N3 \cdot Es3)}{3} \cdot \sqrt{\frac{Es3}{Dn}} \right]}{12} = 1.0745^{-3} \quad \text{ft}$$

$$\text{Anillos 4: } C_{\text{aum.c4}} = \frac{\left[\frac{2 \cdot N4 \cdot Es4 \cdot Ws4}{Dn} + \frac{(8 \cdot N4 \cdot Es4)}{3} \cdot \sqrt{\frac{Es4}{Dn}} \right]}{12} = 1.1640^{-3} \quad \text{ft}$$

Los demás anillos se calcularán de la misma manera

4. Corrección de las medidas de la circunferencia para tanques vacíos

$$Ge = \frac{141.5}{API+131.5} = 0.7436 \quad \text{Gravedad específica}$$

$$k = \frac{Wa}{24 * \pi * E} = 2.8492 * 10^{-8}$$

$$Wa = 62.3 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^3} \quad \text{Peso de un pie cubico de agua fresca a } 60^{\circ}\text{F}$$

$$E = 29000000 \text{ psi} \quad \text{Módulo de elasticidad del acero}$$

La corrección será cero para todos los anillos dado que no hay liquido durante la calibración

Anillo 1:

$$C_{T_{va1a}} = \frac{Ge * \left[HL - \left(\frac{h1 * 0.20}{12} \right) \right] * (a_{20} - C_{total})^2}{t1} = 0$$

$$C_{T_{va2a}} = \frac{Ge * \left[HL - \left(\frac{h1 * 0.80}{12} \right) \right] * (a_{80} - C_{total})^2}{t1} = 0$$

$$P_{C_{t1}} = \frac{C_{T_{va1a}} + C_{T_{va2a}}}{2} = 0$$

Anillo 2:

$$C_{T_{va1b}} = \frac{Ge * \left[HL - \left(\frac{h1 + h2 * 0.20}{12} \right) \right] * (b_{20} - C_{total})^2}{t2} = 0$$

$$C_{T_{va2b}} = \frac{Ge * \left[HL - \left(\frac{h1 + h2 * 0.80}{12} \right) \right] * (b_{80} - C_{total})^2}{t2} = 0$$

$$P_{C_{t2}} = \frac{C_{T_{va1b}} + C_{T_{va2b}}}{2} = 0$$

Anillo 3:

$$C_{T_{va1c}} = \frac{Ge * \left[HL - \left(\frac{h1 + h2 + h3 * 0.20}{12} \right) \right] * (c_{20} - C_{total})^2}{t3} = 0$$

$$C_{T_{va2c}} = \frac{Ge * \left[HL - \left(\frac{h1 + h2 + h3 * 0.80}{12} \right) \right] * (c_{80} - C_{total})^2}{t3} = 0$$

$$P_{C_{t3}} = \frac{C_{T_{va1c}} + C_{T_{va2c}}}{2} = 0$$

Anillo 4:

$$C_{T_{va1d}} = \frac{Ge * \left[HL - \left(\frac{h1 + h2 + h3 + h4 * 0.20}{12} \right) \right] * (d_{20} - C_{total})^2}{t4} = 0$$

$$C_{T_{va2d}} = \frac{Ge * \left[HL - \left(\frac{h1 + h2 + h3 + h4 * 0.80}{12} \right) \right] * (d_{80} - C_{total})^2}{t4} = 0$$

$$P_{C_{t4}} = \frac{C_{T_{va1d}} + C_{T_{va2d}}}{2} = 0$$

Los demás anillos se calcularán de la misma manera

5. Corrección de la circunferencia de exterior hacia interior

$$\text{Anillo 1: } C_{exin1} = \frac{\pi * t1}{6} = 0.2548 \text{ ft}$$

$$\text{Anillo 2: } C_{exin2} = \frac{\pi * t2}{6} = 0.1990 \text{ ft}$$

$$\text{Anillo 3: } C_{exin3} = \frac{\pi * t3}{6} = 0.1658 \text{ ft}$$

$$\text{Anillo 4: } C_{exin4} = \frac{\pi * t4}{6} = 0.1375 \text{ ft}$$

Los demás anillos se calcularán de la misma manera

6. Resultado de correcciones de las circunferencias internas

Anillo 1:

$$20\% \quad R_{Corr1a} = a_{20} - C_{total} - C_{aum.c1} - C_{T_{va1a}} - C_{exin1} = 147.5635$$

$$80\% \quad R_{Corr1b} = a_{80} - C_{total} - C_{aum.c1} - C_{T_{va2a}} - C_{exin1} = 147.5635$$

$$PR_{Corr1} = a1 - C_{total} - C_{aum.c1} - P_{C_{t1}} - C_{exin1} = 147.5684$$

Anillo 2:

$$20\% \quad R_{Corr2a} = b_{20} - C_{total} - C_{aum.c2} - C_{T_{va1b}} - C_{exin2} = 147.6026$$

$$80\% \quad R_{Corr2b} = b_{80} - C_{total} - C_{aum.c2} - C_{T_{va2b}} - C_{exin2} = 147.5828$$

$$PR_{Corr2} = b1 - C_{total} - C_{aum.c2} - P_{Ct2} - C_{exin2} = 147.5927$$

Anillo 3:

$$20\% R_{Corr3a} = c_{20} - C_{total} - C_{aum.c3} - C_{Tva1c} - C_{exin3} = 147.60645$$

$$80\% R_{Corr3b} = c_{80} - C_{total} - C_{aum.c3} - C_{Tva2c} - C_{exin3} = 147.60645$$

$$PR_{Corr3} = c1 - C_{total} - C_{aum.c3} - P_{Ct3} - C_{exin3} = 147.60809$$

Anillo 4:

$$20\% R_{Corr4a} = d_{20} - C_{total} - C_{aum.c4} - C_{Tva1d} - C_{exin4} = 147.63793$$

$$80\% R_{Corr4b} = d_{80} - C_{total} - C_{aum.c4} - C_{Tva2d} - C_{exin4} = 147.68714$$

$$PR_{Corr4} = d1 - C_{total} - C_{aum.c4} - P_{Ct4} - C_{exin4} = 147.66254$$

Los demás anillos se calcularán de la misma manera

7. Corrección al máximo esfuerzo de la circunferencia por cada anillo.

Anillo 1:

$$20\% C_{max_e1a} = k \frac{Ge*(h-h1*0.20)*(RCorr1a)^2}{t1*12} = 3.762 * 10^{-3} \text{ ft}$$

$$80\% C_{max_e1b} = k \frac{Ge*(h-h1*0.80)*(RCorr1b)^2}{t1*12} = 9.407 * 10^{-4} \text{ ft}$$

Anillo 2:

$$20\% C_{max_e2a} = k \frac{Ge*(h2-h2*0.20)*(RCorr2a)^2}{t2*12} = 5.909 * 10^{-3} \text{ ft}$$

$$80\% C_{max_e2b} = k \frac{Ge*(h2-h2*0.80)*(RCorr2b)^2}{t2*12} = 1.477 * 10^{-3} \text{ ft}$$

Anillo 3:

$$20\% C_{max_e3a} = k \frac{Ge*(h3-h3*0.20)*(RCorr3a)^2}{t3*12} = 6.964 * 10^{-3} \text{ ft}$$

$$80\% C_{max_e3b} = k \frac{Ge*(h3-h3*0.80)*(RCorr3b)^2}{t3*12} = 1.741 * 10^{-3} \text{ ft}$$

Anillo 4:

$$20\% C_{\max_e4a} = k \frac{Ge*(h4-h4*0.20)*(RCorr4a)^2}{t4*12} = 8.387 * 10^{-3} \quad \text{ft}$$

$$80\% C_{\max_e4b} = k \frac{Ge*(h4-h4*0.80)*(RCorr4b)^2}{t4*12} = 2.098 * 10^{-3} \quad \text{ft}$$

Los demás anillos se calcularán de la misma manera

8. Circunferencia interna al máximo esfuerzo

Anillo 1:

$$20\% RCme_{1a} = R_{corr1a} + C_{\max_e1a} = 147.56727 \quad \text{ft}$$

$$80\% RCme_{1b} = R_{corr1b} + C_{\max_e1b} = 147.57429 \quad \text{ft}$$

$$\text{Prom: } PR_{me1} = \frac{RCme_{1a} + RCme_{1b}}{2} = 147.57078 \quad \text{ft}$$

Anillo 2:

$$20\% RCme_{2a} = R_{corr2a} + C_{\max_e2a} = 147.60848 \quad \text{ft}$$

$$80\% RCme_{2b} = R_{corr2b} + C_{\max_e2b} = 147.58436 \quad \text{ft}$$

$$\text{Prom: } PR_{me2} = \frac{RCme_{2a} + RCme_{2b}}{2} = 147.59642 \quad \text{ft}$$

Anillo 3:

$$20\% RCme_{3a} = R_{corr3a} + C_{\max_e3a} = 147.61341 \quad \text{ft}$$

$$80\% RCme_{3b} = R_{corr3b} + C_{\max_e3b} = 147.60819 \quad \text{ft}$$

$$\text{Prom: } PR_{me3} = \frac{RCme_{3a} + RCme_{3b}}{2} = 147.61080 \quad \text{ft}$$

Los demás anillos se calcularán de la misma manera

9. Cálculo de incremento de volumen

$$\text{FCO} = 9702 \frac{\text{in}^3}{\text{bbl}} \text{Factor de conversión}$$

r1= Radio de cada anillo

v1= Incremento de volumen

Anillo 1:

$$r1 = \frac{\text{PR}_{\text{me1}}}{2\pi} * 12 = 281.83943 \quad \text{in}$$

$$v1 = \frac{\pi * r1^2}{\text{FCO}} = 25.72125 \quad \frac{\text{bbl}}{\text{in}}$$

Anillo 2:

$$r2 = \frac{\text{PR}_{\text{me2}}}{2\pi} * 12 = 281.88840 \quad \text{in}$$

$$v2 = \frac{\pi * r2^2}{\text{FCO}} = 25.73019 \quad \frac{\text{bbl}}{\text{in}}$$

Anillo 3:

$$r3 = \frac{\text{PR}_{\text{me3}}}{2\pi} * 12 = 281.91586 \quad \text{in}$$

$$v3 = \frac{\pi * r3^2}{\text{FCO}} = 25.73520 \quad \frac{\text{bbl}}{\text{in}}$$

Anillo 4:

$$r4 = \frac{\text{PR}_{\text{me4}}}{2\pi} * 12 = 283.02469 \quad \text{in}$$

$$v4 = \frac{\pi * r4^2}{\text{FCO}} = 25.75507 \quad \frac{\text{bbl}}{\text{in}}$$

Los demás anillos se calcularán de la misma manera

Promedio de diámetro interno

$$d = \frac{2 * (r1 + r2 + r3 + r4 + r5 + r6 + r7)}{7 * 12} = 46.97421 \quad \text{ft}$$

10. Incremental de volumen por anillo y por cada longitud de líquido sobre cada anillo

$$K_T = \frac{\pi * Wa * Ge * d^3}{4 * E} = 0.13004$$

Anillo 1:	$\Delta v1 = \frac{K_T}{FCO} * \frac{h1}{t1} = 1.639725 * 10^{-3}$	$\frac{\text{bbl}}{\text{in}}$
Anillo 2:	$\Delta v2 = \frac{K_T}{FCO} * \frac{h2}{t2} = 2.573920 * 10^{-3}$	$\frac{\text{bbl}}{\text{in}}$
Anillo 3:	$\Delta v3 = \frac{K_T}{FCO} * \frac{h3}{t3} = 3.033318 * 10^{-3}$	$\frac{\text{bbl}}{\text{in}}$
Anillo 4:	$\Delta v4 = \frac{K_T}{FCO} * \frac{h4}{t4} = 3.651461 * 10^{-3}$	$\frac{\text{bbl}}{\text{in}}$
Anillo 5:	$\Delta v5 = \frac{K_T}{FCO} * \frac{h5}{t5} = 3.677535 * 10^{-3}$	$\frac{\text{bbl}}{\text{in}}$
Anillo 6:	$\Delta v6 = \frac{K_T}{FCO} * \frac{h6}{t6} = 3.721108 * 10^{-3}$	$\frac{\text{bbl}}{\text{in}}$
Anillo 7:	$\Delta v7 = \frac{K_T}{FCO} * \frac{h7}{t7} = 3.769344 * 10^{-3}$	$\frac{\text{bbl}}{\text{in}}$

Corrección

Anillo 1:	$\Delta v1 = 0$	$\frac{\text{bbl}}{\text{in}}$
Anillo 2:	$\Delta v2 = \Delta v1 = 1.639725 * 10^{-3}$	$\frac{\text{bbl}}{\text{in}}$
Anillo 3:	$\Delta v3 = \Delta v1 + \Delta v2 = 4.213645 * 10^{-3}$	$\frac{\text{bbl}}{\text{in}}$
Anillo 4:	$\Delta v4 = \Delta v1 + \Delta v2 + \Delta v3 = 7.246963 * 10^{-3}$	$\frac{\text{bbl}}{\text{in}}$

$$\begin{aligned} \text{Anillo 5: } \Delta v_5 &= \Delta v_1 + \Delta v_2 + \Delta v_3 + \Delta v_4 = 0.010898 && \frac{\text{bbl}}{\text{in}} \\ \text{Anillo 6: } \Delta v_6 &= \Delta v_1 + \Delta v_2 + \Delta v_3 + \Delta v_4 + \Delta v_5 = 0.014576 && \frac{\text{bbl}}{\text{in}} \\ \text{Anillo 7: } \Delta v_7 &= \Delta v_1 + \Delta v_2 + \Delta v_3 + \Delta v_4 + \Delta v_5 + \Delta v_6 = 0.018297 && \frac{\text{bbl}}{\text{in}} \end{aligned}$$

