

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**“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 MPMS 2-A,
2551 y 2552 PARA LA EMPRESA PETROAFIN S.A”**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO
MECÁNICO**

**JOSÉ ALBERTO NÚÑEZ ENRÍQUEZ
LUIS SANTIAGO HIDALGO SUQUILLO**

**DIRECTOR: ING. JUAN PABLO ALCOSER
CODIRECTOR: ING. ÁNGELO VILLAVICENCIO**

Sangolquí, 09 de Noviembre del 2010

CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto “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 MPMS 2-A , 2551 y 2552 PARA LA EMPRESA PETROAFIN S.A” fue realizado en su totalidad por José Alberto Núñez Enríquez y Luis Santiago Hidalgo Suquillo, como requerimiento parcial para la obtención del título de Ingeniero Mecánico.

Ing. Juan Pablo Alcoser

DIRECTOR

Ing. Ángelo Villavicencio

CODIRECTOR

Sangolquí, 09-11-2010

LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO

“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 MPMS 2-A , 2551 y 2552 PARA LA EMPRESA PETROAFIN S.A”

ELABORADO POR:

José Alberto Núñez Enríquez

Luis Santiago Hidalgo Suquillo

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

Ing. Xavier Sánchez

DIRECTOR

Sangolquí, 09-11-2010

DEDICATORIA

Para mis padres Edgar Núñez y Myriam Enríquez, por su comprensión y ayuda en todos los momentos. Me han enseñado a encarar las adversidades sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento. Me han dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi perseverancia y mi empeño, y todo ello con una gran dosis de amor y sin pedir nunca nada a cambio.

José Alberto Núñez Enríquez

A mis padres Armando Hidalgo y María Suquillo, a mis hermanos Diego y Johnny que han sido un pilar en mi vida, una guía y un ejemplo a seguir, gracias a su apoyo, su esfuerzo y su amor incondicional, he logrado cumplir la meta mas anhelada y seguir superándome cada día más para ser un buen ser humano y un excelente profesional.

Luis Santiago Hidalgo Suquillo

AGRADECIMIENTO

A Dios, por darme la oportunidad de alcanzar mi sueño de ser Ingeniero Mecánico y ser mi guía durante todos los días de mi vida. A mi familia y amigos de la Carrera de Ingeniería Mecánica que han estado a lo largo de este tiempo brindándome todo su apoyo incondicional.

A la Escuela Politécnica del Ejército, por darme la oportunidad de forjarme profesionalmente y a la empresa PETROAFIN SA, por auspiciar la ejecución de este proyecto.

José Alberto Núñez Enríquez

A Dios, por darme la salud y permitir que pueda culminar esta etapa de mi vida cumpliendo mis metas y sueños, dándome perseverancia y humildad. A mis padres, hermanos y amigos de la Carrera de Ingeniería Mecánica por brindarme todo su apoyo durante este tiempo.

A la Escuela Politécnica del Ejército, por darme la oportunidad de forjarme profesionalmente.

A la empresa PETROAFIN SA, por auspiciar y apoyar este proyecto de grado.

Luis Santiago Hidalgo Suquillo

INDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO	ii
LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
INDICE DE CONTENIDOS	vi
INDICE DE TABLAS	xii
INDICE DE FIGURAS	xiv
INDICE DE ANEXOS	xvi
NOMENCLATURA TANQUES VERTICALES	xvii
NOMENCLATURA TANQUES HORIZONTALES	xviii
NOMENCLATURA TANQUES ESFÉRICOS	xix
RESUMEN	xxi
CAPÍTULO 1	1
GENERALIDADES	1
1.1. INTRODUCCION	1
1.2. ANTECEDENTES	2
1.3. SITUACIÓN ACTUAL	3
1.4. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	5
1.5. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA	6
1.6. OBJETIVOS	7
1.6.1. GENERAL	7
1.6.2. ESPECIFICO	7
1.7. ALCANCE	8
CAPÍTULO 2	9
MARCO CONTEXTUAL	9
2.1. HIDROCARBUROS	9
2.1.1. INTRODUCCION	9
2.2. TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE HIDROCARBUROS	22
2.2.1. INTRODUCCION	22
2.2.2. TIPOS DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE HIDROCARBUROS	23

2.2.2.1. Tanques Verticales	24
2.2.2.1.1. Techo Fijo.-	25
2.2.2.1.2. Techo Flotante.-	26
2.2.2.1.3. Tanques sin Techo.-	26
2.2.2.2. Tanques Horizontales	28
2.2.2.2.1. Cabezas Planas.-	29
2.2.2.2.2. Toriesférica:	29
2.2.2.2.3. Semielíptica.-	29
2.2.2.2.4. Semiesférica:	29
2.2.2.3. Tanques Esféricos	30
CAPÍTULO 3	32
MEDICIONES Y TOMA DE DATOS	32
3.1. MEDICIONES	32
3.1.1. DEFINICIÓN	32
3.1.2. ASPECTOS GENERALES	32
3.1.3. SEGURIDAD	33
3.1.4. TOLERANCIAS	34
3.1.5. EQUIPOS DE MEDICIÓN	35
3.1.5.1. Plomada	35
3.1.5.2. Cinta de acero	35
3.1.5.3. Cinta de fibra de vidrio	36
3.1.5.4. Flexómetro.-	36
3.1.5.5. Regla de Ingeniero.-	37
3.1.5.6. Medidor de espesores.-	37
3.1.5.7. Estación total.-	38
3.1.5.8. Nivel de burbuja.-	39
3.1.5.9. Otras Herramientas.-	39
3.1.6. MEDICIONES EN TANQUES VERTICALES	40
3.1.6.1. Condiciones de Medida	40
3.1.6.2. Medición de Espesores	41
3.1.6.3. Medición de las Longitudes Verticales	42
3.1.6.4. Medición de las Circunferencias	51
3.1.6.5. Medición de Volúmenes Muertos	52
3.1.7. MEDICIONES EN TANQUES HORIZONTALES	54

3.1.7.1. Condiciones de Medida	54
3.1.7.2. Medición de Espesores	54
3.1.7.3. Medición de la Longitud	55
3.1.7.4. Medición de las Circunferencias	55
3.1.7.5. Medición de las Cabezas	58
3.1.8. MEDICIONES PARA TANQUES ESFÉRICOS	58
3.1.8.1. Mediciones de Campo	59
3.2. TOMA DE DATOS	60
CAPÍTULO 4	62
CALIBRACIÓN DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO	62
4.1. DEFINICIÓN	62
4.2. IMPORTANCIA	62
4.3. MÉTODOS DE CALIBRACIÓN	63
4.3.1. MÉTODO VOLUMÉTRICO	65
4.3.2. MÉTODO GEOMÉTRICO	66
4.3.2.1. Método Geométrico Externo por Cinta Métrica	67
4.3.2.2. Método Geométrico Externo por Línea de Referencia Óptica	68
4.3.2.3. Método Geométrico Externo por Triangulación	69
4.3.2.4. Método Geométrico Interno por Triangulación	70
4.3.3. MÉTODO GRAVIMÉTRICO	70
4.4. CALIBRACIÓN DE TANQUES VERTICALES	70
4.4.1. PROCEDIMIENTO NORMA API MPMS 2-A	70
4.4.1.1. Corrección de cinta a temperatura base	71
4.4.1.2. Corrección de circunferencia a tanque vacío	71
4.4.1.3. Corrección por elevación de cinta	72
4.4.1.3.1. Para Juntas Soldadas a Tope	72
4.4.1.3.2. Juntas Traslapadas	72
4.4.1.4. Corrección de circunferencia por espesor de placa	73
4.4.1.5. Incremento de volumen por anillo o referencia definida	73
4.4.1.5.1. Corrección por cabezal liquido	73
4.4.1.5.2. Incremento por cabezal liquido arriba de cada anillo	73
4.4.1.6. Corrección por inclinación	74
4.4.1.7. Corrección de volumen por temperatura	74
4.4.1.8. Reducciones e Incrementos del volumen muerto	75

4.4.1.8.1. Volumen muerto por accesorios	75
4.4.1.8.2. Volumen muerto por fondo	75
4.4.1.8.3. Volumen muerto por techo flotante	76
4.5. CALIBRACIÓN DE TANQUES HORIZONTALES	77
4.5.1. PROCEDIMIENTO NORMA API 2551	77
4.5.1.1. Perímetro del cilindro principal	78
4.5.1.1.1. Para Juntas Soldadas a Tope	78
4.5.1.1.2. Para Juntas Traslapadas	78
4.5.1.2. Factor de Corrección por Presión de Trabajo	79
4.5.1.3. Funciones para el incremento del perímetro del cilindro debido a la presión de trabajo	79
4.5.1.4. Corrección por elevación de cinta	81
4.5.1.4.1. Para Juntas Soldadas a Tope	81
4.5.1.4.2. Juntas Traslapadas	81
4.5.1.4.3. Circunferencia corregida por elevación de cinta	82
4.5.1.5. Perímetro del cilindro principal corregido	82
4.5.1.6. Diámetro interno del cilindro principal	82
4.5.1.7. Diámetro interno de la parte cilíndrica de las cabezas	83
4.5.1.7.1. Para Juntas Soldadas a Tope	83
4.5.1.7.2. Para Juntas Traslapadas	83
4.5.1.8. Longitud del cilindro principal	83
4.5.1.9. Volumen total del cilindro	85
4.5.1.10. Volumen de las cabezas	85
4.5.1.10.1. Cabeza esférica	85
4.5.1.10.2. Cabeza semielíptica 2:1	85
4.5.1.10.3. Cabeza torriesférica	85
4.5.1.11. Volumen del tanque horizontal	87
4.5.1.12. Corrección del volumen por inclinación	87
4.5.1.13. Corrección de volumen por temperatura	88
4.5.2. VOLUMENES PARCIALES PROCEDIMIENTO NORMA API 2551	90
4.5.3. DETERMINACIÓN DE UN ALGORITMO MATEMÁTICO PARA VOLUMENES PARCIALES	92
4.5.3.1. Volumen del cilindro en función de un incremento “y”	92

4.5.3.1.1. Variación del área de la circunferencia en función del incremento “y”	92
4.5.3.1.2. Volumen del cilindro principal incluida la parte cilíndrica de las cabezas	93
4.5.3.2. Volumen de las cabezas en función de un incremento “y”	94
4.5.3.2.1. Cabezas esféricas	94
4.5.1.2.1. Cabezas semielípticas	95
4.5.1.2.2. Cabezas torriesféricas	96
4.5.3.3. Volumen teórico total del tanque en función del incremento “y”	96
4.5.3.4. Factor de corrección del volumen	97
4.5.4. VALIDACIÓN DEL ALGORITMO MATEMÁTICO	97
4.6. CALIBRACIÓN DE TANQUES ESFÉRICOS	99
4.6.1. PROCEDIMIENTO NORMA API 2552	99
4.6.1.1. Corrección de la circunferencia Horizontal C1	99
4.6.1.2. Cálculo de las circunferencias internas	99
4.6.1.3. Cálculo del volumen total del tanque	100
4.6.1.4. Cálculo del diámetro interno	100
4.6.1.5. Corrección del volumen por la temperatura de trabajo	100
4.6.2. VOLÚMENES PARCIALES PROCEDIMIENTO NORMA API 2552	102
4.6.3. DETERMINACIÓN DE UN ALGORITMO MATEMÁTICO PARA VOLUMENES PARCIALES	103
4.6.3.1. Volumen del tanque en función de un incremento “y”.-	103
4.6.3.2. Factor de corrección del volumen	104
4.6.4. VALIDACIÓN DEL ALGORITMO MATEMÁTICO	105
CAPÍTULO 5	107
DISEÑO DEL SOFTWARE	107
5.1 INTRODUCCION	107
5.2 DEFINICION DE ELEMENTOS DE ENTRADA	108
5.2.1 PANTALLA PRINCIPAL	108
5.2.2 TANQUES VERTICALES	109
5.2.3 TANQUES HORIZONTALES	111
5.2.4 TANQUES ESFERICOS	113
5.3 DEFINICION DE ELEMENTOS DE SALIDA	114

5.3.1	TANQUES VERTICALES	114
5.3.2	TANQUES HORIZONTALES	116
5.3.3	TANQUES ESFÉRICOS	118
5.4	FLUJOGRAMAS PARA EL DISEÑO DEL SOFTWARE	119
5.4.1	PANTALLA PRINCIPAL	119
5.4.2	TANQUES VERTICALES	120
5.4.3	TANQUES HORIZONTALES	121
5.4.4	TANQUES ESFÉRICOS	122
5.5	PROGRAMACIÓN VISUAL	122
5.5.1	PANTALLA PRINCIPAL	123
5.5.2	TANQUES VERTICALES	124
5.5.3	TANQUES HORIZONTALES	126
5.5.4	TANQUES ESFÉRICOS	129
5.6	CODIFICACIÓN DEL PROGRAMA	130
5.6.1	PANTALLA PRINCIPAL	130
5.6.2	TANQUES VERTICALES	133
5.6.3	TANQUES HORIZONTALES	156
5.6.4	TANQUES ESFÉRICOS	180
CAPÍTULO 6		187
EVALUACIÓN DEL SOFTWARE		187
6.1.	EVALUACIÓN DE RESULTADOS PARA TANQUES VERTICALES	187
6.1.1.	CORRECCIONES PROCEDIMIENTO API MPMS 2-A	187
6.1.2.	VOLUMEN MUERTO	190
6.1.3.	TABLA DE CALIBRACIÓN	194
6.2.	EVALUACIÓN DE RESULTADOS PARA TANQUES HORIZONTALES	197
6.2.1.	CORRECCIONES PROCEDIMIENTO API 2551	197
6.2.2.	VOLUMEN MUERTO	198
6.2.3.	TABLA DE CALIBRACIÓN	199
6.3.	EVALUACIÓN DE RESULTADOS PARA TANQUES ESFÉRICOS	201
6.3.1.	CORRECCIONES PROCEDIMIENTO API 2555	201
6.3.2.	Tabla de calibración	202
CAPITULO 7		205
ANALISIS ECONÓMICO FINANCIERO		205

7.1. CONCEPTOS GENERALES	205
7.1.1. FLUJO DE CAJA	205
7.1.2. VALOR ACTUAL NETO (VAN)	205
7.1.3. TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)	206
7.1.4. COSTO-BENEFICIO (B/C)	207
7.2. ANÁLISIS DE INVERSIÓN Y GASTOS OPERATIVOS	208
7.2.1. INVERSIÓN DEL PROYECTO	208
7.2.2. GASTOS OPERATIVOS	209
7.3. ANALISIS DE INGRESOS Y EGRESOS DE LA EMPRESA	209
7.3.1. INGRESOS Y EGRESOS DE LA EMPRESA SIN LA IMPLEMENTACIÓN DEL SOFTWARE	209
7.3.2. INGRESOS Y EGRESOS DE LA EMPRESA CON LA IMPLEMENTACIÓN DEL SOFTWARE	212
7.3.3. FLUJO DE CAJA DIFERENCIAL	215
7.4. ANALISIS DE INDICADORES FINANCIEROS	216
7.4.1. RESULTADOS	217
CAPITULO 8	218
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	218
8.1. CONCLUSIONES	218
8.2. RECOMENDACIONES	220
BIBLIOGRAFÍA	221

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Tanques Calibrados por la empresa PETROAFIN S.A.	4
Tabla 2.1 Clasificación según el grado API	10
Tabla 2.2 Limites de explosividad y temperatura de auto inflamación	20
Tabla 2.3 Tipos de Fondo	27
Tabla 2.4 Tipos de Cabezas	29
Tabla 3.1. Tolerancias Circunferenciales	34
Tabla 3.2. Características de la Plomada	35
Tabla 3.3. Características de la Cinta de Acero	36
Tabla 3.4. Características de la Cinta de Fibra de Vidrio	36

Tabla 3.5. Características del Flexómetro	37
Tabla 3.6. Características de la Regla de Ingeniero	37
Tabla 3.7. Características del Medidor de Espesores	38
Tabla 3.8. Características de la Estación Total	39
Tabla 3.9. Características del Nivel de Burbuja	39
Tabla 4.1. Número de mínimo de estaciones	69
Tabla 4.2. Coeficiente de expansión lineal	88
Tabla 4.3. Calibración procedimiento API 2551	97
Tabla 4.4. Calibración mediante el algoritmo matemático	98
Tabla 4.5. Comparación de las tablas de calibración	98
Tabla 4.6. Comparación de las tablas de calibración	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 5.1. Elementos de entrada – Pantalla Principal	108
Tabla 5.2. Elementos de entrada – Tanques Verticales	109
Tabla 5.3. Elementos de entrada – Tanques Horizontales	111
Tabla 5.4. Elementos de entrada – Tanques Esféricos	113
Tabla 5.5. Elementos de salida – Tanques Verticales	115
Tabla 5.6. Elementos de salida – Tanques Horizontales	116
Tabla 5.7. Elementos de salida – Tanques Esféricos	118
Tabla 6.1. Comparación Correcciones – T. Verticales	187
Tabla 6.2. Comparación Accesorios S.I. – T. Verticales	190
Tabla 6.3. Comparación Accesorios S.A. – T. Verticales	192
Tabla 6.4. Comparación V. Fondo - S.I.	193
Tabla 6.5. Comparación V. Fondo - S.A.	193
Tabla 6.6. Comparación V. Techo - S.I.	193
Tabla 6.7. Comparación V. Techo - S.A.	194
Tabla 6.8. Comparación Volumen Total S.I. – T. Verticales	195
Tabla 6.9. Comparación Volumen Total S.A. – T. Verticales	196
Tabla 6.10. Comparación Correcciones – T. Horizontales	197
Tabla 6.11. Comparación Incrementos Volumen Accesorios- SI	198
Tabla 6.12. Comparación Incrementos Volumen Accesorios- SA	199
Tabla 6.13. Comparación Volumen Total S.I. – T. Horizontales	200
Tabla 6.14. Comparación Volumen Total S.A. – T. Horizontales	200
Tabla 6.15. Comparación Correcciones – T. Esféricos	202

Tabla 6.16 Comparación Volumen Total S.I. – T. Esféricos	202
Tabla 6.17 Comparación Volumen Total S.A. – T. Esféricos	203
Tabla 7.1 Interpretación del Valor actual neto	206
Tabla 7.2 Interpretación de la Taza interna de retorno	207
Tabla 7.3 Interpretación del Costo-Beneficio	207
Tabla 7.3 Interpretación del Costo-Beneficio (continuación)	208
Tabla 7.4 Inversión Total	208
Tabla 7.5 Gastos de Operación	209
Tabla 7.6 Ingreso Anual	210
Tabla 7.7 Egreso Anual	211
Tabla 7.8 Ingreso Anual	213
Tabla 7.9 Egreso Anual	214
Tabla 7.10 Flujo de Caja (Caso Actual)	215
Tabla 7.11 Flujo de Caja (Caso Propuesto)	215
Tabla 7.12 Flujo de Caja Diferencial	216
Tabla 7.13 Flujo neto de fondos	217
Tabla 7.14 Rentabilidad	217

INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Operaciones de Tanques de Almacenamiento	22
Figura 2.2 Fotografía de un Tanque Vertical	24
Figura 2.3 Diagrama de un Tanque Vertical	24
Figura 2.4 Tanque Vertical con Techo Fijo	25
Figura 2.5 Tanque Vertical con Cubierta Interna Flotante	26
Figura 2.6 Fotografía de un Tanque Horizontal	28
Figura 2.7 Diagrama de un tanque Horizontal	28
Figura 2.8 Fotografía de un Tanque Esférico	31
Figura 2.9 Diagrama de un Tanque Esférico	31
Figura 3.1. Medidas de Tanques Verticales – Soldado	43
Figura 3.2. Medidas de Tanques Verticales - Atornillado	44
Figura 3.3. Medidas de Tanques Verticales - Remachado	45
Figura 3.4. Medidas de Tanques Verticales	47

Figura 3.5. Localización de las Medidas para Tanques Verticales Soldados	48
Figura 3.6. Localización de las Medidas para Tanques Verticales Remachados	49
Figura 3.7. Localización de las Medidas para Tanques Verticales Atornillados	50
Figura 3.8. Forma de Registro de Accesorios	53
Figura 3.9. Tanques soldados a Tope	56
Figura 3.10. Tanques traslapados y soldados	56
Figura 3.11. Tanques traslapados y remachados	57
Figura 3.12. Láminas longitudinales	57
Figura 3.13. Principales Medidas de las Cabezas.	58
Figura 3.14. Circunferencias Tanques Esféricos	59
Figura 4.1. Métodos de aforo para tanques de almacenamiento	64
Figura 4.2. Método geométrico externo por línea de referencia óptica	68
Figura 4.3. Aforo por triangulación externa	69
Figura 4.4. Medidas requeridas para la calibración del tanque	77
Figura 4.5. Medidas requeridas para la calibración del tanque	77
Figura 4.6. Incremento del perímetro del cilindro por la presión de trabajo	81
Figura 4.7. Medidas principales de las cabezas	84
Figura 4.8. Medidas del cilindro principal	84
Figura 4.9. Medidas principales de la cabeza torriesférica	86
Figura 4.10. Corrección porcentual del Volumen por inclinación	88
Figura 4.11. Factor de corrección del volumen por temperatura	90
Figura 4.12. Gráfica de la tabla del Anexo 2	91
Figura 4.13. Volumen de un cilindro en función de “y”	94
Figura 4.14. Volumen para cabezas esféricas en función de “y”	95
Figura 4.15. Volumen para cabezas semielípticas en función de “y”	96
Figura 4.14. Medidas de circunferencia C1	99
Figura 4.15. Factor de corrección del volumen	102
Figura 4.16. Volumen de la esfera en función de “y”	104
Figura 5.1. Flujo grama – Pantalla principal	120
Figura 5.2. Flujo grama – Tanques Verticales	121
Figura 5.3. Flujo grama – Tanques Horizontales	122
Figura 5.4. Flujo grama – Tanques Esféricos	122
Figura 5.5. Pantalla Principal del software	124

Figura 5.6. Módulo Tanques Verticales – Datos Generales	125
Figura 5.7. Módulo Tanques Verticales – Volumen Muerto	125
Figura 5.8. Módulo Tanques Verticales – Cálculos	126
Figura 5.9. Módulo Tanques Horizontales – Tipo de tanque	127
Figura 5.10. Módulo Tanques Horizontales – Datos Generales	127
Figura 5.11. Módulo Tanques Horizontales – Cálculos y Correcciones	128
Figura 5.12. Módulo Tanques Horizontales – Tabla de calibración SI	128
Figura 5.13. Módulo Tanques Esféricos – Datos generales	129
Figura 5.14. Módulo Tanques Esféricos – Correcciones	130

INDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: Actas de Registro

ANEXO 2: Tablas para factor K_h y K_c

ANEXO 3: Ejemplo de cálculos tanques verticales

ANEXO 4: Ejemplo de cálculos tanques horizontales

ANEXO 5: Ejemplo de cálculos tanques esféricos

ANEXO 6: Manual de Usuario

ANEXO 7: Carta de Conformidad

NOMENCLATURA TANQUES VERTICALES

API	gravedad estándar API a 60°F
C	circunferencia medida – corrección de cinta a 60°F (ft).
cc	factor de corrección por elevación de cinta (ft)
cs	factor de corrección por cabezal líquido (ft).
ct	factor de corrección por espesor de placa (ft)
cv	factor de corrección de circunferencia a tanque vacío (ft)
d	diámetro nominal del tanque (in)
E	módulo de elasticidad del acero (29,000,000 psi)
G	gravedad específica a 60°F del líquido a almacenar.
h	distancia desde la circunferencia hasta el nivel máximo de llenado (ft).
h(i)	altura del anillo (in).
kt	factor de corrección por temperatura
m	inclinación del tanque (ft).
N	número de cordones de soldadura o juntas a traslape.
SG	gravedad específica del fluido
T	espesor de la placa (in).
t	espesor o proyección del cordón de soldadura o junta a traslape (in)
Ta	temperatura del ambiente (°F).
Tc	temperatura estándar de referencia (60°F)
Tl	temperatura del líquido de servicio (°F).
Ts	temperatura de la placa del tanque (°F).
Vd	volumen desplazado por el techo (bbl)
w	ancho del cordón de soldadura (in)
Wt	peso del techo (lb)
Δf_l	densidad del fluido (lb/gal)
ΔT_s	temperatura de la placa del tanque menos 60°F (°F).
Δv	incremento por cabezal líquido arriba de cada anillo.

NOMENCLATURA TANQUES HORIZONTALES

a1	circunferencias medidas al 20% de cada anillo (ft)
B	longitud de la parte cilíndrica de las cabezas (in)
b1	circunferencias medidas al 80% de cada anillo (ft)
bn	circunferencia medida al 80% del último anillo (ft)
C	perímetro del cilindro principal (ft)
c	promedio de las circunferencias al 20% y 80% de cada anillo (ft)
cc	factor de corrección por elevación de cinta (ft)
d	diámetro interno del cilindro (ft)
D	diámetro interno del cilindro principal (ft)
D1	diámetro de la parte cilíndrica de las cabezas (ft)
E	inclinación (ft)
E	longitud de la superposición de las láminas (in)
ec	espesor del cilindro (in)
eh	espesor de las cabezas (in)
F	factor de presión (psi)
H	Nivel de liquido (ft)
Ka	volumen del cilindro para cada incremento (gal)
Kb	volumen de las cabezas para cada incremento (gal)
Kc	factor del área del segmento circular
Kh	factor de volumen de las cabezas
ko	factor de corrección del volumen (%)
L	longitud de cada anillo (ft)
L1	longitud de anillo 1 (ft)
Lc	longitud del cilindro principal (ft)
LT	longitud medida del tanque incluida las cabezas (ft)
m	porcentaje de inclinación
N	número de cordones de soldadura o juntas a traslape.
P	promedio de los perímetros corregidos (ft)
P1	perímetro del cilindro corregido por elevación de cinta (ft)
P2	perímetro del cilindro corregido a la presión de trabajo (ft)
Pt	presión de trabajo (psi)

R	relación entre el nivel del liquido en el tanque con el diámetro del tanque
t	espesor o proyección del cordón de soldadura o junta a traslape (in)
Ta	temperatura del ambiente (°F).
TI	temperatura del liquido de servicio (°F).
Ts	temperatura de la placa del tanque (°F).
U	factor de comparación de los volúmenes
V(M)	volumen del tanque para cada incremento (gal)
Vc	volumen del cilindro principal (ft ³)
Vci	Volumen corregido por inclinación en cada incremento (ft ³)
Vct	volumen del tanque corregido por temperatura en cada incremento (ft ³)
Vh	volumen de la cabeza (ft ³)
Vi	Volumen del tanque en cada incremento (ft ³)
VT	volumen obtenido mediante la norma API 2551 (ft ³)
VT1	volumen obtenido mediante modelos matemáticos (ft ³)
w	ancho del cordón de soldadura (in)
y	incremento (ft)
δ	incremento en el perímetro del cilindro (ft)
α_m	Coeficiente de expansión lineal

NOMENCLATURA TANQUES ESFÉRICOS

A	mitad de la altura vertical interna (in)
C1	circunferencia medida a una altura H del ecuador (ft)
C1i	circunferencia interna en el primer punto (ft)
C2	circunferencia medida en el primer punto procedimiento API 2552 (ft)
C2i	circunferencia interna en el segundo punto (ft)
C3	circunferencia medida en el primer punto procedimiento API 2552 (ft)
C3i	circunferencia interna en el tercer punto (ft)
Co	circunferencia corregida para el punto uno (ft)
D	diámetro interno corregido (ft)
Dm	altura vertical del tanque (ft)
e1	espesor del cuerpo del tanque medido en el primer punto (in)

e2	espesor del cuerpo del tanque medido en el primer punto (in)
e3	espesor del cuerpo del tanque medido en el primer punto (in)
G	incremento procedimiento API 2552 (in)
H	altura desde el ecuador hasta la circunferencia C1 (in)
Ko	factor de corrección del volumen (%)
m	distancia desde la línea central de la esfera (ft)
R	relación entre el nivel del liquido y el diámetro tanque
Ta	temperatura del ambiente (°F).
Tl	temperatura del liquido de servicio (°F).
Ts	temperatura de la placa del tanque (°F).
U	factor de corrección
V	volumen total de la esfera (ft ³)
Vct	volumen del tanque corregido por temperatura en cada incremento (ft ³)
VT	volumen obtenido mediante la norma API 2552
VT1	volumen obtenido mediante procedimientos matemáticos
α_m	Coefficiente de expansión lineal

RESUMEN

La industria petrolera en el Ecuador es una de las principales fuentes de generación de recursos económicos y es por este motivo que existen un sin número de empresas que realizan servicios técnicos como calibración o aforo de tanques almacenamiento de hidrocarburos los mismos que en la actualidad se los realiza de forma tradicional utilizando memorias de cálculo y hojas de Excel lo que demanda una mayor cantidad de tiempo en la elaboración de las tablas de calibración y con la incertidumbre de que los resultados obtenidos no sean los que se ajusten a la realidad.

En la actualidad se ha tratado de mejorar estos procesos creando programas que están basados en las normas y que facilitan la calibración o aforo de tanques. Es así que la empresa PETROAFIN S.A que brinda este servicio se ha visto en la necesidad de mejorar sus procedimientos para lo cual elaborara el desarrollo de un software que facilite esta actividad realizándola en menos tiempo y con mayor precisión.

A partir de lo expuesto anteriormente, la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Escuela Politécnica del Ejército propone como tesis de grado y solicita el auspicio de la empresa PETROAFIN S.A para la elaboración y desarrollo de un software de calibración volumétrica de tanques verticales, horizontales y esféricos de almacenamiento de hidrocarburos, basándose en los códigos y normas para la correcta realización de este proceso.

Los métodos para realizar el proceso de calibración se los describe en las normas API que dependiendo del tipo del tanque y sus características se pueden aplicar la API MPMS 2A (Tanques verticales), API 2551 (Tanques horizontales), API 2552 (Tanques esféricos), que utilizándolas de forma adecuada permite obtener excelentes resultados.

Con la aplicación de los códigos mencionados anteriormente se procedió a realizar las memorias de cálculo atreves del programa computacional Matcad14

para determinar las diferentes correcciones que se realizan a los tanques, además de la utilización de las hojas de Excel en donde se detalla las afectaciones causadas por los diferentes tipos de obras muertas en el volumen total de tanque y sus respectivas tablas de calibración.

Una vez desarrolladas las memorias de cálculo y las hojas de Excel basadas en los códigos que corresponden a cada tipo de tanque se procedió a realizar el diseño para el desarrollo del software de calibración lo que conlleva a la utilización de un software de programación denominado C# de Visual que nos facilite el proceso del diseño visual y la estructura lógica mediante el lenguaje de programación. Para su diseño se tomo en cuenta los siguientes aspectos:

- Definición de las variables de entrada necesarias para el proceso de calibración y de las variables que contendrán los resultados esperados.
- Se realizo diagramas de flujo para determinar la secuencia de los módulos que forman parte de la estructura lógica con el fin de elaborar un diseño efectivo y eficiente.

Ya diseñado el software de calibración se realizó su evaluación ejecutando un sin número de pruebas y comparaciones de los resultados arrojados con los obtenidos en las hojas de Excel, todo esto con el objetivo de validarlos y certificar su correcto funcionamiento para su utilización y aplicación en la calibración volumétrica de los tanque de almacenamiento de hidrocarburos.

Desde el punto de vista económico con el desarrollo del software la empresa incrementara el alcance de calibración para tanques verticales con capacidades de hasta 150000 barriles y la ampliación de sus servicios para tanques horizontales y esféricos reduciendo los tiempos para este proceso, de tal forma que la empresa tenga más oportunidades de aumentar su productividad. Es así que mediante la aplicación de los índices financieros se pudo determinar si el presente proyecto es viable obteniéndose los siguientes resultados:

VAN: El valor del proyecto en cinco años y con una tasa de descuento del 10%, y llevados en valor presente nos da como resultado veinte seis mil novecientos veinte cinco dólares americanos, indicando que el proyecto es viable.

TIR: Es mayor a la tasa de descuento, lo cual indica que el proyecto puede tener gastos sin tener pérdidas económicas.

C/B: El costo-beneficio es de 1.20 dólares americanos, lo cual indica que por cada dólar que se invierte en el proyecto se tiene 0.20 dólares americanos de ganancia.

Los mismos que certifican que el proyecto es viable y rentable.

Es así como concluimos con el análisis de todos los aspectos que se desarrollaron en el presente proyecto y que además estamos seguros que constituye una valiosa herramienta que permitirá responder de manera rápida a las exigencias del mercado e incrementara la productividad y competitividad de la empresa PETROAFIN S.A

CAPÍTULO 1

GENERALIDADES

1.1. INTRODUCCION

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

Uno de los servicios que brindan estas empresas es la calibración o aforo de tanques de almacenamiento el cual es un proceso que permite determinar la capacidad total del tanque y sus correspondientes capacidades parciales a diferentes alturas con el objetivo de que el personal que se encuentra responsable de los tanques de almacenamiento pueda conocer las capacidades a cualquier instante.

Todo este proceso se lo puede realizar utilizando diferentes métodos pero que en algunos casos los resultados presentados en sus respectivas tablas de aforo no se ajustan completamente a la realidad lo que trae como consecuencia problemas en la contabilidad del volumen ocasionando insatisfacciones entre las partes involucradas.

Para la correcta realización del proceso de aforo de tanques de almacenamiento se utilizan los métodos descritos en las normas API que dependiendo del tipo del tanque y sus características se pueden aplicar la API MPMS (Tanques verticales), API 2551 (Tanques horizontales), API 2552

(Tanques esféricos), que utilizándolas de forma adecuada permite obtener excelentes resultados.

Los procedimientos utilizados para la toma de datos de los tanques se los realiza de forma manual utilizando la instrumentación necesaria mientras que para el análisis de datos y obtención de las tablas de calibración se utilizan hojas de cálculo realizadas por los ingenieros de la empresa las mismas que demandaban de una gran cantidad de tiempo para su elaboración. En la actualidad se ha tratado de mejorar estos procesos creando programas que están basados en las normas y que facilitan la calibración o aforo de tanques. Es así que la empresa PETROAFIN S.A que brinda este servicio se ha visto en la necesidad de mejorar sus procedimientos para lo cual elaborara el desarrollo de un software que facilite esta actividad realizándola en menos tiempo y con mayor precisión.

1.2. ANTECEDENTES

A lo largo de todo este tiempo de desarrollo la industria petrolera a requerido de diversos servicios de carácter técnico como la fabricación de equipos industriales, mantenimiento, reparación y calibración de tanques verticales, horizontales y esféricos de almacenamiento de hidrocarburos, inspección de corrosión, medición de espesores, entre otros que son requeridos para la continua operación de las plantas de explotación, tratamiento y refinación de petróleo, para lo cual existen un sinnúmero de empresas nacionales y extranjeras calificadas por la Dirección Nacional de Hidrocarburos para realizar estas actividades, siendo las empresas extranjeras las que han abarcado la industria petrolera en el país.

Servicios Petroleros y Afines es una empresa Ecuatoriana Inspector (Verificadora) independiente calificada por la Dirección Nacional de Hidrocarburos desde el año 2001 que brinda servicios técnicos, profesionales al sector hidrocarburiífero y empresarial, dando soluciones eficientes y efectivas en las áreas de inspección y certificación en el transporte, almacenamiento y

comercialización de combustibles, medio ambiente, diseño y construcción que durante todos sus años de servicio a realizado un sin número de trabajos para diversas empresas nacionales siendo sus principales clientes empresas como: Ministerio de Energía y Minas del Ecuador, Comercializadora PETROLRIOS, Comercializadora de combustibles MASGAS, Plantas envasadoras de GLP, AGIP, MENDOGAS, LOJAGAS, AUSTROGAS, CONGAS, EDC DEL ECUADOR, PETROANDINO, PETROCONDOR, REPSOL YPF, TEXA, entre otras.

La empresa PETROAFIN S.A. se ve en la necesidad de mejorar sus procedimientos técnicos en las actividades que realiza, específicamente en los procedimientos de calibración que se realizan sin ayuda tecnológica alguna en un tiempo aproximado de tres días dependiendo de la capacidad del tanque. Por lo cual la empresa desea ampliar el alcance de sus servicios y poder competir con empresas extranjeras realizando trabajos más eficientes y efectivos utilizando la tecnología que se encuentra al alcance de sus manos. Además de brindar soluciones a los problemas encontrados en la práctica de esta actividad a lo largo de toda la experiencia laboral de la empresa, es por esta razón que la empresa ha decidido poner en marcha la realización de un proyecto para mejorar los procedimientos de calibración volumétrica de tanques de almacenamiento de hidrocarburos con la creación de un paquete computacional, el mismo que será desarrollado por dos estudiantes egresados de la carrera de ingeniería mecánica de la Escuela Politécnica del Ejército con el objetivo de aportar al desarrollo económico y tecnológico de la empresa.

1.3. SITUACIÓN ACTUAL

En la actualidad la empresa PETROAFIN S.A realiza trabajos de calibración o aforo de tanques para varias empresas que se desenvuelven en el área hidrocarburífera del Ecuador.

A continuación se indica algunos de los trabajos de calibración de tanques de almacenamiento realizados por la empresa PETROAFIN S.A en el cual los

estudiantes que desarrollan el presente proyecto formaron parte del grupo de trabajo y realizaron todas las actividades requeridas para la toma de datos.

Tabla 1.1 Tanques Calibrados por la empresa PETROAFIN S.A.

Fecha	Características	Imagen
10 Octubre 2009	<ul style="list-style-type: none"> • Tanque: WASH TANK • Ubicación: CAMPAMENTO PINDO • Capacidad: 24700 BBL • Propietario: CONSORCIO PETROSUD PETRORIVA 	
03 Marzo 2010	<ul style="list-style-type: none"> • Tanque: TK-SKIMMER-SPT 01 • Ubicación: CAMPAMENTO PUCUNA • Capacidad: 500 BBL • Propietario: SUELOPETROL ECUADOR 	
04 Marzo 2010	<ul style="list-style-type: none"> • Tanque: TK-SKIMMER-SPT 01 • Ubicación: CAMPAMENTO PUCUNA • Capacidad: 500 BBL • Propietario: SUELOPETROL ECUADOR 	

Elaboración: Alberto Núñez, Santiago Hidalgo

Gracias a la oportunidad brindada por la empresa PETROAFIN S.A, los estudiantes egresados de la carrera de ingeniería mecánica, tuvieron la oportunidad de realizar la calibración de estos tanques utilizando los equipos necesarios para la obtención de los datos, para luego mediante la utilización de las hojas de cálculo y los procedimientos indicados en las normas realizar el análisis de todos los datos y posteriormente la obtención de las tablas de calibración que serán revisadas por los ingenieros de la empresa para su respectiva aprobación.

Es así como la empresa inicia una nueva etapa de progreso en el área técnica, aportado en el desarrollo de las destrezas de los profesionales que realizan el presente proyecto, haciendo que adquieran experiencia y que puedan conocer los posibles problemas que se presentan al realizar la calibración volumétrica de los tanques de almacenamiento. Todo esto se lo realiza con el objetivo de poder mejorar y fortalecer los procedimientos de calibración además crear una herramienta informática que facilite la ejecución de esta actividad.

1.4. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

El grupo de ingenieros de la empresa PETROAFIN S.A que forman parte del Departamento de Ingeniería utilizan herramientas como hojas de cálculo desarrolladas en Microsoft Excel para realizar los cálculos requeridos para la calibración o aforo de tanques verticales y horizontales, las mismas que se encuentran basadas en los procedimientos indicados en las normas API MPMS 2-A, API 2551 para la realización de este servicio y que forman parte del proyecto.

Las hojas de cálculo son usadas para casos independientes, es decir que para realizar el aforo de un tanque se debe crear una nueva hoja de cálculo, repitiendo el proceso y realizando cambios en partes específicas dependiendo de las características del tanque al que se realizara el aforo. Es por esta razón que se ha decidido realizar un software en el cual se pueda ingresar las características del tanque y los parámetros de afectación como presión y

temperatura que dificultan el proceso de aforo generando una tabla de calibración volumétrica de alta precisión y confiabilidad, disminuyendo de esta forma el tiempo establecido para la realización de esta actividad y las posibilidades de presentar una tabla de calibración errónea, además de ampliar el alcance de sus servicios para tanques verticales, horizontales y esféricos de gran capacidad.

1.5. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

La exactitud en la determinación de las dimensiones de un tanque es un factor muy importante para la determinación del volumen del líquido, por lo cual las calibraciones de tanques son de gran interés para la industria del petróleo y es un procedimiento indispensable debido a su importancia económica, ya que afecta tanto al vendedor como al comprador del producto si son realizadas de manera no adecuada.

Una medición incorrecta dará como resultado una tabla de aforo errónea, la misma que permanecerá en uso hasta que requiera una nueva re-calibración, como resultado a estas medidas con error, se tendrá problemas de contabilidad en el volumen y descontento en las partes que intervienen. Los problemas que se originan de estos errores son muy difíciles, a veces, imposibles de resolver sin que pierda una de las partes involucradas.

Es así que la empresa de Servicios Petroleros y Afines PETROAFIN S.A. está muy interesada en el desarrollo de un programa computacional que facilite, agilite y sobre todo resuelva los problemas más comunes que la empresa enfrenta al momento de la calibración volumétrica de tanques de almacenamiento de hidrocarburos.

Por las razones mencionadas anteriormente se asegura que la realización de este proyecto mejorara los procedimientos de calibración volumétrica de tanques de almacenamiento de hidrocarburos, creando un software de ingeniería que se base en las normas API MPMS-2551-2552 de calibración

volumétrica de tanques, y además de buscar soluciones para casos muy comunes que se presentan en el campo. Por lo cual el control de estos procesos es un tema que requiere de toda nuestra atención ya que realizando bajo las normas establecidas y los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera se obtendrán excelentes beneficios tanto para la empresa como para sus clientes.

1.6. OBJETIVOS

1.6.1. GENERAL

Desarrollar, validar 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 MPMS-2551-2552 para la empresa PETROAFIN S.A

1.6.2. ESPECIFICO

- Desarrollar tecnología Ecuatoriana.
- Analizar y aplicar los métodos, normas y tecnología en el sistema de medición y calibración de tanques.
- Investigar los diferentes tipos de tanques de almacenamiento de hidrocarburos.
- Disminuir el tiempo requerido para la calibración de tanques agilizando los procedimientos.
- Mejorar los niveles de calidad en el proceso de medición y calibración de tanques de almacenamiento de hidrocarburos.
- Elaborar un programa computacional que interactúe con el usuario mediante ayudas gráficas.
- Validar el software elaborado realizando pruebas comparativas con memorias de cálculo propias de la empresa PETROAFIN.

- Presentar tablas de calibración volumétrica de tanques verticales, horizontales o esféricos detalladas y estandarizadas.
- Desarrollar un Manual de Usuario para el manejo del Software.
- Realizar un análisis económico financiero para determinar la relación del costo/beneficio que genera la realización del proyecto.

1.7. ALCANCE

Desarrollar y validar un programa computacional de ingeniería para facilitar, agilizar y minimizar los tiempos, errores y por ende los costos en el proceso de calibración volumétrica de tanques atmosféricos estacionarios verticales, horizontales y esféricos de almacenamiento de hidrocarburos, utilizando las normas API MPMS-2551-2552 y los conocimientos adquiridos dentro de toda la carrera y de esta forma brindar soluciones a los problemas más comunes presentados en la práctica de esta actividad. Además de incrementar el alcance de calibración para tanques con capacidades mayores a 50.000 barriles, aportando al desarrollo tecnológico de la empresa PETROAFIN S.A e iniciando una etapa de ampliación y optimización de sus servicios generando mayores beneficios económicos.

CAPÍTULO 2

MARCO CONTEXTUAL

2.1. HIDROCARBUROS

2.1.1. INTRODUCCION

Los hidrocarburos son compuestos orgánicos formados únicamente por átomos de carbono e hidrógeno. Consisten en un armazón de carbono al que se unen átomos de hidrógeno. Forman el esqueleto de la materia orgánica. También están divididos en abiertas y ramificadas.

Los hidrocarburos se dividen en 2 que son aromáticos y alifáticos. Los alifáticos son alcanos, alquenos y alquinos cuyas fórmulas generales son C_nH_{2n+2} , C_nH_{2n} y C_nH_{2n-2} , respectivamente.

Los hidrocarburos extraídos directamente de formaciones geológicas en estado líquido se conocen comúnmente con el nombre de petróleo, mientras que los que se encuentran en estado gaseoso se les conoce como gas natural. Los hidrocarburos constituyen una actividad económica de primera importancia, pues forman parte de los principales combustibles fósiles (petróleo y gas natural), así como de todo tipo de plásticos, ceras y lubricantes.¹

2.1.2. CLASIFICACIÓN

Según la estructura de los enlaces entre los átomos de carbono, se clasifican en¹:

2.1.2.1. Hidrocarburos acíclicos

Son hidrocarburos de cadena abierta. Estos a su vez se dividen en:

¹ <http://es.wikipedia.org/wiki/Hidrocarburo>

2.1.2.1.1. Hidrocarburos saturados.-

Son los alcanos o parafinas, que no tienen enlaces dobles, triples, ni aromáticos, sólo múltiples enlaces individuales, y de cadena.

2.1.2.1.2. Hidrocarburos insaturados.-

Estos hidrocarburos tienen uno o más enlaces dobles (alquenos u olefinas) o triples (alquinos o acetilénicos) entre sus átomos de carbono.

2.1.2.2. Hidrocarburos cíclicos

Los hidrocarburos cíclicos son aquellos hidrocarburos de cadena cerrada que a su vez se subdividen en:

2.1.2.2.1. Cicloalcánicos.-

Tienen cadenas cerradas de 3, 4, 5, 6, 7 y 8 moléculas de carbono saturados o no saturados.

2.1.2.2.2. Hidrocarburos aromáticos.-

No saturados, que poseen al menos un anillo aromático además de otros tipos de enlaces.

Según los grados API, se clasifican en:

Tabla 2.1 Clasificación según el grado API

GRADO API	CLASIFICACION
>40	Condensado
30 – 39.9	Liviano
22 – 29.9	Mediano
10 – 21.9	Pesado
< 9.9	Extra pesado

Elaboración: Alberto Núñez, Santiago Hidalgo

La ecuación para calcular el Grado API es la siguiente:

$$API = \frac{141.5}{SG} - 131.5 \quad \text{Ecuación 2.1}$$

$$SG = \frac{\rho_{\text{fluido}}}{\rho_{\text{agua}}} \quad \text{Ecuación 2.2}$$

Donde: °API = gravedad estándar API a 60°F

SG = gravedad específica del Fluido

ρ_{fluido} = densidad del fluido (kg/m³)

ρ_{agua} = densidad del agua (kg/m³)

2.1.3. PROPIEDADES

La mayor parte de los productos de origen petrolífero son mezclas más o menos sencillas en el caso de los gases, pero muy complejas al tratarse de fracciones líquidas. Además, los productos comerciales, los cuales deben responder a determinadas especificaciones, son generalmente mezclas de fracciones complejas: naftas, carburantes para reactores, fueloiles y aceites.²

Las principales propiedades son:

- Tensión de vapor
- Propiedades críticas
- Densidad
- Propiedades térmicas
- Viscosidad
- Punto de congelamiento
- Solubilidad
- Acidez
- Punto de Inflamación
- Número de Octano y Cetano

² <http://energia3.mecon.gov.ar/contenidos/verpagina.php?idpagina=446>

2.1.3.1. Tensión de vapor

La tensión de vapor mide la tendencia de las moléculas a dispersarse de una fase líquida para generar una fase vapor en equilibrio termodinámico. Es una función creciente de la temperatura y específica de cada cuerpo puro. Esta característica es muy significativa ya que de una manera indirecta indica el contenido en productos livianos que determinan la seguridad durante el transporte; las pérdidas en el almacenamiento, en el transporte y la volatilidad de las naftas.

2.1.3.2. Propiedades Críticas

La temperatura y la presión críticas son características físicas de los hidrocarburos. Estos parámetros determinan el punto límite superior de la curva de tensión de vapor más allá del cual no se advierte el cambio de fase; este punto crítico corresponde a la identidad perfecta de las propiedades del líquido y del vapor: densidad, índice de refracción, etc. Particularmente, el calor de vaporización se hace nulo en dicho punto.

2.1.3.3. Densidad

La densidad es la relación entre el peso de un determinado volumen de muestra a una temperatura t y el peso del mismo volumen de agua a una temperatura determinada.

Los americanos para medir la densidad utilizan el grado A.P.I., definido como una función hiperbólica de la densidad.

Cuanto más ligero es un crudo, mayor es su número de °API. Los valores del peso específico relativo en °API para los crudos normales oscilan entre 5 a 60 °API. En general, los crudos ligeros poseen un peso específico elevado en °API, pequeña viscosidad, escasa tendencia aditiva y alta tendencia a emulsificarse. Lo inverso ocurre para los crudos pesados.

Al agua (en donde se inicia la escala de valores de la densidad expresada en grados API), le pertenece un valor de 10 °API.

Los grados API se utilizan asimismo para determinar el precio de un crudo determinado, dado que cuanto mayor sea el valor en °API, mayor es la proporción de crudo utilizable, principalmente en fracciones ligeras (nafta, nafta ligera, etc.).

2.1.3.4. Propiedades Térmicas

2.1.3.4.1. Calor específico.-

Es la cantidad de calor que se requiere aplicar a la unidad de peso para aumentar su temperatura en un grado.

Excepto que se especifique lo contrario y con la finalidad de simplificación, el término caloría significará siempre Kcal.