11. Adición de correcciones

$$\begin{aligned} \text{Anillo 1: } V_{\text{incre1}} &= v_1 + \Delta v_1 = 25.721253 && \frac{\text{bbl}}{\text{in}} \\ \text{Anillo 2: } V_{\text{incre2}} &= v_2 + \Delta v_2 = 25.731832 && \frac{\text{bbl}}{\text{in}} \\ \text{Anillo 3: } V_{\text{incre3}} &= v_3 + \Delta v_3 = 25.739419 && \frac{\text{bbl}}{\text{in}} \\ \text{Anillo 4: } V_{\text{incre4}} &= v_4 + \Delta v_4 = 25.762325 && \frac{\text{bbl}}{\text{in}} \\ \text{Anillo 5: } V_{\text{incre5}} &= v_5 + \Delta v_5 = 25.760624 && \frac{\text{bbl}}{\text{in}} \\ \text{Anillo 6: } V_{\text{incre6}} &= v_6 + \Delta v_6 = 25.681474 && \frac{\text{bbl}}{\text{in}} \\ \text{Anillo 7: } V_{\text{incre7}} &= v_7 + \Delta v_7 = 25.716223 && \frac{\text{bbl}}{\text{in}} \end{aligned}$$

12. Expansión y contracción del tanque por la temperatura

- Temperatura del tanque

$$T_s = \frac{(7 * T_l) + T_m}{8} = 79.563 \text{ } ^\circ\text{F}$$

- Constante

$$K_t = 1 + 12.4 * 10^{-6} * (T_s - 60) + 4 * 10^{-9} * (T_s - 60)^2$$

$$K_t = 1.000244$$

13. Corrección del volumen debido a la temperatura

$$\text{Anillo 1: } V_{1c} = Kt * V_{\text{incre1}} = 25.727531 \quad \frac{\text{bbl}}{\text{in}}$$

$$\text{Anillo 2: } V_{2c} = Kt * V_{\text{incre2}} = 25.738114 \quad \frac{\text{bbl}}{\text{in}}$$

$$\text{Anillo 3: } V_{3c} = Kt * V_{\text{incre3}} = 25.745702 \quad \frac{\text{bbl}}{\text{in}}$$

$$\text{Anillo 4: } V_{4c} = Kt * V_{\text{incre4}} = 25.768614 \quad \frac{\text{bbl}}{\text{in}}$$

$$\text{Anillo 5: } V_{5c} = Kt * V_{\text{incre5}} = 25.766913 \quad \frac{\text{bbl}}{\text{in}}$$

$$\text{Anillo 6: } V_{6c} = Kt * V_{\text{incre6}} = 25.687743 \quad \frac{\text{bbl}}{\text{in}}$$

$$\text{Anillo 7: } V_{7c} = Kt * V_{\text{incre7}} = 25.722501 \quad \frac{\text{bbl}}{\text{in}}$$

Incremento bbl/in	Incremento bbl/cm
25,727531	10,12895
25,738114	10,13312
25,745702	10,1361
25,768614	10,14512
25,766913	10,14445
25,687743	10,11328
25,722501	10,12697

14. Corrección por Inclinación

Es importante realizar la corrección por la inclinación del tanque para ello se realiza lo siguiente:

- Se cálculo de la relación m

$$m = \frac{\text{Inclinación}}{\text{Altura de tanque}} = 0.009559$$

- Cálculo del porcentaje de corrección

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

$$\%C_{VOL} = 0,00456862$$

- El porcentaje de volumen se multiplica por el incremental acumulado y se suma el incremental acumulado.

15. Cálculo de accesorios

Los accesorios se detallarán por parte de la empresa y se tendrá las respectivas alturas de “desde y hasta”, además se tendrá el volumen de cada accesorio, los accesorios son todos los elementos que forman parte del tanque de almacenamiento que puedan aumentar o disminuir el volumen del tanque.

Accesorios presentes en el Tanque

El usuario deberá ingresar las alturas del “desde y “hasta” así como también, el volumen de cada accesorio.

Desde: se refiere a la altura donde inicia el accesorio.

Hasta: se refiere a la altura donde finaliza el accesorio.

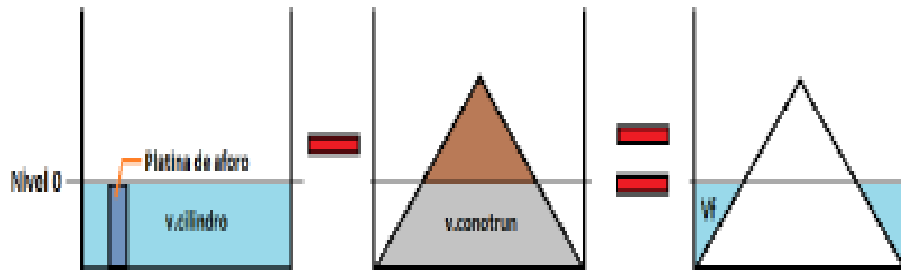
Accesorios	Desde cm	Hasta cm	Altura cm	Volumen bb	Incremento bbl/cm
TUBERÍA BRIDADA	16,9898	27,1898	10,2	0,020397368	0,001999742
TUBERÍA	28,9898	34,1898	5,2	0,022947039	0,004412892
TUBERÍA	20,1898	40,4898	20,3	0,041202683	0,002029689
TUBERÍA	25,9898	31,0898	5,1	0,002422187	0,000474939
MANHOLE 1	43,9898	106,9898	63	0,294102743	0,004668298
MANHOLE 2	-0,0102	60,9898	61	0,52232595	0,00856272
MANHOLE 3	43,9898	106,9898	63	0,490171239	0,007780496
SOPORTES TECHO	-0,0102	210,3898	210,4	0,05480828	0,000260496
TUBERÍA SUMIDERO	12,2898	23,9898	11,7	0,014023513	0,001198591
FLOTADORES	184,9898	195,9898	11	11,1007893	1,009162664
TUBERÍA AFORO	6,4898	1244,8898	1238,4	0,690908824	0,000557904
TUBERÍA TOMA MUESTRAS	14,9898	1244,8898	1229,9	0,467671699	0,000380252
TUBERÍA SENSOR	10,4898	1244,8898	1234,4	0,117313415	9,50368E-05
SUMIDERO	-0,0102	0	0,0102	0,531780837	52,13537615
FONDO CÓNICO	0,9898	11,2898	10,3	15,40485236	1,495616734
FONDO CÓNICO y SUMIDERO	-0,0102	0,9898	1	2,840599476	2,840599476

Altura: *Hasta – Desde*

16. Cálculo de fondo de tanque

Es un fondo cónico hacia arriba

- Como la altura del cono es más alta que la altura de la platina de aforo se aplica la siguiente ecuación:



$$V_{Fondo_{cono.truncado}} = \frac{R_i^2 * \pi}{H_{cono}^2 * 158987,294938922} \left[(H_{PLA} * H_{cono}^2) - (H_{cono} * H_{PLA}^2) + \left(\frac{H_{PLA}^3}{3} \right) \right]$$

$$V_{Fondo_{cilindro}} = \frac{R_i^2 * \pi * H_{PLA}}{158987,294938922}$$

$$V_{Fondo} = V_{Fondo_{cilindro}} - V_{Fondo_{cono.truncado}}$$

$$V_{Fondo} = 10,3279889025674$$

V_{Fondo} = Volumen del fondo del tanque (bbl)

$V_{Fondo_{cono.truncado}}$ = Volumen del cono truncado (bbl)

$V_{Fondo_{cilindro}}$ = Volumen del cilindro medido hasta la platina de aforo (bbl)

17. Cálculo de volumen muerto referente al techo

El presente ejemplo es un techo flotante

- Volumen desplazado.

$$V_{des} = \frac{wt}{\rho * 42}$$

$$V_{des} = \frac{7400}{6,4666 * 42} = 27,24623082$$

Donde:

V_{des} = Volumen que se ha desplazado el techo (bbl)

Wt = peso del techo (libras) 7400 libras

ρ = densidad del fluido (lb/gal)

- Ahora se calcula el decremento

$$V_{dec} = \frac{-V_{des}}{Acr_{sup} - Acr_{in}} * Incre$$

$$V_{dec} = \frac{27,24623082}{78 - 72} * 1 = 2,58$$

18. Volumen muerto

Volumen que se obtiene sumando los accesorios más el fondo, el techo y se suma el volumen calculado muerto anterior.

19. Volumen total

Se calcula sumando el volumen corregido por inclinación y el volumen muerto

20. Volumen total con volumen de corte

Volumen se obtiene al restar las irregularidades del fondo y tener en cuenta que es el volumen desde la platina de aforo.

La tabla de aforo generada será la siguiente:

Tabla de generación de volumen

ALTIMETRIA	ALTURA plg	Incremento bbl/in	l, acumulado bbl	INCLINACIÓN bbl	VOLUMENES MUERTOS (BBL)				VOLUMEN TOTAL (sin vol, corte) bbl	VOLUMEN TOTAL (sin vol, corte) bbl
					ACCESORIOS bbl	FONDO bbl	TECHO bbl	V, MUERTO bbl		
	0	0	0	0	-0,022475979	10,32799	0	10,3055129	10,30551292	2,841
	1	25,72745428	25,7274543	25,72862967	-3,891804532		0	6,41370839	32,14233807	24,67782514
	2	25,72745428	51,4549086	51,45725935	-3,891804532		0	2,52190386	53,97916321	46,51465028
	3	25,72745428	77,1823629	77,18588902	-3,893222912		0	-1,37131905	75,81456997	68,35005705
	4	25,72745428	102,909817	102,9145187	0,019328718		0	-1,35199033	101,5625284	94,09801544
	5	25,72745428	128,637271	128,6431484	0,019389141		0	-1,33260119	127,3105472	119,8460343
	6	25,72745428	154,364726	154,371778	0,016726454		0	-1,31587474	153,0559033	145,5913904
	7	25,72745428	180,09218	180,1004077	0,015765289		0	-1,30010945	178,8002983	171,3357853
	8	25,72745428	205,819634	205,8290374	0,020558125		0	-1,27955132	204,5494861	197,0849731
	9	25,72745428	231,547089	231,5576671	0,030410066		0	-1,24914126	230,3085258	222,8440129
	10	25,72745428	257,274543	257,2862967	0,033072752		0	-1,21606851	256,0702282	248,6057153
	11	25,72745428	283,001997	283,0149264	0,029526054		0	-1,18654245	281,828384	274,363871
	12	25,72745428	308,729451	308,7435561	0,028279916		0	-1,15826254	307,5852935	300,1207806
	13	25,72745428	334,456906	334,4721858	0,024019618		0	-1,13424292	333,3379428	325,8734299
	14	25,72745428	360,18436	360,2008154	0,024019618		0	-1,1102233	359,0905921	351,6260792
	15	25,72745428	385,911814	385,9294451	0,024019618		0	-1,08620368	384,8432414	377,3787285
	16	25,72745428	411,639269	411,6580748	0,018427976		0	-1,06777571	410,5902991	403,1257862
	17	25,72745428	437,366723	437,3867045	0,018427976		0	-1,04934773	436,3373567	428,8728438
	18	25,72745428	463,094177	463,1153341	0,050126626		0	-0,9992211	462,116113	454,6516001
	19	25,72745428	488,821631	488,8439638	0,050126626		0	-0,94909448	487,8948693	480,4303564
	20	25,72745428	514,549086	514,5725935	0,050126626		0	-0,89896785	513,6736256	506,2091127
	21	25,72745428	540,27654	540,3012231	0,050126626		0	-0,84884123	539,4523819	531,987869
	22	25,72745428	566,003994	566,0298528	0,050126626		0	-0,7987146	565,2311382	557,7666253
	23	25,72745428	591,731449	591,7584825	0,050126626		0	-0,74858798	591,0098945	583,5453816
	24	25,72745428	617,458903	617,4871122	0,028388627		0	-0,72019935	616,7669128	609,3023999
	25	25,72745428	643,186357	643,2157418	0,028388627		0	-0,69181072	642,5239311	635,0594182
	26	25,72745428	668,913811	668,9443715	0,028388627		0	-0,6634221	668,2809494	660,8164365
	27	25,72745428	694,641266	694,6730012	0,028388627		0	-0,63503347	694,0379677	686,5734548
	28	25,72745428	720,36872	720,4016309	0,028388627		0	-0,60664484	719,794986	712,3304731
	29	25,72745428	746,096174	746,1302605	0,028388627		0	-0,57825621	745,5520043	738,0874914
	30	25,72745428	771,823629	771,8588902	0,028388627		0	-0,54986759	771,3090226	763,8445097
	31	25,72745428	797,551083	797,5875199	0,028388627		0	-0,52147896	797,0660409	789,601528
	32	25,72745428	823,278537	823,3161496	0,028388627		0	-0,49309033	822,8230592	815,3585463
	33	25,72745428	849,005991	849,0447792	0,028388627		0	-0,46470171	848,5800775	841,1155646
	34	25,72745428	874,733446	874,7734089	0,028388627		0	-0,43631308	874,3370958	866,8725829
	35	25,72745428	900,4609	900,5020386	0,028388627		0	-0,40792445	900,0941141	892,6296012

60	25,73819669	1543,658	1543,728523	-0,003310022		0	-0,30048312	1543,42804	1535,963527
61	25,73819669	1569,3962	1569,467896	-0,003310022		0	-0,30379314	1569,164103	1561,69959
62	25,73819669	1595,13439	1595,207268	-0,003310022		0	-0,30710316	1594,900165	1587,435652
63	25,73819669	1620,87259	1620,946641	-0,003310022		0	-0,31041318	1620,636228	1613,171715
64	25,73819669	1646,61079	1646,686014	-0,003310022		0	-0,31372321	1646,37229	1638,907777
65	25,73819669	1672,34898	1672,425386	-0,003310022		0	-0,31703323	1672,108353	1664,64384
66	25,73819669	1698,08718	1698,164759	-0,003310022		0	-0,32034325	1697,844415	1690,379903
67	25,73819669	1723,82538	1723,904131	-0,003310022		0	-0,32365327	1723,580478	1716,115965
68	25,73819669	1749,56357	1749,643504	-0,003310022		0	-0,3269633	1749,316541	1741,852028
69	25,73819669	1775,30177	1775,382876	-0,003310022		0	-0,33027332	1775,052603	1767,58809
70	25,73819669	1801,03997	1801,122249	-0,003310022		0	-0,33358334	1800,788666	1793,324153
71	25,73819669	1826,77816	1826,861622	-0,003310022		0	-0,33689336	1826,524728	1819,060215
72	25,73819669	1852,51636	1852,600994	-2,566750992		0	-2,90364435	1849,69735	1842,232837
73	25,73819669	1878,25456	1878,340367	-2,566750992		-6,32	-11,7903953	1866,549971	1859,085458
74	25,73819669	1903,99275	1904,079739	-2,566750992		-6,32	-20,6771463	1883,402593	1875,93808
75	25,73819669	1929,73095	1929,819112	-2,566750992		-6,32	-29,5638973	1900,255215	1892,790702
76	25,73819669	1955,46915	1955,558484	-2,566750992		-6,32	-38,4506483	1917,107836	1909,643323
77	25,73819669	1981,20734	1981,297857	-0,003310022		-6,32	-44,7739583	1936,523899	1929,059386
78	25,73819669	2006,94554	2007,03723	-0,003310022		0	-44,7772684	1962,259961	1954,795448
79	25,73819669	2032,68374	2032,776602	-0,003310022		0	-44,7805784	1987,996024	1980,531511
80	25,73819669	2058,42193	2058,515975	-0,003310022		0	-44,7838884	2013,732086	2006,267573
81	25,73819669	2084,16013	2084,255347	-0,003310022		0	-44,7871984	2039,468149	2032,003636
82	25,73819669	2109,89833	2109,99472	-0,003310022		0	-44,7905085	2065,204211	2057,739698
83	25,73819669	2135,63652	2135,734092	-0,002625332		0	-44,7931338	2090,940959	2083,476446
84	25,73819669	2161,37472	2161,473465	-0,002625332		0	-44,7957591	2116,677706	2109,213193
85	25,73819669	2187,11292	2187,212838	-0,002625332		0	-44,7983845	2142,414453	2134,94994
86	25,73819669	2212,85111	2212,95221	-0,002625332		0	-44,8010098	2168,1512	2160,686687
87	25,73819669	2238,58931	2238,691583	-0,002625332		0	-44,8036351	2193,887948	2186,423435
88	25,73819669	2264,32751	2264,430955	-0,002625332		0	-44,8062604	2219,624695	2212,160182
89	25,73819669	2290,0657	2290,170328	-0,002625332		0	-44,8088858	2245,361442	2237,896929
90	25,73819669	2315,8039	2315,9097	-0,002625332		0	-44,8115111	2271,098189	2263,633676
91	25,73819669	2341,5421	2341,649073	-0,002625332		0	-44,8141364	2296,834937	2289,370424
92	25,73819669	2367,28029	2367,388446	-0,002625332		0	-44,8167618	2322,571684	2315,107171
93	25,73819669	2393,01849	2393,127818	-0,002625332		0	-44,8193871	2348,308431	2340,843918
94	25,73819669	2418,75669	2418,867191	-0,002625332		0	-44,8220124	2374,045178	2366,580665
95	25,73819669	2444,49488	2444,606563	-0,002625332		0	-44,8246378	2399,781925	2392,317413
96	25,73819669	2470,23308	2470,345936	-0,002625332		0	-44,8272631	2425,518673	2418,05416
97	25,73819669	2495,97128	2496,085308	-0,002625332		0	-44,8298884	2451,25542	2443,790907
98	25,73819669	2521,70947	2521,824681	-0,002625332		0	-44,8325138	2476,992167	2469,527654
99	25,73819669	2547,44767	2547,564053	-0,002625332		0	-44,8351391	2502,728914	2495,264401
100	25,73819669	2573,18587	2573,303426	-0,002625332		0	-44,8377644	2528,465662	2521,001149

420	25,722501	10810,5265	10811,05758	-0,002624309		0	-46,4348503	10764,62273	10757,11376
421	25,722501	10836,249	10836,78125	-0,002624309		0	-46,4374746	10790,34378	10782,8348
422	25,722501	10861,9715	10862,50492	-0,002624309		0	-46,4400989	10816,06482	10808,55585
423	25,722501	10887,694	10888,22858	-0,002624309		0	-46,4427232	10841,78586	10834,27689
424	25,722501	10913,4165	10913,95225	-0,002624309		0	-46,4453475	10867,5069	10859,99793
425	25,722501	10939,139	10939,67591	-0,002624309		0	-46,4479718	10893,22794	10885,71897
426	25,722501	10964,8615	10965,39958	-0,002624309		0	-46,4505961	10918,94898	10911,44001
427	25,722501	10990,584	10991,12324	-0,002624309		0	-46,4532204	10944,67002	10937,16105
428	25,722501	11016,3065	11016,84691	-0,002624309		0	-46,4558447	10970,39106	10962,88209
429	25,722501	11042,029	11042,57057	-0,002624309		0	-46,4584691	10996,11211	10988,60314
430	25,722501	11067,7515	11068,29424	-0,002624309		0	-46,4610934	11021,83315	11014,32418
431	25,722501	11093,474	11094,01791	-0,002624309		0	-46,4637177	11047,55419	11040,04522
432	25,722501	11119,1965	11119,74157	-0,002624309		0	-46,466342	11073,27523	11065,76626
433	25,722501	11144,919	11145,46524	-0,002624309		0	-46,4689663	11098,99627	11091,4873
434	25,722501	11170,6415	11171,1889	-0,002624309		0	-46,4715906	11124,71731	11117,20834
435	25,722501	11196,364	11196,91257	-0,002624309		0	-46,4742149	11150,43835	11142,92938
436	25,722501	11222,0865	11222,63623	-0,002624309		0	-46,4768392	11176,1594	11168,65042
437	25,722501	11247,809	11248,3599	-0,002624309		0	-46,4794635	11201,88044	11194,37147
438	25,722501	11273,5315	11274,08357	-0,002624309		0	-46,4820878	11227,60148	11220,09251
439	25,722501	11299,254	11299,80723	-0,002624309		0	-46,4847121	11253,32252	11245,81355
440	25,722501	11324,9765	11325,5309	-0,002624309		0	-46,4873365	11279,04356	11271,53459
441	25,722501	11350,699	11351,25456	-0,002624309		0	-46,4899608	11304,7646	11297,25563
442	25,722501	11376,4215	11376,97823	-0,002624309		0	-46,4925851	11330,48564	11322,97667
443	25,722501	11402,144	11402,70189	-0,002624309		0	-46,4952094	11356,20668	11348,69771
444	25,722501	11427,8665	11428,42556	-0,002624309		0	-46,4978337	11381,92773	11374,41876
445	25,722501	11453,589	11454,14923	-0,002624309		0	-46,500458	11407,64877	11400,1398
446	25,722501	11479,3115	11479,87289	-0,002624309		0	-46,5030823	11433,36981	11425,86084
447	25,722501	11505,034	11505,59656	-0,002624309		0	-46,5057066	11459,09085	11451,58188
448	25,722501	11530,7566	11531,32022	-0,002624309		0	-46,5083309	11484,81189	11477,30292
449	25,722501	11556,4791	11557,04389	-0,002624309		0	-46,5109552	11510,53293	11503,02396
450	25,722501	11582,2016	11582,76755	-0,002624309		0	-46,5135795	11536,25397	11528,745
451	25,722501	11607,9241	11608,49122	-0,002624309		0	-46,5162038	11561,97502	11554,46604
452	25,722501	11633,6466	11634,21488	-0,002624309		0	-46,5188282	11587,69606	11580,18709
453	25,722501	11659,3691	11659,93855	-0,002624309		0	-46,5214525	11613,4171	11605,90813
454	25,722501	11685,0916	11685,66222	-0,002624309		0	-46,5240768	11639,13814	11631,62917
455	25,722501	11710,8141	11711,38588	-0,002624309		0	-46,5267011	11664,85918	11657,35021
456	25,722501	11736,5366	11737,10955	-0,002624309		0	-46,5293254	11690,58022	11683,07125
457	25,722501	11762,2591	11762,83321	-0,002624309		0	-46,5319497	11716,30126	11708,79229
458	25,722501	11787,9816	11788,55688	-0,002624309		0	-46,5345474	11742,0223	11734,51333
459	25,722501	11813,7041	11814,28054	-0,002624309		0	-46,5371983	11767,74335	11760,23438
460	25,722501	11839,4266	11840,00421	-0,002624309		0	-46,5398226	11793,46439	11785,95542
461	25,722501	11865,1491	11865,72788	-0,002624309		0	-46,5424469	11819,18543	11811,67646
462	25,722501	11890,8716	11891,45154	-0,002624309		0	-46,5450712	11844,90647	11837,3975
463	25,722501	11916,5941	11917,17521	-0,002624309		0	-46,5476956	11870,62751	11863,11854
464	25,722501	11942,3166	11942,89887	-0,002624309		0	-46,5503199	11896,34855	11888,83958
465	25,722501	11968,0391	11968,62254	-0,002624309		0	-46,5529442	11922,06959	11914,56062
466	25,722501	11993,7616	11994,3462	-0,002624309		0	-46,5555685	11947,79064	11940,28166
467	25,722501	12019,4841	12020,06987	-0,002624309		0	-46,5581928	11973,51168	11966,00271
468	25,722501	12045,2066	12045,79354	-0,002624309		0	-46,5608171	11999,23272	11991,72375
469	25,722501	12070,9291	12071,5172	-0,002624309		0	-46,5634414	12024,95376	12017,44479
470	25,722501	12096,6516	12097,24087	-0,002624309		0	-46,5660657	12050,6748	12043,16583
471	25,722501	12122,3741	12122,96453	-0,002624309		0	-46,56869	12076,39584	12068,88687
472	25,722501	12148,0966	12148,6882	-0,002624309		0	-46,5713143	12102,11688	12094,60791
473	25,722501	12173,8191	12174,41186	-0,002624309		0	-46,5739386	12127,83792	12120,32895
474	25,722501	12199,5416	12200,13553	-0,002624309		0	-46,576563	12153,55897	12146,05
475	25,722501	12225,2641	12225,85919	-0,002624309		0	-46,5791873	12179,28001	12171,77104
476	25,722501	12250,9866	12251,58286	-0,002624309		0	-46,5818116	12205,00105	12197,49208
477	25,722501	12276,7091	12277,30653	-0,002624309		0	-46,5844359	12230,72209	12223,21312
478	25,722501	12302,4316	12303,03019	-0,002624309		0	-46,5870602	12256,44313	12248,93416
479	25,722501	12328,1541	12328,75386	-0,002624309		0	-46,5896845	12282,16417	12274,6552
480	25,722501	12353,8766	12354,47752	-0,002624309		0	-46,5923088	12307,88521	12300,37624
481	25,722501	12379,5991	12380,20119	-0,002624309		0	-46,5949331	12333,60626	12326,09728
482	25,722501	12405,3216	12405,92485	-0,002624309		0	-46,5975574	12359,3273	12351,81833
483	25,722501	12431,0441	12431,64852	-0,002624309		0	-46,6001817	12385,04834	12377,53937
484	25,722501	12456,7666	12457,37219	-0,002624309		0	-46,602806	12410,76938	12403,26041
485	25,722501	12482,4891	12483,09585	-0,002624309		0	-46,6054303	12436,49042	12428,98145
486	25,722501	12508,2116	12508,81952	-0,002624309		0	-46,6080547	12462,21146	12454,70249
487	25,722501	12533,9341	12534,54318	-0,002624309		0	-46,610679	12487,9325	12480,42353
488	25,722501	12559,6566	12560,26685	-0,002624309		0	-46,6133033	12513,65354	12506,14457
489	25,722501	12585,3791	12585,99051	-0,002624309		0	-46,6159276	12539,37459	12531,86562

Dando como resultado 12531,8656 BB

1.1 Incertidumbre

Datos:

Factor de cobertura: $k=2$

Coefficiente de expansión lineal de la cinta: $K_{st} = 0,000011 \frac{1}{C}$

Coefficiente de expansión lineal del tanque: $K_{tk=} = 0,000011 \frac{1}{C}$

Incertidumbre estándar de temperatura de la cinta $uT_{ct} = \frac{eT_{ct}}{2*\sqrt{3}} = 4,105x10^{-3} \text{ [}^\circ\text{C]}$

Temperatura de referencia: 15 C

Temperatura de la cinta y tanque: 18 C

Volumen del fondo: $1,6420 \text{ m}^3$

Densidad de referencia: $800 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

Longitud de cinta sumergida: 0

Altura de platina de aforo: 0,0102m

Densidad del líquido: $646,66 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

Módulo de Young: $2x10^{11} \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$

Espesor de pintura: $0,0002 \text{ m}$

Promedio de espesores: $0,0080485 \text{ m}$

Incertidumbre estándar de la longitud de la cinta

$$uL_{cinta} = \frac{UL_{cinta}}{k} = 1,5x10^{-3} \text{ [m]}$$

Incertidumbre estándar de lectura de la cinta

$$u_{lec} = \frac{(res_{lec})}{\sqrt{12}} = 2,887x10^{-4} \text{ [m]}$$

(res_{tec}) = Resolución de la cinta 0,001m

Incertidumbre estándar de tensión y posición de la cinta

$$T_{TPC} = tL_{tp}$$

$$u_{TPC} = \frac{T_{TPC}}{2\sqrt{3}} = 1,443 \times 10^{-3} [m]$$

T_{TPC} = Tolerancia de tensión de la cinta 0,005

Incertidumbre de la alineación de la cinta

$$u_{al} = \frac{\sqrt{n-1} * E_{al}}{2\sqrt{3}} = 2,887 \times 10^{-4} [m]$$

E_{al} = Error máximos permitido de alineación de la cinta 0,001

Circunferencia externa medida

$$U_{C.ext} = \left[\frac{uL_{cinta}^2 + u_{tec}^2 + u_{TPC}^2 + u_{al}^2}{mc} \right]^{1/2} = 1,5 \times 10^{-3} [m]$$

mc = Numero de circunferencias medidas por anillos

Incertidumbre de la forma del tanque

$$uV_{FO} = 0.05\%$$

Incertidumbre por el fondo de tanque

$$uV_b = 0.25\%$$

Incertidumbre debido al techo flotante

La incertidumbre estándar (uV_{des}), basada en la experiencia, se estima en un 1,5% del volumen desplazado (V_{des}).