El calor específico en estado líquido es una función prácticamente lineal de la temperatura, excepto para los hidrocarburos ligeros (C5-). Depende asimismo de la densidad y de la naturaleza química de los hidrocarburos existentes en las fracciones, lo que se tiene presente empleando una curva de corrección en función del factor de caracterización.

El calor específico a presión constante en estado vapor es función de las mismas variables; dependiendo además de manera muy sensible, de la presión.

2.1.3.4.2. Coeficiente de compresión adiabática.-

La compresión adiabática es la compresión en que no se transfiere calor externo al gas ni se remueve calor del gas durante el proceso de compresión. Es decir, todo el calor generado en la compresión es retenido en el gas. Para

los gases perfectos, esto se expresa como en la ecuación 2.3, si el proceso es reversible.

$$PV^\gamma = \text{Cte.} \quad \text{Ecuación 2.3}$$

El coeficiente de compresión adiabática es el cociente entre los calores específicos a presión constante y a volumen constante para una misma sustancia o sistema termodinámico.

$$\gamma = \frac{C_p}{C_v} \quad \text{Ecuación 2.4}$$

Donde: P = presión en psi
 V = volumen del gas galones
 γ = coeficiente de compresión adiabática
 Cp = calor específico a presión constante (J.mol⁻¹.k⁻¹)
 Cv = calor específico a volumen constante (J.mol⁻¹.k⁻¹)

2.1.3.4.3. Conductividad térmica.-

La conductividad térmica representa el flujo de calor referido a la unidad de tiempo en un medio homogéneo, de superficie perpendicular a la dirección del flujo, y considerando el gradiente de temperatura entre las superficies de entrada y salida. La unidad de conductividad térmica práctica utilizada es la Kcal/h.m²°C/m; mientras que la unidad correspondiente anglosajona es la Btu/hr. Pie²°F/pie que vale 1,488 unidades métricas.

2.1.3.4.4. Potencia calorífica o poder calorífico.-

La cantidad de calor liberada por la combustión de la unidad de volumen o de peso de un combustible se denomina su poder calorífico o potencia calorífica. El balance térmico de la reacción determinado para un combustible tomado a 15°C y los productos de la combustión gaseosos a dicha temperatura, arroja la potencia calorífica inferior I, mientras que, si se condensa el vapor de agua en

los humos a 15°C, se alcanza la potencia calorífica superior P. La diferencia entre estos valores significa el calor de condensación del agua a 15°C, que es: 588Kcal por Kg de agua, o bien 473 Kcal por m³de vapor de agua a 0°C, o447 Kcal/m³de vapor de agua a 15°C. Usualmente se considera el estado de referencia a 15°C (60°F) con preferencia a 0°C, por concordar sensiblemente con la temperatura ambiente.

2.1.3.4.5. Punto de ebullición.-

Este se define como la temperatura a la cual un líquido puro, pasa al estado de vapor a una presión preestablecida en cualquier punto de su masa líquida. Para todas las series de hidrocarburos homólogos, el punto de ebullición se incrementa con el número de átomos de carbono que conforman la molécula.

Generalmente, los aromáticos poseen puntos de ebullición más altos que los correspondientes nafténicos o parafínicos. En el caso de mezclas, a presión constante, existe un rango de temperaturas en el cual el vapor y el líquido coexisten en equilibrio. En este rango el límite inferior es la temperatura de burbuja y el superior al de rocío.

Estas temperaturas no se deben confundir con el punto inicial y final de ebullición de una destilación.

Las fracciones que se obtienen en el procesamiento del crudo están dadas por el rango de ebullición y la presión de vapor del producto. Fracciones con temperaturas de ebullición por debajo de los 200°C, se usan como combustibles de motores a ignición por bujías y se encuentran agrupadas en las denominadas naftas.

En las mismas, no se admiten elevadas cantidades de hidrocarburos de alta volatilidad y los de alto punto de ebullición conllevan dificultades en la distribución de la mezcla en los cilindros. La fracción de ebullición comprendida entre los 180 y 300°C cumple requerimientos de iluminación y es designada como Kerosene. En éstos, no se admiten hidrocarburos de alta volatilidad por

motivos de seguridad; los de peso molecular superior producen llamas humeantes, mientras que los hidrocarburos de altas viscosidades imposibilitan un flujo regular a través de las mechas de los artefactos.

La fracción comprendida entre los 270 y 350°C es el denominado gas oíl, la cual resulta adecuada como combustible de ignición por compresión (Diesel). En ésta es elemental la estabilidad térmica de los hidrocarburos, dado que en los motores diesel el gas oíl se enciende por la elevada temperatura que se genera por la compresión. Por otro lado, los parafínicos existentes en este rango de ebullición, se solidifican a temperatura ambiente provocando taponamientos.

La fracción restante del petróleo (>350°C) es denominada residuo “largo” y puede ser:

- Parafínico: si predomina en su composición este tipo de hidrocarburos.
- Asfáltico: si predominan los nafténicos o aromáticos.

2.1.3.5. Viscosidad

Es una magnitud física que mide la resistencia interna al flujo de un fluido, resistencia producto del frotamiento de las moléculas que se deslizan unas contra otras. La viscosidad es un parámetro que influye en la potencial emisión de contaminantes dado que es una determinante en las condiciones de la combustión. Además resulta importante para definir las posibilidades de bombeo de los productos y el tipo de régimen de los caños.

La viscosidad es una especificación de primer orden en los aceites lubricantes, ya que condiciona las cualidades requeridas para la lubricación.

Existen tablas que reflejan la viscosidad de los distintos hidrocarburos puros, líquidos, vapor y de fracciones del petróleo, estando en este último caso en estrecha relación con el peso molecular y la estructura química.

La magnitud de la viscosidad depende de la conformación química del crudo, de manera que a mayor proporción de fracciones ligeras, menor es la viscosidad. Este valor depende además de la temperatura ambiente, de forma que cuanto menor resulta ésta, más viscoso es un crudo.

Existen diversas unidades para definir la viscosidad, siendo las más utilizadas las descritas a continuación:

2.1.3.5.1. Viscosidad absoluta.-

Representa la viscosidad dinámica del líquido y es medida por el tiempo en que tarda en fluir a través de un tubo capilar a una determinada temperatura. Sus unidades son el poise o centipoise (gr/Seg.Cm), siendo muy utilizada a fines prácticos.

2.1.3.5.2. Viscosidad cinemática.-

Representa la característica propia del líquido desechando las fuerzas que genera su movimiento, obteniéndose a través del cociente entre la viscosidad absoluta y la densidad del producto en cuestión. Su unidad es el stoke o centistoke (cm²/seg).

$$\text{Viscosidad Cinemática} = \frac{\text{Viscosidad Absoluta}}{\text{Densidad}} \quad \text{Ecuación 2.5}$$

Donde: Viscosidad cinemática = cm²/seg
 Viscosidad absoluta = gr. / (seg*cm)
 Densidad = gr/cm³

2.1.3.6. Punto de congelación

Determina la temperatura a la que un líquido se solidifica.

En los hidrocarburos, este aumenta con el peso molecular, no cumpliéndose en todos los casos.

En los parafínicos; se cumple en las cadenas normales mientras las cadenas isomeradas poseen puntos de congelamiento más bajos. Por otro lado, los parafínicos isomerados de alta simetría tienen puntos de congelamiento superiores para el mismo número de átomos de carbono en la molécula. De manera similar ocurre con los aromáticos.

Se debe distinguir entre el punto de enturbamiento (cloud-point), en el cual se forman micro-cristales, y el punto de congelación inferior (pour point) en el que el líquido se hace pastoso y no fluye. El punto de congelación superior es la temperatura en la cual el hidrocarburo retorna a su estado fluido al recalentar el producto luego de una prolongada solidificación. Este parámetro caracteriza de manera adecuada el contenido en parafinas de los aceites, constituyendo además un factor básico para determinar los límites de temperatura de los bombeos de los productos en invierno.

2.1.3.7. Solubilidad

Los hidrocarburos son solubles entre sí en todas las proporciones. La separación de los componentes puede llevarse a cabo con solventes polares, como el dióxido de azufre y otros. En éstos, los aromáticos se disuelven de manera más fácil que los parafínicos y nafténicos.

Por otro lado, los hidrocarburos de elevado peso molecular con los de inferior peso molecular son miscibles en cierto grado; determinando que la solución se sature provocando la precipitación del componente de mayor peso.

2.1.3.8. Acidez

Este parámetro clasifica los crudos en agrios y dulces en función del contenido de azufre.

Los crudos que poseen contenidos de azufre superiores al 1%, son llamados agrios (son corrosivos), mientras que los que se encuentran por debajo de dicho valor, dulces.

El azufre debe ser eliminado de los productos destilados no sólo por los problemas de contaminación atmosférica que genera, sino porque el azufre es un veneno de los catalizadores utilizados en la refinación, disminuye la calidad de las naftas y se transforma en anhídrido sulfuroso por combustión, que en presencia de agua produce ácido sulfúrico muy diluido corroe fuertemente los tubos de escape y las chimeneas.

2.1.3.9. Punto de inflamación

Es la temperatura a partir de la cual un vapor se inflama al ser expuesto a una fuente de ignición.

El punto de inflamación, que representa el contenido de productos ligeros de una fracción, condiciona los riesgos de explosión eventual si la fase gaseosa de los recipientes de almacenaje contiene una concentración en hidrocarburos comprendida entre los límites de explosividad.

A temperatura ambiente, son los destilados intermedios del tipo de disolvente pesado o keroseno, los que determinan el mayor peligro durante el almacenaje. Los productos ligeros como las naftas alcanzan una concentración en la fase vapor que excede el límite superior, mientras que los productos pesados no emiten suficientes vapores como para obtener el límite inferior de explosividad.

La presión afecta parcialmente al vapor del límite inferior; no obstante, su aumento tiende a disminuir apreciablemente el límite superior, es decir, a incrementar la zona de las concentraciones explosivas.

Algunos límites de explosividad y temperaturas de auto-inflamación de los hidrocarburos puros y de las fracciones comerciales se puede observar en la siguiente tabla:

Tabla 2.2 Límites de explosividad y temperatura de auto inflamación

PRODUCTOS	LÍMITES DE EXPLOSIVIDAD %VOLUMEN HIDROCARBUROS EN AIRE		Temperatura de Auto inflamabilidad (°C)
	Inferior	Superior	
Hidrógeno	4.1	74.2	580
Sulfuro de hidrógeno	4.3	45.5	260
Metano	5.3	13.9	538
Acetileno	2.5	80.0	335
Etileno	3.02	34.0	543
Etano	3.12	15.0	510
Propileno	2.0	11.1	497
Propano	2.37	9.5	466
Isobutano	1.8	8.4	---
n-Butano	1.6	8.5	430
Pentano	1.4	8.0	309
Hexano	1.25	6.9	247
Heptano	1.0	6.0	233
Octano	0.84	3.2	232
Nonano	0.74	2.9	---
Decano	0.67	2.6	---
Ciclo hexano	1.31	8.35	---
Benceno	1.40	8.0	580
Tolueno	1.27	7.0	552
Gas natural	4.8	13.5	---
Éter de petróleo	1.4	5.9	245
Nafta	1.3	6.0	260
Kerosene	1.16	6.0	255

Fuente: <http://energia3.mecon.gov.ar>

2.1.3.10. Número de octano

El octanaje o número de octano es una escala que mide la resistencia que presenta un combustible (como la gasolina) a detonar prematuramente cuando se comprime dentro del cilindro de un motor.

Algunos combustibles (como el GLP, GNL, etanol y metanol, entre otros) poseen un índice de octano mayor de 100. Utilizar un combustible con un octanaje superior al que necesita un motor no lo perjudica ni lo beneficia. Si se tiene previsto que un motor vaya a usar combustible de octanaje alto, puede diseñarse con una relación de compresión más alta y mejorar su rendimiento.

2.1.3.11. Número de Cetano

El número de cetano, contrariamente al número de octano, es un índice que se utiliza para caracterizar la volatilidad y facilidad de inflamación de los combustibles utilizados en los motores Diesel.

El número o índice de cetano guarda relación con el tiempo que transcurre entre la inyección del carburante y el comienzo de su combustión. Una combustión de calidad ocurre cuando se produce una ignición rápida seguida de un quemado total y uniforme del carburante.

Cuanto más elevado es el número de cetano, menor es el retraso de la ignición y mejor es la calidad de combustión. Por el contrario, aquellos carburantes con un bajo número de cetano requieren mayor tiempo para que ocurra la ignición y después queman muy rápidamente, produciendo altos índices de elevación de presión.

Si el número de cetano es demasiado bajo, la combustión es inadecuada y da lugar a ruido excesivo, aumento de las emisiones, reducción en el rendimiento del vehículo y aumento de la fatiga del motor. Un humo y ruido excesivos son problemas comunes en los vehículos diesel, especialmente bajo condiciones de arranque en frío.

2.2. TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE HIDROCARBUROS

2.2.1. INTRODUCCION

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

Los tanques de almacenamiento forman parte de distintas operaciones, pero las más importantes son las indicadas en la figura1:

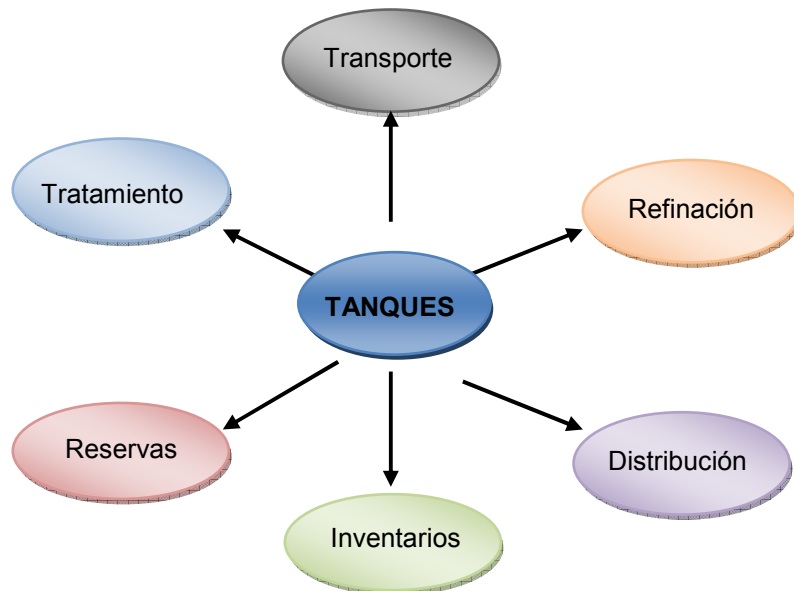


Figura 2.1 Operaciones de Tanques de Almacenamiento

El almacenamiento de los combustibles en forma correcta ayuda a que las pérdidas de combustible puedan ser reducidas, aunque no eliminadas, por las características propias de los productos del petróleo.³

³www.monografias.com/trabajos37/almacenamiento-hidrocarburos/almacenamiento-hidrocarburos.shtml

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

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

2.2.2. TIPOS DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE HIDROCARBUROS

Se clasifican de la siguiente manera:

Por su construcción:

- Vertical: Sin techo, techo fijo y techo flotante.
- Horizontal: a presión atmosférica y a presión mayor a la atmosférica (recipientes).
- Esferas

Por su uso:

- Producción (refinería)
- Yacimiento
- Terminal de despacho
- Reserva.

Producto:

- Crudo
- Naftas
- LPG, etc.

2.2.2.1. Tanques Verticales

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

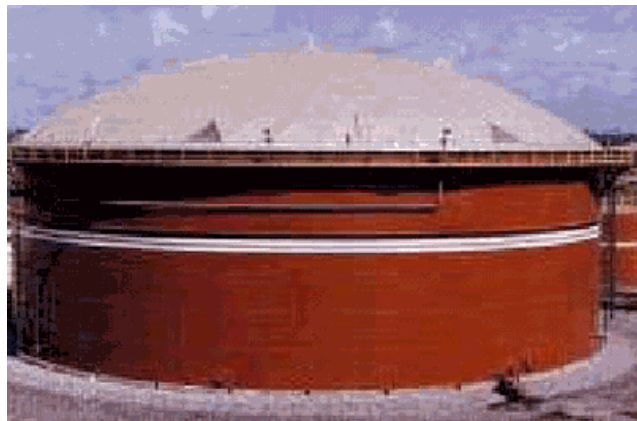


Figura 2.2 Fotografía de un Tanque Vertical

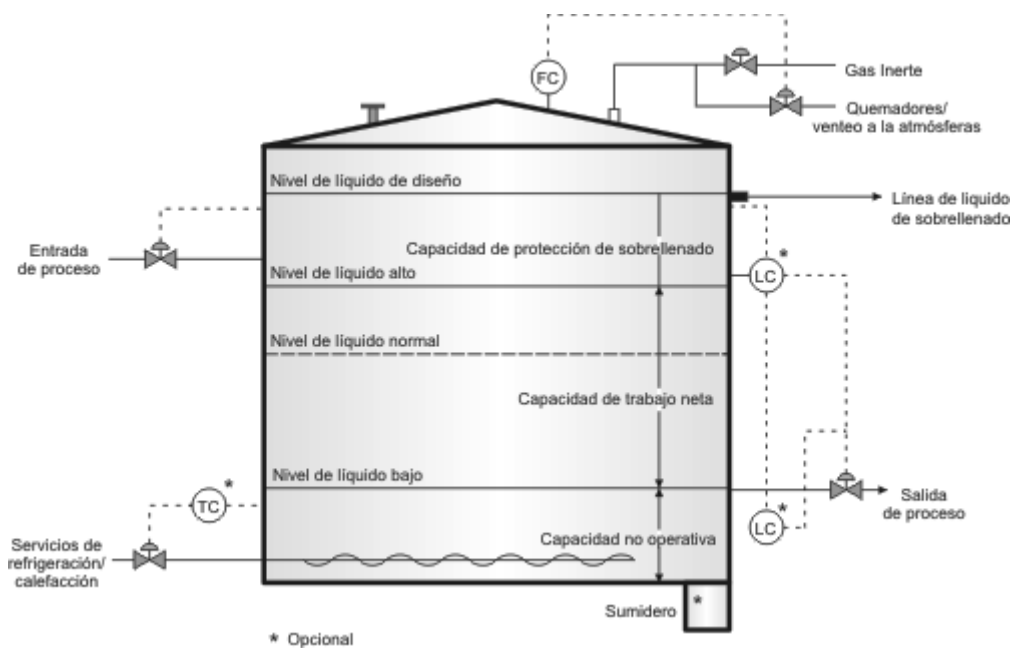


Figura 2.3 Diagrama de un Tanque Vertical

Se emplean para almacenar productos de diferente naturaleza química (ácidos, álcalis, hidrocarburos, efluentes industriales, etc.) y son de gran capacidad de

almacenaje. Pueden ser clasificados de acuerdo al tipo de techo y tipo de fondo en:

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

2.2.2.1.1. Techo Fijo.-

Se emplean para contener productos no volátiles o de bajo contenido de ligeros (no inflamables) como son: agua, diesel, asfalto, petróleo crudo, etc. Este tipo de tanques operan con un espacio para los vapores, el cual cambia cuando varía el nivel de los líquidos.

Ventilaciones en el techo permiten la emisión de vapores y que el interior se mantenga aproximadamente a la presión atmosférica pero produciéndose pérdidas de respiración. Los tanques de techo fijo son usados para almacenar líquidos en los cuales los tanques de techo flotante no son exigidos.

El techo puede tener la forma de un cono, domo o paraguas.

Los techos fijos hay de dos tipos auto soportados y soportados.

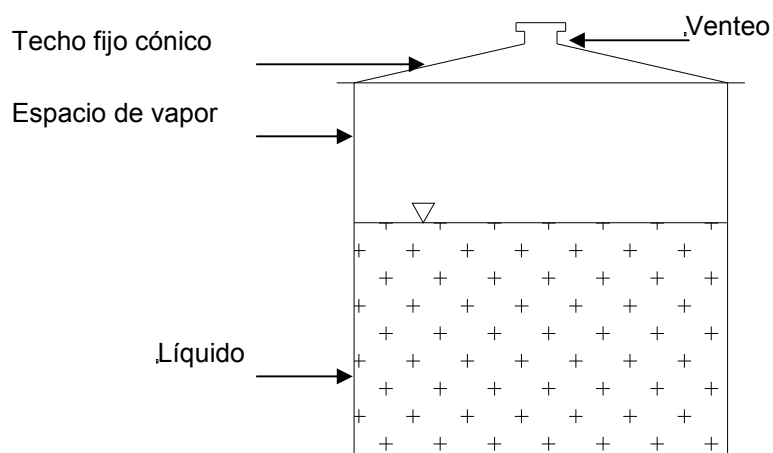


Figura 2.4 Tanque Vertical con Techo Fijo

2.2.2.1.2. Techo Flotante.-

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

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

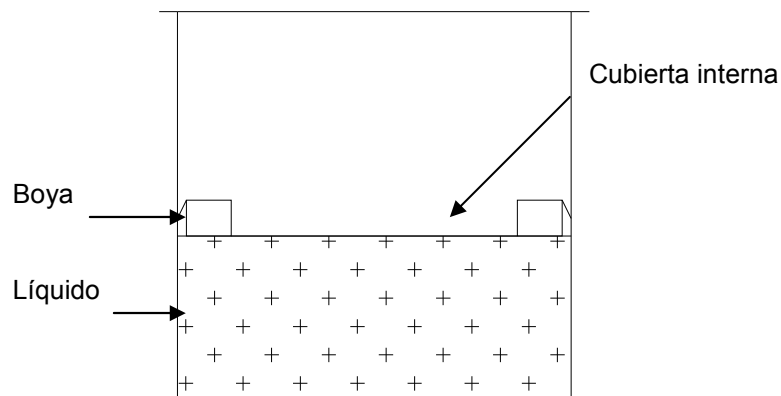


Figura 2.5 Tanque Vertical con Cubierta Interna Flotante

2.2.2.1.3. Tanques sin Techo.-

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

Tabla 2.3 Tipos de Fondo

TIPOS DE FONDO	
Fondo plano	
Fondo esférico	
Fondo hemisférico	
Fondo semielíptico	
Fondo cónico con chaflán	
Fondo cónico	

Elaboración: Alberto Núñez, Santiago Hidalgo

2.2.2.2. Tanques Horizontales

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



Figura 2.6 Fotografía de un Tanque Horizontal

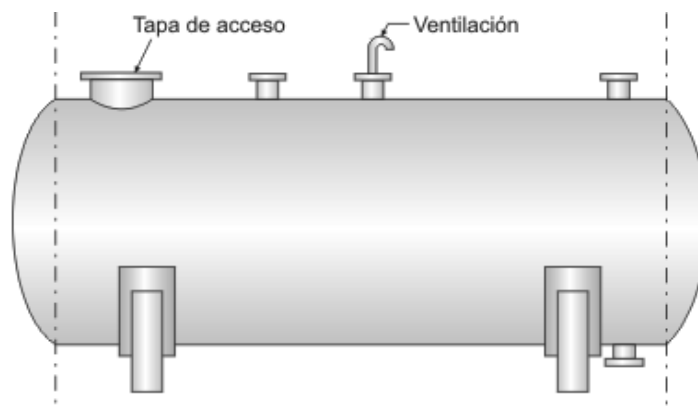


Figura 2.7 Diagrama de un tanque Horizontal

Las cabezas de los tanques horizontales son las siguientes: Cabezas Planas, toriesféricas, semielípticas y semiesféricas.⁴

⁴ www.scribd.com/doc/17247549/disenio-y-calculo-de-recipientes-a-presion

2.2.2.2.1. Cabezas Planas.-

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

2.2.2.2.2. Toriesférica:

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

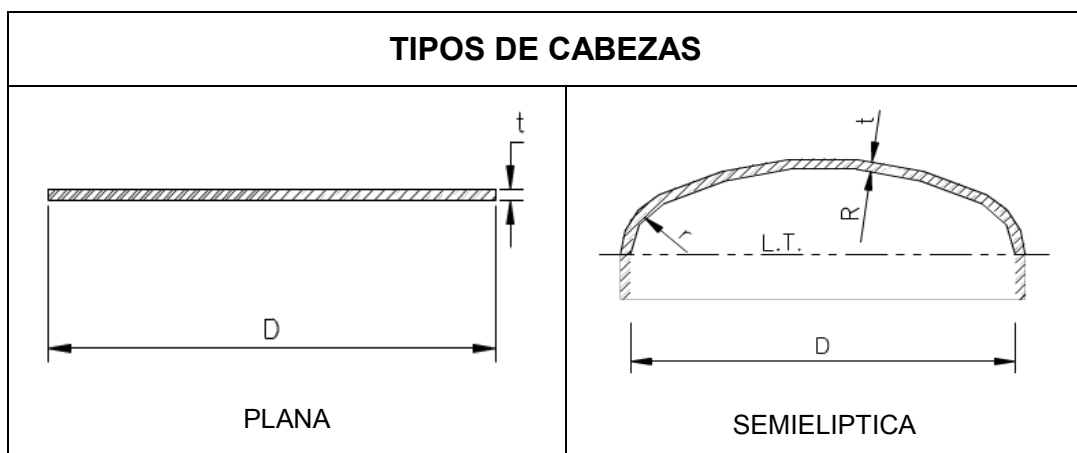
2.2.2.2.3. Semiéptica.-

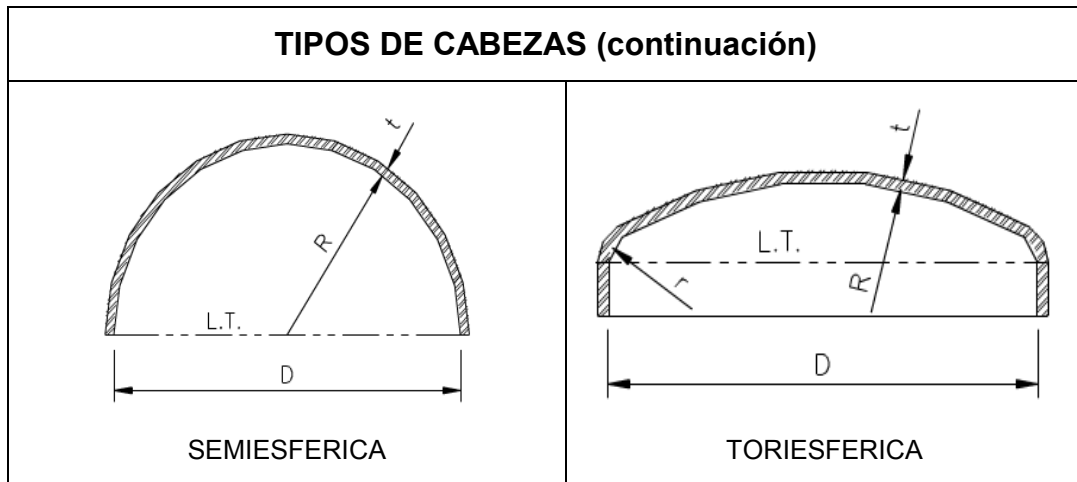
Son empleadas cuando el espesor calculado de una tapa toriesférica es relativamente alto, ya que las tapas semiépticas soportan mayores presiones que las toriesféricas. Su silueta describe una elipse relación 2:1. Su costo es alto.

2.2.2.2.4. Semiesférica:

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

Tabla 2.4 Tipos de Cabezas





Elaboración: Alberto Núñez, Santiago Hidalgo

2.2.2.3. Tanques Esféricos

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

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

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

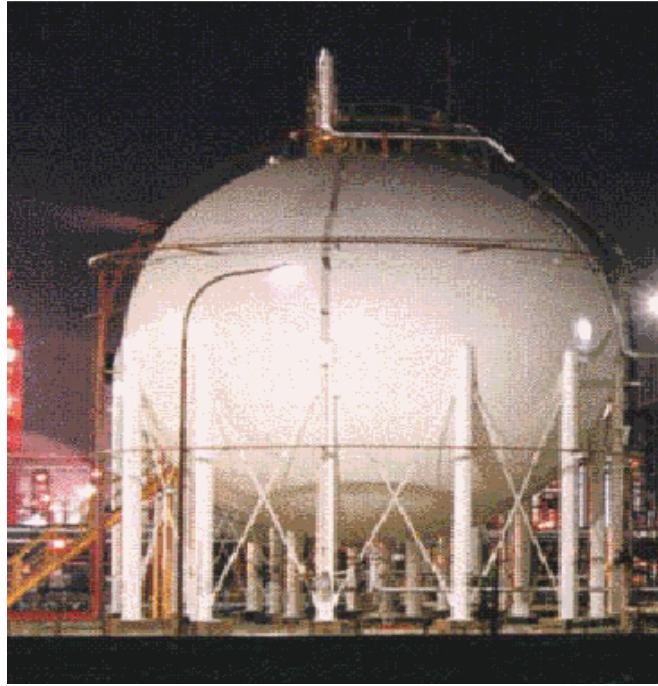


Figura 2.8 Fotografía de un Tanque Esférico

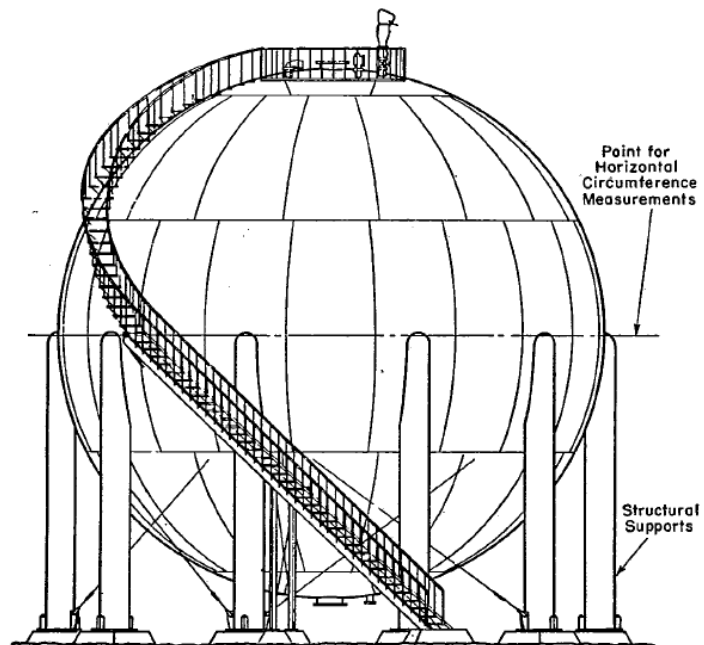


Figura 2.9 Diagrama de un Tanque Esférico

CAPÍTULO 3

MEDICIONES Y TOMA DE DATOS

3.1. MEDICIONES

3.1.1. DEFINICIÓN

La medición es la determinación de la proporción entre la dimensión o suceso de un objeto y una determinada unidad de medida. La dimensión del objeto y la unidad deben ser de la misma magnitud.

Al patrón a medir se lo llama también unidad de medida y este debe cumplir con las siguientes condiciones:

- Ser inalterable, es decir que no debe cambiar con el tiempo ni en función de quién realice la medida
- Ser universal
- Ser fácilmente reproducible

El proceso de medir se lo debe hacer con mucho cuidado para evitar alterar el sistema con el que se está trabajando además de que se debe tomar en cuenta las imperfecciones del instrumental o limitaciones del equipo y los errores que estos generan a fin de obtener excelentes resultados.

3.1.2. ASPECTOS GENERALES

Todas las mediciones y los datos tomados en el sitio del tanque deben ser verificados y de inmediato, de forma legible registrados en los formularios de preferencia que sea realizado por un solo individuo.

Todas las medidas deben ser tomadas sin interrupción y, preferentemente, en el mismo día de la calibración con el nivel de líquido residual estático. Si los trabajos de medición son interrumpidos por circunstancias tales como mal tiempo y suspensión de trabajo por alguna emergencia ocurrida en la planta los trabajos pueden continuar en una fecha posterior, sin repetir el trabajo anterior. Para el caso en el cual el tanque a ser calibrado tenga una variación del líquido se debe repetir el proceso de medición.

Todos los datos y los procedimientos necesarios para la preparación de las tablas de capacidad debe ser apoyada por los códigos API MPMS, 2551, 2552.

3.1.3. SEGURIDAD

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

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

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

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

3.1.4. TOLERANCIAS

- Las mediciones circunferenciales deberán leerse y registrarse con una precisión de 0,005 pies (o 1 milímetro). Que es igual a la mitad de la distancia entre dos marcas adyacentes de una cinta. Por lo tanto, todas las mediciones de circunferencia deberán quedar registradas en el tercer decimal.

Tabla 3.1. Tolerancias Circunferenciales

SISTEMA AMERICANO		SISTEMA INTERNACIONAL	
Hasta 150 ft	± 0.01 ft	Hasta 30 m	± 2 mm
150 - 300 ft	± 0.02 ft	30 - 50 m	± 4 mm
Sobre 300 ft	± 0.03 ft	50 - 70 m	± 6 mm
		70 - 90 m	± 8 mm
		Sobre 90 m	± 10 mm

Fuente: Norma API MPMS-2A

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

3.1.5. EQUIPOS DE MEDICIÓN

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


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

3.1.5.1. Plomada

La plomada es utilizada para realizar la medición de la distancia desde el techo del tanque hasta el fondo en distintos puntos según se requiera, para lo cual se trabaja conjuntamente con la cinta de acero la cual se acopla a la plomada permitiendo de esta forma poder determinar esas distancias.

Tabla 3.2. Características de la Plomada

Características de la plomada	
<i>Peso</i>	20 oz.
<i>Material</i>	Cobre, Latón
<i>Longitud</i>	6 ¾ in.
<i>Ancho</i>	1 in.
<i>Otra descripción</i>	Graduada en mm y cm



Elaboración: Alberto Núñez, Santiago Hidalgo

3.1.5.2. Cinta de acero

La cinta de acero es utilizada conjuntamente con la plomada, principalmente para medir alturas en la cual la deformación generada por el peso de la plomada es imperceptible en este tipo de cinta.

Tabla 3.3. Características de la Cinta de Acero

Características de la cinta de acero	
<i>Ancho cinta</i>	10 mm.
<i>Longitud cinta</i>	30 m
<i>Otra descripción</i>	Graduada en mm, cm y m.
	



Elaboración: Alberto Núñez, Santiago Hidalgo

3.1.5.3. Cinta de fibra de vidrio

La cinta de fibra de vidrio es utilizada para medir la longitud de la circunferencia de los tanques.

Tabla 3.4. Características de la Cinta de Fibra de Vidrio

Características de la cinta de fibra de vidrio	
<i>Ancho cinta</i>	15 mm.
<i>Longitud cinta</i>	50 m
<i>Otra descripción</i>	Graduada en mm, cm y m.
	



Elaboración: Alberto Núñez, Santiago Hidalgo

3.1.5.4. Flexómetro.-

El flexómetro es utilizado en forma general y para diversos usos, principalmente para determinar las medidas de los accesorios de los tanques.

Tabla 3.5. Características del Flexómetro

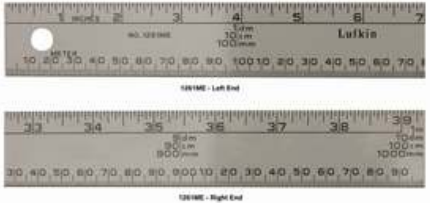
Características del flexómetro	
Ancho	25 mm.
Longitud	8 m
Otra descripción	Graduada en cm y en pulgadas.
	

Elaboración: Alberto Núñez, Santiago Hidalgo

3.1.5.5. Regla de Ingeniero.-

Las reglas de ingeniero se las utiliza para medir en espacios muy reducidos y accesorios pequeños.

Tabla 3.6. Características de la Regla de Ingeniero


Características de la regla de ingeniero	
Material	Aluminio
Ancho	32 mm.
Longitud	1 m.
Espesor	1/32 in.
Otra descripción	Graduada en mm y en pulgadas.
	

Elaboración: Alberto Núñez, Santiago Hidalgo

3.1.5.6. Medidor de espesores.-

Este equipo es de tipo ultrasónico y como su nombre lo indica permite determinar el espesor de las paredes del tanque en los distintos anillos con una gran precisión.

Tabla 3.7. Características del Medidor de Espesores

Características del medidor de espesores		
Rango de Medición	0.60 – 150.00 mm 0.025 – 6.000 in	
Memoria	1000 datos	
Unidades	Milímetros, pulgadas	
Pantalla	LCD	
Salida	Serial RS-232C	

Elaboración: Alberto Núñez, Santiago Hidalgo

3.1.5.7. Estación total.-

Es un aparato óptico utilizado en la topografía, cuyo funcionamiento se apoya en la tecnología electrónica, el mismo que permite realizar el cálculo de coordenadas en campo, replanteo de puntos de manera sencilla y la determinación de distancias entre las características principales.

El instrumento realiza la medición de ángulos a partir de marcas realizadas en discos transparentes. Las lecturas de distancia se realizan mediante una onda electromagnética portadora con distintas frecuencias que rebota en un prisma ubicado en el punto a medir y regresa, tomando el instrumento el desfase entre las ondas.

Este instrumento permite la obtención de coordenadas de puntos respecto a un sistema local o arbitrario, como también a sistemas definidos y materializados. Para la obtención de estas coordenadas el instrumento realiza una serie de lecturas y cálculos sobre ellas y demás datos suministrados por el operador. Las lecturas que se obtienen con este instrumento son las de ángulos verticales, horizontales y distancias. Otra particularidad de este instrumento es la posibilidad de incorporarle datos como coordenadas de puntos, códigos, correcciones de presión y temperatura.

Tabla 3.8. Características de la Estación Total

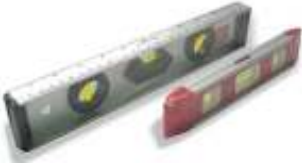
Características de la Estación total		
Alcance	40 m	
Precisión	0.001 mm	
Pantalla	Alfanumérica LCD	
Iluminación	Independiente de la luz solar	
Accesorios	<ul style="list-style-type: none"> • Calculadora • Seguidor de trayectoria 	
Memoria	Almacenamiento Electrónico	

Elaboración: Alberto Núñez, Santiago Hidalgo

3.1.5.8. Nivel de burbuja.-

Este instrumento nos ayuda a determinar si la base del tanque presenta una inclinación bastante pronunciada que pueda afectar el proceso de aforo.

Tabla 3.9. Características del Nivel de Burbuja

Características del nivel de burbuja		
Longitud	9 pulgadas	

Elaboración: Alberto Núñez, Santiago Hidalgo

3.1.5.9. Otras Herramientas.-

Escaleras de mano para facilitar la manipulación de las cintas y la limpieza en lugares donde no es posible alcanzarlos sin la utilización de estos accesorios.

Instrumentos de limpieza tales como espátulas, cepillo de cerdas duras, franelas que ayuden a la eliminación del óxido y la suciedad en los lugares donde se realizan las mediciones.

Accesorios de oficina tales como esferográficos, lápices, borradores, clips, portapapeles, carpetas y los formularios proporcionados por la empresa.

3.1.6. MEDICIONES EN TANQUES VERTICALES

3.1.6.1. Condiciones de Medida

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

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

Para tanques con capacidad nominal de 500 barriles o menos no es necesario que se cumpla la condición de llenado para realizar las mediciones.

Para tanques con capacidad nominal mayor a 500 barriles deben cumplir las siguientes condiciones.

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

La gravedad API, la temperatura del contenido del tanque, la temperatura media ambiente y la máxima altura de llenado son datos que se deben tomar

al momento de realizar la medición los mismos que deben ser revisados y registrados.

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

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

3.1.6.2. Medición de Espesores

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

Las mediciones de espesor obtenidos antes o durante la construcción y que se encuentren debidamente registrados pueden ser utilizados.

Un método alternativo de medición de espesores es cuando el tipo de construcción deja a los bordes de la placa expuesta y se realiza una medición directa, un mínimo de dos mediciones de espesor se efectuarán en cada anillo. La media aritmética de las mediciones de cada anillo debe registrarse; todas las mediciones de espesor, debidamente identificados, deben anotarse en una hoja de datos que debe formar parte del registro de la medición. Se debe evitar tomar mediciones de espesores en los lugares donde los bordes han sido distorsionados.

3.1.6.3. Medición de las Longitudes Verticales

Se realizan 5 mediciones principales: la altura del tanque, la altura referencial de aforo, la altura de la escotilla (véanse las figuras 3.1., 3.2. y 3.3.), altura interna efectiva y las alturas de cada anillo.

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

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

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

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

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

El valor de la inclinación en la altura del tanque debe ser medido y registrado. Las mediciones de las posibles inclinaciones pueden ser realizadas en conjunto

con las mediciones de las alturas del tanque utilizando un teodolito, una plomada óptica, o una plomada.

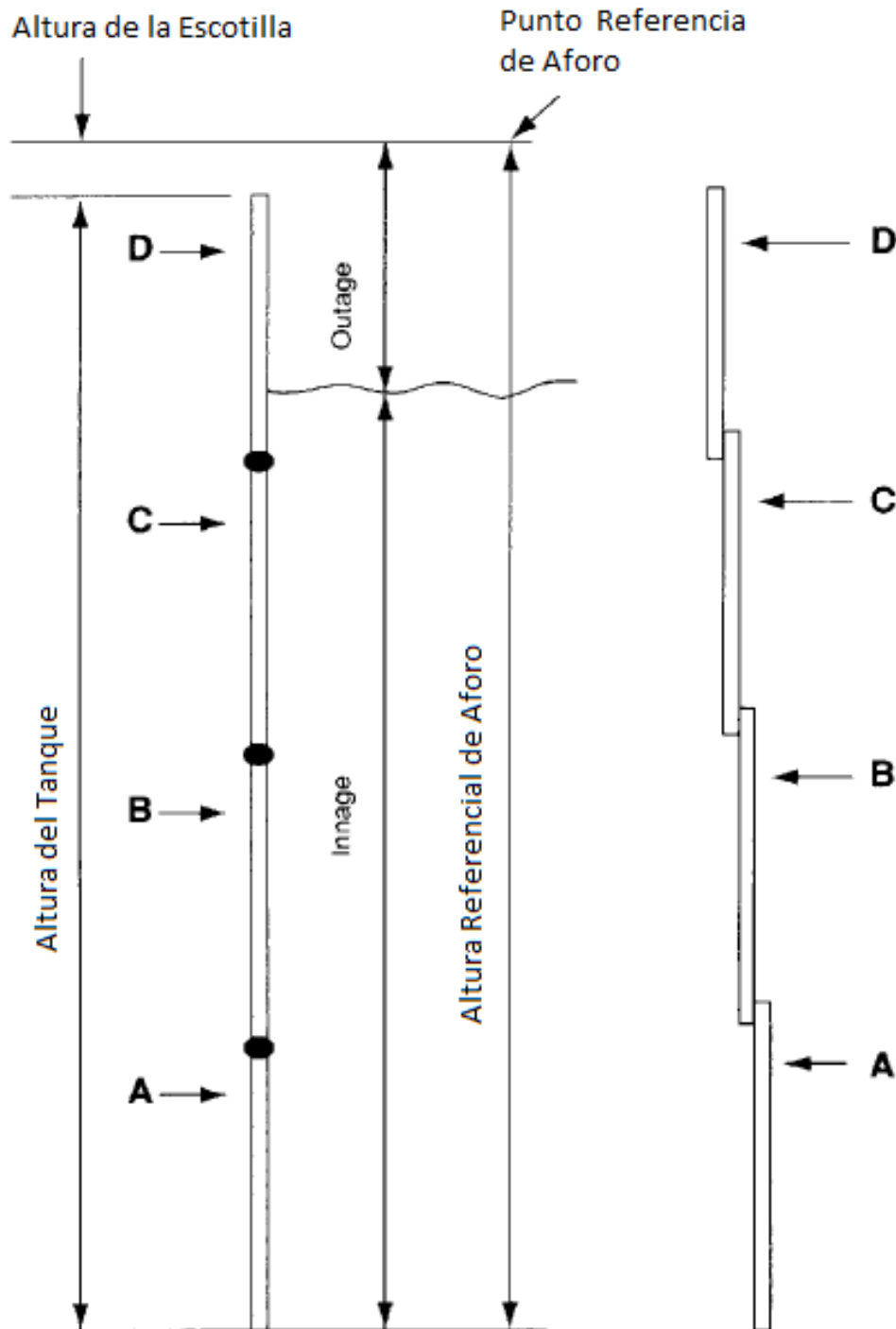


Figura 3.1. Medidas de Tanques Verticales – Soldado

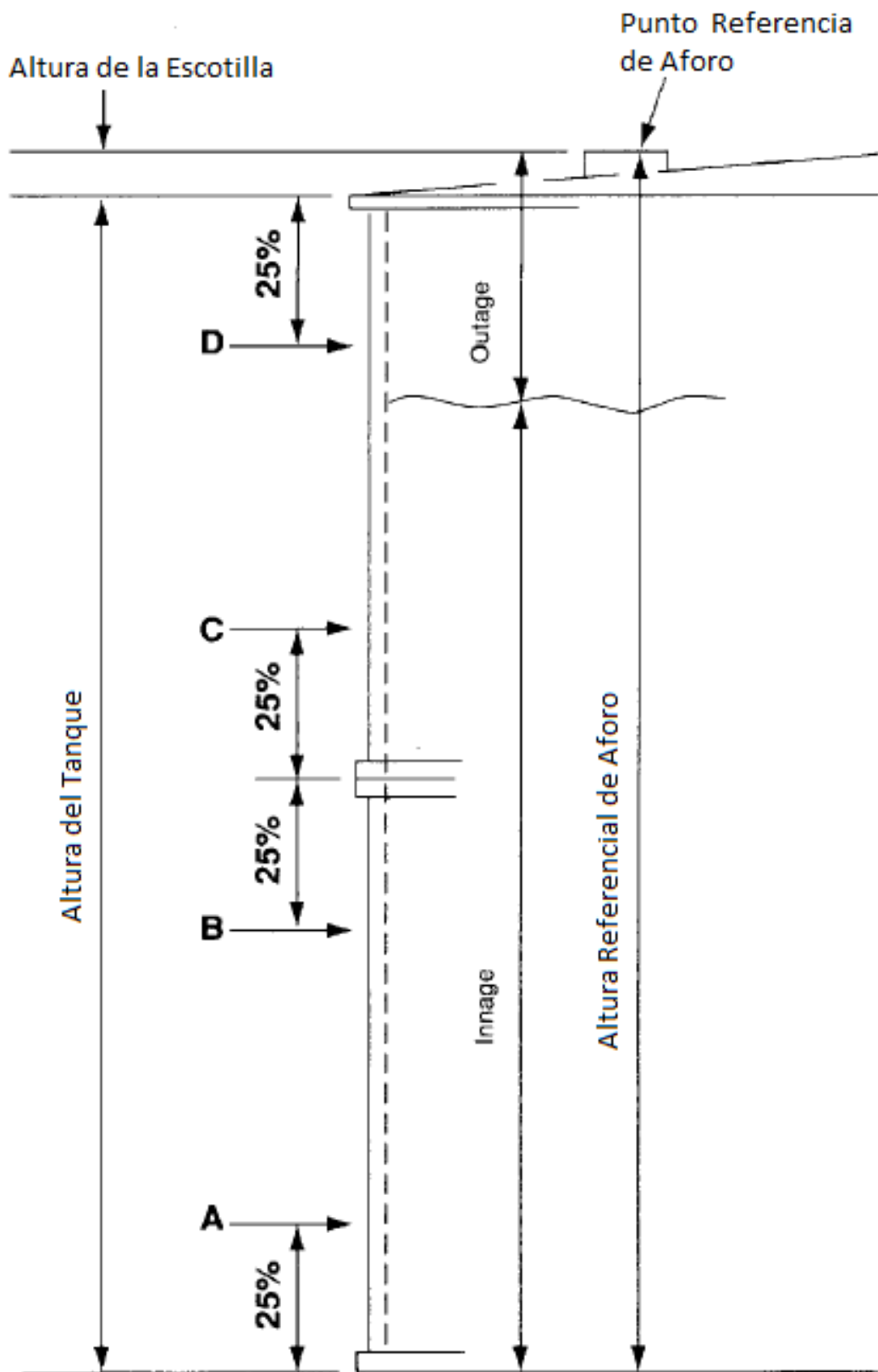


Figura 3.2. Medidas de Tanques Verticales - Atornillado

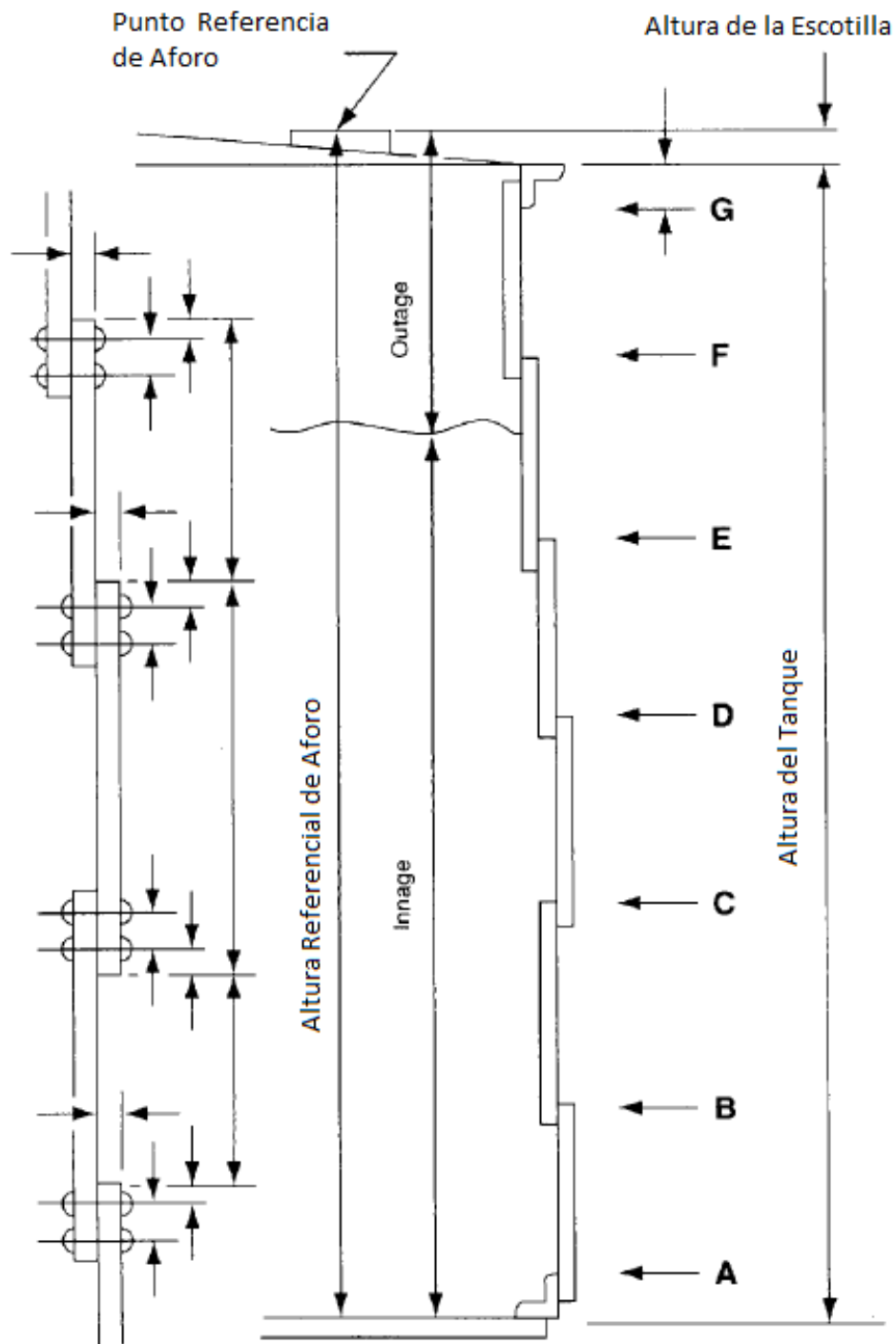


Figura 3.3. Medidas de Tanques Verticales - Remachado

La altura interna efectiva del tanque es la altura máxima de llenado del tanque (ver Figura 3.4.). Esto es de interés primordial para los cálculos de las tablas de capacidad, estableciendo los límites superior e inferior de las variables de calibración que se proporcionan en la tabla de capacidad.