Incertidumbres adicionales

Incertidumbre del metal y espesor de pintura

$$ut_{MP} = \frac{wt_{MP}}{2\sqrt{3}} = 2.887 \times 10^{-4} [m]$$

wt_{MP} = Incertidumbre expandida de espesor 0,001mm

Incertidumbre estándar de la circunferencia externa corregida

$$uC_{ETT} = \sqrt{[uC_{ext} * (K_{st} - K_{tk}) * (T_{ct} - T_{ref})]^2 + [uT_{ct} * C_{ex} * (K_{st} - K_{tk})]^2 + (uK_{st}^2 + uK_{tk}^2) * [C_{ex} * (T_{ct} - T_{ref})]^2} [m]$$

$$uC_{ETT} = 1,104 \times 10^{-6}$$

$$uC_{in} = [uC_{ET}^2 + (2\pi * ut_{MP})^2]^{\frac{1}{2}} [m]$$

$$uC_{in} = 1,814 \times 10^{-5}$$

uC_{in} = Incertidumbre de radio interno

$$uR_{in} = \frac{uC_{in}}{2\pi} [m]$$

$$uR_{in} = 2,887 \times 10^{-6}$$

Incertidumbre de área interna

$$uA_{in} = \frac{2 * uC_{in} * A_{sin}}{C_{in}} [m]$$

$$uA_{in} = 1,2985 \times 10^{-4}$$

A_{sin} = Area de sección interna corregida

Volumen bruto

$$V_R = (A_{in1} * h_{a1}) [m^3]$$

$$V_R = 243,434$$

h_{a1} = Altura de cada anillo

Incertidumbre de volumen bruto

$$uV_R = \sqrt{(uA_{in1} * h_{a1})^2} [m^3]$$

$$uV_R = 1,963 \times 10^{-3}$$

Incertidumbre Adicional

$$uV_{ad1} = uV_{ad} * V_R$$

$$uV_{ad1} = 0,012$$

Incertidumbre de volumen en condiciones de calibración

$$UV_R = k \sqrt{uV_R^2 + (uV_b * V_b)^2 + (uV_{ad} * V_R)^2 + (uV_{des} * V_{des})^2 + (uV_{FO} * V_R)^2} \quad [m^3]$$

$$UV_R = 0,223$$

Deformación por presión hidrostática en condiciones de referencia

$$uV_{HI} = V_H * \sqrt{\left(3 * \frac{uR_{in}}{R_{in}}\right)^2 + \left[\frac{u\rho}{\rho - u\rho_{ref}}\right]^2 + \left(\frac{uE}{E}\right)^2 + \left(\frac{ut_{MP}}{t_{MP}}\right)^2} \quad [m^3]$$

V_H = Presión ejercida si el tanque estuviera con liquido durante la calibración

$$uV_{HI} = 0$$

Incertidumbre de coeficiente de expansión de la cinta

$$uK_{st} = \frac{eK_{st}}{2 * \sqrt{3}} \quad [^{\circ}C^{-1}]$$

eK_{st} = Máximo error de coeficiente de expansión lineal

Incertidumbre de coeficiente de expansión del tanque

$$uK_{tk} = \frac{eK_{tk}}{2 * \sqrt{3}} \quad [^{\circ}C^{-1}]$$

eK_{tk} = Máximo error de coeficiente de expansión lineal

Incertidumbre de volumen a la tabla de capacidad del tanque

$$UV = 2 * \sqrt{uV_R^2 + uV_{HI}^2 + uV_C^2 + uV_T^2 * V_{PA}^2 + uV_o^2 * V_{PA}^2} \quad [m^3]$$

$$UV = 6,724 \times 10^{-3}$$

Corrección por deformación debido a la presión hidrostática

$$Uvhs = \sqrt{uV_{HI}^2 + \left(\frac{V_{HI} * u\rho}{p_{ref} - \rho}\right)^2} \quad [m^3]$$

$$Uvhs = 0$$

Incertidumbre estándar en porcentaje de la corrección de volumen por expansión

térmica

$$UV_{TS} = \sqrt{\left(\frac{uV_{HI}}{V_{HI}}\right)^2 + [K_{ST} * (T_{CT} - T_{ref})]^2 + (uT_{TP} * K_{ct})^2 + [2 * uK_{ST}^2 * (T_{CT} - T_{ref})]^2 + (uT_{TK} * 2 * K_{tk})^2}$$

$$UV_{TS} = 3,3 \times 10^{-3}$$

Inmersión

No hay cinta inversa en el líquido ya que el tanque se encuentra vacío

$$Uvt = \frac{2}{100} * \left\{ \left[\sqrt{\left(\frac{UV}{k}\right)^2 + uVb^2 + (UV_{TS}^2 * V_R^2) + (uIN * R_{in}^2 * \pi)^2} \right] + uV_C \right\}$$

$$Uvt = 0,02$$

Los mismos cálculos se realizarán para cada anillo llegando así a obtener:

Anillos	Incertidumbre %
1	0,02
2	0,044
3	0,068
4	0,092
5	0,116
6	0,14
7	0,164

La incertidumbre total será el promedio teniendo así:

$$U = 0,07\%$$

2. Calibración de tanques horizontales Método de encintado

CONSTANTES:

$$\sigma=0.3 \text{ Módulo de Poisson (NORMA)}$$

DATOS DE ENTRADA

Presión en Pascales: $P=15 \text{ Pa}$

Espesor del cabeza en mm: $E_b=8 \text{ mm}$

Espesor del cuerpo en mm: $E_c=8 \text{ mm}$

Longitud de la parte cilíndrica en m: $L=4 \text{ m}$

Diámetro en m: $D=1.828 \text{ m}$

Altura del líquido m: $H=0.914 \text{ m}$

Temperatura del líquido C: $T_l=27^\circ \text{ C}$

Temperatura ambiente C: $T_a=27^\circ \text{ C}$

Temperatura de referencia de tanque C (superficie) : $T_r=27^\circ \text{ C}$

Coefficiente de expansión lineal del material: $C_l=0.000012 \text{ m/mC}$;

Módulo de Young del material (Pa): $M_Y=20000000000000 \text{ Pa}$

Cálculos

Radio del cilindro

$$R = \frac{D}{2}$$

$$R = 0.9140 \text{ m}$$

Corrección aumento del radio de la parte cilíndrica

$$Drc = (P * R) * \frac{(2 - \sigma)}{2 * Ecb * MY}$$

$$Drc = 7.2834x10^{-13}$$

$$R = R + Drc$$

$$R = 0.9140 \text{ m}$$

Corrección aumento de la longitud

$$DL = (P * R) * \frac{1 - 2 * \sigma}{2 * Ecb * MY}$$

$$DL = 1.7138x10^{-13}$$

$$L = 4.00 \text{ m}$$

Corrección total de la parte cilíndrica

$$Cvc = 1 + (P * R) * \frac{5 - 4 * \sigma}{2 * Eb * MY}$$

$$Cvc = 1.000$$

Cálculo de la parte cilíndrica del tanque

$$Aux1 = 2 * \arccos\left(\left(1 - \left(2 * \frac{H}{D}\right)\right)\right)$$

$$Aux1 = 3.1416$$

$$A = 0.5 * R^2 * (Aux1 - \sin(Aux1))$$

$$A = 1.3122 \text{ m}^2$$

$$V = (A * L)$$

$$V = 5.2489 \text{ m}^3$$

Si $H \leq D$

$$V = V * Cvc * (1 - facinter)$$

$$V = 5.1965 \text{ m}^3$$

Caso Contrario

$$V = V * Cvc * (1 + facinter)$$

Corrección por temperatura

$$Ts = \frac{7 * Tl + Ta}{8}$$

$$Ts = 27 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$Ctv = 1 + 2 * C1 * (Ts - Tr)$$

$$Ctv = 1.00$$

Cabeza torisférica

Radio de Reborde Rk en m

$$Rk = 0.2$$

Radio de Bombeo-Disco o Rd en m:

$$Rd = 0.95$$

Longitud del Casquete (Distancia horizontal donde se encuentra el agua)

$$X = 0.3$$

Numero de subintervalos sugeridos

$$n = 6$$

Incremental

$$inre = 0.001$$

Corrección radio de cabeza

$$Dre = (P * Rd) * \frac{1 - \sigma}{2 * Eb * MY}$$

$$Dre = 3.1172 \times 10^{-13} m$$

Radio de Bombeo Disco corregido

$$Rd = Rd + Dre$$

$$Rd = 0.95 m$$

Cálculos para la obtención de la tabla de aforo

$$\beta = \arcsin\left(\frac{R - Rk}{Rd - Rk}\right)$$

$$R2 = Rd * \sin(\beta)$$

$$x2 = Rk * \cos(\beta)$$

$$x1 = Rd - (Rd - Rk) * \cos(\beta)$$

$$\text{Si } X \leq x1 \wedge X \geq x2$$

$$Rx = \sqrt{(Rd^2 - ((Rd - Rk) * \cos(\beta) + X)^2)}$$

$$f(X) = \left(\left((Rx^2) * \left(0.5 * \left(2 * \arccos\left(\frac{R - H}{Rx}\right) \right) - 0.5 * \sin\left(2 * \arccos\left(\frac{R - H}{Rx}\right)\right) \right) \right) \right)$$

Volumen Incremental

(h) es una variable auxiliar que empieza en 0

$$a = h;$$

$$b = h + incre$$

$$m = \left(\frac{a + b}{2}\right)$$

$$q = \left(\frac{b - a}{n}\right)$$

$$\text{vect}(1, w) = (q * (f(a) + 4 * f(m) + f(b)) + \text{vect}(1, w - 1)) + (acu * (1 - facinter) * Ctv);$$

Volumen incremental

INCREMENTAL ()	VOLUMEN (m3)
0.000	0.000
0.001	0.0012
0.002	0.0026
0.003	0.0041
0.004	0.0057
...	...
0.912	6.0731
0.913	6.0813
0.914	6.0895

CABEZA ELÍPTICA

La longitud de la cabeza elíptica

$$l1=0.3199$$

Radio de la cabeza elíptica m

$$r=1.4624$$

Número de subintervalos sugeridos

$$n = 6$$

Incremental

$$incre=0.001$$

Volumen incremental

$$vect(1, w) = \left(\left(\left(\frac{\pi * L1 * incre^2}{2} \right) * \left(1 - \left(\frac{incre}{3 * r} \right) \right) \right) + V \right) * Ctv;$$

CABEZA ESFÉRICA

Longitud de la cabeza esférica m:

$$l1=0.9140 \text{ m}$$

Radio de la cabeza esférica m

Incrementales para cabezas esféricas

<i>INCREMENTAL (m)</i>	<i>VOLUMEN (m3)</i>
0.000	0
0.001	0.0002
0.002	0.0006
0.003	0.0012
0.004	0.0018
...	...
0.912	5.5130
0.913	5.5209
0.914	5.5288

$$r=0.9140 \text{ m}$$

Longitud del casquete

$$x=0;$$

Volumen parcial

$$rk=0;$$

Radio de bombeo-disco o rd en m

$$rd=0.9140 \text{ m}$$

$$\beta = \text{asin}((R - Rk)/(Rd - Rk))$$

$$\beta = 1.5708$$

$$R2 = Rd * \sin(\beta)$$

$$R2 = 0.9140 \text{ m}$$

$$x2 = Rk * \cos(\beta)$$

$$x2 = 0 \text{ m}$$

$$x1 = Rd - ((Rd - Rk) * \cos(\beta))$$

$$x1 = 0.9140 \text{ m}$$

$$Rx = \left(\sqrt{Rd^2 - \left((Rd - Rk) * \cos(\beta) \right)^2} \right)$$

$$Rx = 0.9140 \text{ m}$$

$$f(X) = \left(\left((Rx^2) * \left(0.5 * \left(2 * \text{acos} \left(\frac{R-H}{Rx} \right) \right) - 0.5 * \sin \left(\left(2 * \text{acos} \left(\frac{R-H}{Rx} \right) \right) \right) \right) \right) \right)$$

Volumen incremental

(h) es una variable auxiliar que empieza en 0

$$a = h;$$

$$b = h + incre;$$

$$m = \left(\frac{a + b}{2}\right);$$

$$q = \left(\frac{b - a}{n}\right);$$

$$vect(1, w) = (q * (f(a) + 4 * f(m) + f(b)) + vect(1, w - 1)) + V * Ctv;$$

INCREMENTAL (m)	VOLUMEN (m3)
0.000	0.000
0.001	0.0015
0.002	0.0033
0.003	0.0051
0.004	0.0071
...	...
0.912	6.3787
0.913	6.3873
0.914	6.3958

Cabeza cónica

Altura del liquido

$$H=1.828 \text{ m}$$

Distancia desde la soldadura hasta la punta del cono

$$d=0.914 \text{ m}$$

Número de Intervalos Recomendados

$$n=6$$

Incremental

$$incre=0.001 \text{ m};$$

$$w=2;$$

Radio del Cilindro

$$R=D/2$$

$$R=0.914 \text{ m}$$

$$f(H) = \left(\frac{2 * \sqrt{(d^2 + R^2)}}{R}\right) * \left(R^2 * \text{acos}\left(\frac{R - H}{R}\right) - (R - H) * \sqrt{(2 * R * H - H^2)}\right)$$

$$Aux1 = 2 * \text{acos}\left(\left(1 - \left(\frac{2 * H}{D}\right)\right)\right)$$

$$A = 0.5 * R^2 * (Aux1 - \sin(Aux1))$$

3. Calibración de tanques esféricos

Valores de Ingreso

Circunferencia Horizontal

$$c1=119.68 \text{ ft}$$

Circunferencia tomada en el plano vertical

$$c2=119.76 \text{ ft}$$

Circunferencia tomada 90 desde c2 en el plano vertical

$$c3=119.74 \text{ ft}$$

Altura Interna Vertical, desfasada 34 in de la línea central

$$Dm=37.5623 \text{ ft}$$

Distancia C tomada sobre la línea Ecuador

$$H=10 \text{ in}$$

Distancia desfasada desde la línea central:

$$m=35 \text{ in}$$

Espesores

$$t1=0.748031 \text{ in}$$

$$t2=0.708661 \text{ in}$$

$$t3=0.708661 \text{ in}$$

Temperatura del Tanque

$$\text{Temp}=25 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Altura del Liquida

$$Hl=228.0753 \text{ in}$$

Incremental

$$G=1 \text{ in}$$

Constantes

$$FG = 0.004329004 \frac{\text{gal}}{\text{in}^3}$$

$$FC = 7.4805194 \frac{\text{gal}}{\text{ft}^3}$$

Cálculos

Circunferencia Horizontal Corregida

$$co = \sqrt{c1^2 + \left(\frac{2 * \pi * H}{12}\right)^2}$$

$$co = 119.7945 \text{ in}$$

Circunferencias Internas

$$C1 = co - \left(t1 * \left(\frac{\pi}{6}\right)\right)$$

$$C1 = 119.4028 \text{ in}$$

$$C2 = c2 - \left(t2 * \left(\frac{\pi}{6}\right)\right)$$

$$C2 = 119.3889 \text{ in}$$

$$C3 = c3 - \left(t3 * \left(\frac{\pi}{6}\right)\right)$$

$$C3 = 119.3689 \text{ in}$$

Diámetro Vertical

$$D = \sqrt{Dm^2 + 4 * \left(\frac{m}{12}\right)^2}$$

$$D = 38.0126 \text{ ft}$$

Volumen Total de la Esfera Norma

$$V1 = \frac{C1 * C2 * C3}{6 * (\pi^2)}$$

$$V1 = 2.141996 \times 10^5 \text{ gal}$$

Volumen Total de la Esfera Modelo

$$Vy = \pi * \left((R * y^2) - \left(\frac{y^3}{3}\right) \right)$$

$$Vy = 2.1514 \times 10^5 \text{ gal}$$

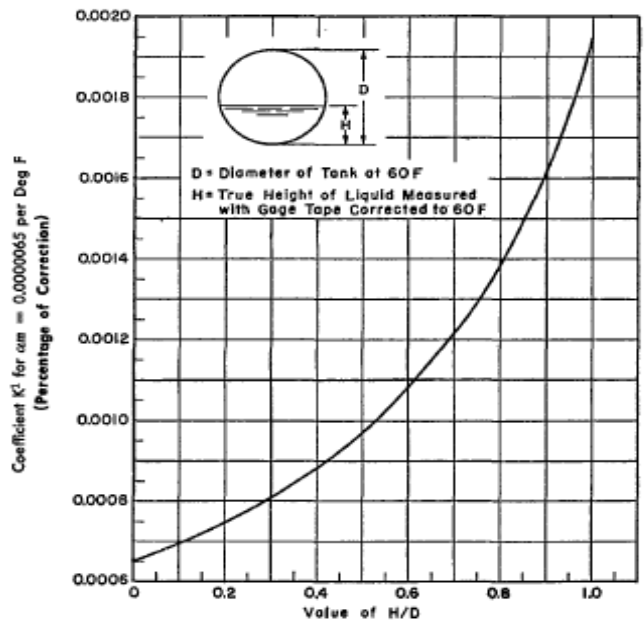
Factor de Corrección

$$U = \frac{V1}{Vy}$$

$$U = 0.9992$$

Corrección de temperatura

PROCEDURE FOR COMPUTING THE VOLUME CORRECTION FOR THERMAL EXPANSION OR CONTRACTION OF SPHERICAL AND SMOOTH SPHEROIDAL TANKS



Esquema de curva para corrección

Fuente: (API 2552, Normas para calibrar recipientes a presión esféricos, 2004)

$$F_{\text{correc}} = 0.0018125 * \left(\frac{Hl}{Di}\right)^2 - 0.0005125 * \left(\frac{G}{Di}\right) + 0.00065;$$

$$F_{\text{correc}} = 8.4687 \times 10^{-4}$$

Tank Shell Temperature, t_s , °F	Value of α_m per °F
Steel	
-70 to -21	0.000060
-20 to +28	0.000061
+29 to 78	0.000062
79 to 128	0.000063
129 to 177	0.000064
178 to 227	0.000065
228 to 276	0.000066
277 to 326	0.000067
327 to 376	0.000068
377 to 425	0.000069
Aluminum	
-70 to -11	0.000122
-10 to +49	0.000124
+50 to 109	0.000126
110 to 169	0.000128
170 to 229	0.000130
230 to 289	0.000132
290 to 349	0.000134
350 to 409	0.000136

$$\alpha_m = 0.0000062 \text{ (Temperatura a 25 C)}$$

$$K = F_{\text{correc}} * \left(\frac{\alpha_m}{0.0000065} \right)$$

$$K = 8.0779 \times 10^{-4}$$

Volumen incremental

$$V_{\text{final}} = \pi * \left((R_i * A^2) - \left(\frac{A^3}{3} \right) \right) * (1 + K) * U * FG$$

Tabla de aforo final

INCREMENTAL (in)	VOLUMEN(Gal)
0	0
1	3.09721212
2	12.3707156
3	27.7933112
4	49.3377995
...	...
226	106097.013
227	106804.409
228	107511.835

La tabla es muy extensa por lo que no se muestra en su totalidad

4. Calibración de tanques Esferoidales

Radio exterior de la curvatura vertical: $recv=175.1425$ %in

Distancia horizontal desde la barra de goteo hasta el centro de la curvatura vertical:

$dvbc=149.5008$ in

Espesor de la barra de goteo: $E_{pg}=0.33$; in

Distancias de barra de goteo a línea de fondo de capacidad

Distancia de la barra de goteo a la línea de fondo de capacidad 1: $h_{bg1}=5.75$ in

Distancia de la barra de goteo a la línea de fondo de capacidad 2: $h_{bg2}=5.75$ in

Distancia de la barra de goteo a la línea de fondo de capacidad 3: $h_{bg3}=5.75$ in

Distancia de la barra de goteo a la línea de fondo de capacidad 4: $h_{bg4}=5.75$ in

Circunferencia Horizontal Máxima: $Chm=129.68$ ft

Circunferencia en la Barra de Goteo: $C_{bg}=118.330$ ft

Ingresa Volumen Muerto por 1/8 in: $DW=0.0023$ bbl

Radio Interior en la Circunferencia Máxima (DESDE BLUEPRINT):

$RICMBP=20.60680$ ft

Radio interno en la barra de goteo (DESDE BLUEPRINT): $RIBGBP=18.78130$ ft

$Hl=$ Alltura del líquido: $Hl=200$ in

Datos de ingreso

Distancia Vertical desde el centro del segmento hasta el centro del radio de la curvatura vertical

$a=157.986$ in

Distancia desde el centro del segmento hasta la línea de capacidad inferior del tanque:
 $h=0.5$ in

Radio de la curvatura vertical del tanque: $R=174.8125$ in

Distancia Horizontal desde el centro de la línea del tanque hasta el centro del radio de la curvatura vertical

$L=75.875$ in

El incremental : $G=1$ in

Temperatura del tanque C : $Temp=25$ C

Constantes:

factorinicio=0.0000404761;

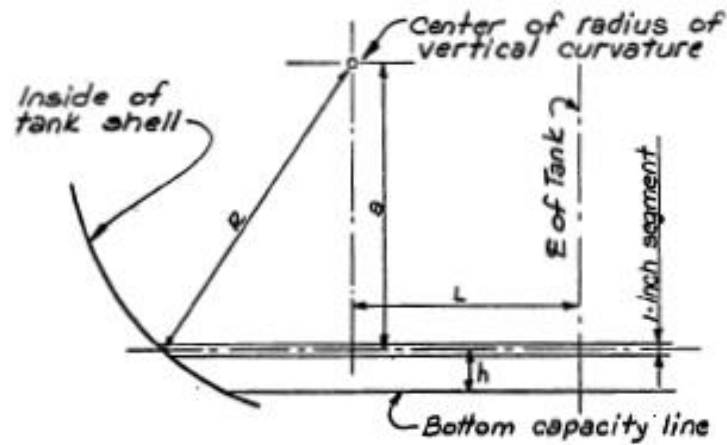


FIG. 6.

Esquema de Variables para calibrar tanques esféricos

Fuente: (API 2552, Normas para calibrar recipientes a presión esféricos, 2004)

Cálculos

Espesor de la placa horizontal

$$Ehp = \left(\frac{recv}{dvbc} \right) * \left(\frac{Epg}{12} \right)$$

$$Ehp = 0.032 \text{ ft}$$

Promedio de la distancia barra de Goteo a la línea de capacidad inferior

$$hbg = \frac{hbg1 + hbg2 + hbg3 + hbg4}{4}$$

$$hbg = 5.75 \text{ ft}$$

Radio Interior en la Circunferencia Máxima:

$$RICM = \left(\frac{Chm}{2 * \pi} \right) - Ehp$$

$$RICM = 20.6070 \text{ ft}$$

Factor de multiplicación para ajustar el radio en la parte superior del tanque

$$fact1 = \frac{RICM}{RICMBP}$$

$$fact1 = 1.000$$

Radio interno en la barra de goteo

$$RIBG = \frac{Cbg}{2 * \pi} - Ehp$$

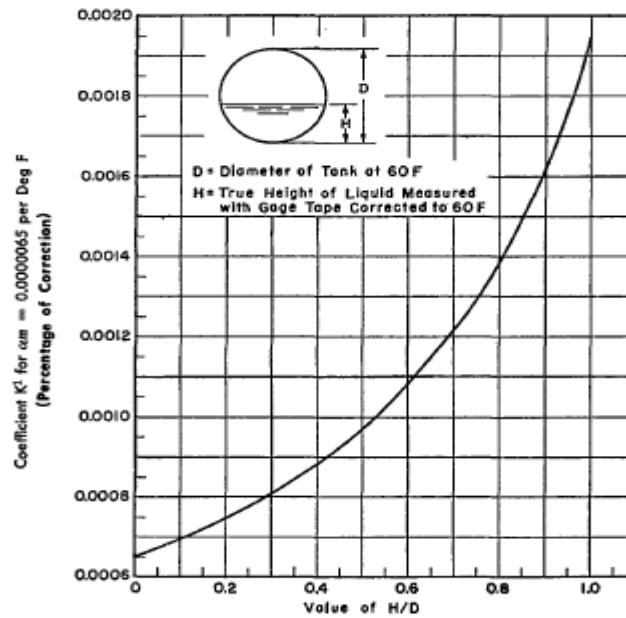
$$RIBG = 18.8006 \text{ ft}$$

Factor de multiplicación para ajustar radio en la porción inferior del tanque

$$fact2 = \frac{RIBG}{RIBG}$$

$$fact2 = 1.00$$

PROCEDURE FOR COMPUTING THE VOLUME CORRECTION FOR THERMAL EXPANSION OR CONTRACTION OF SPHERICAL AND SMOOTH SPHEROIDAL TANKS



Esquema de curva para corrección

Fuente: (API 2552, Normas para calibrar recipientes a presión esféricos, 2004)

$$F_{correc} = 0.0018125 * \left(\frac{Hl}{Chm}\right)^2 - 0.0005125 * \left(\frac{Hl}{Chm}\right) + 0.00065;$$

$$F_{correc} = 0.0042$$

Tank Shell Temperature, t, °F	Value of α_m per °F
Steel	
-70 to -21	0.000060
-20 to +28	0.000061
+29 to 78	0.000062
79 to 128	0.000063
129 to 177	0.000064
178 to 227	0.000065
228 to 276	0.000066
277 to 326	0.000067
327 to 376	0.000068
377 to 425	0.000069
Aluminum	
-70 to -11	0.000122
-10 to +49	0.000124
+50 to 109	0.000126
110 to 169	0.000128
170 to 229	0.000130
230 to 289	0.000132
290 to 349	0.000134
350 to 409	0.000136

$$\alpha_m = 0.0000062 \text{ (Temperatura a 25 C)}$$

$$K = F_{correc} * \left(\frac{am}{0.0000065} \right)$$

$$K = 0.0040$$

TABLA DE AFORO FINAL

INCREMENTAL (in)	VOLUMEN (bbl)
0	0
1	7.36518434
2	14.9351802
3	22.7059718
4	30.6743463
...	...
198	3376.34267
199	3395.92908
200	3415.47533

MANUAL – GUIA DE SOFTWARE PARA CALIBRACION DE TANQUES

EMPRESA PETROAFIN S.A.



(593-2)2 864082

(593-9)9205294

PETROAFIN S.A. Organismo de inspección acreditado bajo la norma ISO 17020, Servicios de inspección en el área de hidrocarburos e Industrial. Inspecciones técnicas de tanques, tuberías, sistemas de almacenamiento ensayos no destructivos DNT, calibración de tanques de almacenamiento VERTICALES, HORIZONTALES, ESFERAS, para la industria petrolera, estaciones de servicio.

Elaborado por:

**ING.GRIJALVA
JOSEPH**

**ING.
CHANGOLUISA
JHONATAN**

MANUAL DE USUARIO

El siguiente manual de usuario se detalla el manejo del software de calibración de tanques de almacenamiento

1. Pantalla principal

La pantalla principal muestra los diferentes tanques que se pueden calibrar en el presente software.