El límite superior máximo de la tabla de la capacidad puede ser uno de los dos puntos siguientes:

- Altura efectiva interior del tanque.
- La altura de llenado solicitada por el propietario del tanque.

Si la altura interna efectiva del tanque debe ser obtenida directamente en el tanque, esta altura debe ser medida y reportada como tal. Si la altura interna efectiva del tanque no se puede medir directamente, la persona responsable de obtener las mediciones debe obtener planos de construcción para calcular la altura interna efectiva del tanque.

En algunas instalaciones, una línea de desbordamiento u otro accesorio se conecta al tanque justo por debajo del ángulo superior y ofrece un potencial desbordamiento del nivel de líquido en algún momento por debajo de la parte superior del tanque (véase figura 3.4.).

El registro de la medición debe incluir una descripción completa de esa conexión, incluyendo el tamaño y ubicación.

Si la conexión no puede ser cerrada y sellada contra el desbordamiento, la altura efectiva interior del tanque es la distancia vertical desde el piso del tanque o la placa de referencia, hacia arriba del nivel en que el contenido del tanque comenzará a desbordarse; la capacidad del tanque entre el punto de desbordamiento y el techo del tanque deben tenerse en cuenta en la tabla de la capacidad.

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

En este último caso, en el que la tabla de la capacidad se extiende hacia arriba más allá de la conexión, la tabla de capacidad debe incluir una nota en la

elevación de la conexión citando su presencia y que establece las condiciones en que esa parte de la tabla de capacidad se puede utilizar.

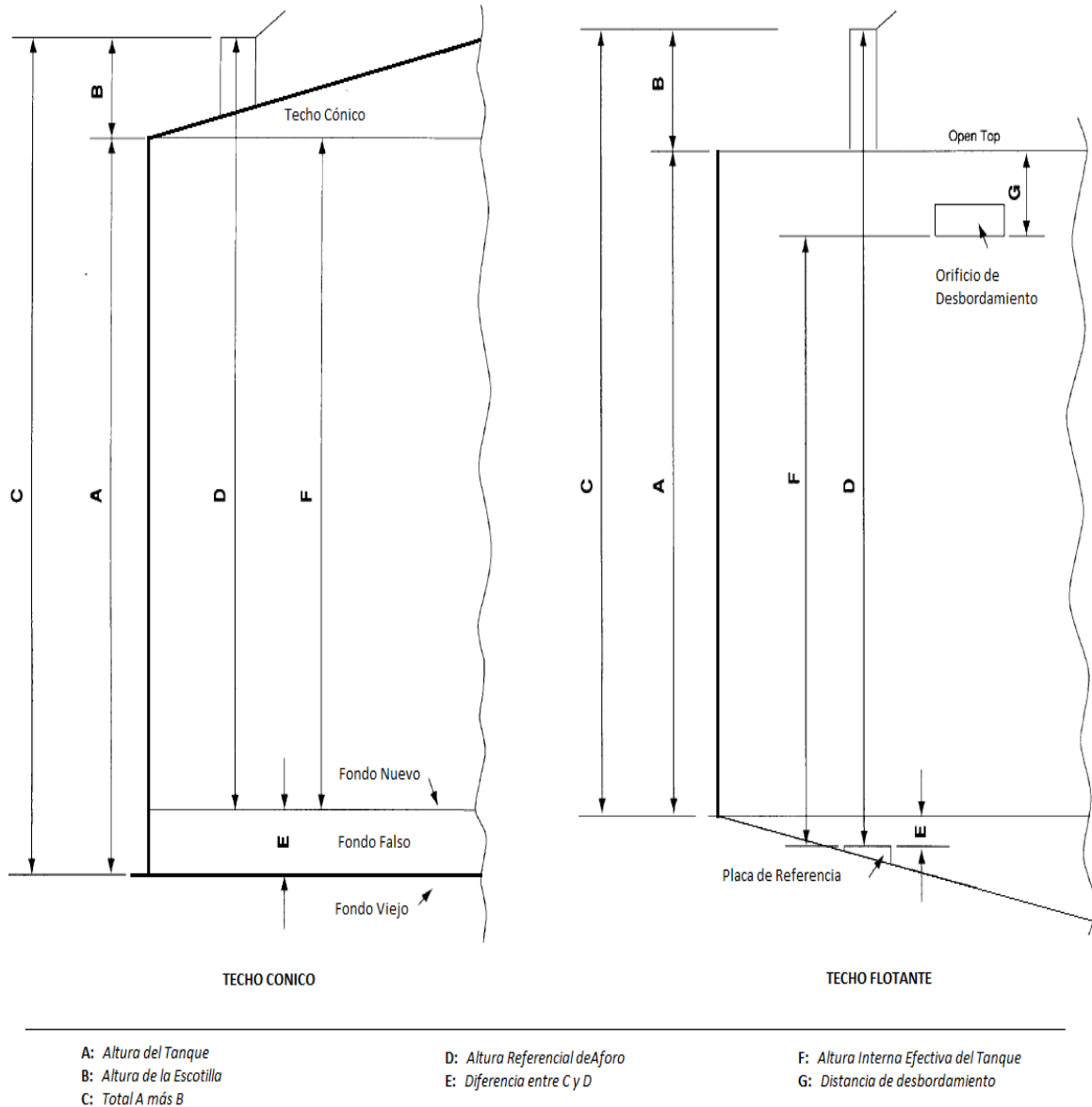


Figura 3.4. Medidas de Tanques Verticales

La altura del llenado de seguridad, cuando sea necesario que se indique en la tabla de capacidad se hará de manera especificada por el propietario. La altura del llenado de seguridad en la mayoría de los casos será inferior a la altura de llenado máximo.

Se mide y registran las alturas de cada anillo (ver Figura 3.5., 3.6. y 3.7.).

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

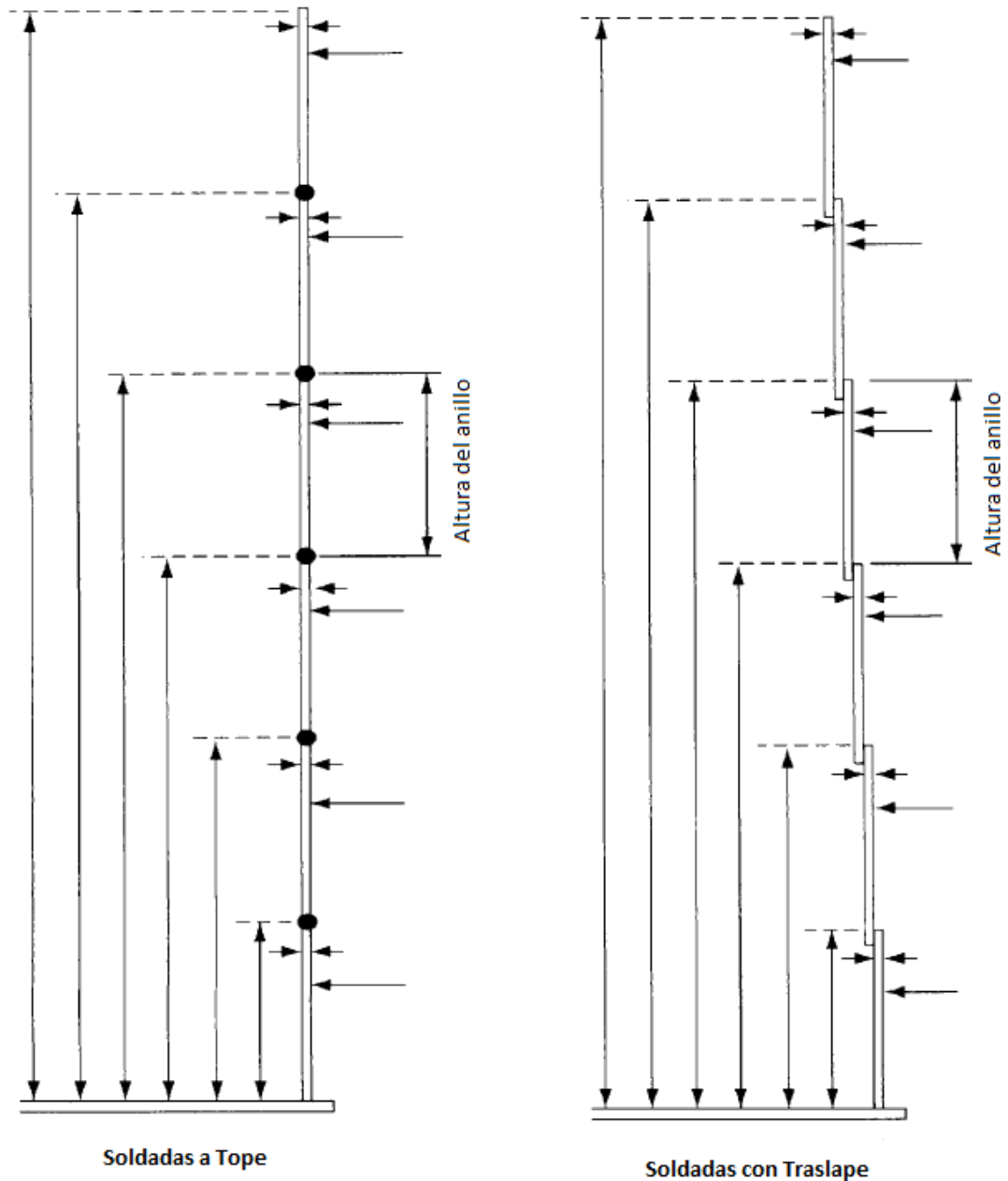


Figura 3.5. Localización de las Medidas para Tanques Verticales Soldados

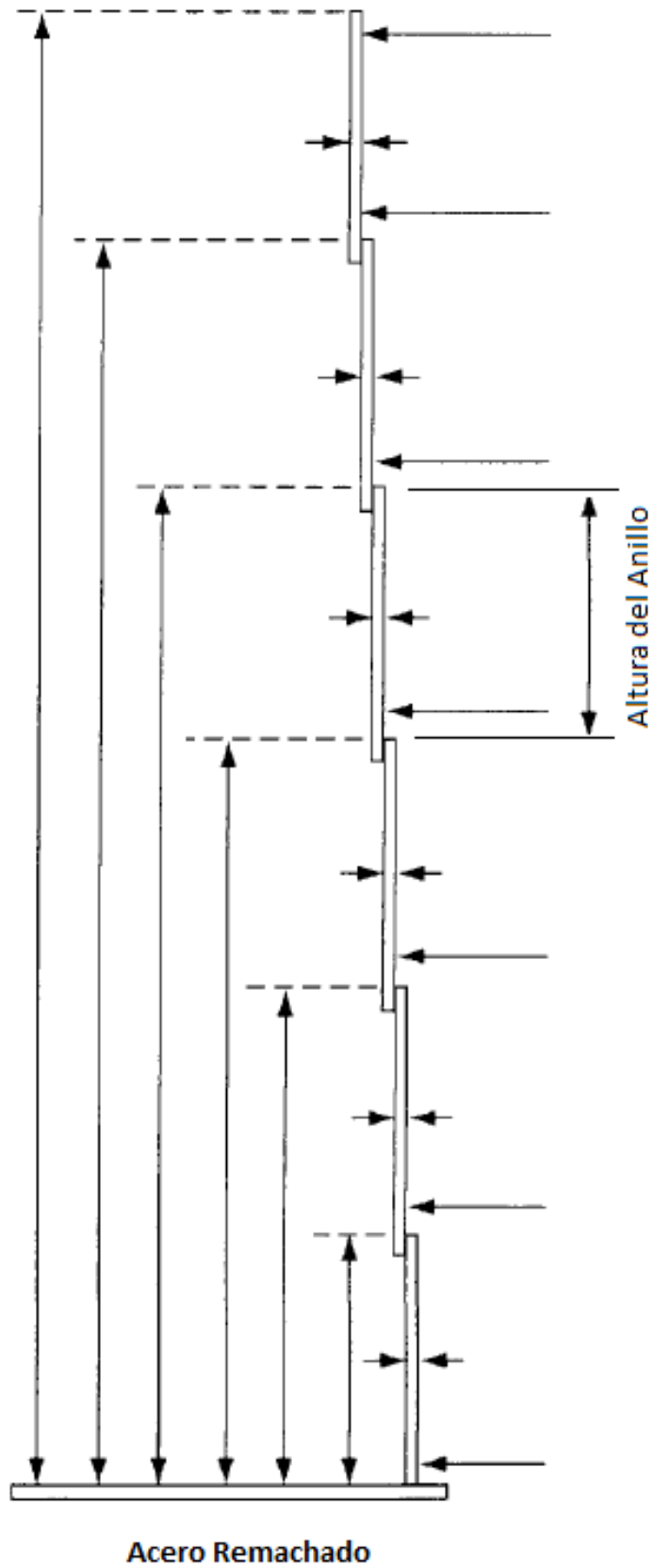


Figura 3.6. Localización de las Medidas para Tanques Verticales Remachados

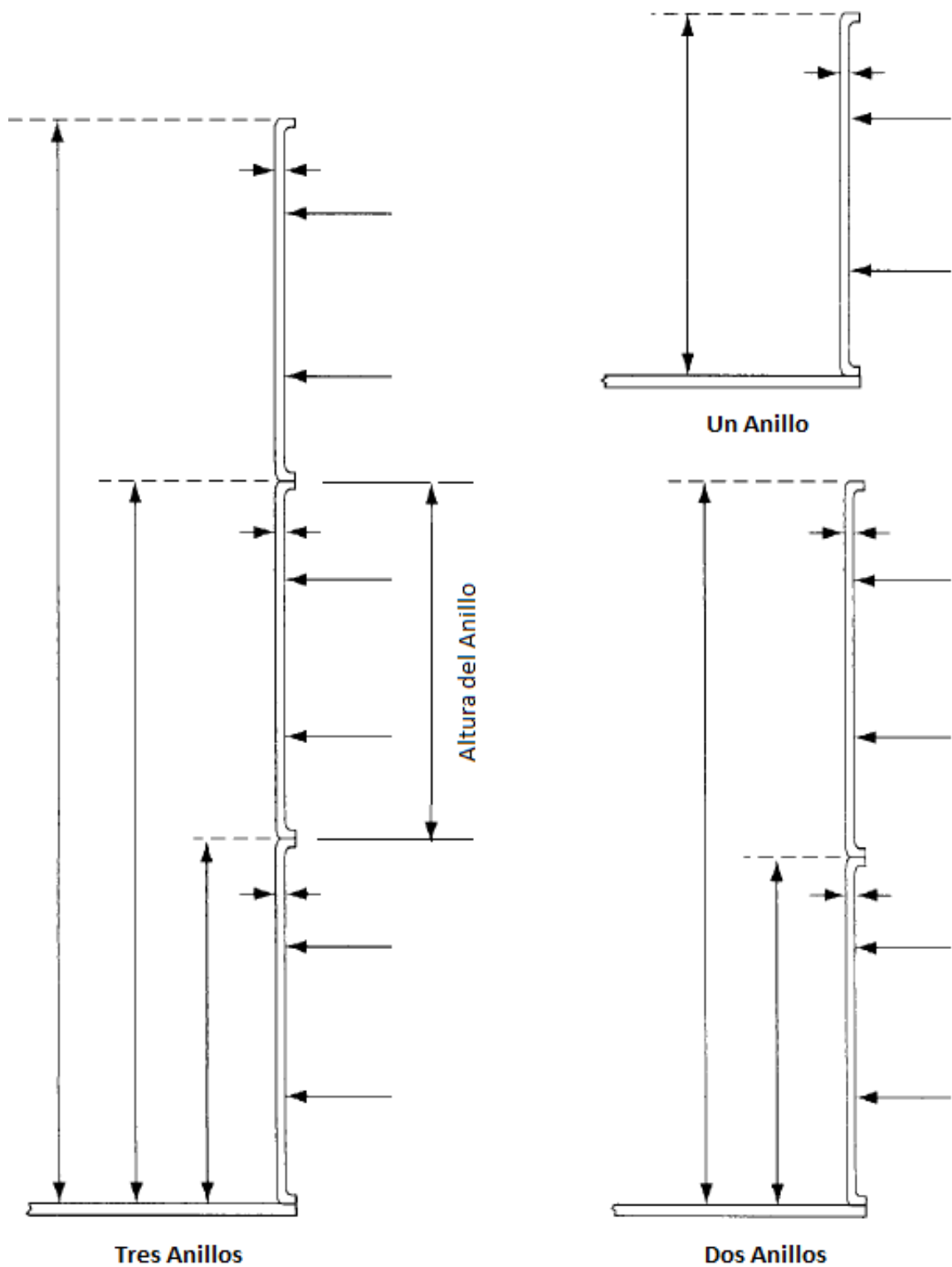


Figura 3.7. Localización de las Medidas para Tanques Verticales Atornillados

3.1.6.4. Medición de las Circunferencias

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

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

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

Todos los puntos en los que las mediciones de circunferencia se leen deben estar ubicados al menos 2 pies (o 600 milímetros) de una junta vertical. Después de que se realice una medición de la circunferencia, se reduce la tensión lo suficiente para permitir que la cinta se desplace. Antes de la siguiente lectura, la posición de la cinta debe ser verificada. A continuación, debe ser devuelto a la posición y la tensión necesaria; las dos lecturas sucesivas deben tomarse dentro de las tolerancias especificadas según la tabla 3.1. El promedio de las dos lecturas, deben registrarse como la medición de circunferencia en ese punto.

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

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

Cuando juntas a tope o traslapadas causan un espacio uniforme entre la cinta y el tanque en cada junta el procedimiento adecuado es medir y registrar el ancho y el espesor de las juntas a tope, y registrar el número de juntas en cada anillo. En el caso de juntas traslapadas, se debe medir y registrar el espesor de la placa traslapada expuesta (ver Figura 3.5.) en cada anillo alrededor de la circunferencia, y registrar el número de juntas en cada anillo. Esta información será utilizada para la corrección de la medida circunferencial medida.

3.1.6.5. Medición de Volúmenes Muertos

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

El interior de la superficie cilíndrica vertical y los miembros de apoyo del techo, tales como columnas y tirantes en el tanque, deben estar limpios y libre de cualquier sustancia extraña, incluyendo pero no limitado a, los residuos de los productos adheridos a los costados, óxido, suciedad, emulsión, y parafina.

Los volúmenes muertos deben ser registrados con exactitud, en cuanto a tamaño y ubicación, con precisión de 1 / 8 pulgada (o 3 milímetros), a fin de permitir el adecuado cálculo de los volúmenes de líquido desplazados o admitidos por varias partes.

Los volúmenes muertos deben medirse, si es posible, dentro del tanque. Las dimensiones indicadas en los planos de construcción o las dimensiones,

proporcionado por el propietario del tanque pueden ser aceptadas si es imposible realizar las medidas reales.

Las mediciones de los volúmenes muertos deben mostrar los niveles más bajos y más altos, medidas desde el fondo del tanque junto a la pared del tanque, en los cuales los accesorios afectan la capacidad del tanque (ver figura 3.8.).

FROM	TO	PIECES	DESCRIPTION
H ₁	H ₂	1	NOZZLE

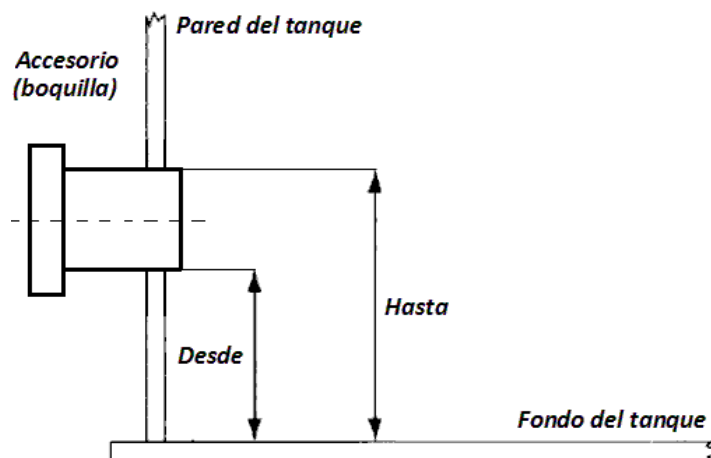


Figura 3.8. Forma de Registro de Accesorios

3.1.7. MEDICIONES EN TANQUES HORIZONTALES

3.1.7.1. Condiciones de Medida

El procedimiento utilizado para el registro y la obtención de los datos deben ser supervisados por un inspector certificado por la Dirección Nacional de Hidrocarburos (DNH).

Las medidas deben ser tomadas solo después de que el tanque haya llegado a la máxima presión de trabajo o nivel de líquido.

Las medidas deben ser tomadas en condiciones de máximo llenado a excepción de las cabezas ya que estas tienen la tendencia a expandirse hacia el exterior.

Para la obtención de las medidas mediante el procedimiento descrito por la norma API 2551 se debe considerar las siguientes variables:

- Efecto de inclinación desde la posición horizontal.
- Efecto del deterioro del tanque.
- Efecto de las temperaturas a diferentes volúmenes dentro del tanque.
- Efecto de la presión de trabajo sobre las paredes del tanque y las cabezas.

3.1.7.2. Medición de Espesores

Los espesores obtenidos de los planos de los fabricantes deben ser identificados en el informe de cálculo.

Se debe hacer como mínimo una medición por cada anillo y todas las mediciones de espesores deben ser debidamente identificadas y registradas en una hoja de datos que forma parte del registro de mediciones.

Se debe tener cuidado para evitar medidas de espesor de la chapa en los lugares donde los bordes han sido distorsionados por la soldadura o masilla.

3.1.7.3. Medición de la Longitud

Para realizar la medición horizontal del tanque se deben marcar claramente con pintura los puntos de referencia y establecer notoriamente los extremos del cilindro utilizando las cintas de medición.

Para determinar la longitud total del cilindro se debe sumar la longitud medida del cilindro principal más la longitud de la parte cilíndrica de las cabezas.

Si el tanque está compuesto por varios anillos se debe realizar el mismo proceso además de medir el ancho neto de los anillos.

La longitud teórica de la cabeza puede determinarse a partir de los planos del fabricante.

3.1.7.4. Medición de las Circunferencias

Para determinar las medidas de las circunferencias se debe primero identificar las características del tanque a fin de establecer el método de medición y los equipos necesarios.

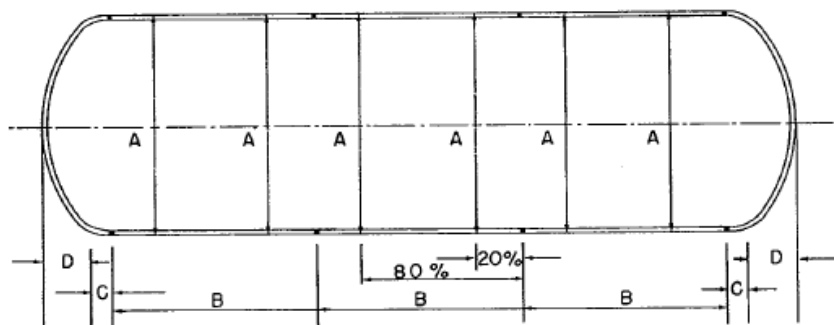
Para la medición de circunferencia se debe eliminar la suciedad a lo largo de toda la ruta de la cinta. Se debe identificar claramente las rutas de medición ya que se pueden encontrar con varios obstáculos como Manhole, boquillas, refuerzos que impiden que se pueda realizar la medición de la circunferencia en estos puntos.

Si la obstrucción no permite realizar la medida de la circunferencia en el punto requerido, esta se la debe realizar en un punto cercano.

La cantidad de tensión, en libras, que se aplicará a la cinta en todos los casos debe ser aproximadamente de 10 libras como se indica en la norma, esto

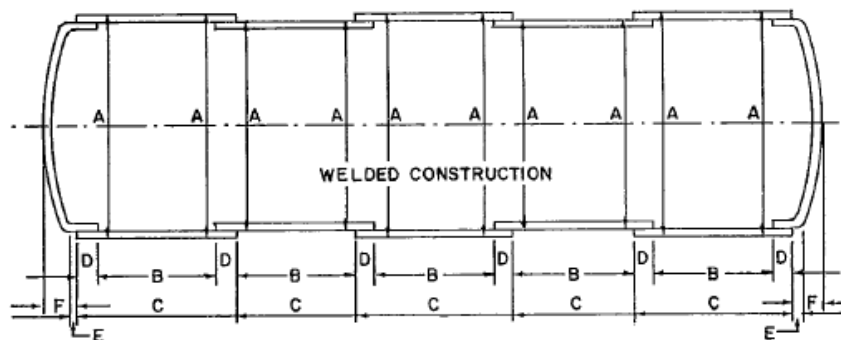
equivale a la fuerza que normalmente una persona aplica al momento de realizar la medición.

Si el tanque está formado por anillos completos, las mediciones de circunferencia deben ser tomadas al 20 y al 80 por ciento del ancho de cada anillo; dependiendo del tipo de construcción del tanque se recomienda tomar las medidas como se indica en las siguientes figuras.



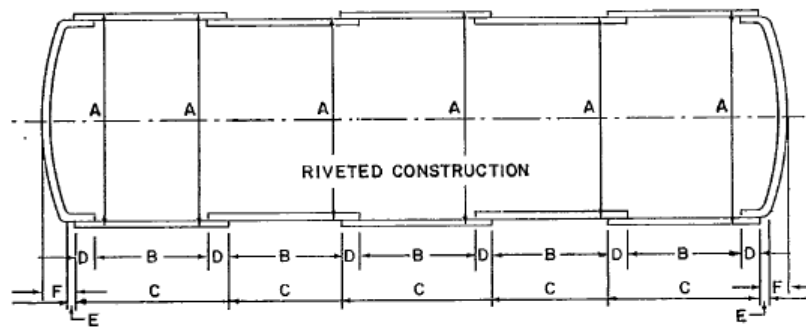
- A- Circunferencia tomada al 20% y 80% de cada anillo
- B- Longitud de cada anillo
- C- Distancia desde la soldadura hasta el punto tangente
- D- Proyección de la cabeza

Figura 3.9. Tanques soldados a Tope



- A- Circunferencia medida al 20% y 80% de cada anillo
- B- Longitud no traslapada de cada anillo
- C- Longitud expuesta de los anillos
- D- Ancho del traslape
- E- Distancia desde la soldadura al punto tangente
- F- Longitud de la proyección de la cabeza

Figura 3.10. Tanques traslapados y soldados

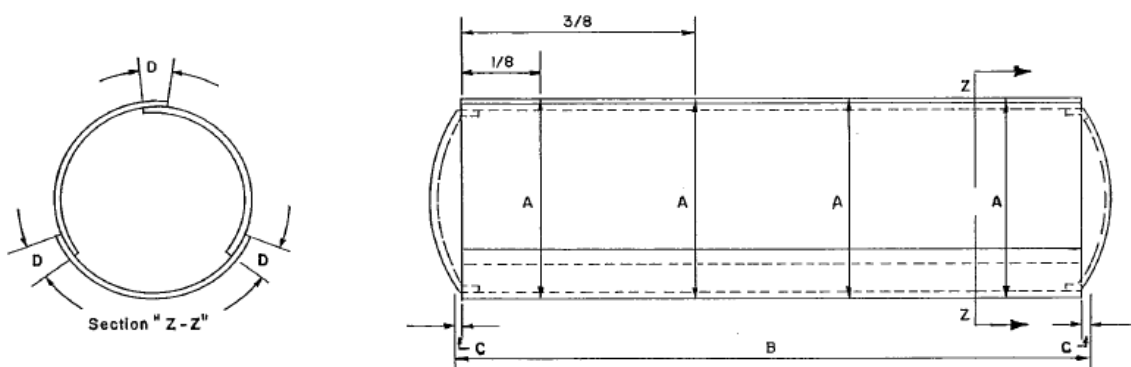


- A- Circunferencia medida junto al conjunto de remaches de cada anillo
- B- Longitud no traslapada de cada anillo
- C- Longitud expuesta de los anillos
- D- Ancho del traslape
- E- Distancia desde la soldadura al punto tangente
- F- Longitud de la proyección de la cabeza

Figura 3.11. Tanques traslapados y remachados

Si las medidas en los anillos indican variaciones inusuales o distorsiones, se deben tomar medidas adicionales a fin de poder determinar las requeridas.

Si el tanque se compone de laminas longitudinales las mediciones de circunferencia se tomaran al $1/8$, $3/8$, $5/8$ y $7/8$ de la longitud de la lamina como se muestra en la Figura 3.12.



- A- Medida de la circunferencia tomada al $1/8$, $3/8$, $5/8$ y $7/8$ de la longitud total del cilindro.
- B- Longitud del cilindro
- C- Longitud de la parte cilíndrica de las cabezas
- D- Medida del traslape de las laminas

Figura 3.12. Láminas longitudinales

3.1.7.5. Medición de las Cabezas

Identificar el tipo de cabeza del tanque en la que sus contornos pueden ser curvas, elipses y segmentos esféricos.

La medición de las cabezas en campo son irregulares ya que es muy difícil determinar el punto exacto de la tangente entre las pestañas rectas y la curva, para lo cual se debe realizar una medición minuciosa de cada cabeza a fin de obtener los datos más aproximados y generar un grafico que se utilizara como base de cálculo. Todo este proceso se lo realizara cuando las especificaciones dadas por el fabricante no están disponibles.

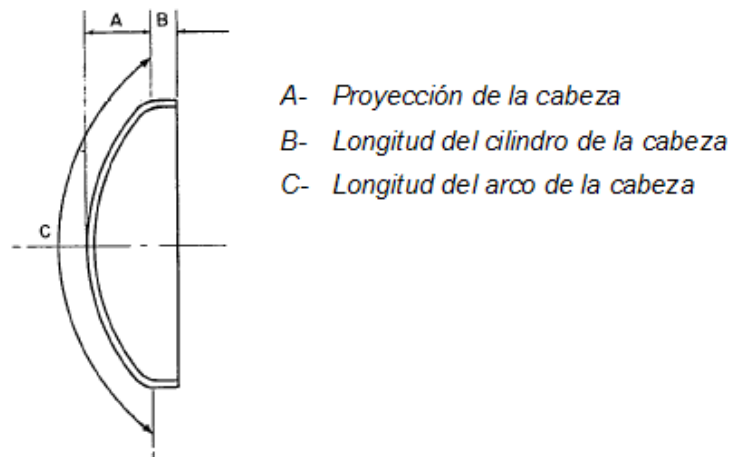


Figura 3.13. Principales Medidas de las Cabezas.

3.1.8. MEDICIONES PARA TANQUES ESFÉRICOS

Las dificultades prácticas que presentan las cintas al momento de medir las grandes circunferencias sobre la esfera son los deslizamientos de la misma. Es por eso que para facilitar la medición del círculo horizontal más largo, el constructor debe soldar varillas cortas perpendiculares al tanque de almacenamiento en el punto donde el depósito es tangente a una línea vertical, y separadas a no más de 10 pies de distancia para el apoyo de la cinta en ese lugar.

Tres grandes círculos representativos son escogidos para la medición, uno en el ecuador horizontal y dos pasando verticalmente a través de los polos en ángulos rectos unos con otros (ver figura 3.14.). El volumen total se calcula sobre la base de estas tres mediciones. Los volúmenes parciales están distribuidos sobre la medida de la altura interna por una formula o en una tabla basada en el volumen parcial en función de la profundidad de una verdadera esfera.

En una esfera la capacidad de la línea de fondo es el punto más bajo de la capa esférica dentro de la esfera. No existe capacidad muerta. Este mismo punto es el cero de calibración.

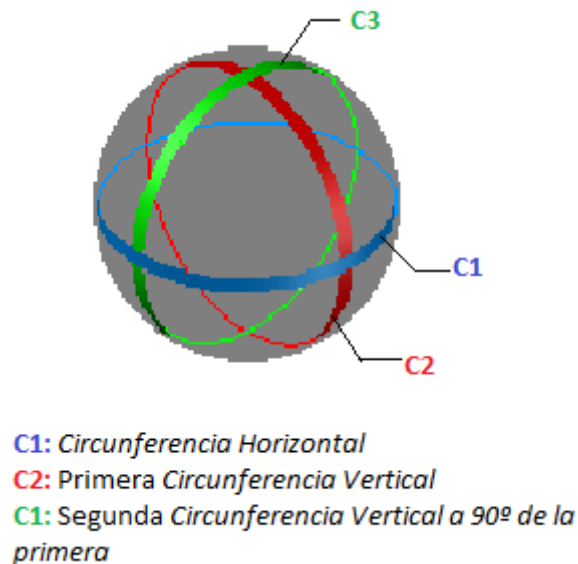


Figura 3.14. Circunferencias Tanques Esféricos

3.1.8.1. Mediciones de Campo

Se mide la circunferencia del círculo horizontal en el ecuador. Las columnas que sostienen una esfera por lo general se extienden a unos cuantos centímetros por encima del ecuador. Cuando existe este caso, se autoriza a hacer esta medición de la circunferencia en un punto justo por encima de la parte superior de las columnas donde la trayectoria de la cinta es clara. Luego

se registre la circunferencia medida, C, y la altura, H, por encima del ecuador en la que se midió C.

Mida la circunferencia de un círculo vertical que pasa por los polos. Mida la circunferencia de otro gran círculo vertical perpendicular al primer gran círculo vertical.

Mida la altura interior total, D, en la línea central vertical de la esfera. Generalmente hay un manhole u otra instalación en la línea central. En este caso, se mide la altura vertical interior, Dm, a una distancia conveniente, m, de la línea central. Y se registro Dm y m para el cálculo posterior de la altura en la línea central.

Tanques esféricos deben volver a calibrarse como resultado de las condiciones siguientes:

- Cuando se cambian o adicionan accesorios.
- Cuando el tanque es reparado o cambiado de tal forma que puede afectar el volumen total o incremental.
- Cuando se mueve el tanque.

3.2. TOMA DE DATOS

Una vez conocido todos los parámetros que deben ser medidos, se deberá completar los datos descriptivos que deben figurar en el Acta de Registro de Medidas del Tanque que se utiliza. Las Actas de registro propuestos por PETROAFIN S.A. se verán en el Anexo 1.

La gravedad API, la temperatura del contenido del tanque, la temperatura media ambiente y la máxima altura de llenado son datos que se deben estar registrados en las actas.

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

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

CAPÍTULO 4

CALIBRACIÓN DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO

4.1. DEFINICIÓN

La calibración es la ciencia de la exacta determinación del auténtico volumen de un sistema de contenido, que corresponde a cierto valor de medición. La calibración volumétrica consiste en determinar la capacidad o los volúmenes en un recipiente a diferentes niveles de producto.

La medición que se realiza para determinar estas capacidades está basada en la aplicación de métodos, normas a nivel internacional tales como las normas API MPMS 2A, 2551 y 2552, equipos de alta resolución y trazabilidad a patrones vigentes certificados, para proveer las dimensiones necesarias para el cálculo de las tablas de calibración que muestran el volumen de producto en cualquier nivel del tanque.

4.2. IMPORTANCIA

La exactitud en la determinación de las dimensiones de un tanque es un factor muy importante para la determinación del volumen del líquido, por lo cual las calibraciones de tanques son de gran interés para la industria del petróleo y es un procedimiento indispensable debido a su importancia económica, ya que afecta tanto al vendedor como al comprador del producto si son realizadas de manera no adecuada.

Los errores en la tabla de calibración originan errores en la contabilización de los contenidos del tanque, y los problemas que se plantean por estos errores son muy difíciles, y a veces, imposibles de resolver sin pérdidas por una de las partes involucradas.

Como resulta tan importante el método y el grado de exactitud empleados al tomar las dimensiones de un tanque, deben ser presenciadas por todas las partes interesadas ya que un pequeño error en las mediciones conlleva a serias discrepancias en el registro de calibración.

4.3. MÉTODOS DE CALIBRACIÓN

El aforo tradicional consiste en determinar el volumen total e incremental del tanque en las condiciones de uso. La calibración de los tanques de almacenamiento se debe efectuar cuando su integridad mecánica se ve afectada por reparaciones o cambios estructurales ya sea por cambio en la inclinación, en el diámetro, en la altura de referencia o en el espesor de la lámina. Para el aforo de un tanque de almacenamiento las tablas de aforo deben:⁵

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

⁵ www.ecopetrol.com.co/documentos/41020_CAPITULO_2_CALIBRACION_TANQUES.pdf

Las tablas de aforo o de calibración pueden ser elaboradas aplicando varios métodos. Para decidir cual se aplicará se tomará en cuenta el tipo y tamaño del tanque, el tiempo, personal y equipo disponible. Entre los principales métodos tradicionales para realizar el aforo de tanques de almacenamiento se tienen los siguientes Figura 4.1.:

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

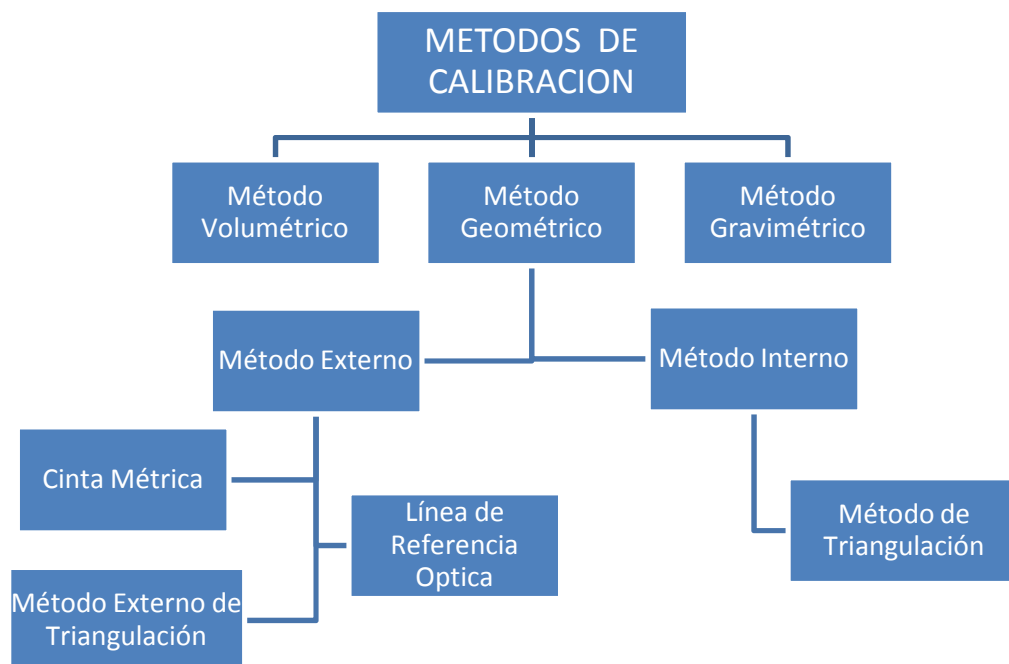


Figura 4.1. Métodos de aforo para tanques de almacenamiento

4.3.1. MÉTODO VOLUMÉTRICO

En general se usa para cualquier tipo de tanque aunque se recomienda según la norma API 2555 para capacidades entre 8 y 100 m³. Las mediciones se realizan con ayuda de una instalación patrón que cuenta con un caudalímetro que garantice la exactitud requerida y una cinta metálica patrón con plomada, ambos calibrados y certificados por el organismo metrológico local, preferentemente acreditado.⁶

La calibración se realiza con agua como líquido de trabajo, debido a que garantiza mayor seguridad (líquido poco volátil y no inflamable). El método volumétrico es generalmente usado para la calibración de tanques de las siguientes categorías:

- Tanques enterrados, de cualquier tipo.
- Tanques a nivel del suelo o elevados sobre el suelo, con capacidad nominal de hasta 100 m³.
- Tanques de forma no adecuada para la utilización de un método geométrico.

Como recomendaciones para este método de calibración están:

- Durante el aforo deben observarse todas las reglas de seguridad y contra incendios, necesario para la prevención de accidentes de cualquier tipo.
- Se prefiere que el recipiente se encuentre totalmente vacío y limpio antes de comenzar el trabajo.
- Se establecen exigencias para el control de la temperatura tanto ambiental como del líquido de trabajo (agua o combustible).
- El recipiente debe ser hermético.
- La Tabla de Aforo resultante puede emplearse como referencia para la instalación de equipos de sondeo apropiados para la determinación de la capacidad del tanque de manera automatizada.

⁶ www.sencamer.gob.ve/sencamer/documents/Lab_GV_Tanques.ppt

El método de calibración volumétrico puede hacerse mediante dos procedimientos:

- Por llenado
- Por vaciado

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

Consiste en llenar (o vaciar) por etapas el tanque a calibrar y emplear una cinta con plomada para medir los niveles de llenado, conformándose una tabla de volumen contra nivel (Tabla de Aforo). Estas etapas están en correspondencia con la capacidad y forma del tanque.

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

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

4.3.2. MÉTODO GEOMÉTRICO

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

Para la calibración geométrica se emplean los siguientes métodos:

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

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

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

Los métodos geométricos pueden ser usados en tanques con una capacidad nominal de alrededor de 50 m³ y más, que posean forma geométrica regular y que no presenten deformaciones.⁷

4.3.2.1. Método Geométrico Externo por Cinta Métrica

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

⁷ www.sencamer.gob.ve/sencamer/documents/Lab_GV_Tanques.ppt

4.3.2.2. Método Geométrico Externo por Línea de Referencia Óptica

Este método determina el perímetro de las diferentes alturas en las paredes del tanque. La envoltura del tanque es medida con la ayuda de una regla graduada guiada por un carrito imantado, con el cual se recorren las paredes del tanque, y un teodolito fijado hacia el cenit, ubicado a cierta distancia del rango de medición, como se muestra en la Figura 4.2.

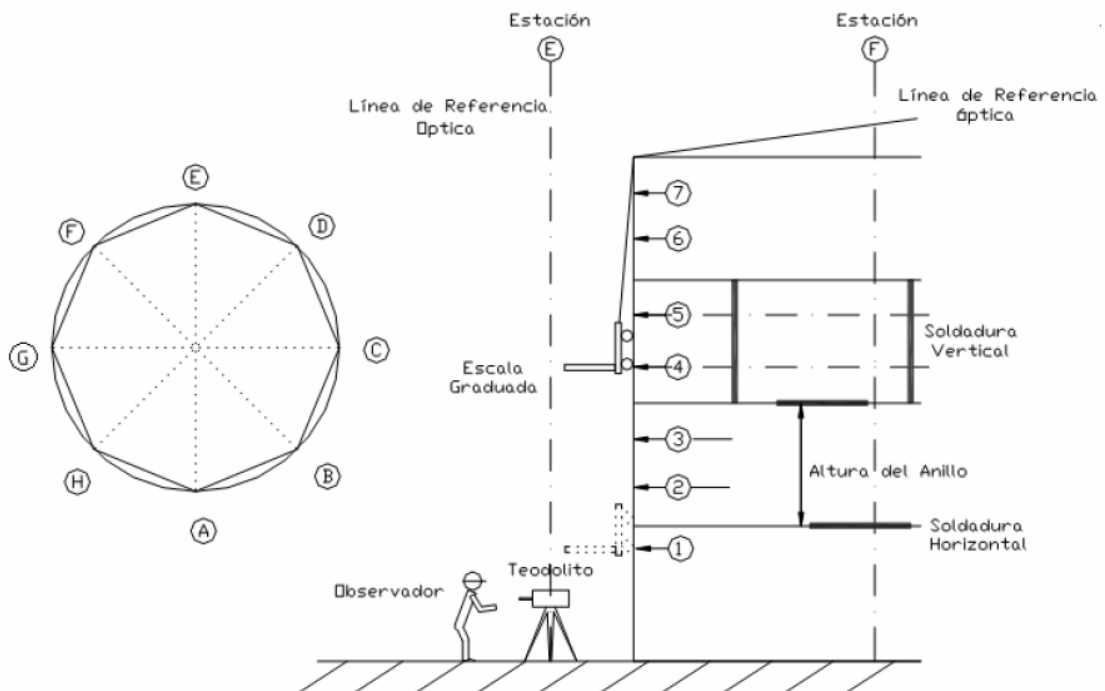


Figura 4.2. Método geométrico externo por línea de referencia óptica

Desde el techo del tanque o desde una superficie auxiliar se suspende la cuerda con el carro y la plomada, guiada sobre la polea central del carro. Sobre la pared del tanque y debajo del carro; se apoya el teodolito o dispositivo de medición de distancias. La ubicación y el número de puntos de medición por posición son análogos al método de cinta métrica. En la Tabla 4.1. se detallan el número de puntos de medición para diversos perímetros del tanque.

Tabla 4.1. Número de mínimo de estaciones

CIRCUNFERENCIA DE REFERENCIA (m)	NUMERO MINIMO DE ESTACIONES
Hasta 50	4
Sobre 50 hasta 100	6
Sobre 100 hasta 150	8
Sobre 150 hasta 200	10
Sobre 200 hasta 250	13
Sobre 250 hasta 300	15
Sobre 300	18

Elaboración: Alberto Núñez, Santiago Hidalgo

4.3.2.3. Método Geométrico Externo por Triangulación

En este método de calibración, el volumen del tanque se determina por medio de una medición óptica de ángulos, con dos teodolitos, y posteriores cálculos trigonométricos. Las mediciones deben estar relacionadas con una distancia (base) de referencia medida entre los aparatos, como se muestra en la Figura 4.3.

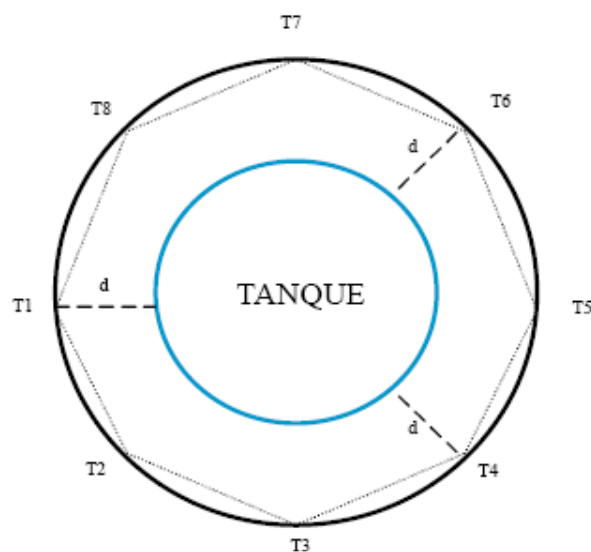


Figura 4.3. Aforo por triangulación externa

4.3.2.4. Método Geométrico Interno por Triangulación

El volumen del tanque se determina por medio de la medición óptica de ángulos y cálculos trigonométricos. Ambos teodolitos deben ser colocados en el interior del tanque, dispuestos en forma diametral y guardar una distancia de por lo menos 1/4 del diámetro del tanque. El mínimo número de puntos que deben ser medidos sobre el perímetro del tanque se escoge siguiendo la recomendación de la Tabla 4.1.