1.1 TANQUES VERTICALES

1.1.1 Calibración de tanques verticales por el método de encintado

1. Los datos de ingreso generales se muestran a continuación.

The screenshot shows the 'TANQUES VERTICALES' software interface. At the top, there are menu options: 'Método electro-óptico interno', 'Método electro-óptico externo', 'Calibración Líquida', and 'Encintado'. The main interface is divided into several sections:

- Top Left:** 'Tipo de unión' (dropdown: TOPE) and 'Tipo de Fondo' (dropdown: CONO ARRIBA). Callouts explain: 'Se elige si es el tipo de unión a **tope** o **traslapado**' and 'Se elige el tipo de fondo: **Plano, arriba, abajo**'. Below these is 'Altura del cono (mm)' (input: 125) and a checkbox 'Tanque con Producto'.
- Top Right:** 'Tipo de Techo' (dropdown: FIJO). Callout: 'Se elige el tipo de Techo: **Fijo, Flotante**'. Below are 'Peso del techo (Kg)' (input: 0.0), 'Altura crítica superior (m)' (input: 0.0), and 'Altura crítica inferior (m)' (input: 0.0). Callout: 'Si es Flotante se activa y llena los datos respectivos en Kg. y metros'.
- Middle Left:** 'Altura del Líquido' (input: 0.0). Callout: 'Si es el fondo Arriba o abajo se llena la altura del cono (mm)'. Below are 'Temperatura ambiente de Medición (°C)' (input: 32.5), 'Temperatura del líquido de servicio (°C)' (input: 25.556), and 'Grado API 60 (°F)' (input: 58.79). Callouts: 'Seleccione si hay producto', 'Ingrese Temp. Ambiente (°C)', 'Ingrese Temp. del producto (°C)', 'Ingrese grado API'.
- Middle Right:** 'Espesor Pintura (m)' (input: 0.0002), 'Inclinación del Tanque (mm)' (input: 119), 'Altura platina de aforo (mm)' (input: 10.2). Callouts: 'Introduzca espesor de pintura (mm)', 'Introduzca Inclinación del tanque (mm)', 'Introduzca la Altura de platina de aforo (mm)'. Below is 'Número de Anillos' (input: 1) and 'Diámetro Nominal (mm)' (input: 14316). Callouts: 'Introduzca el número de anillos', 'Introduzca el diámetro nominal (mm)'. A 'Calcular' button is at the bottom.
- Bottom Left:** 'Incremental (cm)' (input: 2.54) and 'Incertidumbre %' (input: INCERTIDUMBRE). Callouts: 'Ingrese Altura del líquido en metros (m)', 'Ingrese Temp. Ambiente (°C)', 'Ingrese Temp. del producto (°C)', 'Ingrese grado API', 'Ingrese Incremental en (cm)', 'Se calcula el promedio de incertidumbre'.
- Bottom Center:** Callout: 'Dar clic en calcular después de haber llenado todos los datos'.

2. Ingreso de circunferencias

Ingrese las circunferencias al 20% y al 80% en (m), según el número de anillos que posea el tanque.

Circunferencias	Alturas de Anillos	Accesorios	Incertidumbre	Espesores del Tanque	TIPO DE JUNTAS
CIRCUNFERENCIA AL 20% (m)		CIRCUNFERENCIA AL 80% (m)			
	45,063			45,066	
	45,058			45,052	
	45,049			45,05	
	45,05			45,065	
	45,068			45,037	
	44,996			44,964	
	44,994			45,017	

3. Ingreso de alturas

Ingrese las alturas de cada anillo en (m), el número de alturas son igual al número de anillos que posee el tanque.

Circunferencias	Alturas de Anillos	Accesorios	Incertidumbre	Espesores del Tanque	TIPO DE JUNTAS
ALTURAS (mm)					
				1.512	
				1.854	
				1.820	
				1.817	
				1.819	
				1.835	
				1.792	

4. Ingreso de espesor

Ingrese los espesores al 20% y al 80% en (mm), según el número de anillos que posea el tanque.

Circunferencias	Alturas de Anillos	Accesorios	Incertidumbre	Espesores del Tanque	TIPO DE JUNTAS
ESPESOR DEL TANQUE AL 20% (mm)		ESPESOR DEL TANQUE AL 80% (mm)			
	12,365			12,365	
	9,65			9,66	
	8,04			8,045	
	6,66			6,68	
	6,63			6,63	
	6,61			6,61	
	6,36			6,385	

5. Ingreso Datos de soldadura si es a tope

Ingrese Numero de soldaduras verticales, Ancho en (mm), y espesor en (mm).

Numero	ANCHO (mm)	ESPESOR (mm)	
8	14,3	1,31	
8	12,93	1,58	
8	12,05	1,44	
8	12,16	1,52	
8	12,28	1,34	
8	13,46	1,57	
8	11,84	1,16	

6. Ingreso Datos de soldadura si es traslapada

Ingrese número de soldaduras verticales y espesor en (mm)

Numero	ESPESOR	
8	1,31	
8	1,58	
8	1,44	
8	1,52	
8	1,34	
8	1,57	
8	1,16	

7. Ingreso Datos de accesorios

Numero de accesorios: 0

Volumen Bajo Cero: 0.4516

Numero de Accesorio	Desde mm	Hasta	Volumen	
1	0,17		0,272	0,003
1	0,19		0,342	0,004
1	0,202		0,405	0,007
1	0,26		0,311	0
2	0,44		1,07	0,078
1	0		2,104	-0,009
1	0,123		0,24	-0,002
1	0		0,123	-0
1	1,85		1,96	-1,765
1	0,065		12,449	-0,11

Ingrese número de accesorios que contiene el tanque

Ingrese el volumen bajo la platina de aforo (Producto (m3))

Ingrese el número de accesorio

Ingrese **Desde** donde comienza el accesorio (m)

Ingrese **Hasta** donde Finaliza el accesorio (m)

Ingrese el **Volumen** donde del accesorio (m3)

8. Ingreso Datos de incertidumbre

Número de Cintas [nc]: 2

Número de Cintas Circunferencia[n]: 1

Número de Circunferencias [m]: 2

Temperatura de la Cinta [Tst]: 27.8

Densidad de Referencia [Dref]: 800

Longitud de la Cinta sumergida: 0.0

- Ingrese el número de cintas.
- Ingrese el número de cintas utilizadas por circunferencia
- Ingrese el número de circunferencias medidas por anillos

Ingrese la Temp. de cinta en °C

Ingrese la Densidad de referencia del producto (kg/m3)

Se activa si hay producto durante la calibración

1.1.2 Calibración de tanques verticales por el método electroóptico interno

The screenshot shows a software interface titled "TANQUES VERTICALES" with a menu bar containing "MENU" and "AYUDA". Below the menu bar are four tabs: "Método electro óptico interno" (selected), "Método electro- óptico externo", "Calibración Líquida", and "Encintado".

The main interface is divided into several sections:

- Top Section:**
 - Tipo de Fondo:** A dropdown menu set to "CONO ARRIBA". Below it is a text input field for "Altura del cono (mm)" containing the value "62".
 - Tipo de techo:** A dropdown menu set to "FUJO". Below it are three text input fields: "Peso del techo (Kg)" (0.0), "Altura crítica superior (m)" (0.0), and "Altura crítica inferior (m)" (0.0).
- Middle Section:**
 - Two text input fields for temperatures: "Temperatura ambiente de Medición (°C)" (32.5) and "Temperatura del liquido de servicio (°C)" (33.2).
 - A text input field for "Grado API 60 F" (64.1).
 - A text input field for "Incrementales" (2.54).
 - A text input field for "Inclinación del Tanque (mm)" (33).
 - A text input field for "Altura de la platina de aforo (mm)" (7).
 - A dropdown menu for "Número de Anillos" set to "4".
 - A text input field for "Diámetro Nominal (mm)" (21348).
- Bottom Section:**
 - A button labeled "PUNTOS CIRCUNFERENCIAS" with a green Excel icon.
 - A text input field for "Incertidumbre %".
 - A large "CALCULAR" button.

Red arrows point from various text boxes to specific fields in the interface:

- "Se elige si es el tipo de unión a **tope** o **traslapado**" points to the "Tipo de Fondo" dropdown.
- "Se elige el tipo de techo" points to the "Tipo de techo" dropdown.
- "Si es Flotante se activa y llena los datos respectivos en Kg. y metros" points to the "Peso del techo (Kg)" field.
- "Introduzca Inclínación del tanque (mm)" points to the "Inclinación del Tanque (mm)" field.
- "Introduzca la Altura de platina de aforo (mm)" points to the "Altura de la platina de aforo (mm)" field.
- "Introduzca el número de anillos" points to the "Número de Anillos" dropdown.
- "Introduzca el diámetro nominal (mm)" points to the "Diámetro Nominal (mm)" field.
- "Dar clic en calcular después de haber llenado todos los datos" points to the "CALCULAR" button.
- "Altura del cono en (mm)" points to the "Altura del cono (mm)" field.
- "Ingrese temp. ambiente (°C)" points to the "Temperatura ambiente de Medición (°C)" field.
- "Ingrese temp. del producto (°C)" points to the "Temperatura del liquido de servicio (°C)" field.
- "Ingrese Grado API" points to the "Grado API 60 F" field.
- "Ingrese incremental en (cm)" points to the "Incrementales" field.
- "Seleccione los puntos para realizar el ajuste en una hoja de Excel con el formato indicado." points to the "PUNTOS CIRCUNFERENCIAS" button.

Ingreso de alturas, espesor de tanque, espesor y ancho de soldadura, accesorios e incertidumbre, estos datos se ingresan dependiendo del número de anillos del tanque. Estos datos se ingresan de igual manera que en el encintado

1.1.3 Calibración de tanques verticales por el método electroóptico externo

The image shows a software interface for vertical tank calibration. The interface is titled "TANQUES VERTICALES" and has a menu bar with "MENU" and "AYUDA". Below the menu bar are four tabs: "Método electro-óptico interno", "Método electro-óptico externo", "Calibración Líquida", and "Encintado". The "Método electro-óptico externo" tab is selected.

The interface is divided into two main columns. The left column contains the following fields: "Tipo de Unión" (dropdown menu with "TOPE" selected), "Tipo de Fondo" (dropdown menu with "CONO ARRIBA" selected), "Altura del Cono (mm)" (text input with "125"), and a checkbox labeled "Tanque con producto". The right column contains: "Tipo de Techo" (dropdown menu with "FIJO" selected), "Peso del Techo (Kg)" (text input), "Altura crítica superior (m)" (text input), "Altura crítica inferior (m)" (text input), and "Incertidumbre%" (text input).

Below these columns are several rows of input fields: "Altura del Líquido" (0.0), "Temperatura ambiente de medición (°C)" (32.5), "Temperatura del líquido de servicio (°C)" (33.3), "Grado API 60 F" (64.1), "Incremental (cm)" (2.54), "Espesor pintura (m)" (0), "Inclinación del Tanque (mm)" (33), "Altura platina de Aforo (mm)" (7), "Número de Anillos" (0), and "Diámetro nominal (mm)" (14316). At the bottom, there is a button labeled "PUNTOS CIRCUNFERENCIA" and a "Calcular" button.

Red arrows point from various text boxes to specific fields in the interface. The text boxes provide instructions on how to use the software:

- Se elige si es el tipo de unión a **tope** o **traslapado**** (Points to "Tipo de Unión")
- Se elige el tipo de fondo: **Plano, arriba, abajo**** (Points to "Tipo de Fondo")
- Si es el fondo Arriba o abajo se llena la altura del cono (mm)** (Points to "Altura del Cono (mm)")
- Seleccione si hay producto** (Points to "Tanque con producto" checkbox)
- Ingrese Altura del líquido en metros (m)** (Points to "Altura del Líquido")
- Ingrese Temp. Ambiente (°C)** (Points to "Temperatura ambiente de medición (°C)")
- Ingrese Temp. del producto (°C)** (Points to "Temperatura del líquido de servicio (°C)")
- Ingrese grado API** (Points to "Grado API 60 F")
- Ingrese Incremental en (cm)** (Points to "Incremental (cm)")
- Se elige el tipo de Techo: **Fijo, Flotante**** (Points to "Tipo de Techo")
- Si es Flotante se activa y llena los datos respectivos en Kg. y metros** (Points to "Peso del Techo (Kg)", "Altura crítica superior (m)", and "Altura crítica inferior (m)")
- Introduzca espesor de pintura (mm)** (Points to "Espesor pintura (m)")
- Introduzca Inclinación del tanque (mm)** (Points to "Inclinación del Tanque (mm)")
- Introduzca la Altura de platina de aforo (mm)** (Points to "Altura platina de Aforo (mm)")
- Introduzca el número de anillos** (Points to "Número de Anillos")
- Introduzca el diámetro nominal (mm)** (Points to "Diámetro nominal (mm)")
- Selección los puntos para realizar el ajuste en una hoja de Excel con el formato indicado.** (Points to "PUNTOS CIRCUNFERENCIA" button)
- Dar clic en calcular después de haber llenado **todos los datos**** (Points to "Calcular" button)

Ingreso de alturas, espesor de tanque, espesor y ancho de soldadura, accesorios e incertidumbre, estos datos se ingresan dependiendo del número de anillos del tanque. Estos datos se ingresan de igual manera que en el encintado

1.2 TANQUES ESFÉRICOS-ENCINTADO

1.2.1 Pantalla Principal de Tanques Esféricos.

Seleccionar "Tanques Esféricos", para que continúe con el ingreso de datos, en la siguiente ventana



1.2.2 Ingreso de los parámetros y características físicas del tanque a calibrar.

The screenshot shows a software window titled 'Calibración Líquida Encintado'. It contains several data entry fields and a 'CALCULAR' button. Red arrows point from callout boxes to specific fields in the interface.

Callout Boxes:

- Se ingresa el valor el valor de circunferencia tomada en el plano vertical C2 (m)
- Se ingresa el valor el valor de circunferencia horizontal C1 (m)
- Se ingresa el valor de circunferencia tomada 90 desde C2 en el plano vertical C3 (m)
- Se ingresa la altura interna Vertical Dm (m)
- Se ingresa la distancia sobre la línea Ecuador H (m)
- Se ingresa la distancia desfasada de la línea central m (m)
- Se ingresa la temperatura del tanque (°C).
- Se ingresa el volumen muerto en (bbl por 1/8 in).
- Se elige si el tanque tiene producto o no lo tiene.
- En el caso de que tenga producto el tanque se ingresa la altura del líquido.
- Se elige el incremental con el cual se generan las
- Imagen representativa de las medidas del tanque.
- Una vez ingresado todos los datos presionamos el botón **Calcular...**

Interface Fields:

- Table 1:**

Circunferencia Plano Horizontal:	36.47846394
Circunferencia Plano Vertical:	36.50284794
Circunferencia 90 - C2 Plano Vertical:	36.49675194
Altura Interna Vertical:	11.44898902
Distancia C sobre la línea Ecuador:	0.253999863
- Table 2:**

Tanque con Producto:	<input type="checkbox"/>
Altura del Líquido:	11.5823937
Incremental:	0.025399986
- Table 3:**

Distancia desfasada línea cenal:	10.6679998
Temperatura del tanque C:	25
Espesor 1:	0.018999977
Espesor 2:	0.01799998
Espesor 3:	0.0179998
Volumen Muerto:	0

Diagram: A 3D diagram of a spherical tank with labels C1, C2, C3, H, and Dm. A '2m' scale bar is also shown.

1.3 MANUAL TANQUES ESFEROIDALES-ENCINTADO

1.3.1 Pantalla Principal de Tanques Esferoidales.

The screenshot shows the Petroafin logo and 'SERVICIOS PETROLEROS Y AFINES S.A.' at the top. Below it, a 'Tipo de Tanque' section has four radio button options: 'Tanques Verticales', 'Tanques Horizontales', 'Tanques Esféricos', and 'Tanques Esferoidales'. The 'Tanques Esferoidales' option is selected. A 'CALIBRAR TANQUE' button is located below the options. To the right is a 3D rendering of a spherical tank. A callout box points to the 'Tanques Esferoidales' option.

Callout Box:

Seleccionar "Tanques Esferoidales", para que continúe con el ingreso de datos, en la siguiente ventana

1.3.2 Ingreso de los parámetros y características físicas del tanque a calibrar

The image shows a software interface for tank calibration with several data entry tables and a technical diagram. Red arrows point from text boxes to specific fields in the interface.

Table 1: General Parameters

Radio exterior de la curvatura vertical	4.448617098
Distancia barra goteo al centro [dvbc]	3.797318269
Espesor barra de goteo	0.008381995

Table 2: Distancias (barra de goteo - línea de fondo de capacidad)

Distancia -línea Capacidad1:	0.146049921
Distancia -línea Capacidad2:	0.146049921
Distancia -línea Capacidad3:	0.146049921
Distancia -línea Capacidad4:	0.146049921

Table 3: Geometric and Capacity Parameters

Circunferencia Horizontal Máxima:	39.52646394
Circunferencia en la Barra de Goteo:	36.06698395
Volumen Muerto[8bbll/in]:	0.0000459327
Radio Interior Máximo BP:	6.28095263
Radio interno barra de goteo BP:	5.724540231
Altura del líquido [HL]:	5.09269725

Table 4: Input Parameters

a	4.012405353
h	0.012699993
R	4.440235102
L	1.927223959
Incremental	0.025399986
Temperatura del Tanque	25

Diagram: A cross-section of a spherical tank with a liquid level. Labels include: *Chm* (horizontal maximum circumference), *dvbc* (drip bar center), *Cbg* (drip bar circumference), *recv* (vertical curvature radius), *Hl* (liquid height), *hbg* (drip bar height), *L* (horizontal distance), *a* (vertical distance), *R* (radius), and *h* (height).

Callouts:

- Se ingresa el Radio de la curvatura vertical *recv* (m)
- Se ingresa h (m)
- Se ingresa a (m)
- Se ingresa R (m)
- Se ingresa L (m)
- Se ingresa la distancia barra goteo al centro *dvbc* (m)
- Se ingresa el espesor de la barra de goteo *Epg*(m)
- Se ingresa la línea de capacidad 1 (m)
- Se ingresa la línea de capacidad 2 (m)
- Se ingresa la línea de capacidad 3 (m)
- Se ingresa la línea de capacidad 4 (m)
- Se ingresa el Radio interior máximo BP (m)
- Se ingresa el Radio interno barra de goteo BP (m)
- Se ingresa la altura del Líquido HL (m)
- Se ingresa el volumen muerto (8bbll/in)
- Se ingresa la circunferencia en la barra de goteo *Cbg* (m)
- Se ingresa la fecha circunferencia horizontal máxima *Chm* (m)
- Se ingresa el incremental de las tablas de aforo (1in)
- Se ingresa la temperatura (°C)

Buttons: Encintado, Calibracion Ilíquida, CACULAR

1.4 MANUAL TANQUES HORIZONTALES -ENCINTADO

1.4.1 Pantalla Principal de Tanques Horizontales.

Seleccionar "Tanques Horizontales", para que continúe con el ingreso de datos, en la siguiente ventana



1.4.2 Ingreso de los parámetros y características físicas del tanque con cabeza Toriesférica

Se ingresa la presión en (Pa)

Se ingresa el espesor de Cabeza (mm)

Se ingresa el espesor de Cuerpo (mm)

Se ingresa la longitud del cuerpo (m)

Se ingresa el número de anillos del tanque

Se ingresan las temperaturas de líquido, superficie ambiente (°C)

Se ingresa el diámetro al 20% y 80% (m)

Se ingresa la longitud del casquete X (m)

Se ingresa el Radio de Reborde en RK en (m)

Se ingresa el Radio de Bombeo en RD en (m)

Se ingresa el factor de corrección por inclinación E/D

Se selecciona el tipo de cabezas que posee el tanque:

- Toriesféricas
- Elípticas
- Esféricas
- Cónica

Encintado		Calibración líquida	
Presión (Pa):	15	Longitud del Casquete (m)	0.40
Espesor de la Cabeza(mm)	8	Radio de Reborde RK (m)	0.2
Espesor del Cuerpo(mm)	8	Radio de Bombeo RD (m)	0.95
Longitud del Cuerpo(m)	4	E/D	0.015
Número de Anillos	1		
Temperatura Líquido °C	27		
Temperatura Superficie °C	27		
Temperatura Ambiente °C	27		
Incremental (m):	0.01		

TIPO DE CABEZOTES	
TORIESFERICAS	
CALCULAR	
Diámetro 20% (m)	Diámetro 80% (m)
1,828	1,828

Se presiona el botón **CALCULAR** para seguir a la ventana para generar el Excel de las tablas de aforo

1.4.3 Ingreso de los parámetros y características físicas del tanque con cabeza Esférica

The image shows a software interface for calculating tank parameters. The interface is divided into several sections:

- Input Fields (Left):**
 - Presión (Pa): 15
 - Espesor de la Cabeza (mm): 8
 - Espesor del Cuerpo (mm): 8
 - Longitud del Cuerpo (m): 4
 - Numero de Anillos: 1
 - Temperatura Líquido (°C): 27
 - Temperatura Superficie (°C): 27
 - Temperatura Ambiente (°C): 27
 - Incremental (m): 0.01
- Radio de Bombeo (Right):**
 - Radio de Bombeo (m): 0.914
 - Radio Cabeza Esférica (m): 0.914
 - Longitud Cabeza Esférica (m): 0.914
 - E/D: 0.015
- TIPO DE CABEZOTES:**
 - CABEZAS ESFERICAS (Selected)
- CALCULAR:** A button to calculate the results.
- Output (Bottom):**
 - Diámetro 20% (m): 1,828
 - Diámetro 80% (m): 1,828

Annotations:

- "Se ingresa la presión en (Pa)" points to the Pressure field.
- "Se ingresa el espesor de Cabeza (mm)" points to the Head Thickness field.
- "Se ingresa el espesor de Cuerpo (mm)" points to the Body Thickness field.
- "Se ingresa la longitud del cuerpo (m)" points to the Body Length field.
- "Se ingresa el numero de anillos del tanque" points to the Number of Rings field.
- "Se ingresan las temperaturas de líquido, superficie ambiente (°C)" points to the temperature fields.
- "Se ingresa el incremental (m)" points to the Incremental field.
- "Se ingresa el diámetro al 20% y 80% (m)" points to the output diameter fields.
- "Se presiona el botón **CALCULAR** para seguir a la ventana para generar el Excel de las tablas de aforo" points to the Calculate button.
- "Se ingresa Radio de Bombeo (m)" points to the Pumping Radius field.
- "Se ingresa el Radio de Cabeza Esférica en (m)" points to the Spherical Head Radius field.
- "Se ingresa el Radio Longitud de la Cabeza Esférica (m)" points to the Spherical Head Length field.
- "Se ingresa el factor de corrección por inclinación E/D" points to the E/D field.
- "Se selecciona el tipo de cabezas que posee el tanque: -Torisféricas -Elípticas -Esféricas -Cónica" points to the Head Type dropdown menu.

Graph: A graph showing correction factors for E/D. The x-axis represents E/D (0.01 to 0.20) and the y-axis represents a correction factor (0.999 to 1.0). Curves are labeled with E/D values: 0.06, 0.055, 0.05, 0.045, 0.04, 0.035, 0.03, 0.025, 0.02, 0.015, 0.01.

1.4.4 Ingreso de los parámetros y características físicas del tanque con cabeza Elíptica.

Se ingresa la presión en (Pa)

Se ingresa el espesor de Cabeza (mm)

Se ingresa el espesor de Cuerpo (mm)

Se ingresa la longitud del cuerpo (m)

Se ingresa el número de anillos del tanque

Se ingresan las temperaturas de líquido, superficie ambiente (°C)

Se ingresa el incremental (m)

Se ingresa el diámetro al 20% y 80% (m)

Presión (Pa):	15
Espesor de la Cabeza (mm):	8
Espesor del Cuerpo (mm):	8
Longitud del Cuerpo (m):	4
Numero de Anillos:	1
Temperatura Líquido °C:	27
Temperatura Superficie °C:	27
Temperatura Ambiente °C:	27
Incremental (m):	0.01

TIPO DE CABEZOTES

CABEZAS ELIPTICAS

CALCULAR

Diámetro 20% (m)	1,828
Diámetro 80% (m)	1,828

Se presiona el botón **CALCULAR** para seguir a la ventana para generar el Excel de las tablas de aforo

Se ingresa Longitud de la Cabeza Elíptica (m)

Se ingresa el Radio de Cabeza Elíptica en (m)

Se ingresa el factor de corrección por inclinación E/D

Se selecciona el tipo de cabezas que posee el tanque:

- Torisféricas
- Elípticas
- Esféricas
- Conica

Longitud de la Cabeza Elíptica (m)	0.32
Radio de la Cabeza Elíptica (m)	1.4624
E/D	0.015

1.4.5 Ingreso de los parámetros y características físicas del tanque con cabeza Cónica

Se ingresa la presión en (Pa)

Se ingresa la altura del cono (m)

Se ingresa el espesor de Cabeza (mm)

Se ingresa el espesor de Cuerpo (mm)

Se ingresa la longitud del cuerpo (m)

Se ingresa el número de anillos del tanque

Se ingresan las temperaturas de líquido, superficie ambiente (°C)

Se ingresa el diámetro incremental (m)

Se ingresa el diámetro al 20% y 80% (m)

Se presiona el botón **CALCULAR** para seguir a la ventana para generar el Excel de las tablas de aforo

Se ingresa el factor de corrección por inclinación E/D

Se selecciona el tipo de cabezas que posee el tanque:

- Torisféricas
- Elípticas
- Esféricas
- Cónica

Encendido	Calibración Líquida
Presión (Pa):	15
Espesor de la Cabeza(mm)	8
Espesor del Cuerpo(mm)	8
Longitud del Cuerpo(m)	4
Número de Anillos	1
Temperatura Líquido °C	27
Temperatura Superficie °C	27
Temperatura Ambiente °C	27
Incremental (m):	0.01

TIPO DE CABEZOTES

CABEZAS CÓNICAS

CALCULAR

Diámetro 20% (m) | Diámetro 80% (m)

1,828 | 1,828

Altura del Cono (m)

0.914

E/D

0.015

d

1.5 INGRESO DE ACCESORIOS

1.5.1 Ingreso de los parámetros para el ingreso de Accesorios de tanques.

The screenshot shows the 'ACCESORIOS' section of the software. On the left, there is a vertical menu with fields for: Presión (Pa), Espesor de la Cabeza (mm), Espesor del Cuerpo (mm), Longitud del Cuerpo (m), Numero de Anillos, Temperatura Líquido °C, Temperatura Superficie °C, Temperatura Ambiente °C, and Incremental (m). Below these is a 'TIPO DE CABEZOTES' dropdown set to 'TORIESFERICAS' and a 'CALCULAR' button. At the bottom left, there are two input fields for 'Diámetro 20% (m)' and 'Diámetro 80% (m)'. The main area contains a 'Numero de accesorios' input field, a table with columns 'Numero de Accesorio', 'Desde (m)', 'Hasta (m)', and 'Volumen (m³)', and a 'CALCULAR' button. Callouts explain: 'Se ingresa el número de accesorios, para que se genere en la parte inferior las celdas respectivas' (pointing to the 'Numero de accesorios' field), 'Se ingresa el volumen del accesorio en m3' (pointing to the 'Volumen (m³)' column), 'Se ingresa "DESDE" Dd en (m)' (pointing to the 'Desde (m)' column), and 'Se ingresa "HASTA" Dh en (m)' (pointing to the 'Hasta (m)' column). A diagram below shows a tank accessory with diameter D_d and height D_h . Labels indicate 'Volumen(+)--accesorio externo' and 'Volumen(-)--accesorio interno'.