4.3.3. MÉTODO GRAVIMÉTRICO

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

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

Se deben realizar las correcciones correspondientes por efecto de la temperatura en el líquido de almacenamiento, debido a la variación de sus propiedades físicas así como las propias debido al proceso de pesado.⁸

4.4. CALIBRACIÓN DE TANQUES VERTICALES

4.4.1. PROCEDIMIENTO NORMA API MPMS 2-A

Será parte importante de este método tomar en cuenta que no se está calibrando un tanque perfecto sin defecto alguno, por el contrario está sujeto a deformación por diversos factores lo que hace necesario incluir en los cálculos

⁸ www.sencamer.gob.ve/sencamer/documents/Lab_GV_Tanques.ppt

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

4.4.1.1. Corrección de cinta a temperatura base.

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

$$\text{Factor de Corrección} = 1 + [(T_s - T_c) * C] \quad \text{Ecuación 4.1}$$

Donde: T_s = temperatura ambiente (°F)

T_c = temperatura estándar de referencia (60°F)

C = coeficiente de expansión para el acero dulce (0.000000645)

4.4.1.2. Corrección de circunferencia a tanque vacío.

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

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

$$c_v = -k \frac{h * C^2}{t} \quad \text{Ecuación 4.2}$$

$$k = \frac{W}{24 * \pi * E} = 0,00000002849239 \quad \text{Ecuación 4.3}$$

Donde: c_v = factor de corrección de circunferencia a tanque vacío (ft)

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

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

t = espesor de la placa (in).

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

W = 62.3 lbs/ft³

4.4.1.3. Corrección por elevación de cinta.

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

4.4.1.3.1. Para Juntas Soldadas a Tope.-

$$CC = \frac{2*N*t*w}{d*12} + \frac{8*N*t}{3*12} \sqrt{\frac{t}{d}} \quad \text{Ecuación 4.4}$$

4.4.1.3.2. Juntas Traslapadas.-

$$CC = \frac{4*N*t}{3*12} \sqrt{\frac{t}{2*d}} \quad \text{Ecuación 4.5}$$

Donde:

- cc = factor de corrección por elevación de cinta (ft)
- N = número de cordones de soldadura o juntas a traslape.
- t = espesor o proyección del cordón de soldadura o junta a traslape (in)
- w = ancho del cordón de soldadura (in)
- d = diámetro nominal del tanque (in)

4.4.1.4. Corrección de circunferencia por espesor de placa.

La circunferencia externa debe ser corregida a circunferencia interna.

$$ct = \frac{\pi * t}{6} \quad \text{Ecuación 4.6}$$

Donde: ct = factor de corrección por espesor de placa (ft)

t = espesor de la placa (in)

4.4.1.5. Incremento de volumen por anillo o referencia definida.

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

4.4.1.5.1. Corrección por cabezal liquido.-

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

$$cs = k \frac{G * h * C^2}{t} \quad \text{Ecuación 4.7}$$

Donde: cs = factor de corrección por cabezal liquido (ft).

k = constante, Ecuación 4.3.

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

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

C = circunferencia interna corregida (ft).

t = espesor de la placa (in).

4.4.1.5.2. Incremento por cabezal liquido arriba de cada anillo.-

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

$$\Delta v = \frac{\pi * W * G * d^3 * h}{4 * E * t} \quad \text{Ecuación 4.8}$$

Donde: Δv = incremento por cabezal liquido arriba de cada anillo.

$W = 62.3 \text{ lbs/ft}^3$

G = gravedad especifica a 60°F del liquido a almacenar.

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

h = altura del anillo (in).

d = promedio del diámetro interno (ft).

t = Espesor de la placa (in).

4.4.1.6. Corrección por inclinación.-

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

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

$$\% \text{ correccion de volumen} = 100(\sqrt{1 + m^2} - 1) \quad \text{Ecuación 4.9}$$

Donde: m = inclinación del tanque (ft).

4.4.1.7. Corrección de volumen por temperatura.-

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

$$k_t = 1 + 12.4 * 10^{-6} * \Delta T_s + 4 * 10^{-9} * \Delta T_s^2 \quad \text{Ecuación 4.10}$$

$$\Delta T_s = T_s - 60^{\circ}\text{F} \quad \text{Ecuación 4.11}$$

$$T_s = \frac{(7 \cdot T_l + T_a)}{8} \quad \text{Ecuación 4.12}$$

Donde: k_t = factor de corrección por temperatura
 ΔT_s = temperatura de la placa del tanque menos 60°F (°F).
 T_s = temperatura de la placa del tanque (°F).
 T_l = temperatura del líquido de servicio (°F).
 T_a = temperatura del ambiente (°F).

4.4.1.8. Reducciones e Incrementos del volumen muerto.-

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

4.4.1.8.1. Volumen muerto por accesorios.-

Según el tipo de accesorio el volumen aumenta o disminuye por ejemplo entradas de limpieza o bridas aumentan la capacidad del tanque mientras que escaleras internas o columnas centrales reducen su capacidad.

Para sacar el incremento de estos accesorios solo hay que dividir el volumen que ocupa o tiene el accesorio para la altura en la que afecta, y ese incremento o decremento se le suma o resta al volumen en toda la altura que se encuentra el accesorio. (Ver Anexo3)

4.4.1.8.2. Volumen muerto por fondo.-

Sin importar el tipo de fondo que tenga el tanque, se debe calcular el volumen que se encuentra bajo la altura de la platina de aforo (altura 0 en las tablas de calibración). Ese volumen corresponde al volumen en la altura 0. (Ver Anexo3)

4.4.1.8.3. Volumen muerto por techo flotante.-

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

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

- *Altura critica inferior:* altura desde el techo hasta el fondo cuando los soportes del techo están en contacto con el fondo.
- *Altura critica superior:* altura que el techo se hunde cuando esta flotando mas 2 pulgadas.
- *Peso del techo*
- *Densidad del producto*

$$Vd = \frac{Wt}{\delta fl * 42} \quad \text{Ecuación 4.13}$$

Donde: Vd = volumen desplazado por el techo (bbl)

Wt = peso del techo (lb)

δfl = densidad del fluido (lb/gal)

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

Para el cálculo del decremento se debe dividir el volumen desplazado para la resta de la altura crítica superior menos la altura crítica inferior. Este decremento se restará al volumen del tanque desde la altura crítica inferior hasta la altura crítica superior. (Ver Anexo3)

4.5. CALIBRACIÓN DE TANQUES HORIZONTALES

4.5.1. PROCEDIMIENTO NORMA API 2551

Las correcciones y operaciones que se deben realizar para el cálculo del volumen total de un tanque horizontal dependen del tipo de tanque; si el tanque es un tanque con láminas soldadas a tope (Figura 4.4) o con láminas traslapadas (Figura 4.5) y también depende del tipo de cabeza que tiene el tanque.

A continuación se describen las correcciones y operaciones que intervienen en el cálculo volumétrico de un tanque horizontal medido externamente según la Norma API 2551.

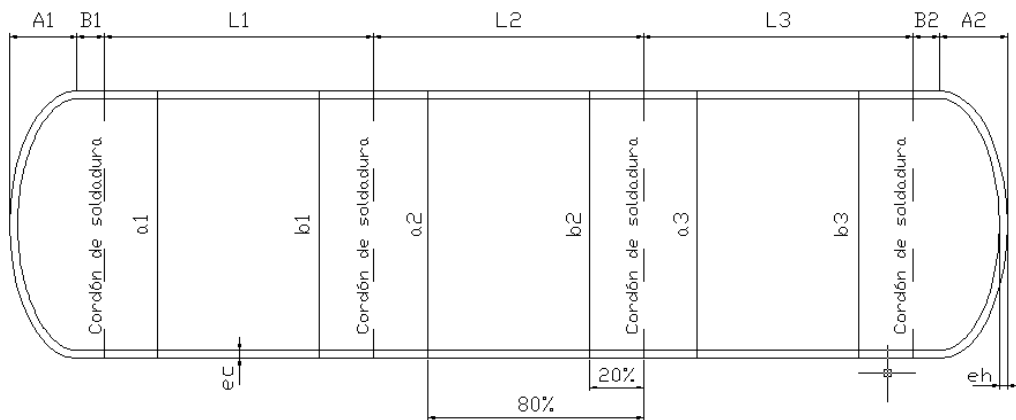


Figura 4.4. Medidas requeridas para la calibración del tanque

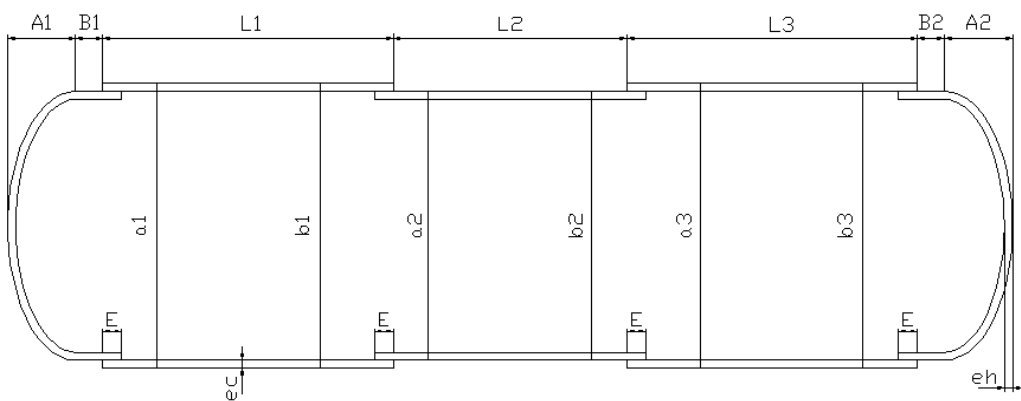


Figura 4.5. Medidas requeridas para la calibración del tanque

4.5.1.1. Perímetro del cilindro principal.-

4.5.1.1.1. Para Juntas Soldadas a Tope.-

$$C = \frac{L1*c1+L2*c2+L3*c3+\dots+Ln*cn}{L1+L2+L3+\dots+Ln} \quad \text{Ecuación 4.14}$$

Donde: C = perímetro del cilindro principal (ft)
L = longitud de cada anillo (ft)
c = promedio de las circunferencias al 20% y 80% de cada anillo (ft)

4.5.1.1.2. Para Juntas Traslapadas.-

$$C = \frac{\text{Panillos}}{\text{Lanillos}} \quad \text{Ecuación 4.15}$$

$$\text{Lanillos} = \text{Lanillo1} + \text{Lanillo2} + \text{Lanillo3} + \dots + \text{Lanillo..n}$$

$$\text{Lanillo1} = L1 - \frac{2E}{12}$$

$$\text{Lanillo2} = L2 + \frac{2E}{12}$$

$$\text{Lanillo3} = L3 - \frac{2E}{12}$$

$$\text{Panillos} = \text{Panillo1} + \text{Panillo2} + \text{Panillo3} + \dots + \text{Panillo..n}$$

$$\text{Panillo1} = \frac{a1 + b1}{2} * \text{Lanillo1}$$

$$\text{Panillo2} = \frac{a2 + b2}{2} * \text{Lanillo2}$$

$$Panillo3 = \frac{a3 + b3}{2} * Lanillo3$$

Donde: L1, L2, L3 = longitud de cada anillo (ft)
a1, b1, a2, b2, a3, b3 = circunferencias medidas al 20% y 80% de cada anillo (ft)
E = longitud de la superposición de las láminas (in)
C = perímetro del cilindro principal (ft)

4.5.1.2. Factor de Corrección por Presión de Trabajo.-

$$d = \frac{C}{\pi} - \frac{2*ec}{12} \quad \text{Ecuación 4.16}$$

$$F = \frac{6*Pt*d}{ec} \quad \text{Ecuación 4.17}$$

Donde: F = factor de presión (psi)
d = diámetro interno del cilindro (ft)
Pt = presión de trabajo (psi)
ec = espesor del cilindro (in)

4.5.1.3. Funciones para el incremento del perímetro del cilindro debido a la presión de trabajo.-

Para determinar el incremento en el perímetro de cilindro debido a la presión de trabajo se utilizan las siguientes funciones basadas en la Figura 4.6:

- Diámetro interno 6 ft (5.5 ft < d < 6.5 ft) F < 20000 psi

$$\delta = \frac{F-9500}{1000000} \quad \text{Ecuación 4.18}$$

Donde: δ = incremento en el perímetro del cilindro (ft)

- Diámetro interno 7 ft ($6.5 \text{ ft} < d < 7.5 \text{ ft}$) F < 18500 psi

$$\delta = \frac{F-8000}{800000} \quad \text{Ecuación 4.19}$$

- Diámetro interno 8 ft ($7.5 \text{ ft} < d < 8.5 \text{ ft}$) F < 18500 psi

$$\delta = \frac{F-8000}{1395348} + 0.0057 \quad \text{Ecuación 4.20}$$

- Diámetro interno 9 ft ($8.5 \text{ ft} < d < 9.5 \text{ ft}$) F < 19000 psi

$$\delta = \frac{F-8000}{1333333} + 0.0065 \quad \text{Ecuación 4.21}$$

- Diámetro interno 10 ft ($9.5 \text{ ft} < d < 10.5 \text{ ft}$) F < 17000 psi

$$\delta = \frac{F-8000}{1168831} + 0.0073 \quad \text{Ecuación 4.22}$$

- Diámetro interno 11 ft ($10.5 \text{ ft} < d < 11.5 \text{ ft}$) F < 15000 psi

$$\delta = \frac{F-8000}{1129032} + 0.0088 \quad \text{Ecuación 4.23}$$

- Diámetro interno 12 ft ($11.5 \text{ ft} < d < 12.5 \text{ ft}$) F < 14000 psi

$$\delta = \frac{F-8000}{967742} + 0.0085 \quad \text{Ecuación 4.24}$$

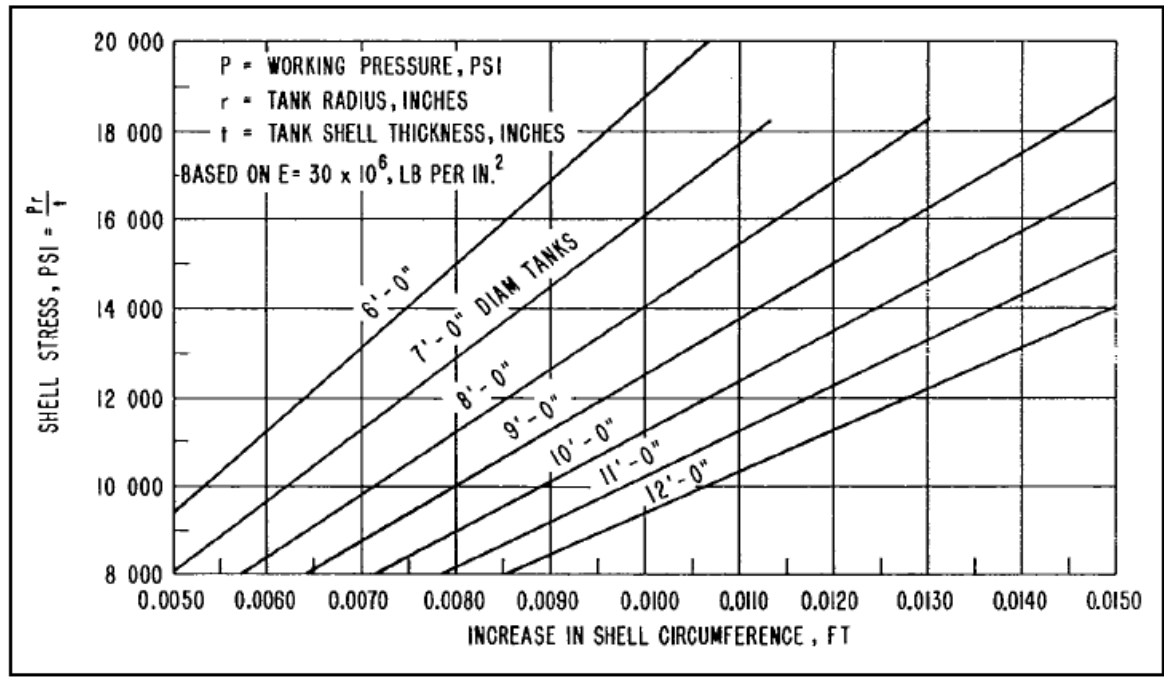


Figura 4.6. Incremento del perímetro del cilindro por la presión de trabajo

4.5.1.4. Corrección por elevación de cinta.

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

4.5.1.4.1. Para Juntas Soldadas a Tope.-

$$CC = \frac{2 \cdot N \cdot t \cdot w}{d \cdot 12} + \frac{8 \cdot N \cdot t}{3 \cdot 12} \sqrt{\frac{t}{d}} \quad \text{Ecuación 4.25}$$

4.5.1.4.2. Juntas Traslapadas.-

$$CC = \frac{4 \cdot N \cdot t}{3 \cdot 12} \sqrt{\frac{t}{2 \cdot d}} \quad \text{Ecuación 4.26}$$

4.5.1.4.3. Circunferencia corregida por elevación de cinta.-

$$C_m = C - cc \quad \text{Ecuación 4.27}$$

Donde: C = circunferencia medida (ft)
cc = factor de corrección por elevación de cinta (ft)
N = número de cordones de soldadura o juntas a traslape.
t = espesor o proyección del cordón de soldadura o junta a traslape (in)
w = ancho del cordón de soldadura (in)
d = diámetro nominal del tanque (in)

4.5.1.5. Perímetro del cilindro principal corregido.-

$$P_1 = C_m \quad \text{Ecuación 4.28}$$

$$P_2 = C_m + \delta \quad \text{Ecuación 4.29}$$

$$P = \frac{P_1 + P_2}{2} \quad \text{Ecuación 4.30}$$

Donde: P = promedio de los perímetros corregidos (ft)
P1 = perímetro del cilindro corregido por elevación de cinta (ft)
P2 = perímetro del cilindro corregido a la presión de trabajo (ft)
C = perímetro del cilindro principal (ft)
 δ = incremento en el perímetro del cilindro (ft)

4.5.1.6. Diámetro interno del cilindro principal.-

$$D = \frac{P}{\pi} - \frac{2*ec}{12} \quad \text{Ecuación 4.31}$$

Donde: D = diámetro interno del cilindro principal (ft)
P = perímetro del cilindro principal corregido (ft)
ec = espesor del cilindro (in)

4.5.1.7. Diámetro interno de la parte cilíndrica de las cabezas.-

4.5.1.7.1. Para Juntas Soldadas a Tope.-

$$D1 = \left(\frac{a1+bn}{2\pi} \right) - \frac{2*eh}{12} \quad \text{Ecuación 4.32}$$

4.5.1.7.2. Para Juntas Traslapadas.-

$$D1 = \frac{a1+bn}{2\pi} - \frac{2(ec+eh)}{12} \quad \text{Ecuación 4.33}$$

Donde: D1 = diámetro de la parte cilíndrica de las cabezas (ft)
a1 = circunferencia medida al 20% del primer anillo (ft)
bn = circunferencia medida al 80% del último anillo (ft)
eh = espesor de las cabezas (in)
ec = espesor del cilindro (in)

4.5.1.8. Longitud del cilindro principal:

$$Lc = LT - 2 * \left(\frac{B}{12} + \frac{eh}{12} + \frac{D1}{4} \right) \quad \text{Ecuación 4.34}$$

Donde: Lc = longitud del cilindro principal (ft)
LT = longitud medida del tanque incluida las cabezas (ft)
B = longitud de la parte cilíndrica de las cabezas (in)

eh = espesor de las cabezas (in)

D1 = diámetro de la parte cilíndrica de las cabezas (ft)

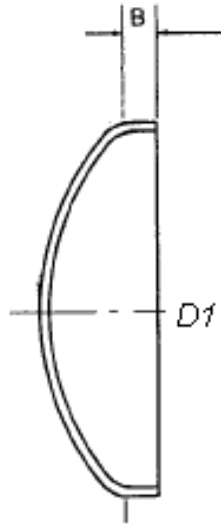


Figura 4.7. Medidas principales de las cabezas

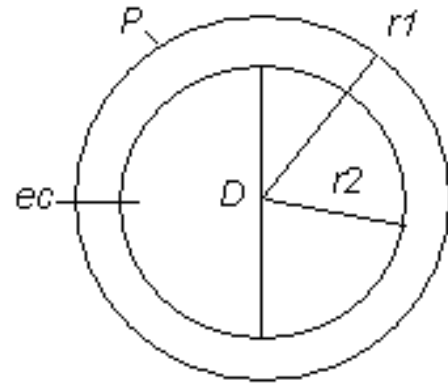


Figura 4.8. Medidas del cilindro principal

4.5.1.9. Volumen total del cilindro.-

El volumen total del cilindro es el volumen del cilindro principal incluido el volumen de la parte cilíndrica de las cabezas.

$$V_c = D^2 * \frac{\pi * L_c}{4} + D_1^2 * \frac{2B * \pi}{12 * 4} \quad \text{Ecuación 4.35}$$

Donde: V_c = volumen del cilindro principal (ft³)
 D = diámetro interno del cilindro principal (ft)
 D_1 = diámetro de la parte cilíndrica de las cabezas (ft)
 L_c = longitud del cilindro principal (ft)
 B = longitud de la parte cilíndrica de las cabezas (in)

4.5.1.10. Volumen de las cabezas.-

4.5.1.10.1. Cabeza esférica

$$V_h = \frac{\pi}{6} * D_1^3 \quad \text{Ecuación 4.36}$$

Donde: V_h = volumen de la cabeza (ft³)
 D_1 = diámetro interno de la cabeza (ft)

4.5.1.10.2. Cabeza semielíptica 2:1

$$V_h = \frac{\pi}{12} * D_1^3 \quad \text{Ecuación 4.37}$$

Donde: V_h = volumen de la cabeza (ft³)
 D_1 = diámetro interno de la cabeza (ft)

4.5.1.10.3. Cabeza torriesférica

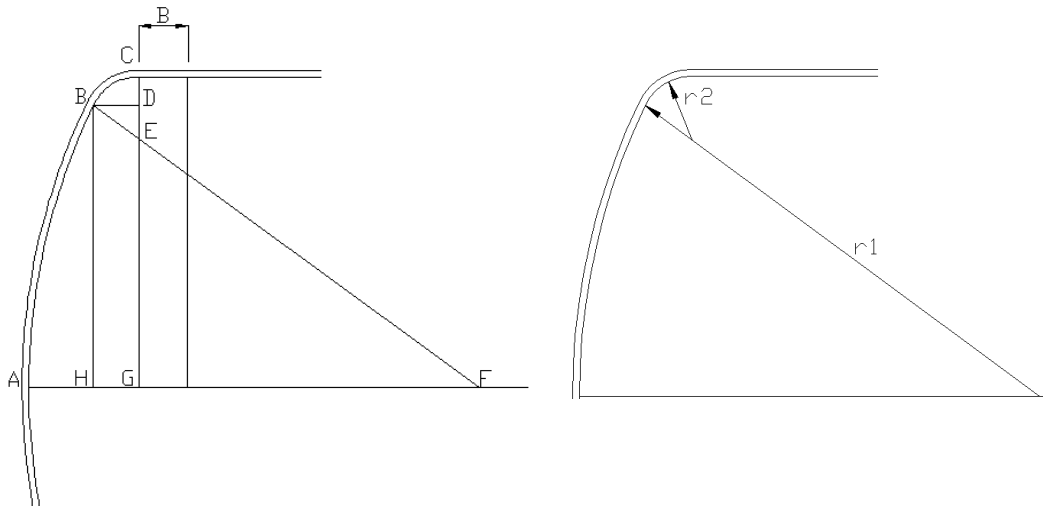


Figura 4.9. Medidas principales de la cabeza torriesférica

Desarrollo:

$$BF = r1$$

$$EB = r2$$

$$GC = D1$$

$$EF = BF - EB$$

$$EC = EB$$

$$AF = BF$$

$$GE = GC - EC$$

$$GF = \sqrt{EF^2 - GE^2}$$

$$HG = \frac{EB * GF}{EF}$$

$$HF = GF - HG$$

$$HB = \sqrt{BF^2 - HF^2}$$

$$AH = AF - HB$$

$$AG = AH + HG$$

$$\phi = a \sin \left(\frac{HG}{EB} \right)$$

Volumen de la sección formada por r2

$$Vk = \left(GE^2 * HG + EB^2 * HG - \frac{HG^3}{3} + GE * HG \sqrt{EB^2 - HG^2} + GE * EB^2 * \phi \right) \pi$$

Volumen de la sección formada por r1

$$V_s = \frac{\pi}{6} * AH(3HB^2 * AH^2)$$

$$V_h = V_k + V_s \quad (ft^3) \quad \text{Ecuación 4.38}$$

4.5.1.11. Volumen del tanque horizontal.-

$$V_T = V_c + V_h \quad (ft^3) \quad \text{Ecuación 4.39}$$

4.5.1.12. Corrección del volumen por inclinación.-

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

Para realizar la corrección del volumen por inclinación se determina las siguientes relaciones para poder ingresar en la grafica (Ver figura 4.10) y determinar el porcentaje de corrección "m".

$$\text{Relación 1} = \frac{H}{D} \quad \text{Ecuación 4.40}$$

$$\text{Relación 2} = \frac{E}{D} \quad \text{Ecuación 4.41}$$

$$V_{ci} = V_i + \frac{m}{100} * V_i \quad \text{Ecuación 4.42}$$

Donde: V_{ci} = Volumen corregido por inclinación en cada incremento (ft^3)

V_i = Volumen del tanque en cada incremento (ft^3)

H = Nivel de liquido (ft)

E = inclinación (ft)

m = porcentaje de inclinación (se la obtiene de la figura 4.10)

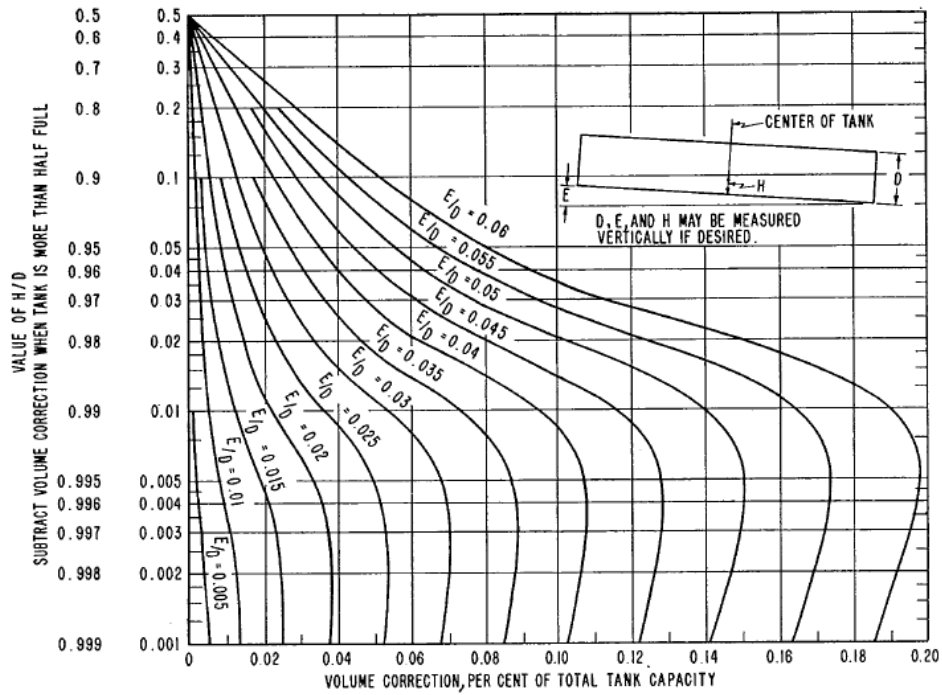


Figura 4.10. Corrección porcentual del Volumen por inclinación

4.5.1.13. Corrección de volumen por temperatura.-

En función del valor de la temperatura de la placa del tanque se determina el coeficiente de expansión lineal α_m (Ver Tabla 4.2)

$$T_s = \frac{(7 \cdot T_l + T_a)}{8} \quad \text{Ecuación 4.43}$$

- Donde:
- T_s = temperatura de la placa del tanque ($^{\circ}\text{F}$).
 - T_l = temperatura del liquido de servicio ($^{\circ}\text{F}$).
 - T_a = temperatura del ambiente ($^{\circ}\text{F}$).

Tabla 4.2. Coeficiente de expansión lineal

Temperatura del Tanque t_s ($^{\circ}\text{F}$)			Valor de α_m por $^{\circ}\text{F}$
-70	a	-21	0.0000060
-20	a	28	0.0000061
29	a	78	0.0000062
79	a	128	0.0000063
129	a	177	0.0000064

178	a	227	0.0000065
228	a	276	0.0000066
277	a	326	0.0000067
327	a	376	0.0000068
377	a	425	0.0000069

Fuente: Norma API 2551

En función de la relación H/D se determina el factor de corrección volumétrico.

La siguiente función representa a la Figura 4.11.

$$R = \frac{H}{D} \quad \text{Ecuación 4.44}$$

$$k_0 = 0.0181R^5 - 0.0401R^4 + 0.0324R^3 - 0.0111R^2 + 0.0018R + 0.0009 \quad \text{Ecuación 4.45}$$

Donde: R = relación entre el nivel del líquido en el tanque con el diámetro del tanque

El porcentaje de volumen se lo determina con la siguiente expresión:

$$k = k_0 \frac{\alpha m}{0.0000065} \quad \text{Ecuación 4.46}$$

Donde: k_0 = factor de corrección del volumen (%)
 αm = coeficiente de expansión lineal

El volumen total corregido del tanque

$$V_{ct} = V_{ci}(1 + k) \quad \text{Ecuación 4.47}$$

Donde: V_{ct} = volumen del tanque corregido por temperatura en cada incremento (ft³)
 k = porcentaje de corrección

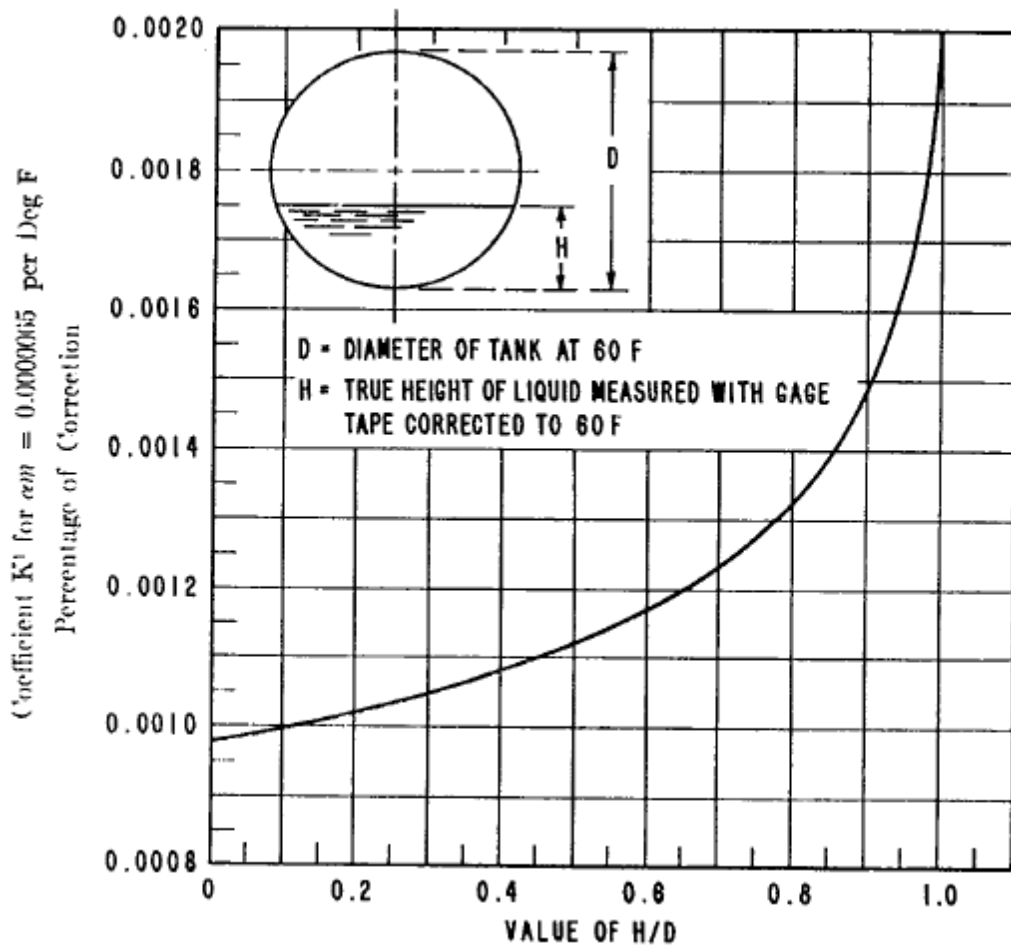


Figura 4.11. Factor de corrección del volumen por temperatura

4.5.2. VOLUMENES PARCIALES PROCEDIMIENTO NORMA API 2551

Los requerimientos y procedimientos para la obtención de las tablas de calibración volumétrica y sus volúmenes parciales según el método descrito por la norma API 2551 son los siguientes:

a) Datos requeridos para este proceso:

- D = diámetro interno del cilindro (in)
- Vc = volumen del cilindro principal (gal)
- Vh = Volumen de las cabezas (gal)
- M= intervalo para tabla (in)

b) Se obtiene la siguiente relación

$$Relación = \frac{M (in)}{D (in)}$$

Ecuación 4.48

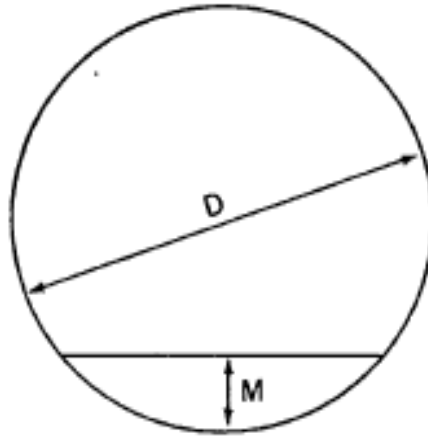


Figura 4.12. Gráfica de la tabla del Anexo 2

- c) Se determina el factor K_c (factor del área del segmento circular), mediante el uso de la tabla del Anexo 2

Para el caso en el cual el valor de M/D este dentro de los intervalos que se encuentra en la tabla se procede a realizar una interpolación para obtener el valor de K_c .

- d) Cálculo del volumen del cilindro para cada incremento

$$K_a = K_c * V_c \text{ (gal)}$$

Ecuación 4.49

Donde: K_c = factor del área del segmento circular
 V_c = volumen de cilindro (gal)

- e) Se determina el factor K_h (factor volumétrico de la cabeza), mediante el uso de la tabla del Anexo 2 para factor volumétrico de las cabezas.
- f) Cálculo del volumen de las cabezas para cada incremento

$$Kb = Kh * Vh \text{ (gal)} \quad \text{Ecuación 4.50}$$

Donde: Kh = factor de volumen de las cabezas
 Vh = volumen de las cabezas (gal)

g) Volumen parcial del tanque

$$V(M) = Ka + Kb \text{ (gal)} \quad \text{Ecuación 4.51}$$

Donde: Ka = volumen del cilindro para cada incremento (gal)
 Kb = volumen de las cabezas para cada incremento (gal)
 $V(M)$ = volumen del tanque para cada incremento (gal)

4.5.3. DETERMINACIÓN DE UN ALGORITMO MATEMÁTICO PARA VOLUMENES PARCIALES

4.5.3.1. Volumen del cilindro en función de un incremento “y”.-

4.5.3.1.1. Variación del área de la circunferencia en función del incremento “y”.-

$$x = \pm\sqrt{R^2 - (y - R)^2}$$

$$A = 2 \int \sqrt{R^2 - (y - R)^2} dy$$

$$A = 2R^2 \int \cos(\theta)^2 d\theta$$

$$A = R^2 \int (1 + \cos(2\theta)) d\theta$$

$$A = R^2 [\theta + \text{sen}(\theta) \cos(\theta) + K]$$

$$A = R^2 \left[\text{asin}\left(\frac{y - R}{R}\right) + \frac{(Y - R)\sqrt{R^2 - (y - R)^2}}{R^2} + K \right]$$

$$\text{Cuando: } y = 2R \quad A = \pi R^2 \quad \therefore K = \frac{\pi}{2}$$

$$A = R^2 \left[\text{asin} \left(\frac{y-R}{R} \right) + \frac{(Y-R)\sqrt{R^2-(y-R)^2}}{R^2} + \frac{\pi}{2} \right] (ft^2) \quad \text{Ecuación 4.52}$$

4.5.3.1.2. Volumen del cilindro principal incluida la parte cilíndrica de las cabezas.-

$$R = \frac{D}{2} \quad \text{Ecuación 4.53}$$

$$Vc = R^2 \left[\text{asin} \left(\frac{y-R}{R} \right) + \frac{(Y-R)\sqrt{R^2-(y-R)^2}}{R^2} + \frac{\pi}{2} \right] * \left(Lc + \frac{2B}{12} \right) (ft^3) \quad \text{Ecuación 4.54}$$

Donde:

- Vc = volumen del cilindro principal y la parte cilíndrica de las cabezas (ft³)
- R = radio interno del cilindro principal (ft)
- Lc = longitud del cilindro principal (ft)
- B = longitud de la parte cilíndrica de las cabezas (in)

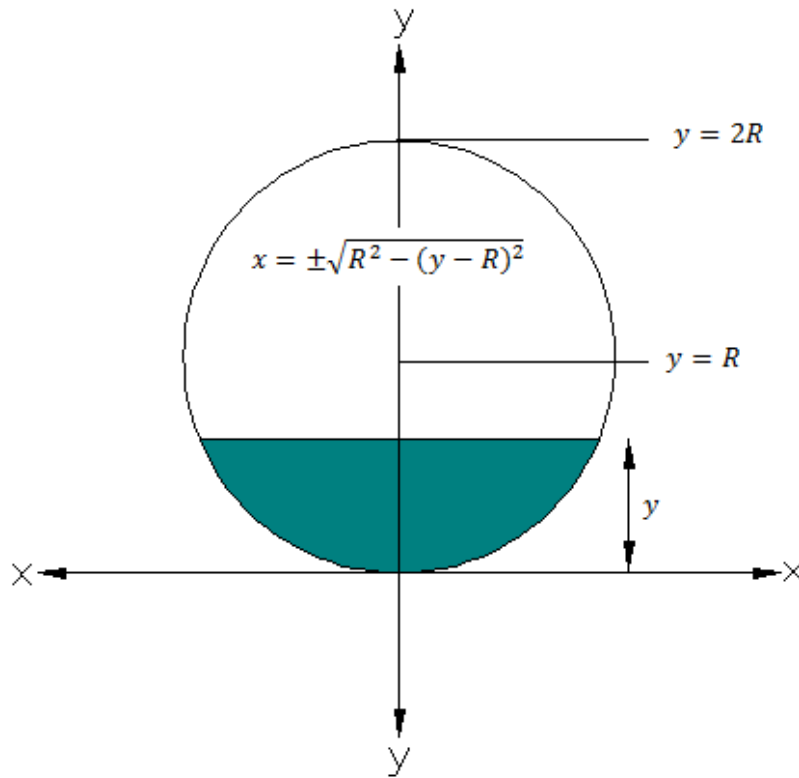


Figura 4.13. Volumen de un cilindro en función de “y”

4.5.3.2. Volumen de las cabezas en función de un incremento “y”.-

4.5.3.2.1. Cabezas esféricas.-

$$V = \pi \int (f(y))^2 dy$$

$$V = \pi \int (\sqrt{R^2 - (y - R)^2})^2 dy$$

$$V = \pi \int (R^2 - (y - R)^2) dy$$

$$V = \pi \left[Ry^2 - \frac{y^3}{3} + K \right]$$

Cuando: $y = 2R$ $V = \frac{4}{3}\pi R^3$ $\therefore K = 0$

$$Vh = \pi \left[Ry^2 - \frac{y^3}{3} \right] \quad (ft^3) \quad \text{Ecuación 4.55}$$

Donde: R = radio interno de las cabezas (ft)
 y = incremento (ft)

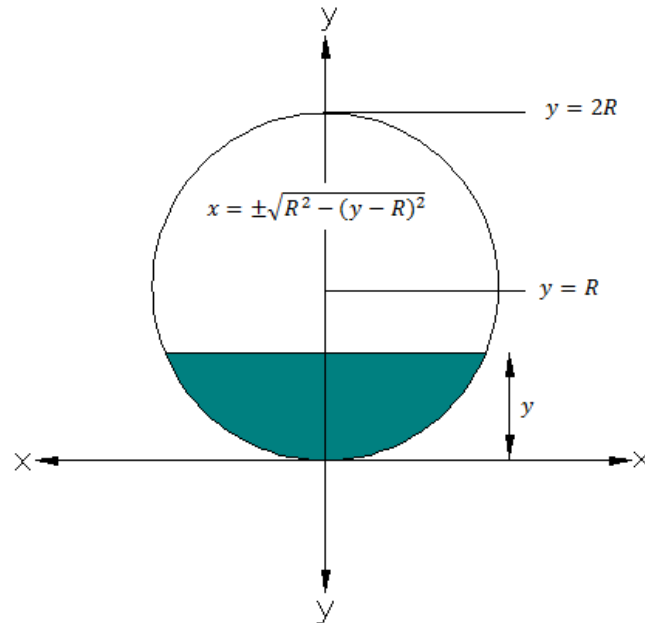


Figura 4.14. Volumen para cabezas esféricas en función de “y”

4.5.1.2.1. Cabezas semielípticas.-

$$V = \pi \int (f(y))^2 dy$$

$$V = \pi \int \left(\frac{\sqrt{R^2 - (y - R)^2}}{2} \right)^2 dy$$

$$V = \frac{\pi}{4} \int (R^2 - (y - R)^2) dy$$

$$V = \frac{\pi}{4} \left[Ry^2 - \frac{y^3}{3} \right] * 2$$

$$Vh = \frac{\pi}{2} \left[Ry^2 - \frac{y^3}{3} \right] \quad (ft^3) \quad \text{Ecuación 4.56}$$

Donde: R = radio interno de las cabezas (ft)
 y = incremento (ft)

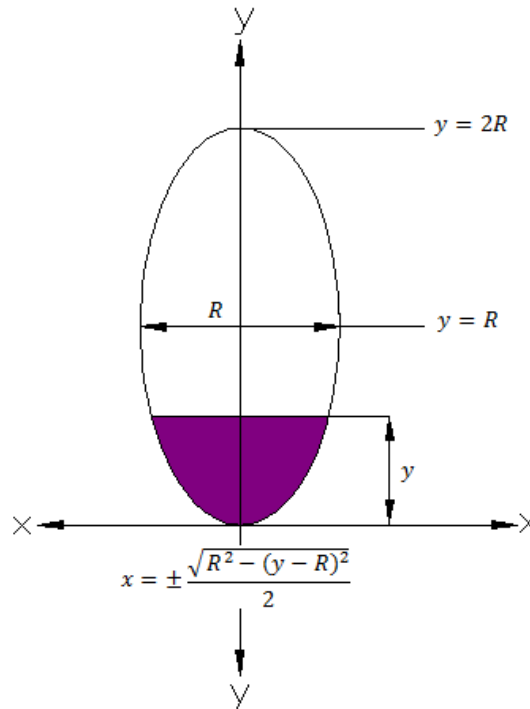


Figura 4.15. Volumen para cabezas semielípticas en función de “y”

4.5.1.2.2. Cabezas torriésféricas.-

$$Vh = \frac{9\pi}{40} \left[Ry^2 - \frac{y^3}{3} \right] \quad (ft^3) \quad \text{Ecuación 4.57}$$

Donde: R = radio interno de las cabezas (ft)
 y = incremento (ft)

4.5.3.3. Volumen teórico total del tanque en función del incremento “y”

$$VT1 = Vc + Vh \quad (ft^3) \quad \text{Ecuación 4.58}$$

Donde: Vc = volumen del cilindro (ft^3)

Vh = volumen de las cabezas (ft³)

4.5.3.4. Factor de corrección del volumen

$$U = \frac{VT}{VT1} \quad \text{Ecuación 4.59}$$

Donde: U = factor de comparación de los volúmenes
VT = volumen obtenido mediante la norma API 2551 (ft³)
VT1 = volumen obtenido mediante modelos matemáticos (ft³)

4.5.4. VALIDACIÓN DEL ALGORITMO MATEMÁTICO

Como se indica en el punto 4.5.2 los cálculos de los volúmenes parciales se los determina mediante la utilización de los factores de incremento del volumen (Kc, Kh) que se obtienen de las tablas del Anexo 2. Esto representa un problema al momento de realizar la programación debido a que sería necesario crear una base de datos para que el software seleccione los factores de incremento de volumen (Kc, Kh) y para los casos en que los valores no estén dentro de esta tabla se procederá a realizar interpolaciones generando valores erróneos.

Por estos motivos se procedió a determinar un algoritmo matemático que nos facilite el cálculo de los volúmenes parciales en la programación del código del software.

Una vez encontrado el algoritmo matemático se procede comparar los resultados de los volúmenes incrementales obtenidos mediante el procedimiento API 2551 indicados en la Tabla 4.3 con los valores obtenidos por el algoritmo matemático indicados en la Tabla 4.4 y poder validarlo.

Tabla 4.3. Calibración procedimiento API 2551

Tabla de Calibración API 2551						
M	M/D	Kc	Ka=Vc*Kc	Kh	Kb=Vh*Kh	V=Ka+kb
(in)	(-)	(-)	(gal)	(-)	(gal)	(gal)
0	0	0	0	0	0	0
1	0.00837	0.001298	15.482	0.00021	0.4043	15.8863
2	0.01673	0.003659	43.6429	0.000832	1.602	45.2449
3	0.0251	0.0067	79.9147	0.001859	3.5794	83.494
4	0.03347	0.010291	122.7465	0.003286	6.327	129.0735
5	0.04183	0.014346	171.1128	0.005106	9.8312	180.944

Fuente: Norma API 2551

Tabla 4.4. Calibración mediante el algoritmo matemático

Tabla de Calibración algoritmo		
y	y	Volumen
(in)	(ft)	(gal)
0	0.00000	0.0000
1	0.08333	15.8608
2	0.16667	45.2142
3	0.25000	83.5022
4	0.33333	129.0644
5	0.41667	180.9222

Elaboración: Alberto Núñez, Santiago Hidalgo

Tabla 4.5. Comparación de las tablas de calibración

Incremento	API 2551	Algoritmo Matemático	Error
(in)	(gal)	(gal)	%
0	0.0000	0.0000	-
1	15.8863	15.8608	0.1605
2	45.2449	45.2142	0.0679
3	83.4940	83.5022	-0.0098
4	129.0735	129.0644	0.0071
5	180.9440	180.9222	0.0121

Elaboración: Alberto Núñez, Santiago Hidalgo

Al comparar los valores obtenidos mediante los dos procedimientos se determina que el algoritmo matemático se ajusta al procedimiento descrito por la norma API 2551. Los errores obtenidos al comparar los volúmenes son menores al 0.1% por lo cual se valida el algoritmo.

4.6. CALIBRACIÓN DE TANQUES ESFÉRICOS

4.6.1. PROCEDIMIENTO NORMA API 2552

Luego que se han determinado las medidas requeridas por la norma para el proceso de calibración de los tanques esféricos se procede a realizar lo siguiente:

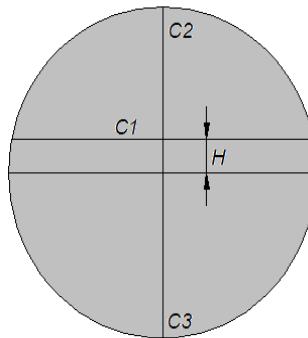


Figura 4.14. Medidas de circunferencia C1

4.6.1.1. Corrección de la circunferencia Horizontal C1

Esta corrección se la realiza si la circunferencia C1 fue tomada a una altura H por encima del ecuador debido a las obstrucciones producidas por la estructura que soporta al tanque esférico.

$$C_o = \sqrt{C1^2 + \left(\frac{2\pi H}{12}\right)^2} \quad \text{Ecuación 4.60}$$

Donde:

- Co = circunferencia corregida (ft)
- C1 = circunferencia medida a una altura H del ecuador (ft)
- H = altura desde el ecuador hasta la circunferencia C1 (in)

4.6.1.2. Cálculo de las circunferencias internas

$$C1i = C_o - \frac{e1 * \pi}{6}$$

$$C2i = C2 - \frac{e2 * \pi}{6}$$

$$C3i = C3 - \frac{e3 * \pi}{6} \quad \text{Ecuación 4.61}$$

Donde: C1i, C2i, C3i = circunferencias internas (ft)
 Co, C2, C3 = circunferencias del tanque medidas como se indica en la norma API 2552 (ft)
 e1, e2, e3 = espesor del cuerpo del tanque medido en cada circunferencia (in)

4.6.1.3. Cálculo del volumen total del tanque

$$V = \frac{C1i * C2i * C3i}{6\pi^2} \quad \text{Ecuación 4.62}$$

Donde: V = volumen total del tanque

4.6.1.4. Cálculo del diámetro interno

Si la altura vertical “Dm” en el interior se midió a una distancia “m” de la línea central de la esfera, el cálculo de la altura total interior “D” es el siguiente:

$$D = \sqrt{Dm^2 + 4m^2} \quad \text{Ecuación 4.63}$$

Donde: D = diámetro interno corregido (ft)
 Dm = altura vertical del tanque (ft)
 m = distancia desde la línea central de la esfera (ft)

4.6.1.5. Corrección del volumen por la temperatura de trabajo

En función del valor de la temperatura de la placa del tanque se determina el coeficiente de expansión lineal α_m (Ver Tabla 4.2)

$$T_s = \frac{(7 \cdot T_l + T_a)}{8} \quad \text{Ecuación 4.64}$$

Donde: T_s = temperatura de la placa del tanque (°F).
 T_l = temperatura del líquido de servicio (°F).
 T_a = temperatura del ambiente (°F).