1.6 CALIBRACIÓN LÍQUIDA

1.6.1 Ingreso de los parámetros para la calibración de tanques por método líquido

The screenshot shows the 'Calibración líquida' section. At the top, there are three input fields: 'Numero de corridas', 'Incremental del Volumen', and 'Incremental de la tabla de Aforo'. Below these is a table with columns: 'Temperatura del Tanque', 'Temperatura Patrón °C', 'Altura (mm)', and 'Volumen Muerto (m³)'. Callouts explain: 'Se ingresa el número de corridas de la calibración líquida para que se generen las celdas' (pointing to 'Numero de corridas'), 'Se ingresa el volumen que se va a colocar en cada corrida dentro del tanque a calibrar (.' (pointing to 'Incremental del Volumen'), 'Se ingresa el número de corridas de la calibración líquida para que se generen las celdas' (pointing to 'Incremental de la tabla de Aforo'), 'Se ingresa la temperatura del tanque en °C, por corrida' (pointing to 'Temperatura del Tanque'), 'Se ingresa la temperatura del tanque patron en °C, por corrida' (pointing to 'Temperatura Patrón °C'), 'Se ingresa la altura registrada de líquido dentro del tanque a calibrar (mm)' (pointing to 'Altura (mm)'), and 'Se ingresa el volumen muerto registrado dentro del tanque (gal)' (pointing to 'Volumen Muerto (m³)'). The Petroafin logo is at the bottom.

1.7 GENERACIÓN DEL REPORTE DE CALIBRACIÓN

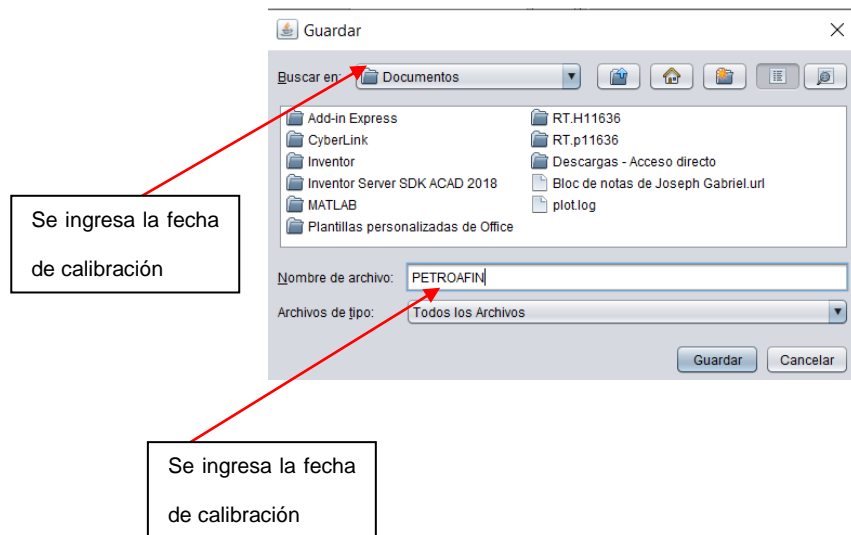
1.7.1 Ingreso de datos que irán en la parte superior de la hoja Excel generada para las tablas de aforo.

The image shows a software interface for entering calibration data. The form is divided into several sections: 'ESTACIÓN DE SERVICIO' and 'DATOS GENERALES'. The 'ESTACIÓN DE SERVICIO' section includes fields for 'UBICACIÓN' (QUITO), 'ESTACIÓN DE SERVICIO' (PUMA), 'CÓDIGO DEL TANQUE' (1), 'PRODUCTO QUE ALMACENA' (DIESEL), 'MATERIAL DE CUERPO Y CASQUETES' (ACERO), and 'TIPO DE TANQUE E INSTALACIÓN' (NON). The 'DATOS GENERALES' section includes fields for 'Capacidad máxima (galones)', 'Capacidad nominal (galones)(1)', 'Tipo de casquetes', 'Número de anillos', 'Temperatura ambiente (°C)', 'Temperatura promedio de líquido contrastador (°C)', 'Temperatura promedio de líquido del tanque (°C)', and 'Fluido de prueba'. There are also sections for 'Equipos utilizados' and 'Medidas Generales del Tanque'. A 'GENERAR EXCEL' button is located at the bottom right. Red arrows point from callout boxes to each field, explaining the data to be entered.

Callouts and their corresponding fields:



- Se ingresa la fecha de calibración (points to 'FECHA DE INSPECCIÓN')
- Se ingresa la ubicación del lugar donde se encuentra el tanque (points to 'UBICACIÓN')
- Se ingresa el nombre de la estación donde se va a Calibrar el tanque. (points to 'ESTACIÓN DE SERVICIO')
- Se ingresa el código del tanque (points to 'CÓDIGO DEL TANQUE')
- Se ingresa el producto que almacena (points to 'PRODUCTO QUE ALMACENA')
- Se ingresa el material de fabricación del tanque (points to 'MATERIAL DE CUERPO Y CASQUETES')
- Se ingresa el tipo de tanque a calibrar (points to 'TIPO DE TANQUE E INSTALACIÓN')
- Se ingresa la capacidad máxima del tanque (gal) (points to 'Capacidad máxima (galones)')
- Se ingresa la capacidad nominal del tanque (gal) (points to 'Capacidad nominal (galones)(1)')
- Se ingresa el tipo de casquetes en el caso de tanques (points to 'Tipo de casquetes')
- Se ingresa el número de anillos (points to 'Número de anillos')
- Se ingresa la temperatura ambiente (°C) (points to 'Temperatura ambiente (°C)')
- Se ingresa la temperatura ambiente (°C). (points to 'Temperatura promedio de líquido contrastador (°C)')
- Si se trata de calibración líquida se ingresa temperatura del contrastador (°C), caso contrario NA (points to 'Temperatura promedio de líquido del tanque (°C)')
- Se ingresa la temperatura promedio del líquido (°C) (points to 'Temperatura promedio de líquido del tanque (°C)')
- Se ingresa el fluido de prueba en caso de calibración líquida (points to 'Fluido de prueba')
- Una vez ingresado todos los datos presionamos el botón **GENERAR EXCEL....** (points to the 'GENERAR EXCEL' button)
- En caso de calibración líquida se ingresa la altura de referencia (mm) (points to 'Altura de referencia (mm)')
- En caso de calibración líquida se ingresa la altura promedio del tanque (mm) (points to 'Altura prom. del tanque (mm)')
- Se ingresa el material de fabricación del tanque (points to 'MATERIAL DE CUERPO Y CASQUETES')
- Se ingresa el tipo de tanque a calibrar (points to 'TIPO DE TANQUE E INSTALACIÓN')
- Se ingresa descripción de los equipos (points to 'Equipos utilizados' section)
- Se ingresa cantidad de equipos (points to 'Equipos utilizados' section)
- Se ingresa cantidad de anillos (points to 'Equipos utilizados' section)
- Se ingresa cantidad de equipos (points to 'Equipos utilizados' section)
- Se ingresa la longitud del cuerpo (mm) (points to 'Longitud cuerpo / total (mm)')
- Se ingrese el diámetro promedio del tanque (mm) (points to 'Diámetro prom. tanque (mm)')

1.7.2 Se elige la ubicación dentro del ordenador para generar en ella el Excel de la tabla de aforo.



1.7.3 Generación del Reporte de Calibración

Ejemplo: Tanque Esferico desde una altura de 0 in a 200 in(Capacidad Total =3422.816 bbl)

		REGISTRO							
		Inspección Volumétrica Líquida de Tanques Estacionarios							
INSPECTORA INDEPENDIENTE		Norma de referencia: API 2555				FR-IT-HL-02-02/18			
ESTACIÓN DE SERVICIO:		PETROECUADOR		CÓDIGO DEL TANQUE:		ESFEROIDE			
UBICACIÓN:		ORIENTE		PRODUCTO QUE ALMACENA:		GLP			
FECHA DE INSPECCIÓN:		06-abr-2019		MATERIAL DE CUERPO Y CASQUETES:		ACERO			
				TIPO DE TANQUE E INSTALACIÓN:		-			
Datos Generales				Equipos utilizados					
Capacidad máxima (galones)	-	Descripción		Código / Fecha calibración					
Capacidad nominal (galones)(1)	-	Contrastador de 50 bblones		-					
Tipo de casquetes	-	Cinta de aforo con plomada		-					
Número de anillos	-	Termometro con sonda inmersión		-					
Temperatura ambiente (°C)	-	Medidas Generales del Tanque							
Temperatura promedio de líquido contrastador (°C)	-	Longitud cuerpo / total (mm)		-					
Temperatura promedio de líquido del tanque (°C)	-	Diámetro prom. tanque (mm)		-					
Fluido de prueba	-	Altura prom. del tanque (mm)		-					
		Altura de referencia (mm)		-					
CORRIDA DE CALIBRACIÓN - ALTURAS Y SUS CORRESPONDIENTES CAPACIDADES									
Altura (in)	Volumen (bbl)	Altura (in)	Volumen (bbl)	Altura (in)	Volumen (bbl)	Altura (in)	Volumen (bbl)	Altura (in)	Volumen (bbl)
0,0	0,0	41,0	442,063	82,0	1092,3	123,0	1867,613	164,0	2699,219
1,0	7,384	42,0	455,841	83,0	1110,016	124,0	1887,495	165,0	2719,644
2,0	14,973	43,0	469,739	84,0	1127,804	125,0	1907,409	166,0	2740,06
3,0	22,763	44,0	483,755	85,0	1145,664	126,0	1927,354	167,0	2760,468
4,0	30,751	45,0	497,889	86,0	1163,595	127,0	1947,329	168,0	2780,866
5,0	38,933	46,0	512,14	87,0	1181,596	128,0	1967,334	169,0	2801,253
6,0	47,306	47,0	526,505	88,0	1199,665	129,0	1987,368	170,0	2821,629
7,0	55,866	48,0	540,983	89,0	1217,802	130,0	2007,43	171,0	2841,992
8,0	64,61	49,0	555,574	90,0	1236,006	131,0	2027,518	172,0	2862,342
9,0	73,536	50,0	570,276	91,0	1254,276	132,0	2047,632	173,0	2882,677
10,0	82,641	51,0	585,088	92,0	1272,609	133,0	2067,77	174,0	2902,998
11,0	91,922	52,0	600,008	93,0	1291,007	134,0	2087,933	175,0	2923,301
12,0	101,377	53,0	615,035	94,0	1309,468	135,0	2108,119	176,0	2943,587
13,0	111,004	54,0	630,169	95,0	1327,99	136,0	2128,326	177,0	2963,855
14,0	120,798	55,0	645,407	96,0	1346,573	137,0	2148,555	178,0	2984,104
15,0	130,761	56,0	660,749	97,0	1365,215	138,0	2168,804	179,0	3004,332
16,0	140,887	57,0	676,194	98,0	1383,916	139,0	2189,071	180,0	3024,54
17,0	151,176	58,0	691,739	99,0	1402,674	140,0	2209,358	181,0	3044,726
18,0	161,625	59,0	707,386	100,0	1421,489	141,0	2229,661	182,0	3064,888
19,0	172,232	60,0	723,131	101,0	1440,36	142,0	2249,981	183,0	3085,027
20,0	182,996	61,0	738,974	102,0	1459,286	143,0	2270,316	184,0	3105,141
21,0	193,914	62,0	754,913	103,0	1478,265	144,0	2290,666	185,0	3125,229
22,0	204,984	63,0	770,948	104,0	1497,297	145,0	2311,03	186,0	3145,29
23,0	216,206	64,0	787,078	105,0	1516,38	146,0	2331,405	187,0	3165,324
24,0	227,576	65,0	803,301	106,0	1535,514	147,0	2351,793	188,0	3185,33
25,0	239,093	66,0	819,616	107,0	1554,697	148,0	2372,191	189,0	3205,305
26,0	250,755	67,0	836,023	108,0	1573,93	149,0	2392,598	190,0	3225,25
27,0	262,561	68,0	852,519	109,0	1593,211	150,0	2413,015	191,0	3245,164
28,0	274,51	69,0	869,104	110,0	1612,538	151,0	2433,439	192,0	3265,045
29,0	286,599	70,0	885,777	111,0	1631,911	152,0	2453,871	193,0	3284,893
30,0	298,826	71,0	902,536	112,0	1651,329	153,0	2474,309	194,0	3304,707
31,0	311,192	72,0	919,381	113,0	1670,791	154,0	2494,752	195,0	3324,486
32,0	323,693	73,0	936,311	114,0	1690,296	155,0	2515,199	196,0	3344,228
33,0	336,328	74,0	953,323	115,0	1709,843	156,0	2535,65	197,0	3363,933
34,0	349,095	75,0	970,418	116,0	1729,43	157,0	2556,102	198,0	3383,6
35,0	361,994	76,0	987,595	117,0	1749,058	158,0	2576,556	199,0	3403,228
36,0	375,023	77,0	1004,851	118,0	1768,725	159,0	2597,009	200,0	3422,816
37,0	388,18	78,0	1022,187	119,0	1788,43	160,0	2617,459		
38,0	401,464	79,0	1039,601	120,0	1808,173	161,0	2637,906		
39,0	414,873	80,0	1057,092	121,0	1827,951	162,0	2658,349		
40,0	428,407	81,0	1074,659	122,0	1847,766	163,0	2678,787		

CERTIFICADO DE ACEPTACIÓN



Quito, 24 de Abril del 2019

Ingeniero

Ángelo Villavicencio

DIRECTOR DE LA CARRERA DE INGENIERÍA

MECÁNICA DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS "ESPE"

Sangolquí

De mis consideraciones

En mi calidad de Jefe del área técnica de la empresa PETRO AFIN S.A , mediante el presente comunico a usted, Señor Director, que la empresa expresa su conformidad con el proyecto titulado " **REDISEÑO Y MEJORA DEL SOFTWARE DE CALIBRACIÓN DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE HIDROCARBUROS USANDO LAS NORMAS API MPMS E ISO APLICABLES, PARA LA EMPRESA PETROAFIN S.A**", desarrollado por los señores Joseph Gabriel Grijalva Roman con cédula 1722192786 y Jonathan David Changoluisa Codena con cédula 1721220133

Atentamente


Ing. Malena Chavez

Cel: 0995847613