En función de la relación H/D se determina el factor de corrección volumétrico.

La siguiente función representa a la Figura 4.11.

$$R = \frac{H}{D} \quad \text{Ecuación 4.65}$$

$$k_o = 0.00186R^4 - 0.00226R^3 + 0.00144R^2 + 0.00025R + 0.00065 \quad \text{Ecuación 4.66}$$

Donde: R = relación entre el nivel del líquido y el diámetro tanque

El porcentaje de volumen se lo determina con la siguiente expresión:

$$k = k_o \frac{\alpha m}{0.0000065} \quad \text{Ecuación 4.67}$$

Donde: k_o = factor de corrección del volumen (%)
 αm = coeficiente de expansión lineal

El volumen total corregido del tanque

$$V_{ct} = V_{ci}(1 + k) \quad \text{Ecuación 4.68}$$

Donde: V_{ct} = volumen del tanque corregido por temperatura en cada incremento (ft³)
 k = porcentaje de corrección

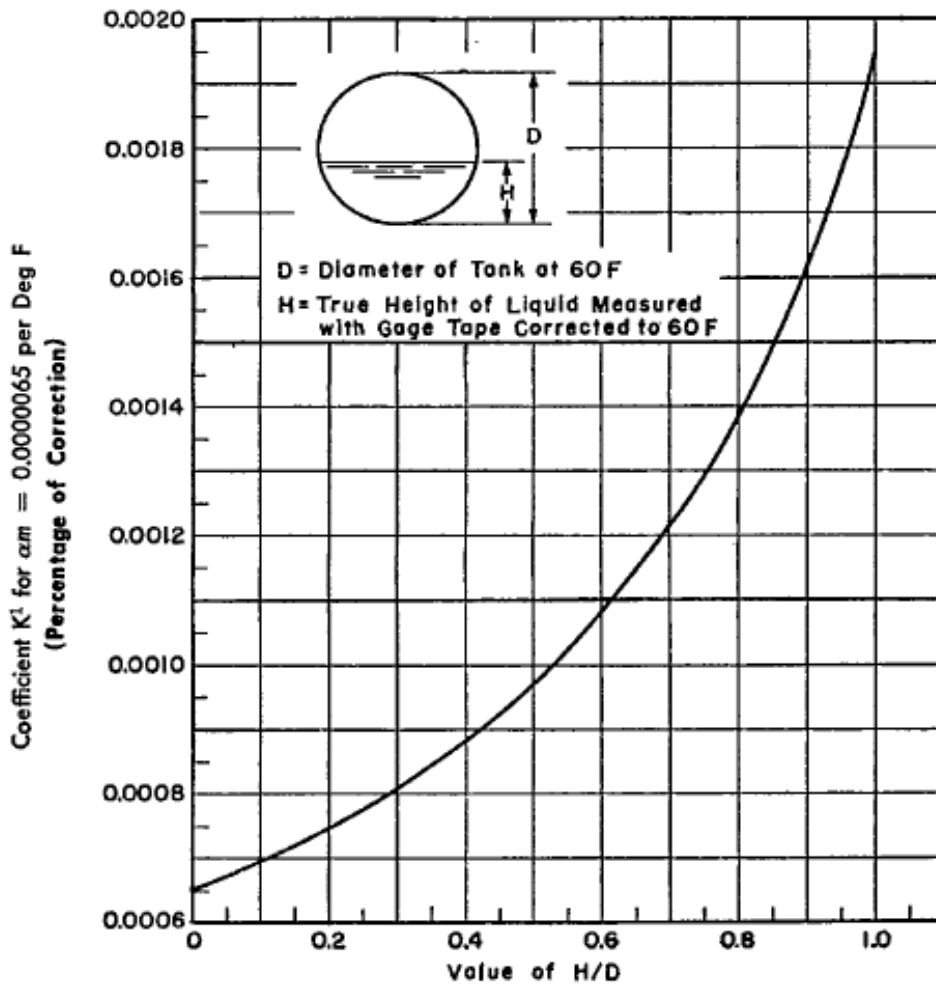


Figura 4.15. Factor de corrección del volumen

4.6.2. VOLÚMENES PARCIALES PROCEDIMIENTO NORMA API 2552

Los requerimientos y procedimientos para la obtención de las tablas de calibración volumétrica y sus volúmenes parciales según el método descrito por la norma API 2552 son los siguientes:

a) Datos de entrada:

V = volumen total de la esfera (ft^3)

G = incremento (in)

A = mitad de la altura vertical interna (in) $A = \frac{D}{2}$

b) Cálculo de las constantes volumétricas

$$K1 = \frac{V}{4} \left(\frac{G}{A} \right) \left[3 - \left(\frac{G}{A} \right)^2 \right] \quad \text{Ecuación 4.69}$$

$$K2 = \frac{3V}{2} \left(\frac{G}{A} \right)^3 \quad \text{Ecuación 4.70}$$

$$M = \frac{A-H}{G} \quad \text{Ecuación 4.71}$$

c) Cálculo del incremento de fondo

$$M = \frac{A}{G} \quad \text{Ecuación 4.72}$$

$$Vm = K1 - \left(\frac{M^2 - M}{2} \right) K2 \quad \text{Ecuación 4.73}$$

d) Cálculo de los volúmenes para los siguientes incrementos

$$Vm = V_{m+1} + MK2 \quad \text{Ecuación 4.74}$$

4.6.3. DETERMINACIÓN DE UN ALGORITMO MATEMÁTICO PARA VOLUMENES PARCIALES

4.6.3.1. Volumen del tanque en función de un incremento “y”.-

$$V = \pi \int (f(y))^2 dy$$

$$V = \pi \int \left(\sqrt{R^2 - (y - R)^2} \right)^2 dy$$

$$V = \pi \int (R^2 - (y - R)^2) dy$$

$$V = \pi \left[Ry^2 - \frac{y^3}{3} + K \right]$$

Cuando: $y = 2R$ $V = \frac{4}{3}\pi R^3$ $\therefore K = 0$

$$VT1 = \pi \left[Ry^2 - \frac{y^3}{3} \right] \quad \text{Ecuación 4.75}$$

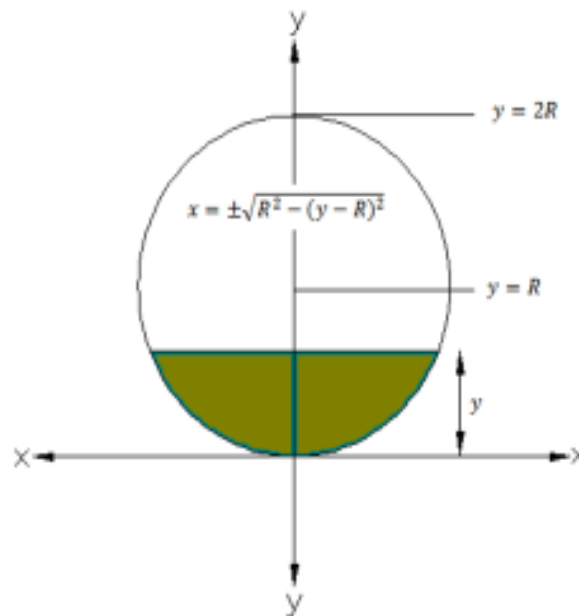


Figura 4.16. Volumen de la esfera en función de “y”

4.6.3.2. Factor de corrección del volumen

$$U = \frac{VT}{VT1} \quad \text{Ecuación 4.76}$$

Donde: U = factor de corrección

VT = volumen obtenido mediante la norma API 2552

VT1 = volumen obtenido mediante procedimientos matemáticos

4.6.4. VALIDACIÓN DEL ALGORITMO MATEMÁTICO

En el punto 4.6.2 se indica el procedimiento para determinar los volúmenes incrementales del tanque esférico. Al realizar un análisis de este procedimiento se determinó que existe una variación del volumen incremental cuando se utiliza incrementos de mayor amplitud (1 in) lo que genera valores erróneos para la tabla de calibración, en el caso de que se utilice incrementos de muy baja amplitud (0.01 in) se obtiene valores más exactos para los volúmenes incrementales pero esto genera una tabla de calibración muy extensa.

Por estos motivos se procedió a determinar un algoritmo matemático que nos facilite el cálculo de los volúmenes parciales y que permita obtener datos exactos de volumen independientemente de la amplitud del incremento de la tabla de calibración y que además nos facilite en la programación del código del software.

En la Tabla 4.6 se compara los valores de volumen obtenidos mediante el procedimiento API 2552 cuando la amplitud del incremento $G=1$ in, $G=0,01$ in con los valores obtenidos mediante el algoritmo matemático.

Tabla 4.6. Comparación de las tablas de calibración

Incremento	API 2552 G=1 in	API 2552 G= 0,01 in	Algoritmo Matemático	Error V1-V3	Error V2-V3
H	V1	V2	V3	%	%
<i>(in)</i>	<i>(gal)</i>	<i>(gal)</i>	<i>(gal)</i>	G=1 in	G= 1in
1	3.100708	3.100573	3.097300	-0.110	-0.106
2	12.357449	12.384137	12.371066	0.110	-0.106
3	27.742992	27.823461	27.794099	0.184	-0.106
4	49.230109	49.391315	49.339198	0.221	-0.106
5	76.791569	77.060471	76.979164	0.244	-0.106
6	110.400143	110.803697	110.686796	0.259	-0.106
7	150.028599	150.593765	150.434896	0.270	-0.106
8	195.649710	196.403443	196.196262	0.279	-0.106
9	247.236244	248.205503	247.943694	0.285	-0.106
10	304.760972	305.972715	305.649994	0.291	-0.106
11	368.196664	369.677848	369.287961	0.296	-0.106
12	437.516090	439.293672	438.830395	0.300	-0.106
13	512.692021	514.792959	514.250096	0.303	-0.106

Tabla 4.6. Comparación de las tablas de calibración (continuación)

Incremento	API 2552 G=1 in	API 2552 G= 0,01 in	Algoritmo Matemático	Error V1-V3	Error V2-V3
H	V1	V2	V3	%	%
<i>(in)</i>	<i>(gal)</i>	<i>(gal)</i>	<i>(gal)</i>	G=1 in	G= 1in
14	593.697226	596.148477	595.519864	0.306	-0.106
15	680.504475	683.332998	682.612499	0.309	-0.106
16	773.086539	776.319291	775.500802	0.311	-0.106
17	871.416188	875.080126	874.157572	0.314	-0.106
18	975.466192	979.588274	978.555609	0.316	-0.106
19	1085.209321	1089.816504	1088.667714	0.318	-0.106
20	1200.618345	1205.737587	1204.466686	0.320	-0.106

Elaboración: Alberto Núñez, Santiago Hidalgo

Al comparar los valores de la columna V1 (G=1 in) con los valores de la columna V3 de la Tabla 4.6 se determina que el error porcentual entre estos valores aumenta para cada incremento, lo cual afecta el desarrollo la tabla de calibración. Lo contrario ocurre cuando se compara la columna de V2 (G=0.01 in) con V3 ya que el error porcentual entre estos valores se mantiene constante debido a que el incremento utilizado es de menor amplitud (0.01 in) generando una tabla de calibración que se ajusta al algoritmo matemático por lo cual podemos validarlo y estar seguros de que este cumple con todos los procedimientos indicados en la norma API 2552.

CAPÍTULO 5

DISEÑO DEL SOFTWARE

5.1 INTRODUCCION

Para la realización del Software se utilizo el lenguaje de programación Visual C# debido a que es uno de los más poderosos lenguajes de programación utilizados, puesto que proporciona un juego completo de herramientas que facilitan el desarrollo rápido de aplicaciones, además de que es un lenguaje de programación orientada a objetos, facilitando de esa manera la programación de la parte visual del programa.

Visual C# es un lenguaje de programación que se ha diseñado para generar diversas aplicaciones que se ejecutan en .NET Framework. C# es simple, eficaz, con seguridad de tipos y orientado a objetos. Las numerosas innovaciones de C# permiten desarrollar aplicaciones rápidamente y mantener la expresividad y elegancia de los lenguajes de estilo de C.

Visual C# es una implementación del lenguaje de C# de Microsoft. Visual Studio ofrece compatibilidad con Visual C# con un completo editor de código, un compilador, pantallas de proyecto, diseñadores, asistentes para código, un depurador eficaz y de fácil uso y otras herramientas. La biblioteca de clases de .NET Framework ofrece acceso a numerosos servicios de sistema operativo y a otras clases útiles y adecuadamente diseñadas que aceleran el ciclo de desarrollo de manera significativa.⁹

Como su nombre lo indica Visual C# hace referencia al método que se utiliza para crear la interfaz grafica de usuario. En lugar de escribir numerosas líneas de códigos para describir la apariencia y la ubicación de los elementos de la

⁹ [http://msdn.microsoft.com/es-es/library/kx37x362\(v=VS.90\).aspx](http://msdn.microsoft.com/es-es/library/kx37x362(v=VS.90).aspx)

interfaz, simplemente se puede agregar objetos prefabricados en su lugar dentro de la pantalla.

5.2 DEFINICION DE ELEMENTOS DE ENTRADA

Antes de realizar la programación es muy importante establecer los elementos de entrada que el programa requiere para el desarrollo de sus operaciones.

A continuación se definen las variables de entrada con sus propiedades y descripciones de cada una de ellas que aparecerá en el software. Estas variables contienen los datos que servirán en la programación del sistema.

5.2.1 PANTALLA PRINCIPAL

En la tabla 5.1 se describen todos los controles utilizadas en la pantalla principal del programa, que nos servirán básicamente para la selección de los diferentes tipos de tanques (verticales, horizontales y esféricos) y el sistema de medidas que se utilizara.

Tabla 5.1. Elementos de entrada – Pantalla Principal

ITEM	VARIABLE	CONTROL	DESCRIPCION DE LA VARIABLE
1	TipoTanque	Radio Buttom	Se selecciona el tipo de tanque que se va a calibrar.
2	SistemaDe Meda	Combo Box	Se selecciona el tipo unidades en el que se va a ingresar los datos.
3	NumeroAnillos	Combo Box	Se selecciona el número de anillos para los tanques verticales y horizontales.

Elaboración: Alberto Núñez, Santiago Hidalgo

5.2.2 TANQUES VERTICALES

Las variables utilizadas para la programación de la calibración de tanques verticales están definidas en la tabla 5.2.

Tabla 5.2. Elementos de entrada – Tanques Verticales

ITEM	VARIABLE	PROPIEDAD	DESCRIPCION DE LA VARIABLE
1	DiametroNominal	int	Ingreso del diámetro nominal
2	AlturaLiquido	double	Ingreso de la altura del líquido
3	TemperaturaLiquido	double	Ingreso de la Temperatura del líquido
4	TemperaturaAmbiente	double	Ingreso de la Temperatura ambiente
5	GradoAPI	double	Ingreso del Grado API
6	PlatinaAforo	double	Ingreso de la altura de la Platina de Aforo
7	Inclinacion	double	Ingreso de la Inclinación
8	TipoJunta	int	Selección del Tipo de Juntas
9	TipoFondo	int	Selección del Tipo de Fondo
10	AlturaCono	double	Ingreso de la Altura del Cono
11	TipoTecho	int	Selección del Tipo de Techo
12	PesoTecho	double	Ingreso del Peso del Techo
13	AlturaCriticaInferior	double	Ingreso de la Altura Critica Inferior
14	AlturaCriticaSuperior	double	Ingreso de la Altura Critica Superior
15	t.Incremento	double	Ingreso del Incremento Tabla SI
16	q. Incremento	double	Ingreso del Incremento Tabla SA

Tabla 5.2. Elementos de entrada – Tanques Verticales (Continuación)

ITEM	VARIABLE	PROPIEDAD	DESCRIPCION DE LA VARIABLE
17	circunferenciaA	List<double>	Ingreso de Circunferencia al 20% o 25% de cada anillo
18	circunferenciaB	List<double>	Ingreso de Circunferencia al 80% o 75% de cada anillo
19	promedioEspesorT	List<double>	Ingreso de Espesores al 20% o 25% de cada anillo
20	promedioEspesorT	List<double>	Ingreso de Espesores al 80% o 75% de cada anillo
21	altura	List<double>	Ingreso de las Alturas de los Anillos
22	numeroSoldadura	List<double>	Ingreso del Número de soldaduras o traslapes verticales por cada anillo
23	anchoSoldadura	List<double>	Ingreso del Ancho de la soldadura por cada anillo
24	espesorSoldadura	List<double>	Ingreso del Espesor de la soldadura o traslape por cada anillo
25	dgvAccesorios	DataGridView	Ingreso del Número de Accesorios
26	Desde	List<double>	Ingreso del valor de donde inicia el accesorio
27	Hasta	List<double>	Ingreso del valor de donde finaliza el accesorio
28	Volumen	List<double>	Ingreso del Volumen del accesorio (positivo o negativo)

Elaboración: Alberto Núñez, Santiago Hidalgo

5.2.3 TANQUES HORIZONTALES

Las variables utilizadas para la programación de la calibración de tanques horizontales están definidas en la tabla 5.3.

Tabla 5.3. Elementos de entrada – Tanques Horizontales

ITEM	VARIABLE	PROPIEDAD	DESCRIPCION DE LA VARIABLE
1	TipoCabeza	Radio Button	Selección del Tipo de Cabezas
2	TipoJunta	Radio Button	Selección del Tipo Juntas Verticales
3	longitudCabezaA1	double	Ingreso de la Longitud de la Cabeza 1
4	LongitudCabezaA2	double	Ingreso de la Longitud de la Cabeza 2
5	longitudCilindricaB1	double	Ingreso de la Longitud de la parte Cilíndrica de la Cabeza 1
6	longitudCilindricaB2	double	Ingreso Longitud de la parte Cilíndrica de la Cabeza 2
7	TipoJunta	Combo Box	Selección del Tipo de Juntas Horizontales
8	juntaNumero	double	Ingreso del Numero de juntas horizontales a tope o traslapadas
9	juntaEspesor	double	Ingreso del Espesor de la junta horizontal a tope o traslapada
10	juntaAncho	double	Ingreso del Ancho de la junta horizontal a tope
11	espesorCabeza	double	Ingreso del Espesor de la Cabeza

Tabla 5.3. Elementos de entrada – Tanques Horizontales (Continuación)

ITEM	VARIABLE	PROPIEDAD	DESCRIPCION DE LA VARIABLE
12	espesorCuerpo	double	Ingreso del Espesor del Cuerpo
13	presionTrabajo	double	Ingreso de la Presión de Trabajo
14	diametroNominal	double	Ingreso del Diámetro Nominal del tanque
15	temperaturaLiquido	double	Ingreso de la Temperatura del Líquido
16	temperaturaAmbiente	double	Ingreso de la Temperatura Ambiente
17	inclinacion	double	Ingreso del porcentaje de inclinación
18	radioSegmentoEsferico	double	Ingreso del Radio del Segmento Esférico
19	radioChaflan	double	Ingreso del Radio del Chaflán
20	traslape	double	Ingreso del Traslape de las Juntas Verticales
21	incrementoSI	double	Ingreso Incremento Tabla SI
22	incrementoSA	double	Ingreso Incremento Tabla SA
23	circunferenciasA	List<double>	Ingreso de Circunferencia al 20% de cada anillo
24	circunferenciasB	List<double>	Ingreso de Circunferencia al 80% de cada anillo
25	longitudAnillos	List<double>	Ingreso de Longitudes de cada anillo
26	dgvAcc	DataGridView	Ingreso del Número de Accesorios

Tabla 5.3. Elementos de entrada – Tanques Horizontales (Continuación)

ITEM	VARIABLE	PROPIEDAD	DESCRIPCION DE LA VARIABLE
27	Desde	List<double>	Ingreso del valor de donde inicia el accesorio
28	Hasta	List<double>	Ingreso del valor de donde finaliza el accesorio
29	Volumen	List<double>	Ingreso Volumen accesorios (positivo o negativo)

Elaboración: Alberto Núñez, Santiago Hidalgo

5.2.4 TANQUES ESFERICOS

Las variables utilizadas para la programación de la calibración de tanques esféricos están definidas en la tabla 5.4.

Tabla 5.4. Elementos de entrada – Tanques Esféricos

ITEM	VARIABLE	PROPIEDAD	DESCRIPCION DE LA VARIABLE
1	H	double	Ingreso de la Distancia desde la Línea Ecuatorial hasta C1
2	Dm	double	Ingreso de la Altura Vertical del tanque
3	ma	double	Ingreso de la Distancia desde el centro del tanque hasta la altura vertical
4	Tl	double	Ingreso Temperatura del Liquido
5	Ta	double	Ingreso Temperatura Ambiente
6	incrementoSI	double	Ingreso del Incremento Tabla SI
7	incrementoSA	double	Ingreso del Incremento Tabla SA
8	C1	double	Ingreso Circunferencia Horizontal
9	C2	double	Ingreso Circunferencia Vertical

Tabla 5.4. Elementos de entrada – Tanques Esféricos (Continuación)

ITEM	VARIABLE	PROPIEDAD	DESCRIPCION DE LA VARIABLE
10	C3	double	Ingreso de la Circunferencia Vertical a 90°
11	e1	double	Ingreso del Espesor medido en la Circunferencia Horizontal
12	e2	double	Ingreso del Espesor medido en la Circunferencia Vertical
13	e3	double	Ingreso del Espesor medido en la Circunferencia Vertical a 90°

Elaboración: Alberto Núñez, Santiago Hidalgo

5.3 DEFINICION DE ELEMENTOS DE SALIDA

Una vez ya definidos los elementos de entrada es muy importante determinar los elementos de salida que se quiere obtener con la utilización del software y además poder comparar y evaluar estos resultados con los obtenidos de las memorias de cálculo realizadas en Mathcad 14 y en Excel.

A continuación se definen las variables de salida para cada tipo de tanque con sus propiedades y descripciones de cada una de ellas que nos proporcionara el software.

5.3.1 TANQUES VERTICALES

Las variables de los tanques verticales que contienen los resultados que se quieren obtener por el software están definidas en la tabla 5.5.

Tabla 5.5. Elementos de salida – Tanques Verticales

ITEM	VARIABLE	PROPIEDAD	DESCRIPCION DE LA VARIABLE
1	X	double	Calibración de la cinta de trabajo.
2	c60	double	Corrección de cinta a 60° F.
3	cc(i)	List<double>	Corrección por aumento de cinta en cada anillo.
4	cv(i)a	List<double>	Corrección para tanques vacíos al 20% o 25% de cada anillo.
5	cv(i)b	List<double>	Corrección para tanques vacíos al 80% o 75% de cada anillo.
6	ct(i)	List<double>	Corrección por espesor de placa.
7	Cc(i)a	List<double>	Circunferencias internas corregidas al 20% o 25% de cada anillo.
8	Cc(i)b	List<double>	Circunferencias internas corregidas al 80% o 75% de cada anillo.
9	SG	double	Gravedad específica del producto.
10	cs(i)a	List<double>	Corrección por cabezal líquido al 20% o 25% de cada anillo.
11	cs(i)b	List<double>	Corrección por cabezal líquido al 80% o 75% de cada anillo.
12	ce(i)	List<double>	Cálculo de la circunferencia interna al máximo esfuerzo de cada anillo.
13	r(i)	List<double>	Cálculo del radio interno de cada anillo.
14	v(i)	List<double>	Volumen parcial de cada anillo.
15	d	double	Promedio de diámetros internos.
16	$\Delta v(i)$	List<double>	Incremento por cabezal líquido arriba de cada anillo.
17	$\Delta V(i)$	List<double>	Sumatoria del incremento por cabezal líquido arriba de cada anillo.
18	V(i)	List<double>	Sumatoria de los incrementos de volumen corregido de cada anillo.

Tabla 5.5. Elementos de salida – Tanques Verticales (Continuación)

ITEM	VARIABLE	PROPIEDAD	DESCRIPCION DE LA VARIABLE
19	TS	double	Temperatura del tanque.
20	Kt	double	Factor de corrección por temperatura.
21	V(i)c	List<double>	Incremento de Volumen Corregido por temperatura de cada anillo.
22	alturaFrecuencia	List<double>	Alturas parciales.
23	incrementoFrecuencia	List<double>	Incrementos de volumen
24	incrementoBV	List<double>	Volumen Acumulado
25	INCL	List<double>	Corrección por inclinación
26	totalAcc	List<double>	Volumen Accesorios
27	VF	double	Volumen Fondo
28	incrementoTecho	List<double>	Volumen Techo Flotante
29	TotalVM	List<double>	Volumen Muerto
30	VTOTAL	List<double>	Volumen Total

Elaboración: Alberto Núñez, Santiago Hidalgo

Nota: (i) representa el número de anillos del tanque.

5.3.2 TANQUES HORIZONTALES

Las variables de los tanques horizontales que contienen los resultados que se quieren obtener por el software están definidas en la tabla 5.6.

Tabla 5.6. Elementos de salida – Tanques Horizontales

ITEM	VARIABLE	PROPIEDAD	DESCRIPCION DE LA VARIABLE
1	C	double	Promedio de circunferencias medidas.

2	Delta	double	Corrección por presión de trabajo.
---	-------	--------	------------------------------------

Tabla 5.6. Elementos de salida – Tanques Horizontales (Continuación)

ITEM	VARIABLE	PROPIEDAD	DESCRIPCION DE LA VARIABLE
3	P	double	Corrección por aumento de cinta.
4	D	double	Diámetro interno del cilindro principal.
5	DI	double	Diámetro interno de la sección cilíndrica de las cabezas.
6	Vc	double	Volumen parte cilíndrica del tanque.
7	Vh	double	Volumen de las cabezas.
8	VT	double	Volumen Total.
9	U	double	Factor de corrección del volumen.
10	Ri	double	Radio interno del cilindro.
11	Lc	double	Longitud del cilindro principal.
12	B	double	Longitud de la parte cilíndrica de las cabezas.
13	Alfa	double	Diferencia entre diámetros del cilindro y cabezas.
14	Vy	double	Volumen Total del tanque obtenido del algoritmo matemático.
15			Alturas parciales.
16	V1	double	Volumen por alturas parciales.
17	R	double	Relación entre la altura parcial y el diámetro del tanque.
18	Ko	double	Factor de corrección por temperatura.
19	K	double	Porcentaje de corrección por temperatura.
20	Vt	double	Volumen corregido por temperatura
21	Vi	double	Volumen corregido por inclinación
22	totalAcc	List<double>	Volumen Accesorios
23	V.TOTAL	double	Volumen Total

Elaboración: Alberto Núñez, Santiago Hidalgo

5.3.3 TANQUES ESFÉRICOS

Las variables de los tanques esféricos que contienen los resultados que se quieren obtener por el software están definidas en la tabla 5.7.

Tabla 5.7. Elementos de salida – Tanques Esféricos

ITEM	VARIABLE	PROPIEDAD	DESCRIPCION DE LA VARIABLE
1	Co	double	Corrección de la circunferencia horizontal
2	C1i	double	Corrección a circunferencia interna horizontal.
3	C2i	double	Corrección a circunferencia interna vertical.
4	C3i	double	Corrección a circunferencia interna vertical a 90°.
5	D	double	Diámetro vertical corregido.
6	VT	double	Volumen Total de la esfera.
7	U	double	Factor de corrección de volumen.
8	Ri	double	Radio interno de la esfera.
9	Vy	double	Volumen Total del tanque obtenido del algoritmo matemático.
10	h	double	Alturas parciales.
11	V1	double	Volumen por alturas parciales.
12	R	double	Relación entre la altura parcial y el diámetro del tanque.
13	Ko	double	Factor de corrección por temperatura.
14	K	double	Porcentaje de corrección por temperatura.
15	Vt	double	Volumen corregido por temperatura
16	V.TOTAL	double	Volumen Total

Elaboración: Alberto Núñez, Santiago Hidalgo

5.4 FLUJOGRAMAS PARA EL DISEÑO DEL SOFTWARE

Independientemente del tipo de lenguaje a usar, la lógica y secuencia de operaciones es la misma, por tanto, la organización de estructuras es uno de los esfuerzos más compensados cuando se empieza a programar. La traducción del modelo matemático a un lenguaje de programación puede ser realizada mediante el establecimiento de las “secuencias de cálculo”, las mismas que se realizan mediante el empleo de flujo gramas, memorias de cálculo que fueron realizadas en MathCad 14 y hojas de Excel. Estas memorias pueden revisarse en los anexos 3, 4 y 5.

El programa va a constar de 4 módulos. El primer modulo es la pantalla principal en donde se selecciona el tipo de tanque que se va a calibrar, de aquí se derivan los siguientes 3 módulos, uno para cada tipo de taque (vertical, horizontal y esférico).

5.4.1 PANTALLA PRINCIPAL

En la figura 5.1 se indica como está estructurado el primer módulo.

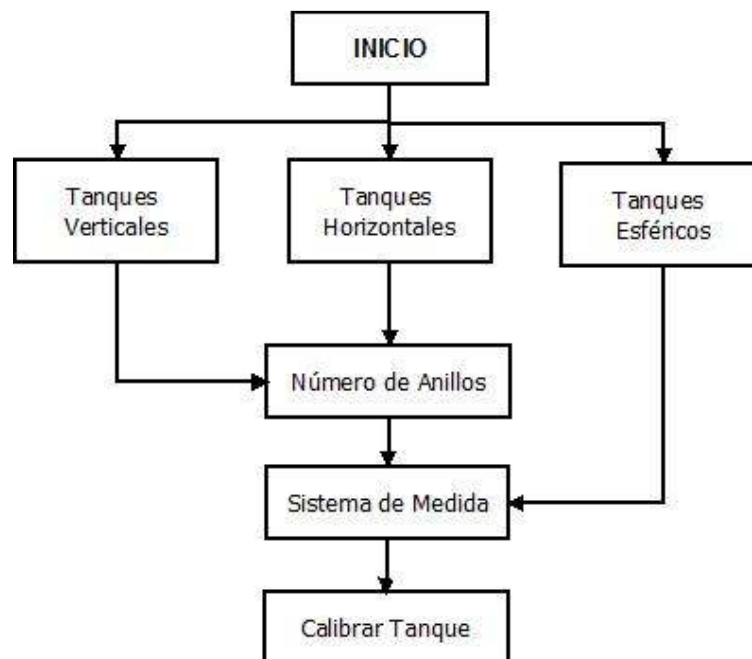


Figura 5.1. Flujo grama – Pantalla principal

5.4.2 TANQUES VERTICALES

La figura 5.2 se describe como está estructurado el módulo para los tanques verticales.

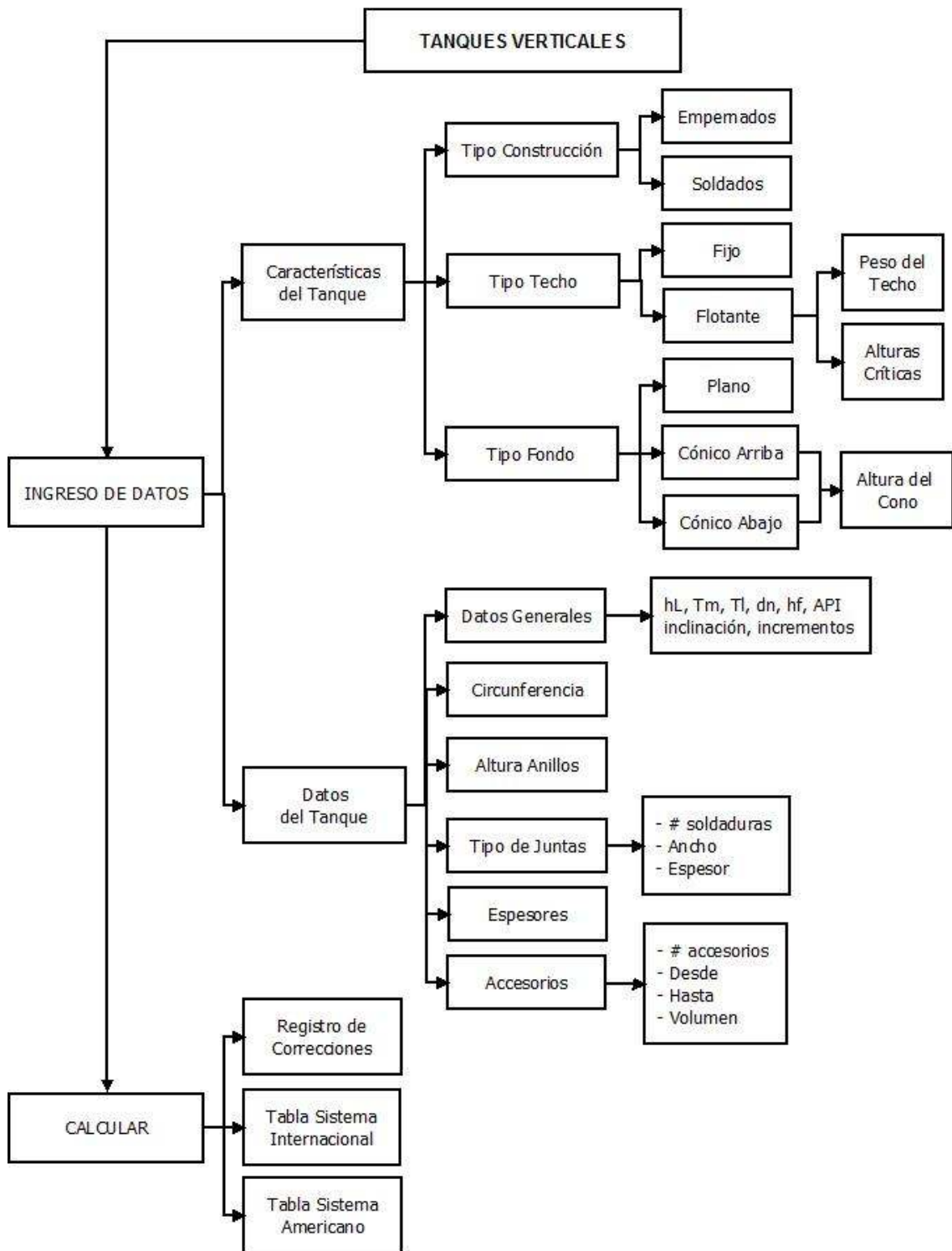


Figura 5.2. Flujo grama – Tanques Verticales

5.4.3 TANQUES HORIZONTALES

La figura 5.3 se describe como está estructurado el módulo para los tanques horizontales.

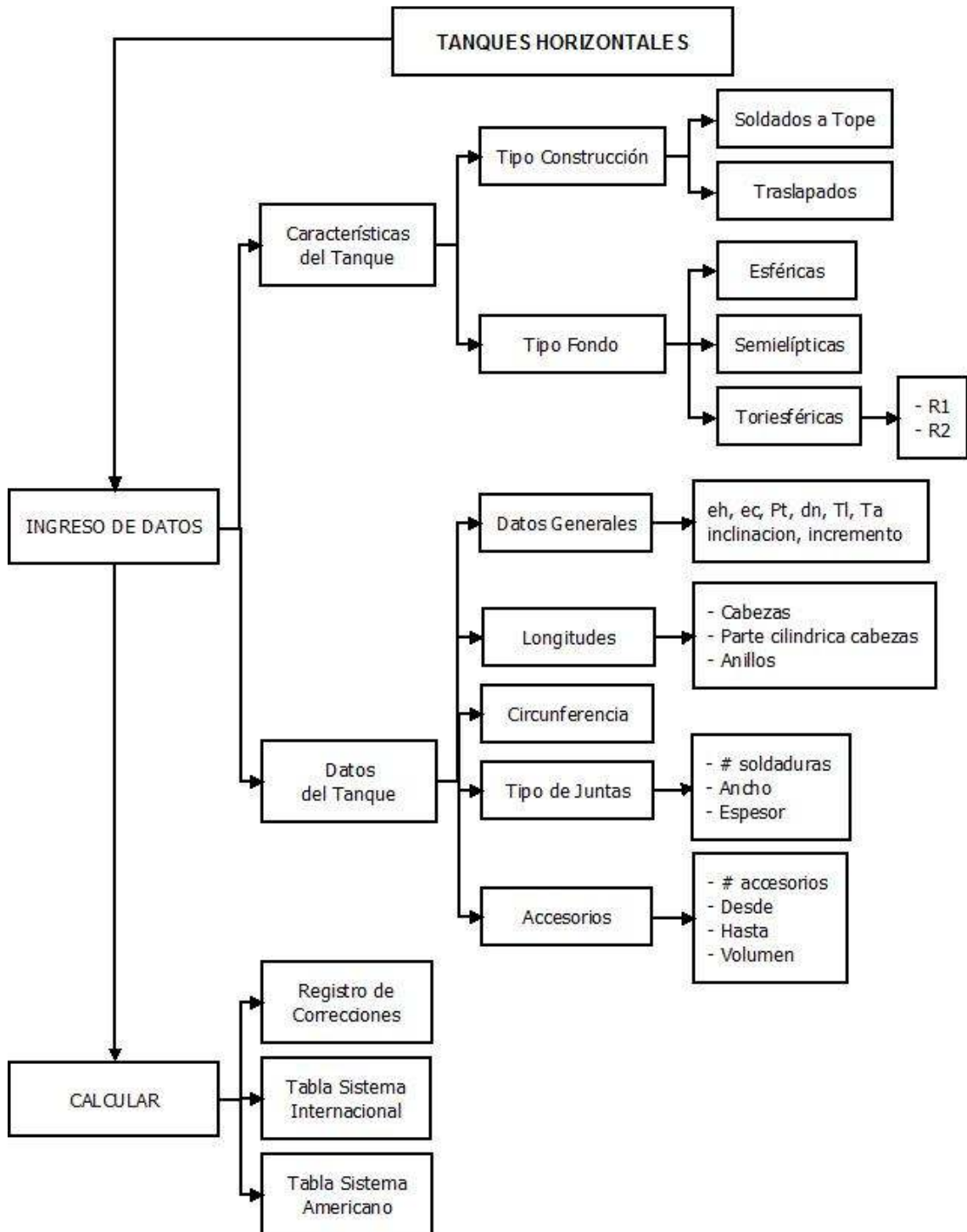


Figura 5.3. Flujo grama – Tanques Horizontales

5.4.4 TANQUES ESFÉRICOS

La figura 5.4 se describe como está estructurado el módulo para los tanques esféricos.

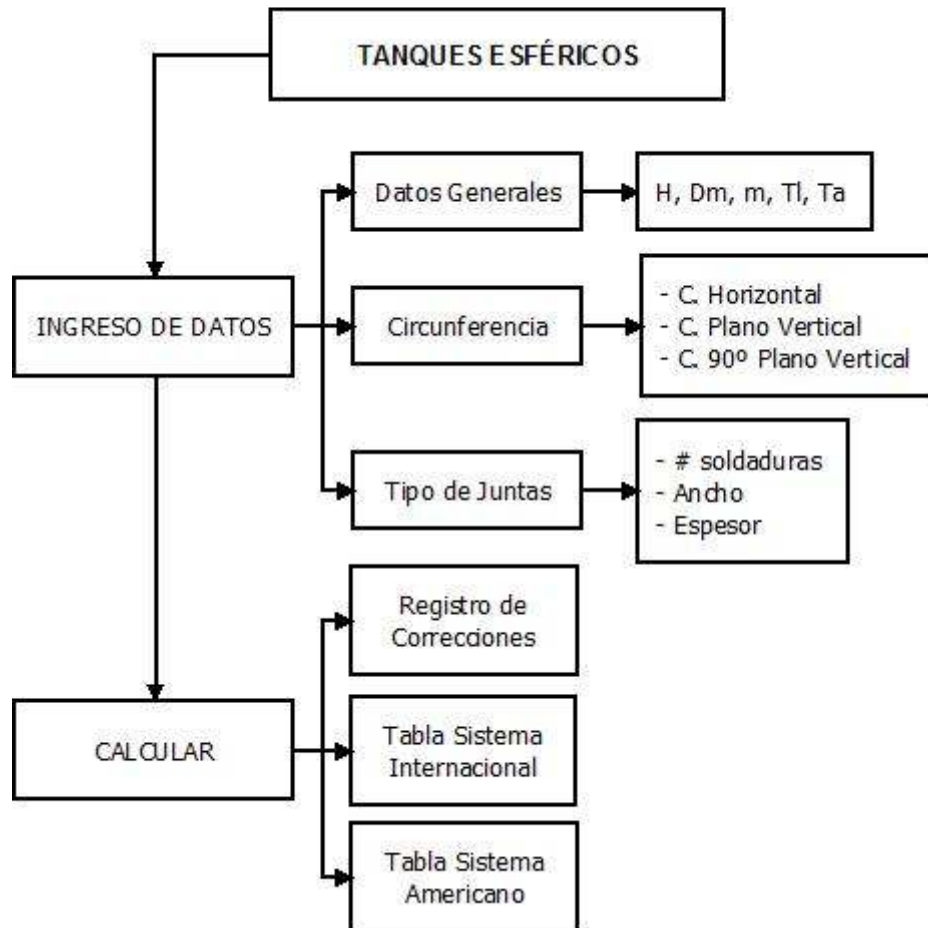


Figura 5.4. Flujo grama – Tanques Esféricos

5.5 PROGRAMACIÓN VISUAL

Para el desarrollo de la programación visual se utilizó las herramientas y objetos facilitados por el software de programación visual *c#*, que nos permiten realizar los diferentes estilos de ventanas y todos sus componentes para los cuatro módulos que forman parte del software de calibración.

5.5.1 PANTALLA PRINCIPAL

Para el diseño del primer módulo o pantalla principal se utilizaron los siguientes objetos y controles.

PictureBox: Representa un control de cuadro de imagen de Windows para mostrar una imagen. Se suele utilizar para mostrar gráficos de un archivo de mapa de bits, metarchivo, icono, JPEG, GIF o PNG.

GroupBox: Representa un control Windows que muestra un marco alrededor de un grupo de controles con un título opcional.

Radio Button: Se utiliza para presentar al usuario un conjunto de opciones mutuamente excluyentes entre si es decir, si el usuario selecciona un componente RadioButton todos los demás componentes RadioButton en la forma se desmarcan o deseleccionan solos.

ComboBox: se utiliza para mostrar datos en un cuadro combinado desplegable de forma predeterminada, el control ComboBox aparece en dos partes: la parte superior es un cuadro de texto que permite al usuario escribir un elemento de la lista. La segunda parte es un cuadro de lista que muestra una lista de elementos, de los cuales el usuario puede seleccionar uno.

Button: es un control o componente interactivo que permite a los usuarios comunicarse con una aplicación que reacciona a un evento click.

Con todos los objetos indicados anteriormente el diseño de la pantalla principal se lo indica en la figura 5.5.



Figura 5.5. Pantalla Principal del software

5.5.2 TANQUES VERTICALES

En el segundo módulo del software se realiza la calibración de tanques verticales.

El diseño de la ventana consta de varias pestañas en la que se realizara el ingreso de los datos de entrada y en otras se obtendrá los elementos de salida. En las pestañas: Datos Generales, Circunferencias, Espesores, Alturas, Juntas y Volumen Muerto se ingresan todos los elementos de entrada (Ver figura 5.6 y 5.7). En las pestañas: Cálculos, Tabla SA y Tabla SI, se presentan los resultados de las correcciones y las tablas de calibración (Ver figura 5.8).

Para el diseño de las ventanas de ingresos de datos de los tanques verticales se utilizó los objetos y controles anteriormente mencionados en el punto 5.5.1 además de los siguientes:

Textbox: permite al usuario introducir texto o valores numéricos.

DataGridView: es un control que proporciona una tabla personalizable para mostrar datos mediante celdas, filas, columnas y bordes.

ListBox: es un componente dinámico (es decir no tiene tamaño definido) que permite procesar visualmente un conjunto de elementos.

Calibración de Tanques de Verticales

Datos Generales | Circunferencias | Espesores | Alturas | J. A Tope | Volumen Muerto | Cálculos | Tabla SA | Tabla SI

Datos

Diámetro Nominal: 40.84 m

Altura del Líquido: 8.417 m

Temperatura del Líquido: 89 °F

Temperatura del Ambiente: 78 °F

Grado API a 60°F: 23.7

Altura Platina Aforo: 134 mm

Inclinación tanque: 43 mm

Tipo de Juntas: A tope

Fondo del Tanque

Tipo de Fondo: Conico Arriba

Altura del Cono: 180 mm

Techo del Tanque

Tipo de Techo: Flotante

Peso: 147378 kg

Altura Crítica Inferior: 193.4 cm

Altura Crítica Superior: 205.4 cm

Incrementos

Tabla SA: 1 plg

Tabla SI: 1 cm

Ingresar Valores | Imagen del Tanque

Figura 5.6. Módulo Tanques Verticales – Datos Generales

Calibración de Tanques de Verticales

Datos Generales | Circunferencias | Espesores | Alturas | J. A Tope | Volumen Muerto | Cálculos | Tabla SA | Tabla SI

Accesorios

Numero de Accesorios: 13 | Aceptar

	Desde (cm)	Hasta (cm)	Volumen (m3)
	51.3	130.6	0.083876
	51.3	130.8	0.079450
	51.3	130.5	0.083674
	51.3	130.8	0.084416
	51	130.2	0.083674
	26.5	59.1	0.017139
	26.5	59.3	0.018151
	31.5	72.6	0.031517
	35.4	85.4	0.053985
	0	133.4	0.312476

Ingresar Valores

Figura 5.7. Módulo Tanques Verticales – Volumen Muerto

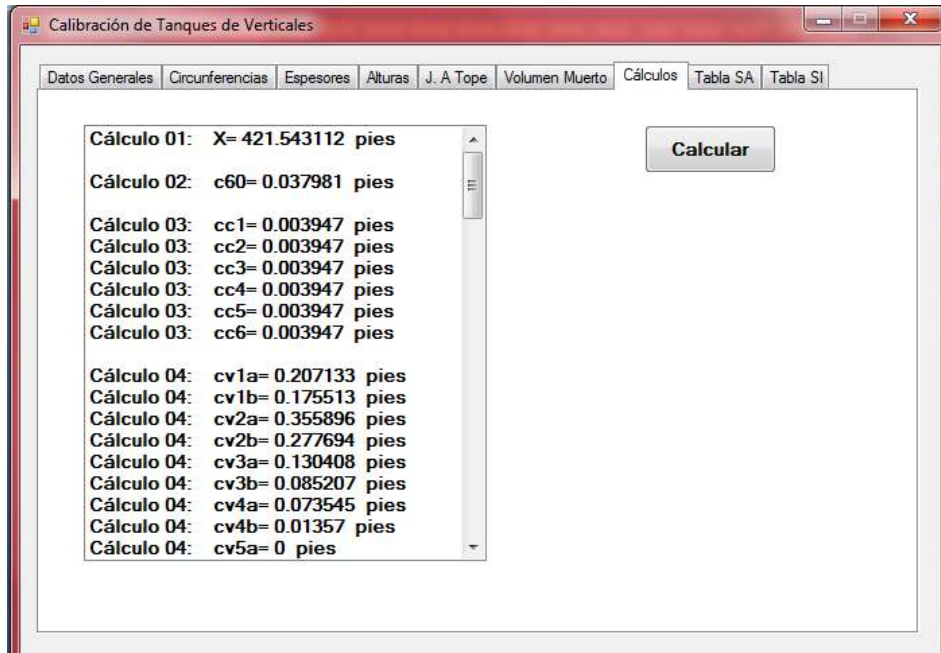


Figura 5.8. Módulo Tanques Verticales – Cálculos

5.5.3 TANQUES HORIZONTALES

En el tercer módulo del software se realiza la calibración de tanques horizontales.

El diseño de la ventana consta de varias pestañas en la que se realizara el ingreso de los datos de entrada y en otras se obtendrá los elementos de salida. En las pestañas: Datos Generales, Circunferencias, Longitud de Anillos y Volumen Muerto se ingresan todos los elementos de entrada. En las pestañas: Cálculos, Tabla SA y Tabla SI, se presentan los resultados de las correcciones y las tablas de calibración.

Para el diseño de las ventanas de ingreso de datos de los tanques horizontales se utilizo los objetos y controles anteriormente mencionados.

En la figura 5.9 podemos observar los diferentes tipos de selección.

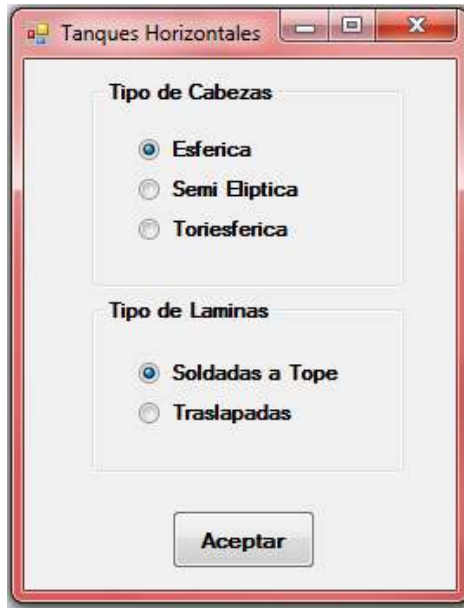


Figura 5.9. Módulo Tanques Horizontales – Tipo de tanque

Dependiendo de la selección realizada se presenta una nueva ventana con varias pestañas (Ver figura 5.10) que nos permite ingresar los datos de entrada necesarios para la calibración volumétrica del tanque horizontal.

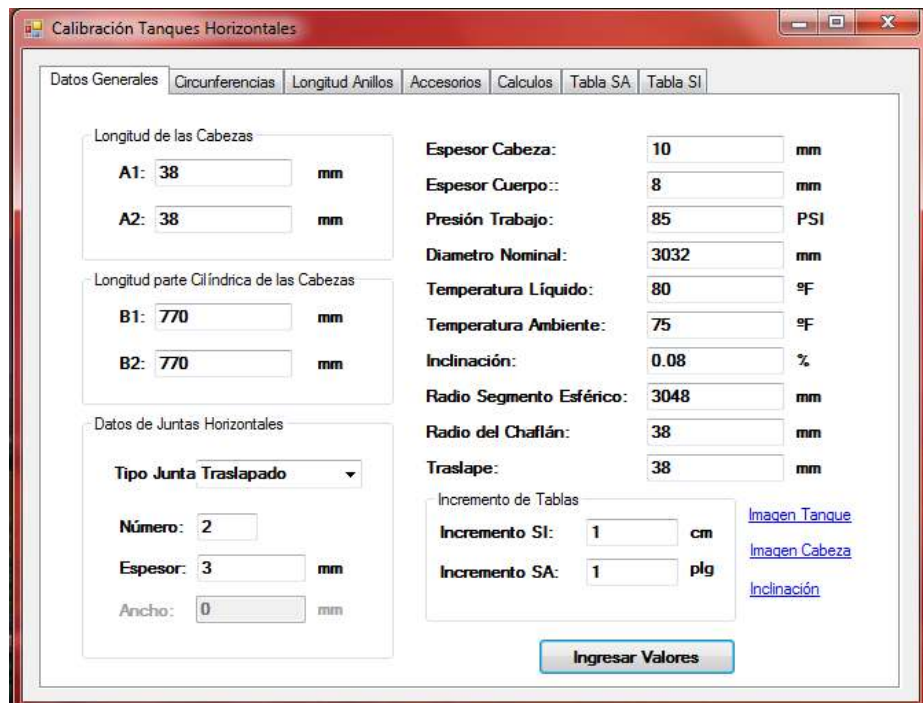


Figura 5.10. Módulo Tanques Horizontales – Datos Generales

Los resultados de las correcciones y las tablas de calibración lo podemos observar en las figuras 5.11 y 5.12 respectivamente

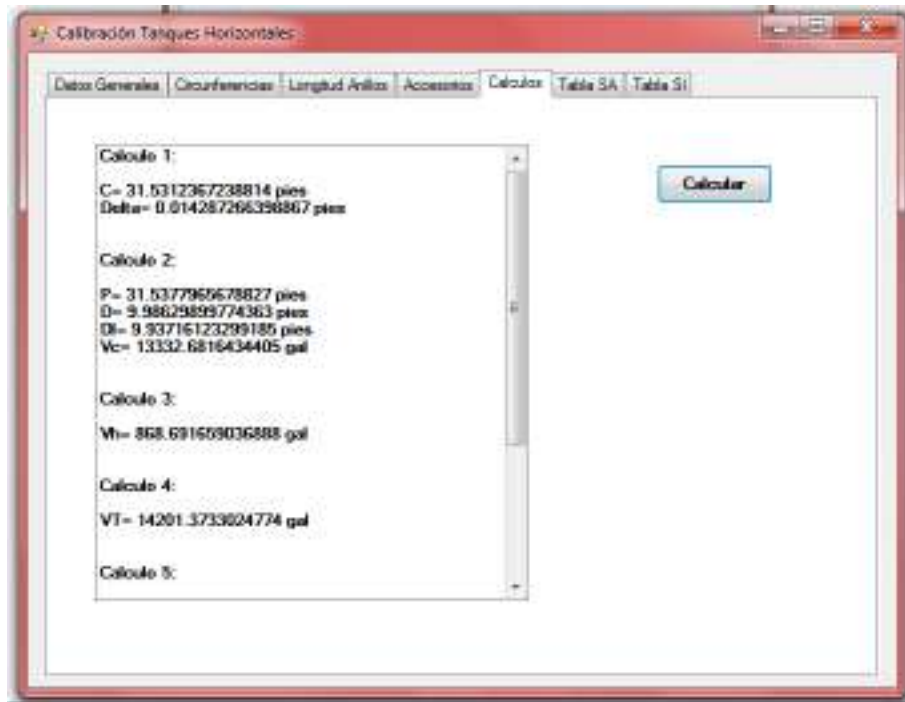


Figura 5.11. Módulo Tanques Horizontales – Cálculos y Correcciones

Calibración Tanques Horizontales

Datos Generales | Circunferencias | Longitud Anillos | Accesorios | Calculos | **Tabla SA** | **Tabla SI**

	Incremento (plg)	V1 (gal)	R	ko	K(%)	Vt (gal)
0	0	0	0	0.0009	0.000872307692...	0
1	17.39887580438...	0.008344766499...	0.000914266263...	0.000886134993...	17.399029	
2	49.29678641161...	0.016689532999...	0.000927096890...	0.000898570832...	49.297229	
3	90.62600731760...	0.025034299499...	0.000938597954...	0.000909718017...	90.626831	
4	139.5460637449...	0.033379065999...	0.000948871037...	0.000919675005...	139.54734	
5	194.9762843337...	0.041723832498...	0.000958013319...	0.000928535986...	194.97809	
6	256.1758375553...	0.050068598998...	0.000966117665...	0.000936390968...	256.17823	
7	322.59203375328	0.058413365498...	0.000973272711...	0.000943325858...	322.59507	
8	393.7895942679...	0.066758131998...	0.000979562954...	0.000949422556...	393.79333	
9	469.4124706974...	0.075102898498...	0.000985068841...	0.000954759031...	469.41695	
10	549.1611292826...	0.083447664997...	0.000989866855...	0.000959409413...	549.16639	
11	632.7780568869...	0.091792431497...	0.000994029602...	0.000963444075...	632.78415	
12	720.0380096171...	0.100137197997...	0.000997625900...	0.000966929719...	720.04497	
13	810.7411732895...	0.108481964497...	0.001000720869...	0.000969929458...	810.74903	
14	904.7082021186...	0.116826730997...	0.001003376016...	0.000972502908...	904.71700	

Figura 5.12. Módulo Tanques Horizontales – Tabla de calibración SI

5.5.4 TANQUES ESFÉRICOS

En el cuarto módulo del software se realiza la calibración de tanques esféricos.

Al igual que en los anteriores módulos la ventana de los elementos de entrada y de salida consta de varias pestañas las mismas que se detallan a continuación

En la figura 5.13 se puede observar la pestaña de Datos Generales donde se ingresan todos los elementos de entrada.

En la figura 5.14 se indica la pestaña de Cálculos donde se presentan los resultados de las correcciones además de las tablas de calibración (Tabla SA y Tabla SI).

Para el diseño de las ventanas de ingreso de datos y resultados de los tanques esféricos se utilizó los objetos y controles indicados en los puntos 5.5.1 y 5.5.2

The screenshot shows a software window titled "Calibración Tanques Esféricos" with four tabs: "Datos Generales", "Calculos", "TablaSA", and "TablaSI". The "Datos Generales" tab is active and contains the following input fields:

Datos	
Distancia hasta C1:	254 mm
Altura Verical:	11449 mm
Distancia hasta Dm:	889 mm
Temperatura Líquido:	80 °F
Temperatura Ambiente:	75 °F

Circunferencias	
Horizontal:	36478 mm
Verical:	36503 mm
Vertical 90:	36497 mm

Espesores	
e1:	19 mm
e2:	18 mm
e3:	18 mm

Incrementos	
Tabla SA:	4 plg
Tabla SI:	5 cm

At the bottom left, there is a link "Imagen Tanque". At the bottom center, there is a button "Ingresar Valores".

Figura 5.13. Módulo Tanques Esféricos – Datos generales

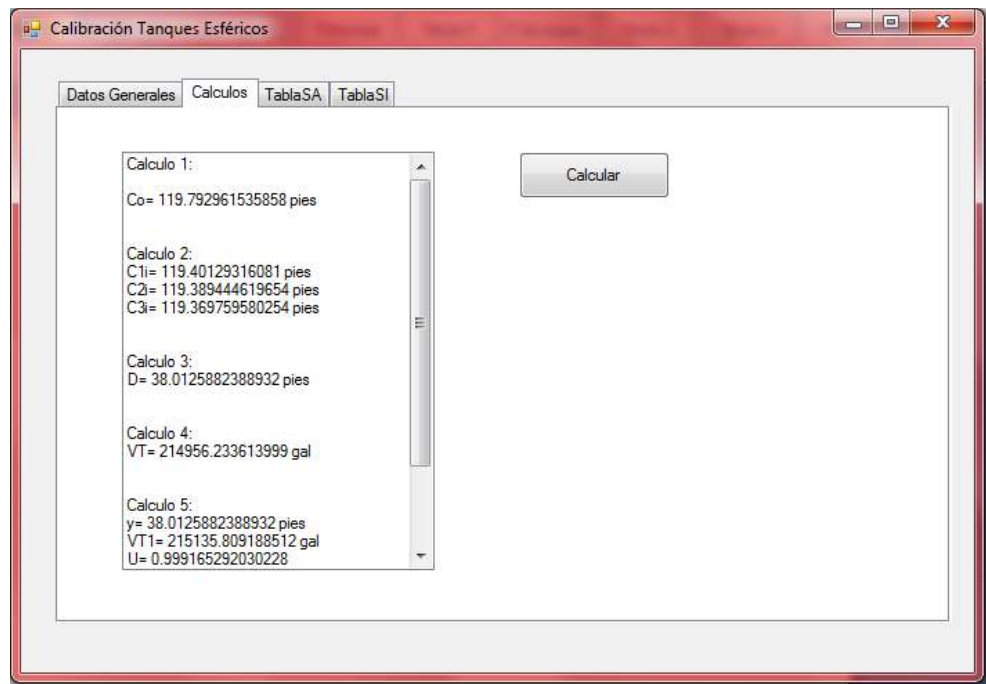


Figura 5.14. Módulo Tanques Esféricos – Correcciones

5.6 CODIFICACIÓN DEL PROGRAMA

Una vez realizado el diseño del software de calibración conociendo sus elementos de entrada, salida y su estructura lógica basada en las memorias de cálculo y hojas de Excel se procedió a realizar la codificación a lenguaje C#.

5.6.1 PANTALLA PRINCIPAL

La programación en la pantalla principal (ver Figura 5.5) se presenta de la siguiente manera:

```
namespace TesisMecanica
{
    public partial class Form1 : Form
    {
        int tipoTanque, numeroAnillos;
        string tanque;
        DialogResult dialogResult;

        TanqueV t;
```

```

TanqueH t2;
TanqueE t3;
public Form1()
{
    InitializeComponent();
    dialogResult = new DialogResult();

    t = new TanqueV();
    t2 = new TanqueH();
    t3 = new TanqueE();
    numeroAnillos = 1;
}

private void button1_Click(object sender, EventArgs e)
{
    if (rbtnVertical.Checked == true)
    {
        tipoTanque = 1;
        tanque="Tanque Vertical";
    }
    if (rbtnHorizontal.Checked == true)
    {
        tipoTanque = 2;
        tanque="Tanque Horizontal";
    }
    if (radioButton3.Checked == true)
    {
        tipoTanque = 3;
        tanque="Tanque Esférico";
    }
    int sistemaMedida =
Convert.ToInt32(cmbSistemaMedida.SelectedIndex);

    numeroAnillos = Convert.ToInt32(cmbAnillos.SelectedItem.ToString());

    if(tipoTanque!=3)dialogResult=MessageBox.Show("Va a realizar una
calibración con los siguientes Datos: \n\nTipo de Tanque: "+tanque+"\nNº
Anillos: "+numeroAnillos,"Seleccion de
Tanque",MessageBoxButtons.YesNo,MessageBoxIcon.Information);
    else dialogResult = MessageBox.Show("Va a realizar una calibración
con los siguientes Datos: \n\nTipo de Tanque: " + tanque, "Seleccion de
Tanque", MessageBoxButtons.YesNo, MessageBoxIcon.Information);
    if (dialogResult == DialogResult.Yes)
    {
        switch (tipoTanque)
        {
            case 1:
                t.NumeroAnillos = numeroAnillos;
                t.TipoTanque = tipoTanque;

```

```

        t.SistemaDeMeda = sistemaMedida;
        Tanques_Verticales tv = new Tanques_Verticales();
        tv.Show();
        break;
    case 2:
        t2.NumeroAnillos = numeroAnillos;
        t2.Sistemamedida = sistemaMedida;
        Tanques_Horizontales th = new Tanques_Horizontales();
        th.Show();
        break;
    case 3:
        t3.SistemaMedida = sistemaMedida;
        TanquesEsfericos te = new TanquesEsfericos();
        te.Show();
        break;
    }
}
}
private void Form1_Load(object sender, EventArgs e)
{
    rbtnVertical.Checked = true;
}
private void radioButton3_CheckedChanged(object sender, EventArgs e)
{
    if (radioButton3.Checked == true)
    {
        groupBox2.Enabled = false;
        pictureBox1.Image = Image.FromFile("ESFERICO.jpg");
    }
    else
    {
        groupBox2.Enabled = true;
    }
}
private void rbtnVertical_CheckedChanged(object sender, EventArgs e)
{
    if (rbtnVertical.Checked == true)
    {
        pictureBox1.Image = Image.FromFile("VERTICAL.jpg");
    }
}
private void rbtnHorizontal_CheckedChanged(object sender, EventArgs e)
{
    if (rbtnHorizontal.Checked == true)
    {
        pictureBox1.Image = Image.FromFile("HORIZONTAL.jpg");
    }
}
}
}

```

5.6.2 TANQUES VERTICALES

El ingreso de las variables de entrada de las diferentes pestañas del modulo de calibración de tanques verticales se lo realiza de la siguiente forma:

Ingreso de las Circunferencias.-

```
private void btnSiguiente_Click_1(object sender, EventArgs e)
{
    t.ResetCircunferenciaValues();
    double auxA, auxB;
    try
    {
        for (int i = 0; i < t.NumeroAnillos; i++)
        {
            auxA = Convert.ToDouble(textBoxA[i].Text);
            auxB = Convert.ToDouble(textBoxB[i].Text);
            if (t.SistemaDeMeda == 1)
            {
                t.addCircunferenciaA(auxA);
                t.addCircunferenciaB(auxB);
            }
            else
            {
                t.addCircunferenciaA(auxA * 3.2808398950);
                t.addCircunferenciaB(auxB * 3.2808398950);
            }
        }
        MessageBox.Show("Los valores se guardaron satisfactoriamente", "Ingreso de Datos,", MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Information);
    }
    catch (Exception ex)
    {
        MessageBox.Show(ex.Message, "Warning", MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Warning);
    }
}

private void timer1_Tick(object sender, EventArgs e)
{
    double x, y;
    try
    {
        for (int i = 0; i < t.NumeroAnillos; i++)
        {
            if (textBoxX[i].Text.Length > 0 && textBoxY[i].Text.Length > 0)
            {
                x = Convert.ToDouble(textBoxX[i].Text);
```

```

        y = Convert.ToDouble(textBoxY[i].Text);
        labelPromedio[i].Text = "t" + (i + 1) + " = " + ((x + y) / 2).ToString();
    }
}
}
catch (Exception ex)
}

```

Ingreso de los Espesores.-

```

private void btnEspesores_Click(object sender, EventArgs e)
{
    t.ResetPromedioEspesor();
    try
    {
        for (int i = 0; i < t.NumeroAnillos; i++)
        {
            double aux1, aux2, prom;
            aux1 = Convert.ToDouble(textBoxX[i].Text);
            aux2 = Convert.ToDouble(textBoxY[i].Text);

            prom = (aux1 + aux2) / 2;

            if (t.SistemaDeMeda == 1)
            {
                t.addEspesorPromedio(prom);
            }
            else
            {
                t.addEspesorPromedio(prom * 0.0393700787);
            }
        }
        MessageBox.Show("Los valores se guardaron satisfactoriamente",
            "Ingreso de Datos,", MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Information);
        // }
    }
    catch (Exception ex)
    {
        MessageBox.Show(ex.Message, "Warning",
            MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Warning);
    }
}

```

Ingreso de los Datos Generales.-

```

private void btnDatosGeneralos_Click(object sender, EventArgs e)
{

```

```

try
{
    if (t.SistemaDeMeda == 1)
    {
        t.PlatinaAforo = Convert.ToDouble(txtPlatinoAforo.Text);
        q.PlatinaAforo = Convert.ToDouble(txtPlatinoAforo.Text)*2.54;
        t.AlturaCriticalInferior =
Math.Round(Convert.ToDouble(txtCriticalInf.Text)-
t.PlatinaAforo, MidpointRounding.AwayFromZero);
        t.AlturaCriticaSuperior =
Math.Round(Convert.ToDouble(txtCriticaSup.Text)-
t.PlatinaAforo, MidpointRounding.AwayFromZero);
        q.AlturaCriticalInferior =
Math.Round((Convert.ToDouble(txtCriticalInf.Text) -
t.PlatinaAforo)*2.54, MidpointRounding.AwayFromZero);
        q.AlturaCriticaSuperior =
Math.Round((Convert.ToDouble(txtCriticaSup.Text) -
t.PlatinaAforo)*2.54, MidpointRounding.AwayFromZero);
        t.DiametroNominal = Convert.ToDouble(txtDiametroNominal.Text);
        t.AlturaLiquido = Convert.ToDouble(txtAlturaLiquido.Text);
        t.AlturaCono = Convert.ToDouble(txtAlturaCono.Text);
        t.PesoTecho = Convert.ToDouble(txtPesoTecho.Text);
    }
    else
    {
        t.PlatinaAforo = Convert.ToDouble(txtPlatinoAforo.Text) *
0.0393700787;
        q.PlatinaAforo = Convert.ToDouble(txtPlatinoAforo.Text) /10;
        t.AlturaCriticalInferior =
Math.Round(Convert.ToDouble(txtCriticalInf.Text) * 0.393700787 -
t.PlatinaAforo, MidpointRounding.AwayFromZero);
        t.AlturaCriticaSuperior =
Math.Round(Convert.ToDouble(txtCriticaSup.Text) * 0.393700787 -
t.PlatinaAforo, MidpointRounding.AwayFromZero);
        q.AlturaCriticalInferior =
Math.Round((Convert.ToDouble(txtCriticalInf.Text) -
q.PlatinaAforo), MidpointRounding.AwayFromZero) ;
        q.AlturaCriticaSuperior =
Math.Round((Convert.ToDouble(txtCriticaSup.Text) -
q.PlatinaAforo), MidpointRounding.AwayFromZero) ;
        t.DiametroNominal = Convert.ToDouble(txtDiametroNominal.Text) *
39.3700787;
        t.Inclinacion = Convert.ToDouble(txtInclinacion.Text) *
0.0393700787;
        t.AlturaLiquido = Convert.ToDouble(txtAlturaLiquido.Text) *
3.2808398950;
        t.AlturaCono = Convert.ToDouble(txtAlturaCono.Text) *
0.0393700787;
        t.PesoTecho = Convert.ToDouble(txtPesoTecho.Text);
    }
}

```

```

    }
    t.TemperaturaLiquido =
Convert.ToDouble(txtTemperaturaLiquido.Text);
    t.TemperaturaAmbiente =
Convert.ToDouble(txtTemperaturaAmbiente.Text);
    t.GradoAPI = Convert.ToDouble(txtAPI.Text);
    t.TipoJunta = cmbTipoJuntas.SelectedIndex;
    t.TipoTecho = cmbTipoTecho.SelectedIndex;
    t.TipoFondo = cmbTipoFondo.SelectedIndex;
    t.Incremento = Convert.ToDouble(txtIncremento.Text);
    q.Incremento = Convert.ToDouble(txtIncremento2.Text);

    MessageBox.Show("Los valores se guardaron satisfactoriamente",
    "Ingreso de Datos,", MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Information);

```

Ingreso de las Alturas.-

```

private void btnAlturas_Click(object sender, EventArgs e)
{
    t.ResetAltura();
    q.ResetAltura();
    try
    {
        for (int i = 0; i < t.NumeroAnillos; i++)
        {
            double aux1;
            aux1 = Convert.ToDouble(textBoxAlturas[i].Text);
            if (t.SistemaDeMeda == 1)
            {
                t.addAltura(aux1);
                q.addAltura(aux1*2.54);
            }
            else
            {
                t.addAltura(aux1 * 0.0393700787);
                q.addAltura(aux1/10);
            }
        }
        t.ChangeAltura(0, t.GetAltura(0) - t.PlatinaAforo);
        q.ChangeAltura(0, q.GetAltura(0) - q.PlatinaAforo);
        MessageBox.Show("Los valores se guardaron satisfactoriamente",
        "Ingreso de Datos,", MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Information);

    }
    catch (Exception ex)
    {
        MessageBox.Show(ex.Message, "Warning",
        MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Warning);
    }
}

```

```

    }
}

```

Ingreso de los Datos de las Juntas.-

```

private void btnSoldadura_Click(object sender, EventArgs e)
{
    t.ResetSoldaduraValues();
    try
    {
        for (int i = 0; i < t.NumeroAnillos; i++)
        {
            double aux1,aux2=0,aux3;
            aux1 = Convert.ToDouble(textBoxN[i].Text);
            if (t.TipoJunta == 0)
            {
                aux2 = Convert.ToDouble(textBoxW[i].Text);
            }
            aux3 = Convert.ToDouble(textBoxE[i].Text);
            if (t.SistemaDeMeda == 1)
            {
                t.addNumeroSoldadura(aux1);
                t.addAnchoSoldadura(aux2);
                t.addEspesorSoldadura(aux3);
            }
            else
            {
                t.addNumeroSoldadura(aux1);
                t.addAnchoSoldadura(aux2 * 0.0393700787);
                t.addEspesorSoldadura(aux3 * 0.0393700787);
            }
        }
        MessageBox.Show("Los valores se guardaron satisfactoriamente",
        "Ingreso de Datos,", MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Information);
    //}
    }
    catch (Exception ex)
    {
        MessageBox.Show(ex.Message, "Warning",
        MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Warning);
    }
}

```

Lo cálculos y correcciones que se indican en la norma API MPMS 2A y que se realizaron en la memoria de cálculo de Mathcad14 se codificaron siguiendo el orden de numeración de las mismas:


```

#region Calculos1_3
private void button2_Click(object sender, EventArgs e)
{
    try
    {
        listResultados.Items.Clear();
        double x;

```

Cálculo 1.-

```

        x = (t.GetCircunferenciaB(0) * 100.0026) / 100;
        listResultados.Items.Add("Cálculo 01: X= " + Math.Round(x, 6)+
pies");
        listResultados.Items.Add("");

```

Cálculo 2.-

```

        double gc, ce, fc, c60;
        gc = t.TemperaturaAmbiente - 60;
        ce = 0.00000645;
        fc = 1 - (gc * ce);
        c60 = t.GetCircunferenciaB(0) - (x * fc);
        listResultados.Items.Add("Cálculo 02: c60= " + Math.Round(c60, 6)
+ " pies");
        listResultados.Items.Add("");

```

Cálculo 3.-

```

        List<double> cc = new List<double>();
        for (int i = 0; i < t.NumeroAnillos; i++)
        {
            if (t.TipoJunta == 0)
            {
                double auxsoldados;
                auxsoldados = (((2 * t.GetNumeroSoldadura(i) *
t.GetEspesorSoldadura(i) * t.GetAnchoSoldadura(i)) / t.DiametroNominal) + ((8
* t.GetNumeroSoldadura(i) * t.GetEspesorSoldadura(i)) / 3) *
Math.Sqrt(t.GetEspesorSoldadura(i) / t.DiametroNominal)) / 12;
                cc.Add(auxsoldados);
            }
            else
            {
                double auxtraslape;
                auxtraslape = (((4 * t.GetNumeroSoldadura(i) *
t.GetEspesorSoldadura(i)) / 3) * Math.Sqrt(t.GetEspesorSoldadura(i) / (2 *
t.DiametroNominal))) / 12;
                cc.Add(auxtraslape);
            }
        }

```

```

    }
  }
  index = 1;
  foreach (double i in cc)
  {
    listResultados.Items.Add("Cálculo 03:  cc" + index + "= " +
Math.Round(i, 6) + " pies");
    index++;
  }
  listResultados.Items.Add("");

```

Cálculo 4.-

```

const double Wa = 62.3, E = 29000000;
double k = Wa / (24 * Math.PI * E), valueA, valueB;
if (t.TipoJunta == 0)
{
  valueA = 0.20;
  valueB = 0.80;
}
else
{
  valueA = 0.25;
  valueB = 0.75;
}
List<double> cvla = new List<double>();
List<double> cvlb = new List<double>();
double auxCvla, auxCvlb, h = 0, contH = 0;
for (int i = 0; i < t.NumeroAnillos; i++)
{
  h = t.AlturaLiquido - ((contH + t.GetAltura(i) * valueA) / 12);
  auxCvla = k * (h * Math.Pow((t.GetCircunferenciaA(i) - c60), 2)) /
t.GetEspesorPromedio(i);
  h = t.AlturaLiquido - ((contH + t.GetAltura(i) * valueB) / 12);
  auxCvlb = k * (h * Math.Pow((t.GetCircunferenciaB(i) - c60), 2)) /
t.GetEspesorPromedio(i);
  contH += t.GetAltura(i);
  if (auxCvla < 0) auxCvla = 0;
  if (auxCvlb < 0) auxCvlb = 0;
  cvla.Add(auxCvla);
  cvlb.Add(auxCvlb);
}
index = 1;
foreach (double i in cvla)
{
  double j = cvlb[index - 1];
  listResultados.Items.Add("Cálculo 04:  cv" + index + "a= " +
Math.Round(i, 6) + " pies");

```

```

        listResultados.Items.Add("Cálculo 04:  cv" + index + "b= " +
Math.Round(j, 6) + " pies");
        index++;
    }
    listResultados.Items.Add("");

```

Cálculo 5.-

```

List<double> ct = new List<double>();
double auxct;
for (int i = 0; i < t.NumeroAnillos; i++)
{
    auxct = (Math.PI * t.GetEspesorPromedio(i)) / 6;
    ct.Add(auxct);
}
index = 1;
foreach (double i in ct)
{
    listResultados.Items.Add("Cálculo 05:  ct" + index + "= " +
Math.Round(i, 6) + " pies");
}
listResultados.Items.Add("");

```

Cálculo 6.-

```

Ccla = new List<double>();
List<double> Cclb = new List<double>();
double auxCcla, auxCclb;
for (int i = 0; i < t.NumeroAnillos; i++)
{
    auxCcla = t.GetCircunferenciaA(i) - c60 - cc[i] - cvla[i] - ct[i];
    auxCclb = t.GetCircunferenciaB(i) - c60 - cc[i] - cvlb[i] - ct[i];
    Ccla.Add(auxCcla);
    Cclb.Add(auxCclb);
}
index = 1;
foreach (double i in Ccla)
{
    double j = Cclb[index - 1];
    listResultados.Items.Add("Cálculo 06:  Cc" + index + "a= " +
Math.Round(i, 6) + " pies");
    listResultados.Items.Add("Cálculo 06:  Cc" + index + "b= " +
Math.Round(j, 6) + " pies");
    index++;
}
listResultados.Items.Add("");

```

Cálculo 7.-

```
SG = 141.5 / (t.GradoAPI + 131.5);
List<double> csla = new List<double>();
List<double> cslb = new List<double>();
double auxcsla, auxcslb;
for (int i = 0; i < t.NumeroAnillos; i++)
{
    auxcsla = k * ((SG * (t.GetAltura(i) - t.GetAltura(i) * valueA) *
Math.Pow(Ccla[i], 2)) / (t.GetEspesorPromedio(i) * 12));
    auxcslb = k * ((SG * (t.GetAltura(i) - t.GetAltura(i) * valueB) *
Math.Pow(Cclb[i], 2)) / (t.GetEspesorPromedio(i) * 12));
    csla.Add(auxcsla);
    cslb.Add(auxcslb);
}
index = 1;
listResultados.Items.Add("Cálculo 07: SG= " + Math.Round(SG, 6));
foreach (double i in csla)
{
    double j = cslb[index - 1];
    listResultados.Items.Add("Cálculo 07: cs" + index + "a= " +
Math.Round(i, 6) + " pies");
    listResultados.Items.Add("Cálculo 07: cs" + index + "b= " +
Math.Round(j, 6) + " pies");
    index++;
}
listResultados.Items.Add("");
```

Cálculo 8.-

```
List<double> Cel = new List<double>();
double Cela, Celb, prom;
for (int i = 0; i < t.NumeroAnillos; i++)
{
    Cela = Ccla[i] + csla[i];
    Celb = Cclb[i] + cslb[i];
    prom = (Cela + Celb) / 2;
    Cel.Add(prom);
}
index = 1;
foreach (double i in Cel)
{
    listResultados.Items.Add("Cálculo 08: ce" + index + "= " +
Math.Round(i, 6) + " pies");
    index++;
}
listResultados.Items.Add("");
```

Cálculo 9.-

```
List<double> r = new List<double>();
List<double> v = new List<double>();
double auxr, auxv;
for (int i = 0; i < t.NumeroAnillos; i++)
{
    auxr = (Cel[i] * 12) / (2 * Math.PI);
    auxv = (Math.PI * Math.Pow(auxr, 2)) / FC;
    r.Add(auxr);
    v.Add(auxv);
}
index = 1;
foreach (double i in r)
{
    double j = v[index - 1];
    listResultados.Items.Add("Cálculo 09:  r" + index + "= " +
Math.Round(i, 6) + " plg");
    listResultados.Items.Add("Cálculo 09:  v" + index + "= " +
Math.Round(j, 6) + " bbl/plg");
    index++;
}
listResultados.Items.Add("");
```

Cálculo 10.-

```
double d = 0, K = 0, promAux = 0;
for (int i = 0; i < t.NumeroAnillos; i++)
{
    promAux += r[i];
}
d = promAux / (t.NumeroAnillos * 6);
K = (Math.PI * Wa * SG * Math.Pow(d, 3)) / (4 * E);
List<double> Av = new List<double>();
for (int i = 0; i < t.NumeroAnillos; i++)
{
    auxv = (K * t.GetAltura(i)) / (FC * t.GetEspesorPromedio(i));
    Av.Add(auxv);
}
listResultados.Items.Add("Cálculo 10:  d= " + Math.Round(d, 6) + "
plg");
index = 1;
foreach (double i in Av)
{
    listResultados.Items.Add("Cálculo 10:  Av" + index + "= " +
Math.Round(i, 6) + " bbl/plg");
    index++;
}
listResultados.Items.Add("");
```

Cálculo 10 continuación.-

```
List<double> AV = new List<double>();
double auxAV = 0;
AV.Add(auxAV);
for (int i = 0; i < t.NumeroAnillos - 1; i++)
{
    auxAV += Av[i];
    AV.Add(auxAV);
}
index = 1;
foreach (double i in AV)
{
    listResultados.Items.Add("Cálculo 10: AV" + index + "= " +
Math.Round(i, 6) + " bbl/plg");
    index++;
}
listResultados.Items.Add("");
```

Cálculo 11.-

```
List<double> V = new List<double>();
double auxV;
for (int i = 0; i < t.NumeroAnillos; i++)
{
    auxV = v[i] + AV[i];
    V.Add(auxV);
}
index = 1;
foreach (double i in V)
{
    listResultados.Items.Add("Cálculo 11: V" + index + "= " +
Math.Round(i, 6) + " bbl/plg");
    index++;
}
listResultados.Items.Add("");
```

Cálculo 12.-

```
double TS, Kt;
TS = (7 * t.TemperaturaLiquido + t.TemperaturaAmbiente) / 8;
Kt = 1 + 12.4 * Math.Pow(10, -6) * (TS - 60) + 4 * Math.Pow(10, -9) *
Math.Pow((TS - 60), 2);
listResultados.Items.Add("Cálculo 12: TS= " + Math.Round(TS, 6) +
" °F");
listResultados.Items.Add("Cálculo 12: Kt= " + Math.Round(Kt, 6));
```

```
listResultados.Items.Add("");
```

Cálculo 13.-

```
Vc = new List<double>();
Vc2 = new List<double>();
double auxVc;
for (int i = 0; i < t.NumeroAnillos; i++)
{
    auxVc = Kt * V[i];
    Vc.Add(auxVc);
}
index = 1;
foreach (double i in Vc)
{
    Vc2.Add(i*0.062593423);
    listResultados.Items.Add("Cálculo 13:  V" + index + "c" + "=" +
Math.Round(i, 6) + " bbl/plg");
    index++;
}
```

En las siguientes líneas de código se realizan las tablas de calibración en el sistema de unidades americano.

```
    }
    catch
    {
        MessageBox.Show("Ingreso mal de datos", "ERROR");
    }
    TablaSA();
    TablaSI();
}
#endregion
#region TablaSA
private void TablaSA()
{
    List<double> totalAcc = new List<double>();
    double totalAuxiliar = 0;
    List<double> incrementoTecho = new List<double>();
    for (double i = 0; i < t.AlturaAnilloAcumulada(t.NumeroAnillos); i +=
t.Incremento)
    {
        totalAcc.Add(0);
        incrementoTecho.Add(0);
    }
}
```

Cálculo de la columna volumen muerto de los accesorios.-

```
index = 0;
if (Desde.Count > 0)
{
    for (int j = 0; j < Desde.Count; j++)
    {
        for (double i = 0; i < t.AlturaAnilloAcumulada(t.NumeroAnillos); i +=
t.Incremento)
        {
            if (i >= Desde[j] + t.Incremento && i <= Hasta[j])
            {
                totalAuxiliar = incrementoAcc[j];
            }
            else
            {
                totalAuxiliar = 0;
            }
            totalAcc[index] += totalAuxiliar;
            index++;
        }
        index = 0;
    }
}
```

Cálculo de la columna volumen muerto del techo flotante.-

```
double Vold, incrementoTechoaux;
Vold = (t.PesoTecho * 6.289810770) / (SG * 1000);

incrementoTechoaux = (-Vold * t.Incremento) / (t.AlturaCriticaSuperior -
t.AlturaCriticaInferior);
index = 0;

if (t.TipoTecho == 1)
{
    for (double i = 0; i < t.AlturaAnilloAcumulada(t.NumeroAnillos); i +=
t.Incremento)
    {

if (i >= t.AlturaCriticaInferior+t.Incremento && i <= t.AlturaCriticaSuperior)
        {
            incrementoTecho[index] += incrementoTechoaux;
        }
        index++;
    }
}
```


Cálculo de la columna volumen muerto del fondo del tanque.-

```
double rf = 0, vf = 0, VF = 0, vc = 0;

if (t.TipoFondo == 0)
{
    rf = (Ccla[0] * 12) / (2 * Math.PI);
    vf = Math.PI * Math.Pow(rf, 2) / FC;
    VF = vf * t.PlatinaAforo;
}
else if (t.TipoFondo == 1)
{

if (t.PlatinaAforo >= t.AlturaCono)
    {
        rf = (Ccla[0] * 12) / (2 * Math.PI);
        vf = (Math.PI * Math.Pow(rf, 2) * t.PlatinaAforo) / FC;
        vc = (Math.PI * t.PlatinaAforo * Math.Pow(rf, 2)) / (3 * FC);
        VF = vf - vc;
    }
    else
    {
        rf = (Ccla[0] * 12) / (2 * Math.PI);
        vf = (Math.PI * Math.Pow(rf, 2) * t.PlatinaAforo) / FC;
        vc = (((Math.PI * Math.Pow(rf, 2)) / Math.Pow(t.AlturaCono, 2)) *
        ((t.PlatinaAforo * Math.Pow(t.AlturaCono, 2)) - (t.AlturaCono *
        Math.Pow(t.PlatinaAforo, 2)) + (Math.Pow(t.PlatinaAforo, 3) / 3))) / FC;
        VF = vf - vc;
    }
}
else
{
    rf = (Ccla[0] * 12) / (2 * Math.PI);
    vc = (Math.PI * t.PlatinaAforo * Math.Pow(rf, 2)) / (3 * FC);
    VF = vc;
}
}
```

Cálculo de la columna de las alturas del tanque.-

```
List<double> alturaFrecuencia = new List<double>();
List<double> incrementoBV = new List<double>();
List<double> incrementoFrecuencia = new List<double>();
int indexAnillo = 0;
for (int i = 0; i < t.NumeroAnillos; i++)
{
    alturaFrecuencia.Add(t.AlturaAnilloAcumulada(i + 1));
}
```

Cálculo de la columna Incremento V.-

```
for (double i = 0; i < t.AlturaAnilloAcumulada(t.NumeroAnillos); i +=
t.Incremento)
{
    incrementoBV.Add(Vc[indexAnillo] * t.Incremento);
    if (i >= alturaFrecuencia[indexAnillo])
    {
        indexAnillo++;
    }
}
double Haux = t.AlturaCono - t.PlatinaAforo;
double Vcontador = 0;
Vcontador = vc;
index = 0;
for (double i = 1; i <= Haux; i += t.Incremento)
{
    double Vcontador2 = Vcontador;
    Vcontador = (((Math.PI * Math.Pow(rf, 2)) / Math.Pow(t.AlturaCono,
2)) * (((t.PlatinaAforo + i) * Math.Pow(t.AlturaCono, 2)) - (t.AlturaCono *
Math.Pow(t.PlatinaAforo + i, 2)) + (Math.Pow(t.PlatinaAforo + i, 3) / 3))) / FC;
    if (Vcontador < 0) break;
    incrementoBV[index + 1] = incrementoBV[index + 1] - (Vcontador -
Vcontador2);
    index++;
}
```

Cálculo de la columna Incremento V1.-

```
indexAnillo = 0;
double conFrec = 0;
try
{
    incrementoBV[0] = 0;
}
catch
{
    MessageBox.Show("Revisar Datos Ingresados");
    return;
}
foreach (double i in incrementoBV)
{
    conFrec += i;
    incrementoFrecuencia.Add(conFrec);
}
```

Cálculo de la columna Inclinacion.-

```
double m, porcentajeInclinacion;
List<double> INCL = new List<double>();
m = t.Inclinacion / t.AlturaAnilloAcumulada(t.NumeroAnillos);
porcentajeInclinacion = 100 * (Math.Sqrt(1 + (m * m)) - 1);
indexAnillo = 0;
for (double i = 0; i < t.AlturaAnilloAcumulada(t.NumeroAnillos); i +=
t.Incremento)
{
    INCL.Add(incrementoFrecuencia[indexAnillo] +
((incrementoFrecuencia[indexAnillo] * porcentajeInclinacion) / 100));
    indexAnillo++;
}
List<double> TotalVM = new List<double>();
```

Cálculo de la columna Volumen Muerto.-

```
index = 0;
double auxVM = 0;
foreach (double i in totalAcc)
{
    if (index == 0)
    {
        TotalVM.Add(totalAcc[index] + incrementoTecho[index] + VF);
        auxVM = (totalAcc[index] + incrementoTecho[index]) + VF +
auxVM;
    }
    else
    {
        TotalVM.Add((totalAcc[index] + incrementoTecho[index]) +
auxVM);
        auxVM = (totalAcc[index] + incrementoTecho[index]) + auxVM;
    }
    if (index < totalAcc.Count)
        index++;
}
List<double> VTOTAL = new List<double>();
index = 0;
foreach (double i in INCL)
{
    VTOTAL.Add(i + TotalVM[index]);
    if (index < TotalVM.Count)
        index++;
}
double restaAuxiliar = 0;
foreach (double i in resta)
{
    restaAuxiliar += i;
```

```

}
totalAcc[0] = restaAuxiliar;

```

Impresión de la Tabla SA.-

```

index = 0;
double contador = 0;
dgvtablaA.Rows.Clear();
dgvtablaA.Rows.Add(incrementoBV.Count);
dgvtablaA[5, 0].Value = VF;
foreach (double i in incrementoBV)
{
    dgvtablaA[0, index].Value = contador;
    dgvtablaA[1, index].Value = incrementoBV[index];
    dgvtablaA[2, index].Value = incrementoFrecuencia[index];
    dgvtablaA[3, index].Value = INCL[index];
    dgvtablaA[4, index].Value = totalAcc[index];
    dgvtablaA[6, index].Value = incrementoTecho[index];
    dgvtablaA[7, index].Value = TotalVM[index];
    dgvtablaA[8, index].Value = VTOTAL[index];
    contador += t.Incremento;
    Math.Round(contador, 2);
    if (index < INCL.Count)
        index++;
}
}
#endregion

```

En las siguientes líneas de código se realizan las tablas de calibración en el sistema de unidades internacional.

```

#region TablaSI
private void TablaSI()
{
    List<double> totalAcc = new List<double>();
    double totalAuxiliar = 0;
    List<double> incrementoTecho = new List<double>();
    for (double i = 0; i < q.AlturaAnilloAcumulada(t.NumeroAnillos); i +=
q.Incremento)
    {
        totalAcc.Add(0);
        incrementoTecho.Add(0);
    }
}

```

Cálculo de la columna volumen muerto de los accesorios.-

```
index = 0;
if (Desde2.Count > 0)
{
    for (int j = 0; j < Desde2.Count; j++)
    {
        for (double i = 0; i < q.AlturaAnilloAcumulada(t.NumeroAnillos); i +=
q.Incremento)
        {
            if (i >= Desde2[j] + q.Incremento && i <= Hasta2[j])
            {
                totalAuxiliar = incrementoAcc2[j];
            }
            else
            {
                totalAuxiliar = 0;
            }
            totalAcc[index] += totalAuxiliar;
            index++;
        }
        index = 0;
    }
}
```

Cálculo de la columna volumen muerto del techo flotante.-

```
double Vold, incrementoTechoaux;
Vold = (t.PesoTecho) / (SG * 1000);
incrementoTechoaux = (-Vold * q.Incremento) / (q.AlturaCriticaSuperior
- q.AlturaCriticaInferior);
index = 0;
if (t.TipoTecho == 1)
{
    for (double i = 0; i < q.AlturaAnilloAcumulada(t.NumeroAnillos); i +=
q.Incremento)
    {
        if (i >= q.AlturaCriticaInferior+q.Incremento && i <=
q.AlturaCriticaSuperior)
        {
            incrementoTecho[index] += incrementoTechoaux;
        }
        index++;
    }
}
```

Cálculo de la columna volumen muerto del fondo del tanque.-

```
double rf = 0, vf = 0, VF = 0, vc = 0;
if (t.TipoFondo == 0)
{
    rf = (Ccla[0] * 12) / (2 * Math.PI);
    vf = Math.PI * Math.Pow(rf, 2) / FC;
    VF = vf * t.PlatinaAforo;
    VF /= 6.28981077;
}
else if (t.TipoFondo == 1)
{
    if (t.PlatinaAforo >= t.AlturaCono)
    {
        rf = (Ccla[0] * 12) / (2 * Math.PI);
        vf = (Math.PI * Math.Pow(rf, 2) * t.PlatinaAforo) / FC;
        vc = (Math.PI * t.PlatinaAforo * Math.Pow(rf, 2)) / (3 * FC);
        VF = vf - vc;
        VF /= 6.28981077;
    }
    else
    {
        rf = (Ccla[0] * 12) / (2 * Math.PI);
        vf = (Math.PI * Math.Pow(rf, 2) * t.PlatinaAforo) / FC;
        vc = (((Math.PI * Math.Pow(rf, 2)) / Math.Pow(t.AlturaCono, 2)) *
((t.PlatinaAforo * Math.Pow(t.AlturaCono, 2)) - (t.AlturaCono *
Math.Pow(t.PlatinaAforo, 2)) + (Math.Pow(t.PlatinaAforo, 3) / 3))) / FC;
        VF = vf - vc;
        VF /= 6.28981077;
    }
}
else
{
    rf = (Ccla[0] * 12) / (2 * Math.PI);
    vc = (Math.PI * t.PlatinaAforo * Math.Pow(rf, 2)) / (3 * FC);
    VF = vc;
    VF /= 6.28981077;
}
}
```

Cálculo de la columna de las alturas del tanque.-

```
List<double> alturaFrecuencia = new List<double>();
List<double> incrementoBV = new List<double>();
List<double> incrementoFrecuencia = new List<double>();
int indexAnillo = 0;
for (int i = 0; i < t.NumeroAnillos; i++)
{
    alturaFrecuencia.Add(q.AlturaAnilloAcumulada(i + 1));
}
```

Cálculo de la columna Incremento V.-

```
for (double i = 0; i < q.AlturaAnilloAcumulada(t.NumeroAnillos); i +=
q.Incremento)
{
    incrementoBV.Add(Vc2[indexAnillo] * q.Incremento);
    if (i >= alturaFrecuencia[indexAnillo])
    {
        indexAnillo++;
    }
}
double Haux = t.AlturaCono - t.PlatinaAforo;
Haux *= 2.54;
double Vcontador = 0;
Vcontador = vc/6.28981077;
index = 0;

for (double i = 1; i <= Haux; i += q.Incremento)
{
    double Vcontador2 = Vcontador;
    Vcontador = (((Math.PI * Math.Pow(rf * 2.54, 2)) /
Math.Pow(t.AlturaCono * 2.54, 2)) * ((q.PlatinaAforo + i) *
Math.Pow(t.AlturaCono * 2.54, 2)) - ((t.AlturaCono * 2.54) *
Math.Pow(q.PlatinaAforo + i, 2)) + (Math.Pow(q.PlatinaAforo + i, 3) / 3))) /
1000000;
    if (Vcontador < 0) break;
    incrementoBV[index + 1] = incrementoBV[index + 1] - (Vcontador -
Vcontador2);
    index++;
}
```

Cálculo de la columna Incremento V1.-

```
indexAnillo = 0;
double conFrec = 0;
incrementoBV[0] = 0;
foreach (double i in incrementoBV)
{
    conFrec += i;
    incrementoFrecuencia.Add(conFrec);
}
```

Cálculo de la columna Inclinación.-

```
double m, porsentajeInclinacion;
List<double> INCL = new List<double>();
m = t.Inclinacion / t.AlturaAnilloAcumulada(t.NumeroAnillos);
porsentajeInclinacion = 100 * (Math.Sqrt(1 + (m * m)) - 1);
```

```

        indexAnillo = 0;
        for (double i = 0; i < q.AlturaAnilloAcumulada(t.NumeroAnillos); i +=
q.Incremento)
        {
            INCL.Add(incrementoFrecuencia[indexAnillo] +
((incrementoFrecuencia[indexAnillo] * porcentajeInclinacion) / 100));
            indexAnillo++;
        }
        List<double> TotalVM = new List<double>();

```

Cálculo de la columna Volumen Muerto.-

```

        index = 0;
        double auxVM = 0;
        foreach (double i in totalAcc)
        {
            if (index == 0)
            {
                TotalVM.Add(totalAcc[index] + incrementoTecho[index] + VF);
                auxVM = (totalAcc[index] + incrementoTecho[index]) + VF +
auxVM;
            }
            else
            {
                TotalVM.Add((totalAcc[index] + incrementoTecho[index]) +
auxVM);
                auxVM = (totalAcc[index] + incrementoTecho[index]) + auxVM;
            }
            if (index < totalAcc.Count)
                index++;
        }

        List<double> VTOTAL = new List<double>();
        index = 0;
        foreach (double i in INCL)
        {
            VTOTAL.Add(i + TotalVM[index]);
            if (index < TotalVM.Count)
                index++;
        }
        double restaAuxiliar = 0;
        foreach (double i in resta2)
        {
            restaAuxiliar += i;
        }
        totalAcc[0] = restaAuxiliar;

```


Impresión de la Tabla SI.-

```
index = 0;
double contador = 0;
dgvtablal.Rows.Clear();
dgvtablal.Rows.Add(incrementoBV.Count);
dgvtablal[5, 0].Value = VF;
foreach (double i in incrementoBV)
{
    dgvtablal[0, index].Value = contador;
    dgvtablal[1, index].Value = incrementoBV[index];
    dgvtablal[2, index].Value = incrementoFrecuencia[index];
    dgvtablal[3, index].Value = INCL[index];
    dgvtablal[4, index].Value = totalAcc[index];
    dgvtablal[6, index].Value = incrementoTecho[index];
    dgvtablal[7, index].Value = TotalVM[index];
    dgvtablal[8, index].Value = VTOTAL[index];
    contador += q.Incremento;
    Math.Round(contador, 2);
    if (index < INCL.Count)
        index++;
}
}
#endregion
```

La programación para el cálculo de los incrementos de los accesorios y la elaboración de la lista para el ingreso de los accesorios (ver Figura 5.7) se presenta de la siguiente manera:

```
private void button3_Click(object sender, EventArgs e)
{
    dgvAccesorios.Rows.Clear();
    Desde.Clear();
    Hasta.Clear();
    Volumen.Clear();
    if (numero.Text.Equals("") == true) return;

    try
    {
        int aux = Convert.ToInt32(numero.Text);
        dgvAccesorios.Rows.Add(aux);
    }
    catch (Exception ex)
    {
        MessageBox.Show(ex.Message);
        return;
    }
}
```

```

}
private void button4_Click(object sender, EventArgs e)
{
    incrementoAcc = new List<double>();
    incrementoAcc2 = new List<double>();
    Desde.Clear();
    Hasta.Clear();
    Volumen.Clear();
    Desde2.Clear();
    Hasta2.Clear();
    Volumen2.Clear();
    resta.Clear();
    resta2.Clear();
    try
    {
        double desde, hasta, volumen, incremento;
        for (int i = 0; i < dgvAccesorios.Rows.Count; i++)
        {
            desde = (int)(Convert.ToDouble(dgvAccesorios[0,i].Value));
            hasta = Convert.ToDouble(dgvAccesorios[1, i].Value);
            volumen = Convert.ToDouble(dgvAccesorios[2, i].Value);

            if (t.SistemaDeMeda == 1)
            {
                Desde.Add(desde-t.PlatinaAforo);
                Hasta.Add(Math.Round(hasta, 0)-t.PlatinaAforo);
                Volumen.Add(volumen);
                Desde2.Add((desde * 2.54) - q.PlatinaAforo);
                Hasta2.Add((Math.Round(hasta, 0) * 2.54) - q.PlatinaAforo);
                Volumen2.Add(volumen / 6.2898107700);
            }
            else
            {
                Desde.Add((desde/ 2.54)-t.PlatinaAforo);
                Hasta.Add((Math.Round(hasta, 0) / 2.54)-t.PlatinaAforo);
                Volumen.Add(volumen*6.2898107700);
                Desde2.Add(desde - q.PlatinaAforo);
                Hasta2.Add(Math.Round(hasta, 0) - q.PlatinaAforo);
                Volumen2.Add(volumen);
            }

            incremento = Volumen[i]*t.Incremento / (Hasta[i]- Desde[i]);
            incrementoAcc.Add(incremento);
            incremento = Volumen2[i] * q.Incremento / (Hasta2[i] - Desde2[i]);
            incrementoAcc2.Add(incremento);
            if (Desde[i] < 0)
            {
                resta.Add(((Desde[i] * -1) / t.Incremento) * incrementoAcc[i]);
            }
            if (Desde2[i] < 0)

```

```

        {
            resta2.Add(((Desde2[i] * -1) / q.Incremento) * incrementoAcc2[i]);
        }
    }
    MessageBox.Show("Ingreso de Datos almacenados","Ingreso
Volumen Muerto");
}
catch (Exception ex)
{
    MessageBox.Show(ex.Message);
}
}

private void linkLabel1_LinkClicked(object sender,
LinkLabelLinkClickedEventArgs e)
{
    imagenTV imagen = new imagenTV();
    imagen.Show();
}
}
}

```

5.6.3 TANQUES HORIZONTALES

Una vez que en la pantalla principal se selecciona para realizar la calibración del tanque horizontal aparece una pantalla en donde se tiene que seleccionar las características del tanque horizontal. La codificación de esta pantalla es la siguiente:

```

namespace TesisMecanica
{
    public partial class Tanques_Horizontales : Form
    {
        TanqueH ta ;
        public Tanques_Horizontales()
        {
            ta = new TanqueH();
            InitializeComponent();
        }
        private void button1_Click(object sender, EventArgs e)
        {
            if (rbtnEsferica.Checked == true && rbtnSoldadas.Checked == true)
            {
                ta.TipoCaso = 1;
            }
        }
    }
}

```

```

        if (rbtnSemiEsferica.Checked == true && rbtnSoldadas.Checked ==
true)
        {
            ta.TipoCaso = 2;
        }
        if (rbtnSegmentoEsferico.Checked == true && rbtnSoldadas.Checked
== true)
        {
            ta.TipoCaso = 3;
        }
        if (rbtnEsferica.Checked == true && rbtnTraslapadas.Checked == true)
        {
            ta.TipoCaso = 4;
        }
        if (rbtnSemiEsferica.Checked == true && rbtnTraslapadas.Checked ==
true)
        {
            ta.TipoCaso = 5;
        }
        if (rbtnSegmentoEsferico.Checked == true && rbtnTraslapadas.Checked
== true)
        {
            ta.TipoCaso = 6;
        }

        T_Horizontales t = new T_Horizontales();
        t.Show();
        this.Close();
    }
    private void Tanques_Horizontales_Load(object sender, EventArgs e)
    {
        rbtnEsferica.Checked = true;
        rbtnSoldadas.Checked = true;
    }
}
}
}

```

El ingreso de las variables de entrada de las diferentes pestañas del modulo de calibración de tanques verticales se lo realiza de la siguiente forma:

Ingreso de las Circunferencias.-

```

for (int i = 0; i < t.NumeroAnillos; i++)
{
    TextBox t25 = new TextBox();
    TextBox t75 = new TextBox();
    Label l = new Label();
    Label a = new Label();
}

```

```

Label b = new Label();
l.Text = "Anillo " + (i + 1) + ":";
l.Width = 50;
l.Location = new Point(0, 25 * i);
a.Text = "a" + (i + 1) + "=";
a.Width = 40;
a.Location = new Point(55, 25 * i);
b.Text = "b" + (i + 1) + "=";
b.Width = 40;
b.Location = new Point(200, 25 * i);
t25.Location = new Point(97, 25 * i);
t75.Location = new Point(240, 25 * i);
textBoxA.Add(t25);
textBoxB.Add(t75);
panelCircunferencia.Controls.Add(a);
panelCircunferencia.Controls.Add(b);
panelCircunferencia.Controls.Add(l);
panelCircunferencia.Controls.Add(t25);
panelCircunferencia.Controls.Add(t75);
}

private void button2_Click(object sender, EventArgs e)
{
    t.ResetCircunferencias();
    try
    {
        if (t.Sistemamedida == 0)
        {
            for (int i = 0; i < t.NumeroAnillos; i++)
            {
                t.CircunferenciasA.Add(Convert.ToDouble(textBoxA[i].Text) *
0.0032808399);
                t.CircunferenciasB.Add(Convert.ToDouble(textBoxB[i].Text) *
0.0032808399);
            }
        }
        else
        {
            for (int i = 0; i < t.NumeroAnillos; i++)
            {
                t.CircunferenciasA.Add(Convert.ToDouble(textBoxA[i].Text));
                t.CircunferenciasB.Add(Convert.ToDouble(textBoxB[i].Text));
            }
        }
        MessageBox.Show("Datos Ingresados Satisfactoriamente", "Ingreso
Circunferencias");
    }
    catch (Exception ex)
    {
        MessageBox.Show(ex.Message);
    }
}

```

```
}  
}
```

Ingreso de las Alturas.-

```
for (int i = 0; i < t.NumeroAnillos; i++)  
{  
    TextBox txtAltura = new TextBox();  
    Label l = new Label();  
    Label x = new Label();  
    l.Text = "Anillo " + (i + 1) + ":";  
    l.Width = 50;  
    l.Location = new Point(0, 25 * i);  
    x.Text = "L" + (i + 1) + "=";  
    x.Width = 40;  
    x.Location = new Point(55, 25 * i);  
    txtAltura.Location = new Point(97, 25 * i);  
    panelAlturas.Controls.Add(x);  
    textboxLongitudes.Add(txtAltura);  
    panelAlturas.Controls.Add(l);  
    panelAlturas.Controls.Add(txtAltura);  
}  
}  
  
private void btnAlturas_Click(object sender, EventArgs e)  
{  
    t.ResetLongitudAnillos();  
    try  
    {  
        if (t.Sistemamedida == 0)  
        {  
            for (int i = 0; i < t.NumeroAnillos; i++)  
            {  
                t.LongitudAnillos.Add(Convert.ToDouble(textboxLongitudes[i].Text) *  
0.0032808399);  
            }  
        }  
        else  
        {  
            for (int i = 0; i < t.NumeroAnillos; i++)  
            {  
                t.LongitudAnillos.Add(Convert.ToDouble(textboxLongitudes[i].Text));  
            }  
        }  
        MessageBox.Show("Datos Ingresados Satisfactoriamente", "Ingreso  
Longitudes");  
    }  
    catch (Exception ex)  
    {  

```

```

        MessageBox.Show(ex.Message);
    }
}

```

Ingreso de los Datos Generales.-

```

private void button1_Click(object sender, EventArgs e)
{
    try
    {
        if (t.Sistemamedida == 0)
        {
            t.LongitudCabezaA1 =
Convert.ToDouble(txtlongitudCabezas1.Text) * 0.0032808399;
            t.LongitudCabetaA2 =
Convert.ToDouble(txtlongitudCabezas2.Text) * 0.0032808399;
            t.LongitudCilindricaB1 =
Convert.ToDouble(txtlongitudCilindrica1.Text) * 0.0032808399;
            t.LongitudCilindricaB2 =
Convert.ToDouble(txtlongitudCilindrica2.Text) * 0.0032808399;
            t.EspesorCabeza = Convert.ToDouble(txtEspesorCabeza.Text) *
0.0393700787;
            t.EspesorCuerpo = Convert.ToDouble(txtEspesorCuerpo.Text) *
0.0393700787;
            t.PresionTrabajo = Convert.ToDouble(txtPrecionTrabajo.Text);
            t.RadioSegmentoEsferico =
Convert.ToDouble(txtRadioSegmentoEsferico.Text) * 0.0032808399;
            t.RadioChaflan = Convert.ToDouble(txtRadioChaflan.Text) *
0.0393700787;
            t.Traslape = Convert.ToDouble(txtTraslape.Text) * 0.0393700787;
            t.W = Convert.ToDouble(txtAncho.Text) * 0.0393700787;
            t.T = Convert.ToDouble(txtEspesor.Text) * 0.0393700787;
            t.dn = Convert.ToDouble(txtdiametroNominal.Text) *
0.0393700787;
        }
        else
        {
            t.LongitudCabezaA1 =
Convert.ToDouble(txtlongitudCabezas1.Text);
            t.LongitudCabetaA2 =
Convert.ToDouble(txtlongitudCabezas2.Text);
            t.LongitudCilindricaB1 =
Convert.ToDouble(txtlongitudCilindrica1.Text);
            t.LongitudCilindricaB2 =
Convert.ToDouble(txtlongitudCilindrica2.Text);
            t.EspesorCabeza = Convert.ToDouble(txtEspesorCabeza.Text);
            t.EspesorCuerpo = Convert.ToDouble(txtEspesorCuerpo.Text);
            t.PresionTrabajo = Convert.ToDouble(txtPrecionTrabajo.Text);

```

```

        t.RadioSegmentoEsferico =
Convert.ToDouble(txtRadioSegmentoEsferico.Text);
        t.RadioChaflan = Convert.ToDouble(txtRadioChaflan.Text);
        t.Traslape = Convert.ToDouble(txtTraslape.Text);
        t.W = Convert.ToDouble(txtAncho.Text);
        t.T = Convert.ToDouble(txtEspesor.Text);
        t.dn = Convert.ToDouble(txtdiametroNominal.Text);
    }
    t.Nj = Convert.ToDouble(txtNumero.Text);
    t.IncrementoSA = Convert.ToDouble(txtIncrementoSA.Text);
    t.IncrementoSI = Convert.ToDouble(txtIncrementoSI.Text);
    t.TI = Convert.ToDouble(txtTemperaturaLiquido.Text);
    t.Ta = Convert.ToDouble(txttemperaturaAmbiente.Text);
    t.m = Convert.ToDouble(txtinclinacion.Text);
    MessageBox.Show("Datos Ingresados Satisfactoriamente", "Ingreso
Datos Generales");
    }
    catch(Exception ex)
    {
        MessageBox.Show(ex.Message);
    }
}

```

Los cálculos y correcciones que se indican en la norma API 2551 y que se realizaron en la memoria de cálculo de Mathcad14 se codificaron siguiendo el orden de numeración de las mismas:

```

private void button3_Click(object sender, EventArgs e)
{
    switch (t.TipoCaso)
    {
        case 1:
            Calculo1Caso1();
            Calculo2Caso1();
            Calculo3Caso1();
            Calculo4Caso1();
            Calculo5Caso1();
            Calculo6Caso1();
            break;
        case 2:
            Calculo1Caso2();
            Calculo2Caso2();
            Calculo3Caso2();
            Calculo4Caso2();
            Calculo5Caso2();
            Calculo6Caso2();
            break;
        case 3:

```



```

        Calculo1Caso3();
        Calculo2Caso3();
        Calculo3Caso3();
        Calculo4Caso3();
        Calculo5Caso3();
        Calculo6Caso3();
        break;
    case 4:
        Calculo1Caso4();
        Calculo2Caso4();
        Calculo3Caso4();
        Calculo4Caso4();
        Calculo5Caso4();
        Calculo6Caso4();
        break;
    case 5:
        Calculo1Caso5();
        Calculo2Caso5();
        Calculo3Caso5();
        Calculo4Caso5();
        Calculo5Caso5();
        Calculo6Caso5();
        break;
    case 6:
        Calculo1Caso6();
        Calculo2Caso6();
        Calculo3Caso6();
        Calculo4Caso6();
        Calculo5Caso6();
        Calculo6Caso6();
        break;
    }
    TablaCalculos();

    TablaSA();
    TablaSI();
}

```

Cálculo 1.-

```

#region Calculo1
private void Calculo1Caso1()
{
    t.c.Clear();
    double numerador = 0, denominador = 0;
    for (int i = 0; i < t.NumeroAnillos; i++)
    {
        t.c.Add((t.CircunferenciasA[i]+t.CircunferenciasB[i])/2);
        numerador += t.LongitudAnillos[i] * t.c[i];
    }
}

```

```

        denominador += t.LongitudAnillos[i];
    }
    t.C = numerador / denominador;
    double d = (t.C / Math.PI) - (2*t.EspesorCuerpo / 12);
    double F = (6 * t.PresionTrabajo * d)/t.EspesorCuerpo;

    if (d > 5.5 && d < 6.5 && F < 20000)
    {
        t.Signo = (F - 9500) / 1000000;
    }
    else if (d > 6.5 && d < 7.5 && F < 18500)
    {
        t.Signo = (F - 8000) / 800000;
    }
    else if (d > 7.5 && d < 8.5 && F < 18500)
    {
        t.Signo = (F - 8000) / 1395348 + 0.0057 ;
    }
    else if (d > 8.5 && d < 9.5 && F < 19000)
    {
        t.Signo = (F - 8000) / 1333333 + 0.0065;
    }
    else if (d > 9.5 && d < 10.5 && F < 17000)
    {
        t.Signo = (F - 8000) / 1168831 + 0.0073;
    }
    else if (d > 10.5 && d < 11.5 && F < 15000)
    {
        t.Signo = (F - 8000) / 1129032 + 0.0088;
    }
    else if (d > 11.5 && d < 12.5 && F < 14000)
    {
        t.Signo = (F - 8000) / 967742 + 0.0085;
    }
    else
    {
        t.Signo = 0;
    }
}
private void Calculo1Caso2()
{
    Calculo1Caso1();
}
private void Calculo1Caso3()
{
    Calculo1Caso1();
}
private void Calculo1Caso4()
{
    List<double> Lanillo = new List<double>();

```

```

double SumaLanillos = 0;
int contador=1;
foreach (double i in t.LongitudAnillos)
{
    if (contador % 2 != 0)
    {
        Lanillo.Add(i - ((2 * t.Traslape) / 12));
        SumaLanillos+=i - ((2 * t.Traslape) / 12);
    }
    else
    {
        Lanillo.Add(i + ((2 * t.Traslape) / 12));
        SumaLanillos += i + ((2 * t.Traslape) / 12);
    }
    contador++;
}
t.Lc = SumaLanillos;
double Panillos = 0;
for (int i = 0; i < t.NumeroAnillos; i++)
{
    Panillos += ((t.CircunferenciasA[i] + t.CircunferenciasB[i]) /
2)*Lanillo[i];
}
t.C = Panillos / SumaLanillos;
double d = (t.C / Math.PI) - (2*t.EspesorCuerpo / 12);
double F = (6 * t.PresionTrabajo * d) / t.EspesorCuerpo;
if (d > 5.5 && d < 6.5 && F < 20000)
{
    t.Signo = (F - 9500) / 1000000;
}
else if (d > 6.5 && d < 7.5 && F < 18500)
{
    t.Signo = (F - 8000) / 800000;
}
else if (d > 7.5 && d < 8.5 && F < 18500)
{
    t.Signo = (F - 8000) / 1395348 + 0.0057;
}
else if (d > 8.5 && d < 9.5 && F < 19000)
{
    t.Signo = (F - 8000) / 1333333 + 0.0065;
}
else if (d > 9.5 && d < 10.5 && F < 17000)
{
    t.Signo = (F - 8000) / 1168831 + 0.0073;
}
else if (d > 10.5 && d < 11.5 && F < 15000)
{
    t.Signo = (F - 8000) / 1129032 + 0.0088;
}
}

```

```

else if (d > 11.5 && d < 12.5 && F < 14000)
{
    t.Signo = (F - 8000) / 967742 + 0.0085;
}
else
{
    t.Signo = 0;
}
}
private void Calculo1Caso5()
{
    Calculo1Caso4();
}
private void Calculo1Caso6()
{
    Calculo1Caso4();
}

#endregion

```

Cálculo 2.-

```

#region Calculo2
private void Calculo2Caso1()
{
    double P1, P2;
    P1 = t.C;
    P2 = t.C + t.Signo;
    t.P = ((P1 + P2) / 2) -
(((2*t.Nj*t.T*t.W)/(12*t.dn))+((8*t.Nj*t.T)/(36))*Math.Sqrt(t.T/t.dn));
    t.D=(t.P/Math.PI)-((2*t.EspesorCuerpo)/12);
    t.DI=((t.c[0]+t.c[t.c.Count-1])/(2*Math.PI))-((2*t.EspesorCabeza)/12);
    t.B=6*(t.LongitudCilindricaB1+t.LongitudCilindricaB2);
    double LT = 0;
    LT+=t.LongitudCabezaA1+t.LongitudCabetaA2+t.LongitudCilindricaB1+t.LongitudCilindricaB2;
    for (int i = 0; i < t.NumeroAnillos; i++)
    {
        LT += t.LongitudAnillos[i];
    }
    t.Lc=LT-2*(((t.B+t.EspesorCabeza)/12)+(t.DI/2));
    double V1, V2;
    V1 = (t.D * t.D * Math.PI * t.Lc) / 4;
    V2 = (t.DI*t.DI*Math.PI*(2*t.B))/48;
    t.Vc = (V1 + V2) * t.FC;
}
private void Calculo2Caso2()
{
    double P1, P2;

```

```

P1 = t.C;
P2 = t.C + t.Signo;
t.P = ((P1 + P2) / 2) - (((2 * t.Nj * t.T * t.W) / (12 * t.dn)) + ((8 * t.Nj * t.T) /
(36)) * Math.Sqrt(t.T / t.dn));
t.D = (t.P / Math.PI) - ((2 * t.EspesorCuerpo) / 12);
t.DI = ((t.c[0] + t.c[t.c.Count - 1]) / (2 * Math.PI)) - ((2 * t.EspesorCabeza)
/ 12);
t.B = 6 * (t.LongitudCilindricaB1 + t.LongitudCilindricaB2);
double LT = 0;
LT += t.LongitudCabezaA1 + t.LongitudCabetaA2 +
t.LongitudCilindricaB1 + t.LongitudCilindricaB2;
for (int i = 0; i < t.NumeroAnillos; i++)
{
    LT += t.LongitudAnillos[i];
}
t.Lc = LT - 2 * (((t.B + t.EspesorCabeza) / 12) + (t.DI / 4));
double V1, V2;
V1 = (t.D * t.D * Math.PI * t.Lc) / 4;
V2 = (t.DI * t.DI * Math.PI * (2 * t.B)) / 48;
t.Vc = (V1 + V2) * t.FC;
}
private void Calculo2Caso3()
{
    double P1, P2;
    P1 = t.C;
    P2 = t.C + t.Signo;
    t.P = ((P1 + P2) / 2) - (((2 * t.Nj * t.T * t.W) / (12 * t.dn)) + ((8 * t.Nj * t.T) /
(36)) * Math.Sqrt(t.T / t.dn));
t.D = (t.P / Math.PI) - ((2 * t.EspesorCuerpo) / 12);
t.DI = ((t.c[0] + t.c[t.c.Count - 1]) / (2 * Math.PI)) - ((2 * t.EspesorCabeza)
/ 12);
t.BF = t.RadioSegmentoEsferico;
t.EB = t.RadioChaflan / 12;
t.GC = t.DI / 2;
t.EF = t.BF - t.EB;
t.EC = t.EB;
t.AF = t.BF;
t.GE = t.GC - t.EC;
t.GF = Math.Sqrt(t.EF*t.EF - t.GE *t.GE);
t.HG=(t.EB*t.GF)/t.EF;
t.HF = t.GF + t.HG;
t.HB = Math.Sqrt(t.BF*t.BF-t.HF*t.HF);
t.AH = t.AF - t.HF;
t.AG = t.AH + t.HG;

t.B = 6 * (t.LongitudCilindricaB1 + t.LongitudCilindricaB2);
double LT = 0;
LT += t.LongitudCabezaA1 + t.LongitudCabetaA2 +
t.LongitudCilindricaB1 + t.LongitudCilindricaB2;
for (int i = 0; i < t.NumeroAnillos; i++)

```

```

    {
        LT += t.LongitudAnillos[i];
    }
    t.Lc = LT - 2 * (((t.B + t.EspesorCabeza) / 12) + t.AG);
    double V1, V2;
    V1 = (t.D * t.D * Math.PI * t.Lc) / 4;
    V2 = (t.DI * t.DI * Math.PI * (2 * t.B)) / 48;
    t.Vc = (V1 + V2) * t.FC;
}
private void Calculo2Caso4()
{
    double P1, P2;
    P1 = t.C;
    P2 = t.C + t.Signo;

    t.P = ((P1 + P2) / 2) - ((4*t.Nj*t.T)/36)*Math.Sqrt(t.T/(2*t.dn));
    t.D = (t.P / Math.PI) - ((2 * t.EspesorCuerpo) / 12);
    t.DI = ((t.CircunferenciasA[0] +
t.CircunferenciasB[t.CircunferenciasB.Count - 1]) / (2 * Math.PI)) - ((2 *
(t.EspesorCabeza+t.EspesorCuerpo)) / 12);
    t.B = 6 * (t.LongitudCilindricaB1 + t.LongitudCilindricaB2);
    double V1, V2;
    V1 = (t.D * t.D * Math.PI * t.Lc) / 4;
    V2 = (t.DI * t.DI * Math.PI * (2 * t.B)) / 48;
    t.Vc = (V1 + V2) * t.FC;
}
private void Calculo2Caso5()
{
    Calculo2Caso4();
}
private void Calculo2Caso6()
{
    double P1, P2;
    P1 = t.C;
    P2 = t.C + t.Signo;
    t.P = ((P1 + P2) / 2) - ((4 * t.Nj * t.T) / 36) * Math.Sqrt(t.T / (2 * t.dn));
    t.D = (t.P / Math.PI) - ((2 * t.EspesorCuerpo) / 12);
    t.DI = ((t.CircunferenciasA[0] +
t.CircunferenciasB[t.CircunferenciasB.Count - 1]) / (2 * Math.PI)) -
(2*(t.EspesorCabeza+t.EspesorCuerpo) / 12);
    t.BF = t.RadioSegmentoEsferico;
    t.EB = t.RadioChaflan / 12;
    t.GC = t.DI / 2;
    t.EF = t.BF - t.EB;
    t.EC = t.EB;
    t.AF = t.BF;
    t.GE = t.GC - t.EC;
    t.GF = Math.Sqrt(t.EF * t.EF - t.GE * t.GE);
    t.HG = (t.EB * t.GF) / t.EF;
    t.HF = t.GF + t.HG;
}

```

```

t.HB = Math.Sqrt(t.BF * t.BF - t.HF * t.HF);
t.AH = t.AF - t.HF;
t.AG = t.AH + t.HG;
t.B = 6 * (t.LongitudCilindricaB1 + t.LongitudCilindricaB2);
double V1, V2;
V1 = (t.D * t.D * Math.PI * t.Lc) / 4;
V2 = (t.DI * t.DI * Math.PI * (2 * t.B)) / 48;
t.Vc = (V1 + V2) * t.FC;
}
#endregion

```

Cálculo 3.-

```

#region Calculo3
private void Calculo3Caso1()
{
    double Vhl = (Math.PI * t.DI * t.DI * t.DI) / 6;
    t.Vh = Vhl * t.FC;
}
private void Calculo3Caso2()
{
    double Vhl = (Math.PI * t.DI * t.DI * t.DI) / 12;
    t.Vh = Vhl * t.FC;
}
private void Calculo3Caso3()
{
    double fi, Vk, Vs;
    fi = Math.Asin(t.HG/t.EB);
    Vk = (t.GE * t.GE * t.HG + t.EB * t.EB * t.HG - ((t.HG * t.HG * t.HG)/3) +
t.GE*t.HG*Math.Sqrt(t.EB*t.EB-t.HG*t.HG)+t.GE*t.EB*t.EB*fi) * Math.PI * t.FC;
    Vs=(Math.PI/6)*t.AH*(3*t.HB*t.HB+t.AH*t.AH)*t.FC;
    t.Vh=2*(Vk+Vs);
}
private void Calculo3Caso4()
{
    Calculo3Caso1();
}
private void Calculo3Caso5()
{
    Calculo3Caso2();
}
private void Calculo3Caso6()
{
    Calculo3Caso3();
}
#endregion

```

Cálculo 4.-

```
#region Calculo4
private void Calculo4Caso1()
{
    t.VT = t.Vc + t.Vh;
}
private void Calculo4Caso2()
{
    Calculo4Caso1();
}
private void Calculo4Caso3()
{
    Calculo4Caso1();
}
private void Calculo4Caso4()
{
    Calculo4Caso1();
}
private void Calculo4Caso5()
{
    Calculo4Caso1();
}
private void Calculo4Caso6()
{
    Calculo4Caso1();
}
}
#endregion
```

Cálculo 5.-

```
#region Calculo5
private void Calculo5Caso1()
{
    t.Ri = t.D / 2;
    t.Y = 2 * t.Ri;
    t.Alfa = (t.D - t.Dl) / 2;
    double Vcl=t.Ri*t.Ri*(Math.Asin((t.Y-t.Ri)/t.Ri)+(((t.Y-
t.Ri)*Math.Sqrt(t.Ri*t.Ri-((t.Y-t.Ri)*(t.Y-
t.Ri)))/t.Ri*t.Ri)+(Math.PI/2))*(t.Lc+((t.B*2)/12))*t.FC ;
    double Vh2 = Math.PI * ((t.Ri - t.Alfa) * (t.Y * t.Y) - ((t.Y * t.Y * t.Y) / 3));
    double Vhc = Vh2 * t.FC;
    double VTI = Vcl + Vhc;
    t.U = t.VT / VTI;
}
private void Calculo5Caso2()
{
    t.Ri = t.D / 2;
    t.Y = 2 * t.Ri;
```



```

        t.Alfa = (t.D - t.DI) / 2;
        double Vcl = t.Ri * t.Ri * (Math.Asin((t.Y - t.Ri) / t.Ri) + (((t.Y - t.Ri) *
Math.Sqrt(t.Ri * t.Ri - ((t.Y - t.Ri) * (t.Y - t.Ri)))) / t.Ri * t.Ri) + (Math.PI / 2)) * (t.Lc
+ ((t.B * 2) / 12)) * t.FC;
        double Vh2 = (Math.PI/2) * ((t.Ri - t.Alfa) * (t.Y * t.Y) - ((t.Y * t.Y * t.Y) /
3));
        double Vhc = Vh2 * t.FC;
        double VTI = Vcl + Vhc;
        t.U = t.VT / VTI;
    }
    private void Calculo5Caso3()
    {
        t.Ri = t.D / 2;
        t.Y = 2 * t.Ri;
        t.Alfa = (t.D - t.DI) / 2;
        double Vcl = t.Ri * t.Ri * (Math.Asin((t.Y - t.Ri) / t.Ri) + (((t.Y - t.Ri) *
Math.Sqrt(t.Ri * t.Ri - ((t.Y - t.Ri) * (t.Y - t.Ri)))) / t.Ri * t.Ri) + (Math.PI / 2)) * (t.Lc
+ ((t.B * 2) / 12)) * t.FC;
        double Vh2 = ((Math.PI*9)/40) * ((t.Ri - t.Alfa) * (t.Y * t.Y) - ((t.Y * t.Y *
t.Y) / 3));
        double Vhc = Vh2 * t.FC;
        double VTI = Vcl + Vhc;
        t.U = t.VT / VTI;
    }
    private void Calculo5Caso4()
    {
        Calculo5Caso1();
    }
    private void Calculo5Caso5()
    {
        Calculo5Caso2();
    }
    private void Calculo5Caso6()
    {
        Calculo5Caso3();
    }
}
#endregion

```

Cálculo 6.-

```

#region Calculo6
private void Calculo6Caso1()
{
    t.Ri *= 12;
    t.Lc *= 12;
    t.Alfa *= 12;
    t.Y = t.Ri * 2;
    t.Vy = (t.Ri * t.Ri * (Math.Asin((t.Y - t.Ri) / t.Ri) + (((t.Y - t.Ri) *
Math.Sqrt(Math.Pow(t.Ri, 2) - (Math.Pow((t.Y - t.Ri), 2)))) / Math.Pow(t.Ri, 2)) +

```

```

(Math.PI / 2)) * (t.Lc + (t.B * 2)) + Math.PI * ((t.Ri - t.Alfa) * Math.Pow(t.Y, 2) -
(Math.Pow(t.Y, 3)) / 3)) * t.U * t.FG;
}
private void Calculo6Caso2()
{
    t.Ri *= 12;
    t.Lc *= 12;
    t.Alfa *= 12;
    t.Y = t.Ri * 2;
    t.Vy = (t.Ri * t.Ri * (Math.Asin((t.Y - t.Ri) / t.Ri) + (((t.Y - t.Ri) *
Math.Sqrt(Math.Pow(t.Ri, 2) - (Math.Pow((t.Y - t.Ri), 2)))) / Math.Pow(t.Ri, 2)) +
(Math.PI / 2)) * (t.Lc + (t.B * 2)) + (Math.PI/2) * ((t.Ri - t.Alfa) * Math.Pow(t.Y, 2) -
(Math.Pow(t.Y, 3)) / 3)) * t.U * t.FG;
}
private void Calculo6Caso3()
{
    t.Ri *= 12;
    t.Lc *= 12;
    t.Alfa *= 12;
    t.Y = t.Ri * 2;
    t.Vy = (t.Ri * t.Ri * (Math.Asin((t.Y - t.Ri) / t.Ri) + (((t.Y - t.Ri) *
Math.Sqrt(Math.Pow(t.Ri, 2) - (Math.Pow((t.Y - t.Ri), 2)))) / Math.Pow(t.Ri, 2)) +
(Math.PI / 2)) * (t.Lc + (t.B * 2)) + ((Math.PI*9)/40) * ((t.Ri - t.Alfa) *
Math.Pow(t.Y, 2) - (Math.Pow(t.Y, 3)) / 3)) * t.U * t.FG;
}
private void Calculo6Caso4()
{
    Calculo6Caso1();
}
private void Calculo6Caso5()
{
    Calculo6Caso2();
}
private void Calculo6Caso6()
{
    Calculo6Caso3();
}
#endregion

```

Cálculo Vy.-

```

#region CalculoVY
private double Vy(double y)
{
    double resultado = 0.0f;
    double factor = 0;
    if (isSI == false) factor = t.FG;
    else factor = t.FH;
    switch(t.TipoCaso)

```

```

    {
        case 1: resultado = (t.Ri * t.Ri * (Math.Asin((y - t.Ri) / t.Ri) + (((y - t.Ri)
* Math.Sqrt(Math.Pow(t.Ri,2) - (Math.Pow((y - t.Ri),2)))) / Math.Pow(t.Ri,2)) +
(Math.PI / 2)) * (t.Lc + (t.B * 2)) + Math.PI * ((t.Ri - t.Alfa) * Math.Pow(y,2) -
(Math.Pow(y,3)) / 3)) * t.U * factor ; break;
        case 2: resultado = (t.Ri * t.Ri * (Math.Asin((y - t.Ri) / t.Ri) + (((y - t.Ri)
* Math.Sqrt(Math.Pow(t.Ri, 2) - (Math.Pow((y - t.Ri), 2)))) / Math.Pow(t.Ri, 2)) +
(Math.PI / 2)) * (t.Lc + (t.B * 2)) + (Math.PI / 2) * ((t.Ri - t.Alfa) * Math.Pow(y, 2) -
(Math.Pow(y, 3)) / 3)) * t.U * factor; break;
        case 3: resultado = (t.Ri * t.Ri * (Math.Asin((y - t.Ri) / t.Ri) + (((y - t.Ri)
* Math.Sqrt(Math.Pow(t.Ri, 2) - (Math.Pow((y - t.Ri), 2)))) / Math.Pow(t.Ri, 2)) +
(Math.PI / 2)) * (t.Lc + (t.B * 2)) + ((Math.PI * 9) / 40) * ((t.Ri - t.Alfa) *
Math.Pow(y, 2) - (Math.Pow(y, 3)) / 3)) * t.U * factor; break;
        case 4: resultado = (t.Ri * t.Ri * (Math.Asin((y - t.Ri) / t.Ri) + (((y - t.Ri)
* Math.Sqrt(Math.Pow(t.Ri, 2) - (Math.Pow((y - t.Ri), 2)))) / Math.Pow(t.Ri, 2)) +
(Math.PI / 2)) * (t.Lc + (t.B * 2)) + Math.PI * ((t.Ri - t.Alfa) * Math.Pow(y, 2) -
(Math.Pow(y, 3)) / 3)) * t.U * factor; break;
        case 5: resultado = (t.Ri * t.Ri * (Math.Asin((y - t.Ri) / t.Ri) + (((y - t.Ri)
* Math.Sqrt(Math.Pow(t.Ri, 2) - (Math.Pow((y - t.Ri), 2)))) / Math.Pow(t.Ri, 2)) +
(Math.PI / 2)) * (t.Lc + (t.B * 2)) + (Math.PI / 2) * ((t.Ri - t.Alfa) * Math.Pow(y, 2) -
(Math.Pow(y, 3)) / 3)) * t.U * factor; break;
        case 6: resultado = (t.Ri * t.Ri * (Math.Asin((y - t.Ri) / t.Ri) + (((y - t.Ri)
* Math.Sqrt(Math.Pow(t.Ri, 2) - (Math.Pow((y - t.Ri), 2)))) / Math.Pow(t.Ri, 2)) +
(Math.PI / 2)) * (t.Lc + (t.B * 2)) + ((Math.PI * 9) / 40) * ((t.Ri - t.Alfa) *
Math.Pow(y, 2) - (Math.Pow(y, 3)) / 3)) * t.U * factor; break;
    }
    return resultado;
}
#endregion
#region CalculoK
private double FuncionK(double R)
{
    return 0.0181 * Math.Pow(R, 5) - 0.0401 * Math.Pow(R, 4) + 0.0324 *
Math.Pow(R, 3) - 0.0111 * Math.Pow(R, 2) + 0.0018 * R + 0.0009;
}
#endregion

```

Cálculo Porcentaje.-

```

#region CalculoPorcentaje
private double Porcentaje(double K)
{
    double Ts = ((7 * t.Tl + t.Ta)) / 8;
    double am = 0;
    if (Ts >= -70 && Ts <= -21 )
    {
        am=0.0000060;
    }
    else if (Ts >= -20 && Ts <= 28)

```

```

    {
        am=0.0000061;
    }
    else if (Ts >= 29 && Ts <= 78)
    {
        am=0.0000062;
    }
    else if (Ts >= 79 && Ts <= 128)
    {
        am=0.0000063;
    }
    else if (Ts >= 129 && Ts <= 177)
    {
        am=0.0000064;
    }
    else if (Ts >= 178 && Ts <= 227)
    {
        am=0.0000065;
    }
    else if (Ts >= 228 && Ts <= 276)
    {
        am=0.0000066;
    }
    else if (Ts >= 277 && Ts <= 326)
    {
        am = 0.0000067;
    }
    else if (Ts >= 327 && Ts <= 376)
    {
        am = 0.0000068;
    }
    else if (Ts >= 377 && Ts <= 425)
    {
        am = 0.0000069;
    }
    else
    {
        am=0.0000065;
    }

    return K * (am / 0.0000065);
}
#endregion

```

Cálculo Vt.-

```

#region CalculoVt
private double Vt(double V1, double porcentaje)
{

```

```

    return V1 + V1 * porcentaje / 100;
}
#endregion
#region CalculoInclinacion
private double Inclinacion(double Vt)
{
    return Vt - Vt * t.m / 100;
}
#endregion

```

La siguiente codificación nos da como resultado las impresiones de los cálculos y las correcciones realizadas por el software:

```

#region CalculosTabla
private void TablaCalculos()
{
    listCalculos.Items.Clear();
    listCalculos.Items.Add("Calculo 1:");
    listCalculos.Items.Add("");
    listCalculos.Items.Add("C= " + t.C + " pies");
    listCalculos.Items.Add("Delta= " + t.Signo + " pies");
    listCalculos.Items.Add("");
    listCalculos.Items.Add("");

    listCalculos.Items.Add("Calculo 2:");
    listCalculos.Items.Add("");
    listCalculos.Items.Add("P= " + t.P + " pies");
    listCalculos.Items.Add("D= " + t.D + " pies");
    listCalculos.Items.Add("DI= " + t.DI + " pies");
    listCalculos.Items.Add("Vc= " + t.Vc + " gal");
    listCalculos.Items.Add("");
    listCalculos.Items.Add("");

    listCalculos.Items.Add("Calculo 3:");
    listCalculos.Items.Add("");
    listCalculos.Items.Add("Vh= " + t.Vh + " gal");
    listCalculos.Items.Add("");
    listCalculos.Items.Add("");

    listCalculos.Items.Add("Calculo 4:");
    listCalculos.Items.Add("");
    listCalculos.Items.Add("VT= " + t.VT + " gal");
    listCalculos.Items.Add("");
    listCalculos.Items.Add("");

    listCalculos.Items.Add("Calculo 5:");
    listCalculos.Items.Add("");
    listCalculos.Items.Add("U= " + t.U);
}
#endregion

```

```

listCalculos.Items.Add("");
listCalculos.Items.Add("");

listCalculos.Items.Add("Calculo 6:");
listCalculos.Items.Add("");
listCalculos.Items.Add("Ri= " + t.Ri+ " plg");
listCalculos.Items.Add("Lc= " + t.Lc + " plg");
listCalculos.Items.Add("B= " + t.B + " plg");
listCalculos.Items.Add("Alfa= " + t.Alfa + " plg");
listCalculos.Items.Add("Vy= " + t.Vy + " gal");
listCalculos.Items.Add("");
listCalculos.Items.Add("");

}
#endregion

```

En las siguientes líneas de código se realizan las tablas de calibración en el sistema de unidades americano.

```

#region TablaSA
private void TablaSA()
{
    isSI = false;
    List<double> totalAcc = new List<double>();
    double totalAuxiliar = 0;
    for (double i = 0; i < t.D * 12; i += t.IncrementoSA)
    {
        totalAcc.Add(0);
    }
    //calculo de accesorios desde y hasta
    int index = 0;
    if (Desde.Count > 0)
    {
        for (int j = 0; j < Desde.Count; j++)
        {
            for (double i = 0; i < t.D * 12; i += t.IncrementoSA)
            {
                if (i >= Desde[j] + t.IncrementoSA && i <= Hasta[j])
                {
                    totalAuxiliar = incrementoAcc[j];
                }
                else
                {
                    totalAuxiliar = 0;
                }
                totalAcc[index] += totalAuxiliar;
                index++;
            }
        }
    }
}

```

```

        index = 0;
    }
}
dgvTablaSA.Rows.Clear();
double vol = 0;
double value = t.D * 12;
double value2 = 0;
if (t.IncrementoSA < 1) value2 = value / t.IncrementoSA;
else value2 = value;
dgvTablaSA.Rows.Add((int)value2+1);
int cont = 0;
for (double y = 0; y < value2; y += t.IncrementoSA)
{
    dgvTablaSA[0, cont].Value = y;
    double vy=Vy(y);
    dgvTablaSA[1, cont].Value = vy;
    double R = y / value;
    dgvTablaSA[2, cont].Value = R;
    double K = FuncionK(R);
    dgvTablaSA[3, cont].Value = K;
    double porcentaje=Porcentaje(K);
    dgvTablaSA[4, cont].Value = porcentaje;
    vol = Vt(vy, porcentaje);
    dgvTablaSA[5, cont].Value = vol;
    dgvTablaSA[6, cont].Value = Inclinacion(vol);
    dgvTablaSA[7, cont].Value = totalAcc[cont];
    dgvTablaSA[8, cont].Value = Inclinacion(vol) + totalAcc[cont];
    if(cont<(int)value2)
        cont++;
}
dgvTablaSA[0, cont].Value = value;
dgvTablaSA[1, cont].Value = Vy(value);
dgvTablaSA[2, cont].Value = 1;
dgvTablaSA[3, cont].Value = FuncionK(1);
dgvTablaSA[4, cont].Value = Porcentaje(FuncionK(1));
vol = Vt(Vy(value), Porcentaje(FuncionK(1)));
dgvTablaSA[5, cont].Value = vol;
dgvTablaSA[6, cont].Value = Inclinacion(vol);
dgvTablaSA[7, cont].Value = totalAcc[cont];
dgvTablaSA[8, cont].Value = Inclinacion(vol) + totalAcc[cont];
}
#endregion

```

En las siguientes líneas de código se realizan las tablas de calibración en el sistema de unidades internacional.

```

# region TablaSI
private void TablaSI()

```

```

{
    isSI = true;
    t.Ri *= 2.54;
    t.Lc *= 2.54;
    t.B *= 2.54;
    t.Alfa *= 2.54;
    t.D *= 2.54;
    List<double> totalAcc = new List<double>();
    double totalAuxiliar = 0;
    for (double i = 0; i < t.D * 12; i += t.IncrementoSI)
    {
        totalAcc.Add(0);
    }
    //calculo de accesorios desde y hasta
    int index = 0;
    if (Desde2.Count > 0)
    {
        for (int j = 0; j < Desde2.Count; j++)
        {
            for (double i = 0; i < t.D * 12; i += t.IncrementoSI)
            {
                if (i >= Desde2[j] + t.IncrementoSI && i <= Hasta2[j])
                {
                    totalAuxiliar = incrementoAcc2[j];
                }
                else
                {
                    totalAuxiliar = 0;
                }
                totalAcc[index] += totalAuxiliar;
                index++;
            }
            index = 0;
        }
    }
    dgvTablaSI.Rows.Clear();
    double vol = 0;
    double value = t.D * 12;
    double value2 = 0;
    if (t.IncrementoSA < 1) value2 = value / t.IncrementoSA;
    else value2 = value;
    dgvTablaSI.Rows.Add((int)value2 + 1);
    int cont = 0;
    for (double y = 0; y < value2; y += t.IncrementoSI)
    {
        dgvTablaSI[0, cont].Value = y;
        double vy = Vy(y);
        dgvTablaSI[1, cont].Value = vy;
        double R = y / value;
        dgvTablaSI[2, cont].Value = R;
    }
}

```



```

        double K = FuncionK(R);
        dgvTablaSI[3, cont].Value = K;
        double porcentaje = Porcentaje(K);
        dgvTablaSI[4, cont].Value = porcentaje;
        vol = Vt(vy, porcentaje);
        dgvTablaSI[5, cont].Value = vol;
        dgvTablaSI[6, cont].Value = Inclination(vol);
        dgvTablaSI[7, cont].Value = totalAcc[cont];
        dgvTablaSI[8, cont].Value = Inclination(vol) + totalAcc[cont];
        if (cont < (int)value2)
            cont++;
    }
    dgvTablaSI[0, cont].Value = value;
    dgvTablaSI[1, cont].Value = Vy(value);
    dgvTablaSI[2, cont].Value = 1;
    dgvTablaSI[3, cont].Value = FuncionK(1);
    dgvTablaSI[4, cont].Value = Porcentaje(FuncionK(1));
    vol = Vt(Vy(value), Porcentaje(FuncionK(1)));
    dgvTablaSI[5, cont].Value = vol;
    dgvTablaSI[6, cont].Value = Inclination(vol);
    dgvTablaSI[7, cont].Value = totalAcc[cont];
    dgvTablaSI[8, cont].Value = Inclination(vol) + totalAcc[cont];
}
#endregion

```

La programación para el cálculo de los incrementos de los accesorios y la elaboración de la lista para el ingreso de los accesorios se presenta de la siguiente manera:

```

private void button6_Click(object sender, EventArgs e)
{
    incrementoAcc = new List<double>();
    incrementoAcc2 = new List<double>();
    Desde = new List<double>();
    Hasta = new List<double>();
    Volumen = new List<double>();
    Desde2 = new List<double>();
    Hasta2 = new List<double>();
    Volumen2 = new List<double>();
    resta.Clear();
    resta2.Clear();
    try
    {
        double desde, hasta, volumen, incremento;
        for (int i = 0; i < dgvAcc.Rows.Count; i++)
        {
            desde = (int)(Convert.ToDouble(dgvAcc[0, i].Value));
            hasta = Convert.ToDouble(dgvAcc [1, i].Value);

```

```

volumen = Convert.ToDouble(dgvAcc[2, i].Value);
if (t.Sistemamedida == 1)
{
    Desde.Add(desde);
    Hasta.Add(Math.Round(hasta, 0));
    Volumen.Add(volumen);
    Desde2.Add((desde * 2.54));
    Hasta2.Add((Math.Round(hasta, 0) * 2.54));
    Volumen2.Add(volumen);
}

else
{
    Desde.Add((desde / 2.54) );
    Hasta.Add((Math.Round(hasta, 0) / 2.54));
    Volumen.Add(volumen);
    Desde2.Add(desde);
    Hasta2.Add(Math.Round(hasta, 0) );
    Volumen2.Add(volumen);
}
incremento = Volumen[i] * t.IncrementoSA / (Hasta[i] - Desde[i]);
incrementoAcc.Add(incremento);
incremento = Volumen2[i] * t.IncrementoSI / (Hasta2[i] -
Desde2[i]);
incrementoAcc2.Add(incremento);

if (Desde[i] < 0)
{
    resta.Add(((Desde[i] * -1) / t.IncrementoSA) * incrementoAcc[i]);
}
if (Desde2[i] < 0)
{
    resta2.Add(((Desde2[i] * -1) / t.IncrementoSI) *
incrementoAcc2[i]);
}
}

MessageBox.Show("Ingreso de Datos almacenados", "Ingreso
Volumen Muerto");
}
catch (Exception ex)
{
    MessageBox.Show(ex.Message);
}
}
}

```

5.6.4 TANQUES ESFÉRICOS

Los cálculos y correcciones que se indican en la norma API 2552 y que se realizaron en la memoria de cálculo de Mathcad14 se codificaron siguiendo el orden de numeración de las mismas:

```
namespace TesisMecanica
{
    public partial class TanquesEsfericos : Form
    {
        TanqueE t = new TanqueE();
        bool isSI = false;
        public TanquesEsfericos()
        {
            InitializeComponent();
        }
        private void button2_Click(object sender, EventArgs e)
        {
            Calculos();
            TablaSA();
            TablaSI();
        }
        #region Calculos
        private void Calculos()
        {
            listCalculos.Items.Clear();
```

Cálculo 1.-

```
t.Co = Math.Sqrt( Math.Pow(t.C1,2)+Math.Pow(((2*Math.PI*t.H)/12),2) );
listCalculos.Items.Add("Calculo 1: ");
listCalculos.Items.Add("");
listCalculos.Items.Add("Co= "+t.Co.ToString()+" pies");
listCalculos.Items.Add("");
listCalculos.Items.Add("");
```

Cálculo 2.-

```
t.C1i = t.Co - (t.e1 * Math.PI / 6);
t.C2i = t.C2 - (t.e2 * Math.PI / 6);
t.C3i = t.C3 - (t.e3 * Math.PI / 6);
listCalculos.Items.Add("Calculo 2: ");
listCalculos.Items.Add("C1i= " + t.C1i.ToString() + " pies");
listCalculos.Items.Add("C2i= " + t.C2i.ToString() + " pies");
listCalculos.Items.Add("C3i= " + t.C3i.ToString() + " pies");
```

```
listCalculos.Items.Add("");
listCalculos.Items.Add("");
```

Cálculo 3.-

```
t.D = Math.Sqrt(Math.Pow(t.Dm, 2) + 4 * (Math.Pow(t.ma / 12, 2)));
listCalculos.Items.Add("Calculo 3: ");
listCalculos.Items.Add("D= " + t.D.ToString() + " pies");
listCalculos.Items.Add("");
listCalculos.Items.Add("");
```

Cálculo 4.-

```
t.VT = ((t.C1i * t.C2i * t.C3i) / (6 * Math.Pow(Math.PI, 2))) * t.FC;
listCalculos.Items.Add("Calculo 4: ");
listCalculos.Items.Add("VT= " + t.VT.ToString() + " gal");
listCalculos.Items.Add("");
listCalculos.Items.Add("");
```

Cálculo 5.-

```
t.Ri = t.D / 2;
t.y = 2 * t.Ri;
t.VT1 = Math.PI * (t.Ri * Math.Pow(t.y, 2) - (Math.Pow(t.y, 3) / 3)) * t.FC;
t.U = t.VT / t.VT1;
listCalculos.Items.Add("Calculo 5: ");
listCalculos.Items.Add("y= " + t.y.ToString() + " pies");
listCalculos.Items.Add("VT1= " + t.VT1.ToString() + " gal");
listCalculos.Items.Add("U= " + t.U.ToString());
listCalculos.Items.Add("");
listCalculos.Items.Add("");
```

Cálculo 6.-

```
t.Ri *= 12;
t.y = 2 * t.Ri;
double vy = Math.PI * (t.Ri * Math.Pow(t.y, 2) - (Math.Pow(t.y, 3) / 3)) *
t.U * t.FC;
listCalculos.Items.Add("Calculo 6: ");
listCalculos.Items.Add("Vy= " + vy.ToString() + " gal");
listCalculos.Items.Add("");
listCalculos.Items.Add("");
}
#endregion
```

En las siguientes líneas de código se realizan las tablas de calibración en el sistema de unidades americano.

```
#region TablaSa
private void TablaSA()
{
    isSI = false;
    dgvTablaSA.Rows.Clear();
    double vol = 0;
    double value = t.D * 12;
    double value2 = 0;
    if (t.IncrementoSA < 1) value2 = value / t.IncrementoSA;
    else value2 = value;
    dgvTablaSA.Rows.Add((int)(value2)+1);
    int cont = 0;
    for (double y = 0; y < value2; y += t.IncrementoSA)
    {
        dgvTablaSA[0, cont].Value = y;
        double vy = Vy(y);
        dgvTablaSA[1, cont].Value = vy;
        double R = y / value;
        dgvTablaSA[2, cont].Value = R;
        double K = FuncionK(R);
        dgvTablaSA[3, cont].Value = K;
        double porcentaje = Porcentaje(K);
        dgvTablaSA[4, cont].Value = porcentaje;
        vol = Vt(vy, porcentaje);
        dgvTablaSA[5, cont].Value = vol;
        if (cont < (int)value2)
            cont++;
    }
    dgvTablaSA[0, cont].Value = value;
    dgvTablaSA[1, cont].Value = Vy(value);
    dgvTablaSA[2, cont].Value = 1;
    dgvTablaSA[3, cont].Value = FuncionK(1);
    dgvTablaSA[4, cont].Value = Porcentaje(FuncionK(1));
    vol = Vt(Vy(value), Porcentaje(FuncionK(1)));
    dgvTablaSA[5, cont].Value = vol;
}
#endregion
```

En las siguientes líneas de código se realizan las tablas de calibración en el sistema de unidades internacional.

```
# region TablaSI
private void TablaSI()
{
```

```

t.Ri *= 2.54;
isSI = true;
dgvTablaSI.Rows.Clear();
double vol = 0;
double value = t.D * 12 * 2.54;
double value2 = 0;
if (t.IncrementoSA < 1) value2 = value / t.IncrementoSI;
else value2 = value;
dgvTablaSI.Rows.Add((int)(value2) + 1);
int cont = 0;
for (double y = 0; y < value2; y += t.IncrementoSI)
{
    dgvTablaSI[0, cont].Value = y;
    double vy = Vy(y);
    dgvTablaSI[1, cont].Value = vy;
    double R = y / value;
    dgvTablaSI[2, cont].Value = R;
    double K = FuncionK(R);
    dgvTablaSI[3, cont].Value = K;
    double porcentaje = Porcentaje(K);
    dgvTablaSI[4, cont].Value = porcentaje;
    vol = Vt(vy, porcentaje);
    dgvTablaSI[5, cont].Value = vol;
    if (cont < (int)value2)
        cont++;
}
dgvTablaSI[0, cont].Value = value;
dgvTablaSI[1, cont].Value = Vy(value);
dgvTablaSI[2, cont].Value = 1;
dgvTablaSI[3, cont].Value = FuncionK(1);
dgvTablaSI[4, cont].Value = Porcentaje(FuncionK(1));
vol = Vt(Vy(value), Porcentaje(FuncionK(1)));
dgvTablaSI[5, cont].Value = vol;
}
#endregion

private double Vy(double value)
{
    double factor = 0;
    if (isSI == false) factor = t.FG;
    else factor = t.FH;
    return Math.PI*(t.Ri * Math.Pow(value, 2) - (Math.Pow(value, 3) /
3))*t.U*factor;
}
private double Vt(double V1, double porcentaje)
{
    return V1 + V1 * porcentaje / 100;
}
private double FuncionK(double R)

```

```

    {
        return 0.00186 * Math.Pow(R, 4) - 0.00226 * Math.Pow(R, 3) + 0.00144
* Math.Pow(R, 2) + 0.00025 * R + 0.00065;
    }
private double Porcentaje(double K)
{
    double Ts = ((7 * t.Tl + t.Ta)) / 8;
    double am = 0;
    if (Ts >= -70 && Ts <= -21)
    {
        am = 0.0000060;
    }
    else if (Ts >= -20 && Ts <= 28)
    {
        am = 0.0000061;
    }
    else if (Ts >= 29 && Ts <= 78)
    {
        am = 0.0000062;
    }
    else if (Ts >= 79 && Ts <= 128)
    {
        am = 0.0000063;
    }
    else if (Ts >= 129 && Ts <= 177)
    {
        am = 0.0000064;
    }
    else if (Ts >= 178 && Ts <= 227)
    {
        am = 0.0000065;
    }
    else if (Ts >= 228 && Ts <= 276)
    {
        am = 0.0000066;
    }
    else if (Ts >= 277 && Ts <= 326)
    {
        am = 0.0000067;
    }
    else if (Ts >= 327 && Ts <= 376)
    {
        am = 0.0000068;
    }
    else if (Ts >= 377 && Ts <= 425)
    {
        am = 0.0000069;
    }
    else
    {

```

```

        am = 0.0000065;
    }
    return K * (am / 0.0000065);
}
private void TanquesEsfericos_Load(object sender, EventArgs e)
{
    if (t.SistemaMedida == 0)//SI
    {
        lblUnidadH.Text = "mm";
        lblUnidadDm.Text = "mm";
        lblUnidadma.Text = "mm";
        lblUnidadC1.Text = "mm";
        lblUnidadC2.Text = "mm";
        lblUnidadC3.Text = "mm";
        lblUnidade1.Text = "mm";
        lblUnidade2.Text = "mm";
        lblUnidade3.Text = "mm";
    }
    else//SA
    {
        lblUnidadH.Text = "plg";
        lblUnidadDm.Text = "pies";
        lblUnidadma.Text = "plg";
        lblUnidadC1.Text = "pies";
        lblUnidadC2.Text = "pies";
        lblUnidadC3.Text = "pies";
        lblUnidade1.Text = "plg";
        lblUnidade2.Text = "plg";
        lblUnidade3.Text = "plg";
    }
}
private void button1_Click(object sender, EventArgs e)
{
    try
    {
        if (t.SistemaMedida == 0)//SI
        {
            t.H = Convert.ToDouble(txtH.Text) * 0.0393700787;
            t.Dm = Convert.ToDouble(txtDm.Text) * 0.0032808399;
            t.ma = Convert.ToDouble(txtma.Text) * 0.0393700787;

            t.C1 = Convert.ToDouble(txtC1.Text) * 0.0032808399;
            t.C2 = Convert.ToDouble(txtC2.Text) * 0.0032808399;
            t.C3 = Convert.ToDouble(txtC3.Text) * 0.0032808399;

            t.e1 = Convert.ToDouble(txte1.Text) * 0.0393700787;
            t.e2 = Convert.ToDouble(txte2.Text) * 0.0393700787;
            t.e3 = Convert.ToDouble(txte3.Text) * 0.0393700787;
        }
        else//SA
    }
}

```



```

    {
        t.H = Convert.ToDouble(txtH.Text);
        t.Dm = Convert.ToDouble(txtDm.Text);
        t.ma = Convert.ToDouble(txtma.Text);
        t.TI = Convert.ToDouble(txtTI.Text);
        t.Ta = Convert.ToDouble(txtTa.Text);

        t.C1 = Convert.ToDouble(txtC1.Text);
        t.C2 = Convert.ToDouble(txtC2.Text);
        t.C3 = Convert.ToDouble(txtC3.Text);
        t.e1 = Convert.ToDouble(txte1.Text);
        t.e2 = Convert.ToDouble(txte2.Text);
        t.e3 = Convert.ToDouble(txte3.Text);
    }
    t.TI = Convert.ToDouble(txtTI.Text);
    t.Ta = Convert.ToDouble(txtTa.Text);
    t.IncrementoSA = Convert.ToDouble(txtIncrementoSa.Text);
    t.IncrementoSI = Convert.ToDouble(txtIncrementoSI.Text);
    if (t.IncrementoSA == 0 || t.IncrementoSI == 0)
    {
        MessageBox.Show("El incremento debe ser Diferente de 0 se le
asigno a 1");
        txtIncrementoSa.Text = "1";
        txtIncrementoSI.Text = "1";
        t.IncrementoSA = 1;
        t.IncrementoSI = 1;
    }
    else
    {
        MessageBox.Show("Datos Ingresados Satisfactoriamente");
    }
}
catch(Exception ex)
{
    MessageBox.Show(ex.Message);
}
}
private void linkLabel1_LinkClicked(object sender,
LinkLabelLinkClickedEventArgs e)
{
    ImagenesE imagenes = new ImagenesE();
    imagenes.Show();
}
private void tabPage1_Click(object sender, EventArgs e)
{
}
}
}

```

CAPÍTULO 6

EVALUACIÓN DEL SOFTWARE

6.1. EVALUACIÓN DE RESULTADOS PARA TANQUES VERTICALES

Para la evaluación y validación del software se comparo los resultados obtenidos del programa de calibración con los resultados obtenidos por las memorias de cálculo realizadas en MathCad 14 y hojas de cálculo de Excel.

Los datos del tanque vertical, memorias de cálculo y hojas de Excel utilizadas para la calibración volumétrica se los puede observar en los anexos 1 y 3 respectivamente.

6.1.1. CORRECCIONES PROCEDIMIENTO API MPMS 2-A

En la tabla 6.1 se puede observar la comparación de las correcciones obtenidas entre las memorias de cálculo realizadas en Mathcad14 y el software de calibración, mediante el cálculo del porcentaje de error entre ambos resultados, tomando en cuenta como valor teórico los resultados obtenidos por la memoria de cálculo.

Tabla 6.1. Comparación Correcciones – T. Verticales

	Variable	Unidad	Memoria de Cálculo	Software de Calibración	Error (%)
Cálculo 1	<i>X</i>	<i>(pie)</i>	421.543112	421.543112	0.00
Cálculo 2	<i>c60</i>	<i>(pie)</i>	0.037981	0.037981	0.00
Cálculo 3	<i>cc1</i>	<i>(pie)</i>	0.003947	0.003947	0.00
	<i>cc2</i>	<i>(pie)</i>	0.003947	0.003947	0.00
	<i>cc3</i>	<i>(pie)</i>	0.003947	0.003947	0.00
	<i>cc4</i>	<i>(pie)</i>	0.003947	0.003947	0.00
	<i>cc5</i>	<i>(pie)</i>	0.003947	0.003947	0.00
	<i>cc6</i>	<i>(pie)</i>	0.003947	0.003947	0.00

Tabla 6.1. Comparación Correcciones – T. Verticales (continuación)

	Variable	Unidad	Memoria de Cálculo	Software de Calibración	Error (%)
Cálculo 4	<i>cv1a</i>	(pie)	0.207133	0.207133	0.00
	<i>cv1b</i>	(pie)	0.175513	0.175513	0.00
	<i>cv2a</i>	(pie)	0.355896	0.355896	0.00
	<i>cv2b</i>	(pie)	0.277694	0.277694	0.00
	<i>cv3a</i>	(pie)	0.130408	0.130408	0.00
	<i>cv3b</i>	(pie)	0.085207	0.085207	0.00
	<i>cv4a</i>	(pie)	0.073545	0.073545	0.00
	<i>cv4b</i>	(pie)	0.013570	0.013570	0.00
	<i>cv5a</i>	(pie)	0.000000	0.000000	0.00
	<i>cv5b</i>	(pie)	0.000000	0.000000	0.00
	<i>cv6a</i>	(pie)	0.000000	0.000000	0.00
	<i>cv6b</i>	(pie)	0.000000	0.000000	0.00
Cálculo 5	<i>ct1</i>	(pie)	0.336113	0.336113	0.00
	<i>ct2</i>	(pie)	0.145123	0.145123	0.00
	<i>ct3</i>	(pie)	0.250977	0.250977	0.00
	<i>ct4</i>	(pie)	0.188104	0.188104	0.00
	<i>ct5</i>	(pie)	0.183157	0.183157	0.00
	<i>ct6</i>	(pie)	0.173159	0.173159	0.00
Cálculo 6	<i>Cc1a</i>	(pie)	420.884642	420.884642	0.00
	<i>Cc1b</i>	(pie)	420.978598	420.978598	0.00
	<i>Cc2a</i>	(pie)	420.943273	420.943273	0.00
	<i>Cc2b</i>	(pie)	421.001790	421.001790	0.00
	<i>Cc3a</i>	(pie)	420.994009	420.994009	0.00
	<i>Cc3b</i>	(pie)	421.009683	421.009683	0.00
	<i>Cc4a</i>	(pie)	420.956265	420.956265	0.00
	<i>Cc4b</i>	(pie)	420.960466	420.960466	0.00
	<i>Cc5a</i>	(pie)	421.402212	421.402212	0.00
	<i>Cc5b</i>	(pie)	420.982264	420.982264	0.00
	<i>Cc6a</i>	(pie)	420.969296	420.969296	0.00
	<i>Cc6b</i>	(pie)	420.966015	420.966015	0.00
Cálculo 7	<i>SG</i>	(----	0.911727	0.911727	0.00
	<i>cs1a</i>	(pie)	0.038402	0.038402	0.00
	<i>cs1b</i>	(pie)	0.009605	0.009605	0.00
	<i>cs2a</i>	(pie)	0.094806	0.094806	0.00
	<i>cs2b</i>	(pie)	0.023708	0.023708	0.00
	<i>cs3a</i>	(pie)	0.054833	0.054833	0.00
	<i>cs3b</i>	(pie)	0.013709	0.013709	0.00
	<i>cs4a</i>	(pie)	0.072812	0.072812	0.00
	<i>cs4b</i>	(pie)	0.018203	0.018203	0.00
	<i>cs5a</i>	(pie)	0.074626	0.074626	0.00

Tabla 6.1. Comparación Correcciones – T. Verticales (continuación)

	Variable	Unidad	Memoria de Cálculo	Software de Calibración	Error (%)
Cálculo 7	<i>cs5b</i>	<i>(pie)</i>	0.018619	0.018619	0.00
	<i>cs6a</i>	<i>(pie)</i>	0.079101	0.079101	0.00
	<i>cs6b</i>	<i>(pie)</i>	0.019775	0.019775	0.00
Cálculo 8	<i>Ce1</i>	<i>(pie)</i>	420.955623	420.955623	0.00
	<i>Ce2</i>	<i>(pie)</i>	421.031788	421.031788	0.00
	<i>Ce3</i>	<i>(pie)</i>	421.036117	421.036117	0.00
	<i>Ce4</i>	<i>(pie)</i>	421.003873	421.003873	0.00
	<i>Ce5</i>	<i>(pie)</i>	421.238860	421.238860	0.00
	<i>Ce6</i>	<i>(pie)</i>	421.017094	421.017094	0.00
Cálculo 9	<i>r1</i>	<i>(plg)</i>	803.966019	803.966019	0.00
	<i>v1</i>	<i>(bbl/plg)</i>	209.297474	209.297474	0.00
	<i>r2</i>	<i>(plg)</i>	804.111484	804.111484	0.00
	<i>v2</i>	<i>(bbl/plg)</i>	209.373219	209.373219	0.00
	<i>r3</i>	<i>(plg)</i>	804.119751	804.119751	0.00
	<i>v3</i>	<i>(bbl/plg)</i>	209.377525	209.377525	0.00
	<i>r4</i>	<i>(plg)</i>	804.058170	804.058170	0.00
	<i>v4</i>	<i>(bbl/plg)</i>	209.345457	209.345457	0.00
	<i>r5</i>	<i>(plg)</i>	804.506962	804.506962	0.00
	<i>v5</i>	<i>(bbl/plg)</i>	209.579218	209.579218	0.00
	<i>r6</i>	<i>(plg)</i>	804.083419	804.083419	0.00
	<i>v6</i>	<i>(bbl/plg)</i>	209.358605	209.358605	0.00
Cálculo 10	$\Delta v1$	<i>(bbl/plg)</i>	0.047780	0.047780	0.00
	$\Delta v2$	<i>(bbl/plg)</i>	0.117927	0.117927	0.00
	$\Delta v3$	<i>(bbl/plg)</i>	0.068189	0.068189	0.00
	$\Delta v4$	<i>(bbl/plg)</i>	0.090563	0.090563	0.00
	$\Delta v5$	<i>(bbl/plg)</i>	0.092623	0.092623	0.00
	$\Delta v6$	<i>(bbl/plg)</i>	0.098380	0.098380	0.00
Cálculo 11	$\Delta V1$	<i>(bbl/plg)</i>	0.000000	0.000000	0.00
	$\Delta V2$	<i>(bbl/plg)</i>	0.047780	0.047780	0.00
	$\Delta V3$	<i>(bbl/plg)</i>	0.165707	0.165707	0.00
	$\Delta V4$	<i>(bbl/plg)</i>	0.233896	0.233896	0.00
	$\Delta V5$	<i>(bbl/plg)</i>	0.324460	0.324460	0.00
	$\Delta V6$	<i>(bbl/plg)</i>	0.417082	0.417082	0.00
Cálculo 12	<i>V1</i>	<i>(bbl/plg)</i>	209.297474	209.297474	0.00
	<i>V2</i>	<i>(bbl/plg)</i>	209.421000	209.421000	0.00
	<i>V3</i>	<i>(bbl/plg)</i>	209.543232	209.543232	0.00
	<i>V4</i>	<i>(bbl/plg)</i>	209.579353	209.579353	0.00
	<i>V5</i>	<i>(bbl/plg)</i>	209.903678	209.903678	0.00
	<i>V6</i>	<i>(bbl/plg)</i>	209.775687	209.775687	0.00

Tabla 6.1. Comparación Correcciones – T. Verticales (continuación)

	Variable	Unidad	Memoria de Cálculo	Software de Calibración	Error (%)
Cálculo 13	<i>TS</i>	(°F)	87.62500	87.62500	0.00
	<i>Kt</i>	(----)	1.000346	1.000346	0.00
	<i>V1c</i>	(bbl/plg)	209.369808	209.369808	0.00
	<i>V2c</i>	(bbl/plg)	209.493376	209.493376	0.00
	<i>V3c</i>	(bbl/plg)	209.615651	209.615651	0.00
	<i>V4c</i>	(bbl/plg)	209.651785	209.651785	0.00
	<i>V5c</i>	(bbl/plg)	209.976221	209.976221	0.00
	<i>V6c</i>	(bbl/plg)	209.848186	209.848186	0.00

Elaboración: Alberto Núñez, Santiago Hidalgo

6.1.2. VOLUMEN MUERTO

En los tanques verticales el volumen muerto se considera como aquel que pueda afectar el volumen total del tanque. Para la comparación de los resultados del volumen muerto podemos dividir en tres categorías: comparación de volumen muerto de accesorios internos o externos, comparación de volumen muerto por el tipo de fondo y comparación de volumen muerto por techo flotante.

En la tabla 6.2 y 6.3 se comparan los resultados obtenidos del volumen muerto de accesorios. La tabla del volumen muerto por accesorios es muy extensa por lo cual se ha tomado arbitrariamente secciones de la tabla a fin de observar el comportamiento de los resultados y validarlos.

Tabla 6.2. Comparación Accesorios S.I. – T. Verticales

INCREMENTO	HOJAS EXCEL	SOFTWARE	ERROR
	ACCESORIOS	ACCESORIOS	
(cm)	(m3)	(m3)	(%)
0	0.014030	0.014136	-0.7566
1	0.001047	0.001055	-0.7566
2	0.001047	0.001055	-0.7566
3	0.001047	0.001055	-0.7566
4	0.001047	0.001055	-0.7566

Tabla 6.2. Comparación Accesorios S.I. – T. Verticales
(continuación)

INCREMENTO	HOJAS EXCEL ACCESORIOS	SOFTWARE ACCESORIOS	ERROR
(cm)	(m3)	(m3)	(%)
5	0.001047	0.001055	-0.7566
181	-0.003210	-0.003191	0.5846
182	-0.003210	-0.003191	0.5846
183	-0.003210	-0.003191	0.5846
184	-0.003210	-0.003191	0.5846
185	-0.003210	-0.003191	0.5846
186	-0.003210	-0.003191	0.5846
187	-0.003210	-0.003191	0.5846
188	-0.003210	-0.003191	0.5846
189	-0.003210	-0.003191	0.5846
190	-0.003210	-0.003191	0.5846
191	-0.003210	-0.003191	0.5846
192	-0.003210	-0.003191	0.5846
193	-0.003210	-0.003191	0.5846
445	-0.000234	-0.000235	-0.0875
446	-0.000234	-0.000235	-0.0875
447	-0.000234	-0.000235	-0.0875
448	-0.000234	-0.000235	-0.0875
449	-0.000234	-0.000235	-0.0875
890	-0.000234	-0.000235	-0.0875
891	-0.000234	-0.000235	-0.0875
892	-0.000234	-0.000235	-0.0875
893	-0.000234	-0.000235	-0.0875
894	-0.000234	-0.000235	-0.0875
1282	-0.000234	-0.000235	-0.0875
1283	-0.000234	-0.000235	-0.0875
1284	-0.000234	-0.000235	-0.0875
1285	-0.000234	-0.000235	-0.0875
1286	-0.000234	-0.000235	-0.0875
1287	-0.000234	-0.000235	-0.0875

Elaboración: Alberto Núñez, Santiago Hidalgo

Tabla 6.3. Comparación Accesorios S.A. – T. Verticales

INCREMENTO	HOJAS EXCEL	SOFTWARE	ERROR
	ACCESORIOS	ACCESORIOS	
(plg)	(bbl)	(bbl)	(%)
0	0.088154	0.088916	-0.8635
1	0.016728	0.016854	-0.7566
2	0.016728	0.016854	-0.7566
3	0.016728	0.016854	-0.7566
4	0.016728	0.016854	-0.7566
72	-0.051275	-0.050976	0.5846
73	-0.051275	-0.050976	0.5846
74	-0.051275	-0.050976	0.5846
75	-0.051275	-0.050976	0.5846
76	-0.051275	-0.050976	0.5846
77	-0.051275	-0.050976	0.5846
180	-0.003745	-0.003748	-0.0875
181	-0.003745	-0.003748	-0.0875
182	-0.003745	-0.003748	-0.0875
183	-0.003745	-0.003748	-0.0875
274	-0.003745	-0.003748	-0.0875
275	-0.003745	-0.003748	-0.0875
276	-0.003745	-0.003748	-0.0875
277	-0.003745	-0.003748	-0.0875
325	-0.003745	-0.003748	-0.0875
326	-0.003745	-0.003748	-0.0875
327	-0.003745	-0.003748	-0.0875
328	-0.003745	-0.003748	-0.0875
400	-0.003745	-0.003748	-0.0875
401	-0.003745	-0.003748	-0.0875
402	-0.003745	-0.003748	-0.0875
403	-0.003745	-0.003748	-0.0875
404	-0.003745	-0.003748	-0.0875
500	-0.003745	-0.003748	-0.0875
501	-0.003745	-0.003748	-0.0875
502	-0.003745	-0.003748	-0.0875
503	-0.003745	-0.003748	-0.0875
504	-0.003745	-0.003748	-0.0875
505	-0.003745	-0.003748	-0.0875
506	-0.003745	-0.003748	-0.0875

Elaboración: Alberto Núñez, Santiago Hidalgo

El tipo de fondo utilizado en el ejemplo es de tipo cónico hacia arriba (ver anexo 1) por lo que la comparación del volumen muerto por el tipo de fondo se debe realizar de en 2 partes: el volumen del fondo bajo la platina de aforo y sobre la platina de aforo (ver tablas 6.4 y 6.5).

Tabla 6.4. Comparación V. Fondo - S.I.

INCREMENTO	HOJAS EXCEL	SOFTWARE	ERROR
	V. FONDO	V. FONDO	
(cm)	(m3)	(m3)	(%)
0	98.243487	98.223540	0.020304
1	12.422223	12.422337	-0.000913
2	12.713318	12.713364	-0.000360
3	12.923555	12.923550	0.000034
4	13.052876	13.052896	-0.000152

Elaboración: Alberto Núñez, Santiago Hidalgo

Tabla 6.5. Comparación V. Fondo - S.A.

INCREMENTO	HOJAS EXCEL	SOFTWARE	ERROR
	V. FONDO	V. FONDO	
(plg)	(bbl)	(bbl)	(%)
0	617.932944	617.807481	0.020304
1	202.038319	201.861834	0.087352
2	208.451369	208.627854	-0.084665

Elaboración: Alberto Núñez, Santiago Hidalgo

En las tablas 6.6 y 6.7 se comparan los valores obtenidos del volumen muerto por el techo flotante, entre los resultados de la hoja de Excel con los del software de calibración. El techo flotante influye en el volumen del tanque entre la altura crítica inferior y la altura crítica superior.

Tabla 6.6. Comparación V. Techo - S.I.

INCREMENTO	HOJAS EXCEL	SOFTWARE	ERROR
	V. TECHO	V. TECHO	
(cm)	(m3)	(m3)	(%)
181	-13.471011	-13.470592	0.0031
182	-13.471011	-13.470592	0.0031
183	-13.471011	-13.470592	0.0031

Tabla 6.6. Comparación V. Techo - S.I. (continuación)

INCREMENTO	HOJAS EXCEL	SOFTWARE	ERROR
	ACCESORIOS	ACCESORIOS	
(cm)	(m3)	(m3)	(%)
184	-13.471011	-13.470592	0.0031
185	-13.471011	-13.470592	0.0031
186	-13.471011	-13.470592	0.0031
187	-13.471011	-13.470592	0.0031
188	-13.471011	-13.470592	0.0031
189	-13.471011	-13.470592	0.0031
190	-13.471011	-13.470592	0.0031
191	-13.471011	-13.470592	0.0031
192	-13.471011	-13.470592	0.0031

Elaboración: Alberto Núñez, Santiago Hidalgo

Tabla 6.7. Comparación V. Techo - S.A.

INCREMENTO	HOJAS EXCEL	SOFTWARE	ERROR
	V. TECHO	V. TECHO	
(plg)	(bbl)	(bbl)	(%)
72	-203.352262	-203.345943	0.0031
73	-203.352262	-203.345943	0.0031
74	-203.352262	-203.345943	0.0031
75	-203.352262	-203.345943	0.0031
76	-203.352262	-203.345943	0.0031

Elaboración: Alberto Núñez, Santiago Hidalgo

6.1.3. TABLA DE CALIBRACIÓN

En las tablas 6.8 y 6.9 se presentan los resultados obtenidos mediante las hojas de Excel, el software de calibración y el porcentaje de error entre estos valores para el sistema de medida internacional y americano respectivamente.

La tabla de calibración es muy extensa por lo cual se ha tomado arbitrariamente secciones de la tabla a fin de observar el comportamiento de los resultados y validarlos.

Tabla 6.8 Comparación Volumen Total S.I. – T. Verticales

INCREMENTO	HOJAS EXCEL	SOFTWARE	ERROR
	VOLUMEN TOTAL	VOLUMEN TOTAL	
(cm)	(m3)	(m3)	(%)
0	98.25752	98.22460	0.03351
1	110.68086	110.64806	0.02964
2	123.39529	123.36255	0.02654
3	136.31997	136.28722	0.02402
4	149.37396	149.34125	0.02190
5	162.47734	162.44755	0.01834
181	2456.08059	2456.05476	0.00105
182	2455.71162	2455.68622	0.00103
183	2455.34265	2455.31768	0.00102
184	2454.97367	2454.94915	0.00100
185	2454.60470	2454.58061	0.00098
186	2454.23572	2454.21207	0.00096
187	2453.86675	2453.84354	0.00095
188	2453.49777	2453.47500	0.00093
189	2453.12880	2453.10646	0.00091
190	2452.75983	2452.73792	0.00089
191	2452.39085	2452.36939	0.00088
192	2452.02188	2452.00085	0.00086
193	2465.12391	2465.10291	0.00085
445	5769.36777	5769.34866	0.00033
446	5782.48817	5782.46906	0.00033
447	5795.60857	5795.58946	0.00033
448	5808.72897	5808.70986	0.00033
449	5821.84937	5821.83026	0.00033
890	11609.20388	11609.18465	0.00017
891	11622.34685	11622.32762	0.00017
892	11635.48982	11635.47059	0.00017
893	11648.63279	11648.61356	0.00017
894	11661.77576	11661.75653	0.00016
1282	16759.55686	16759.53754	0.00012
1283	16772.69181	16772.67249	0.00012
1284	16785.82677	16785.80745	0.00012
1285	16798.96172	16798.94240	0.00012
1286	16812.09668	16812.07736	0.00011
1287	16825.23163	16825.21254	0.00011

Elaboración: Alberto Núñez, Santiago Hidalgo

Tabla 6.9 Comparación Volumen Total S.A. – T. Verticales

INCREMENTO	HOJAS EXCEL	SOFTWARE	ERROR
	VOLUMEN TOTAL	VOLUMEN TOTAL	
(plg)	(bbi)	(bbi)	(%)
0	618.02110	617.82434	0.03184
1	820.07727	819.70415	0.04550
2	1028.54653	1029.09198	-0.05303
3	1237.93423	1238.47981	-0.04407
72	15484.66735	15485.13840	-0.00304
73	15490.63478	15491.11246	-0.00308
74	15496.60222	15497.08652	-0.00313
75	15502.56966	15503.06057	-0.00317
76	15508.53710	15509.03463	-0.00321
77	15717.85680	15718.35463	-0.00317
180	37295.16510	37295.68922	-0.00141
181	37504.77817	37505.30230	-0.00140
182	37714.39125	37714.91537	-0.00139
183	37924.00432	37924.52844	-0.00138
274	56999.58906	57000.11284	-0.00092
275	57209.23827	57209.76205	-0.00092
276	57418.88748	57419.41125	-0.00091
277	57628.53669	57629.06046	-0.00091
325	67691.69871	67692.22230	-0.00077
326	67901.34792	67901.87150	-0.00077
327	68110.99713	68111.52071	-0.00077
328	68320.64634	68321.16991	-0.00077
400	83435.82896	83436.35227	-0.00063
401	83645.80260	83646.32592	-0.00063
402	83855.77625	83856.29956	-0.00062
403	84065.74990	84066.27320	-0.00062
503	105052.74366	105053.26664	-0.00050
504	105262.58928	105263.11225	-0.00050
505	105472.43489	105472.95786	-0.00050
506	105682.28050	105682.80346	-0.00049

Elaboración: Alberto Núñez, Santiago Hidalgo

Una vez comparado los resultados de las correcciones y las tablas de calibración para los tanques verticales proporcionados por el software de calibración se observó que el mayor porcentaje de error es del 0.86 % por lo que se concluye que el software es muy fiable.

6.2. EVALUACIÓN DE RESULTADOS PARA TANQUES HORIZONTALES

Para realizar la evaluación del software se procede a realizar una comparación de los diferentes parámetros entre las memorias de cálculo y los valores proporcionados por el software de calibración.

Los datos del tanque horizontal, las memorias de cálculo y las hojas de Excel utilizadas para la calibración volumétrica se encuentran en el anexo1 y anexo 4 respectivamente.

6.2.1. CORRECCIONES PROCEDIMIENTO API 2551

En la tabla 6.10 se puede observar la comparación de las correcciones obtenidas mediante las memorias de cálculo, el software de calibración y el porcentaje de error entre estos resultados.

Tabla 6.10 Comparación Correcciones – T. Horizontales

	Variable	Unidad	Memoria de Cálculo	Software de calibración	Error (%)
Cálculo 1	<i>C</i>	<i>(pie)</i>	31.53124	31.53124	0.00
	<i>Delta</i>	<i>(pie)</i>	0.01429	0.01429	0.00
Cálculo 2	<i>P</i>	<i>(pie)</i>	31.53780	31.53780	0.00
	<i>D</i>	<i>(pie)</i>	9.98630	9.98630	0.00
	<i>DI</i>	<i>(pie)</i>	9.93716	9.93716	0.00
	<i>Vc</i>	<i>(gal)</i>	13332.70000	13332.70000	0.00
Cálculo 3	<i>Vh</i>	<i>(gal)</i>	868.69166	868.69166	0.00
Cálculo 4	<i>VT</i>	<i>(gal)</i>	14201.40000	14201.40000	0.00
Cálculo 5	<i>U</i>	-	0.99824	0.99824	0.00
Cálculo 6	<i>Ri</i>	<i>(plg)</i>	59.91779	59.91779	0.00
	<i>Lc</i>	<i>(plg)</i>	213.03150	213.03150	0.00
	<i>B</i>	<i>(plg)</i>	30.31496	30.31496	0.00
	<i>Alfa</i>	<i>(plg)</i>	0.29483	0.29483	0.00
	<i>Vy</i>	<i>(gal)</i>	14201.37320	14201.37320	0.00

Elaboración: Alberto Núñez, Santiago Hidalgo

6.2.2. VOLUMEN MUERTO

En los tanques horizontales el volumen muerto se considera como aquel que pueda afectar el volumen total del tanque. Esto se da principalmente por los accesorios internos o externos que pueda presentar en el tanque.

En la tabla 6.11 y 6.12 se comparan los incrementos de volumen de los accesorios en los sistemas de medida internacional y americano respectivamente.

Tabla 6.11 Comparación Incrementos Volumen Accesorios- SI

INCREMENTO (cm)	HOJAS EXCEL	SOFTWARE	ERROR (%)
	ACCESORIOS (galones)	ACCESORIOS (galones)	
0	0	0	0.00
1	-0.02	-0.02	0.00
2	-0.02	-0.02	0.00
3	-0.02	-0.02	0.00
4	-0.02	-0.02	0.00
5	-0.02	-0.02	0.00
50	-0.02	-0.02	0.00
51	-0.19	-0.19	0.00
52	-0.19	-0.19	0.00
53	-0.19	-0.19	0.00
54	-0.19	-0.19	0.00
55	-0.19	-0.19	0.00
150	-0.17	-0.17	0.00
151	-1.04	-1.04	0.00
152	-1.04	-1.04	0.00
153	-1.04	-1.04	0.00
154	-1.04	-1.04	0.00
155	-1.04	-1.04	0.00
156	-1.04	-1.04	0.00
157	-1.04	-1.04	0.00

Elaboración: Alberto Núñez, Santiago Hidalgo

Tabla 6.12 Comparación Incrementos Volumen Accesorios- SA

INCREMENTO (in)	HOJAS EXCEL ACCESORIOS	SOFTWARE ACCESORIOS	ERROR (%)
	(galones)	(galones)	
0	0	0	0.00
1	-0.0508	-0.0508	0.00
2	-0.0508	-0.0508	0.00
3	-0.0508	-0.0508	0.00
4	-0.0508	-0.0508	0.00
5	-0.0508	-0.0508	0.00
35	-0.4826	-0.4826	0.00
36	-0.4826	-0.4826	0.00
37	-0.4826	-0.4826	0.00
38	-0.4826	-0.4826	0.00
39	-0.4826	-0.4826	0.00
40	-0.4318	-0.4318	0.00
41	-0.4318	-0.4318	0.00
42	-0.4318	-0.4318	0.00
43	-0.4318	-0.4318	0.00
44	-0.4318	-0.4318	0.00
45	-0.4318	-0.4318	0.00
65	-2.6416	-2.6416	0.00
66	-2.6416	-2.6416	0.00
67	-2.6416	-2.6416	0.00

Elaboración: Alberto Núñez, Santiago Hidalgo

6.2.3. TABLA DE CALIBRACIÓN

En las tablas 6.13 y 6.14 se presentan los resultados obtenidos mediante las hojas de Excel, el software de calibración y el porcentaje de error entre estos valores para el sistema de medida internacional y americano respectivamente.

La tabla de calibración es muy extensa por lo cual se ha tomado arbitrariamente secciones de la tabla a fin de observar el comportamiento de los resultados y validarlos.

Tabla 6.13 Comparación Volumen Total S.I. – T. Horizontales

INCREMENTO	HOJAS EXCEL	SOFTWARE	ERROR
	VOLUMEN TOTAL	VOLUMEN TOTAL	
(cm)	(galones)	(galones)	(%)
0	0.00000	0.000000	0.0000000
1	4.28457	4.284562	0.0002855
2	12.13943	12.139399	0.0002855
3	22.32550	22.325438	0.0002855
4	34.39770	34.397601	0.0002855
5	48.09729	48.097152	0.0002854
120	5181.55746	5181.542754	0.0002838
121	5240.17886	5240.163993	0.0002838
122	5298.88832	5298.873280	0.0002837
123	5357.68288	5357.667681	0.0002837
124	5416.55964	5416.544270	0.0002837
125	5475.51567	5475.500136	0.0002837
270	13332.76992	13332.732686	0.0002793
271	13369.47168	13369.434356	0.0002792
272	13405.67134	13405.633924	0.0002791
273	13441.35846	13441.320955	0.0002791
274	13476.52219	13476.484597	0.0002790
302	14174.72718	14174.688128	0.0002755
304	14183.46673	14183.424466	0.0002980
304.38	14190.32336	14190.284460	0.0002741

Elaboración: Alberto Núñez, Santiago Hidalgo

Tabla 6.14 Comparación Volumen Total S.A. – T. Horizontales

INCREMENTO	HOJAS EXCEL	SOFTWARE	ERROR
	VOLUMEN TOTAL	VOLUMEN TOTAL	
(plg)	(galones)	(galones)	(%)
0	0.0000000	0.0000000	0.0000000
1	17.3851538	17.3851108	0.0002476
2	49.2579135	49.2577916	0.0002476
3	90.5545544	90.5543303	0.0002475
4	139.4360543	139.4357092	0.0002475
5	194.8225944	194.8221123	0.0002474
50	5593.6529084	5593.6391585	0.0002458
51	5744.0925398	5744.0784226	0.0002458
52	5894.9405581	5894.9260727	0.0002457
53	6046.1502139	6046.1353596	0.0002457

**Tabla 6.14 Comparación Volumen Total S.A. – T. Horizontales
(continuación)**

INCREMENTO	HOJAS EXCEL	SOFTWARE	ERROR
	VOLUMEN TOTAL	VOLUMEN TOTAL	
(plg)	(galones)	(galones)	(%)
54	6197.6750307	6197.6598069	0.0002456
55	6349.4687678	6349.4531740	0.0002456
110	13656.8532051	13656.8203296	0.0002407
111	13735.7022886	13735.6692525	0.0002405
112	13810.3795551	13810.3463711	0.0002403
113	13880.5775986	13880.5442804	0.0002400
114	13945.9295048	13945.8960675	0.0002398
118	14147.3943888	14147.3613888	0.0002333
119	14177.2205530	14177.1868671	0.0002376
119.84	14190.3207052	14190.2871777	0.0002363

Elaboración: Alberto Núñez, Santiago Hidalgo

Luego de comparar los resultados de las correcciones y las tablas de calibración para los tanques horizontales proporcionados por el software de calibración y observar que el error porcentual es menor al 0.0003 % se determina que está óptimas condiciones para su utilización.

6.3. EVALUACIÓN DE RESULTADOS PARA TANQUES ESFÉRICOS

Los datos del tanque esférico, las memorias de cálculo y las hojas de Excel utilizadas para la calibración volumétrica se la pueden observar en el anexo1 y anexo 5 respectivamente.

6.3.1. CORRECCIONES PROCEDIMIENTO API 2555

En la tabla 6.15 se puede observar la comparación de las correcciones obtenidas mediante las memorias de cálculo, el software de calibración y el porcentaje de error entre estos resultados.

Tabla 6.15 Comparación Correcciones – T. Esféricos

	Variable	Unidad	Memoria de Cálculo	Software de calibración	Error (%)
Cálculo 1	<i>Co</i>	(<i>pie</i>)	119.792961	119.792962	0.00
Cálculo 2	<i>C1i</i>	(<i>pie</i>)	119.401293	119.401293	0.00
	<i>C2i</i>	(<i>pie</i>)	119.389444	119.389445	0.00
	<i>C3i</i>	(<i>pie</i>)	119.369759	119.369760	0.00
Cálculo 3	<i>D</i>	(<i>pie</i>)	38.012588	38.012588	0.00
Cálculo 4	<i>VT</i>	(<i>gal</i>)	214956.200000	214956.233614	0.00
Cálculo 5	<i>Ri</i>	(<i>ft</i>)	19.006294	19.006294	0.00
	<i>VT1</i>	(<i>gal</i>)	215135.800000	215135.809189	0.00
	<i>U</i>	-	0.999165	0.999165	0.00
Cálculo 6	<i>Vy</i>	(<i>gal</i>)	214956.200000	214956.232189	0.00

Elaboración: Alberto Núñez, Santiago Hidalgo

6.3.2. Tabla de calibración

En las tablas 6.16 y 6.17 se presentan los resultados obtenidos mediante las hojas de Excel, el software de calibración y el porcentaje de error entre estos valores para el sistema de medida internacional y americano respectivamente.

La tabla de calibración es muy extensa por lo cual se ha tomado arbitrariamente secciones de la tabla a fin de observar el comportamiento de los resultados y validarlos.

Tabla 6.16 Comparación Volumen Total S.I. – T. Esféricos

INCREMENTO	HOJAS EXCEL	SOFTWARE	ERROR
	VOLUMEN TOTAL	VOLUMEN TOTAL	
(cm)	(galones)	(galones)	(%)
0	0.000000	0.000000	0.000000
5	11.975067	11.975066	0.000008
10	47.762061	47.762057	0.000008
15	107.153676	107.153667	0.000008
20	189.942604	189.942588	0.000008
25	295.921538	295.921513	0.000008
30	424.883171	424.883135	0.000008

Tabla 6.16 Comparación Volumen Total S.I. – T. Esféricos
(continuación)

INCREMENTO	HOJAS EXCEL	SOFTWARE	ERROR
	VOLUMEN TOTAL	VOLUMEN TOTAL	
(cm)	(galones)	(galones)	(%)
35	576.620194	576.620145	0.000008
40	750.925301	750.925238	0.000008
45	947.591185	947.591105	0.000008
50	1166.410539	1166.410441	0.000008
1120	214259.285722	214259.268384	0.000008
1125	214427.432112	214427.414770	0.000008
1130	214572.953563	214572.936218	0.000008
1135	214695.642760	214695.625415	0.000008
1140	214795.292387	214795.275043	0.000008
1145	214871.695129	214871.677789	0.000008
1150	214924.643670	214924.626336	0.000008
1155	214953.930694	214953.913368	0.000008

Elaboración: Alberto Núñez, Santiago Hidalgo

Tabla 6.17 Comparación Volumen Total S.A. – T. Esféricos

INCREMENTO	HOJAS EXCEL	SOFTWARE	ERROR
	VOLUMEN TOTAL	VOLUMEN TOTAL	
(plg)	(galones)	(galones)	(%)
0	0.000000	0.000000	0.000000
4	49.298100	49.298114	-0.000029
8	196.032835	196.032892	-0.000029
12	438.464859	438.464988	-0.000029
16	774.854829	774.855057	-0.000029
20	1203.463401	1203.463755	-0.000029
24	1722.551231	1722.551738	-0.000029
28	2330.378977	2330.379663	-0.000029
32	3025.207297	3025.208187	-0.000029
36	3805.296849	3805.297968	-0.000029
40	4668.908292	4668.909666	-0.000029
428	212604.693226	212604.756443	-0.000030
432	213215.901797	213215.965213	-0.000030
436	213738.437150	213738.500740	-0.000030
440	214170.559891	214170.623628	-0.000030
444	214510.530620	214510.594477	-0.000030
448	214756.609932	214756.673882	-0.000030

**Tabla 6.17 Comparación Volumen Total S.A. – T. Esféricos
(continuación)**

INCREMENTO	HOJAS EXCEL	SOFTWARE	ERROR
	VOLUMEN TOTAL	VOLUMEN TOTAL	
(plg)	(galones)	(galones)	(%)
452	214907.058417	214907.122431	-0.000030
456	214960.136656	214960.200707	-0.000030
456.15	214960.209975	214960.274027	-0.000030

Elaboración: Alberto Núñez, Santiago Hidalgo

Luego de comparar los resultados de las correcciones y las tablas de calibración para los tanques esféricos proporcionados por el software de calibración y observar que el error porcentual es menor al 0.00003 % se determina que está óptimas condiciones para su utilización.

CAPITULO 7

ANALISIS ECONÓMICO FINANCIERO

7.1. CONCEPTOS GENERALES

7.1.1. FLUJO DE CAJA

El flujo de caja es la acumulación neta de activos líquidos en un periodo determinado y, por lo tanto, constituye un indicador importante de la liquidez de la empresa. El flujo de caja es importante para observar el comportamiento diario del movimiento de caja tanto de las entradas como de las salidas en un lapso de tiempo determinado

Elementos principales del flujo de caja son los siguientes:

- Inversión (egresos inicial)
- Ingresos y egresos de operación
- Momento en que ocurren los ingresos y egresos

7.1.2. VALOR ACTUAL NETO (VAN)

Es un procedimiento que permite calcular el valor presente de un determinado número de flujos de caja futuros, originados por una inversión. Consiste en actualizar mediante una tasa de descuento todos los flujos de caja futuros del proyecto.

La expresión matemática que nos permite calcular el valor actual neto es:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+r)^t} - I_0 \quad \text{Ecuación 7.1}$$

Donde: Ft: Flujo neto de efectivo

r: Tasa de descuento
 I₀: Inversión inicial
 t: numero de periodos evaluados

La interpretación del valor actual neto se la puede observar en la tabla 7.1

Tabla 7.1 Interpretación del Valor actual neto

Valor	Significado	Decisión a tomar
VAN>0	La inversión producirá ganancias por encima de la rentabilidad exigida	El proyecto puede aceptarse
VAN<0	La inversión producirá ganancias por debajo de la rentabilidad exigida	El proyecto debería rechazarse
VAN=0	La inversión no producirá ni ganancias ni perdidas	La decisión debería basarse en otros criterios

Elaboración: Alberto Núñez, Santiago Hidalgo

7.1.3. TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)

Se define como la tasa de interés con la cual el valor actual neto es igual a cero. Es un indicador de rentabilidad de un proyecto, a mayor TIR, mayor rentabilidad.

La expresión matemática que permite calcular el valor del TIR es la siguiente:

$$VAN = \left(\sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+r)^t} - I_0 \right) = 0 \quad \text{Ecuación 7.2}$$

La forma de calcular la TIR mediante la ecuación anterior, se basa en colocar “TIR” como incógnita. Ya que esta ecuación es de tipo polinómica, la solución se obtiene mediante tanteos sucesivos (por ensayo y error) hasta que ambos miembros de la ecuación se igualen.

En la tabla 7.2 se puede interpretar el análisis de rentabilidad mediante el TIR.

Tabla 7.2 Interpretación de la Taza interna de retorno

Valor	Significado
TIR>tasa de descuento (r) ; VAN>0	Existe ganancia
TIR<tasa de descuento (r) ; VAN<0	Existe perdidas
TIR=tasa de descuento (r) ; VAN=0	No existe ganancia

Elaboración: Alberto Núñez, Santiago Hidalgo

7.1.4. COSTO-BENEFICIO (B/C)

Determina la conveniencia de un proyecto mediante la enumeración y valoración posterior en términos monetarios de todos los costes y beneficios derivados directa e indirectamente del proyecto.

La expresión matemática que permite calcular el valor del Costo-Beneficio es la siguiente:

$$\frac{B}{C} = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{Ft}{(1+r)^t}}{I_0} \quad \text{Ecuación 7.3}$$

Donde: Ft: Flujo neto de efectivo
r: Tasa de descuento
I₀: Inversión inicial
t: numero de periodos evaluados

La interpretación del Costo-Beneficio se puede observar en la tabla 7.3

Tabla 7.3 Interpretación del Costo-Beneficio

Valor	Significado
B/C>0	Se dice que por cada dólar de costos se obtiene más de un dólar de ganancia, por lo tanto el proyecto debe aceptarse.

Tabla 7.3 Interpretación del Costo-Beneficio (continuación)

Valor	Significado
B/C<0	Se dice que por cada dólar de costos se obtiene menos de un dólar de beneficio, por lo tanto el proyecto debe rechazarse.
B/C=0	Se dice que por cada dólar de costos no se obtiene nada de ganancia ni pérdidas

Elaboración: Alberto Núñez, Santiago Hidalgo

7.2. ANÁLISIS DE INVERSIÓN Y GASTOS OPERATIVOS

7.2.1. INVERSIÓN DEL PROYECTO

La inversión del proyecto la realiza la empresa PETROAFIN S.A.

Los costos de de la inversión se los detalla en la tabla 7.4

Tabla 7.4 Inversión Total

INVERSIÓN TOTAL SOFTWARE	
Descripción	Año 1
Activos Fijos	Precio (USD)
Computador Hp Portátil	1,087.00
Software de programación	100.00
Códigos y Normas	300.00
Impresora	250.00
Material de oficina	250.00
Total Activos Fijos (a)	1,987.00
Otros Activos	
Programación	1,000.00
Transporte	300.00
Total Otros Activos (b)	1,300.00
INVERSIÓN TOTAL (a+b)	3,287.00

Elaboración: Alberto Núñez, Santiago Hidalgo

Los costos indicados en la tabla 7.4 únicamente corresponden a los gastos que se realizó para elaboración y diseño del software. No incluyen los gastos que se requiere para el proceso de calibración y de operación del software.

7.2.2. GASTOS OPERATIVOS

Los gastos operativos requeridos para la operación del software de calibración son principalmente para su actualización y mantenimiento.

Los gastos de operación se los detalla en la tabla 7.5

Tabla 7.5 Gastos de Operación

GASTOS DE OPERACIÓN DEL SOFTWARE						
Concepto	Valor	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Actualización del software	180.00		180.00	180.00	180.00	180.00
Mantenimiento del hardware	180.00		180.00	180.00	180.00	180.00
Servicios	240.00		240.00	240.00	240.00	240.00
Total gastos operacionales	600.00		600.00	600.00	600.00	600.00

Elaboración: Alberto Núñez, Santiago Hidalgo

7.3. ANALISIS DE INGRESOS Y EGRESOS DE LA EMPRESA

7.3.1. INGRESOS Y EGRESOS DE LA EMPRESA SIN LA IMPLEMENTACIÓN DEL SOFTWARE

En la actualidad la empresa PETROAFIN S.A realiza calibraciones de tanques verticales con capacidades de hasta 20000 barriles, ya que no dispone de los medios para realizar calibraciones para tanques con mayor capacidad.

Para el análisis se debe tener en cuenta los siguientes aspectos.

- Los tanques calibrados por la empresa PETROAFIN S.A en el periodo de un mes es de 4 y para el periodo de un año es de 48.
- El tiempo requerido para el levantamiento de datos es aproximadamente de un día por cada tanque a ser calibrado.
- El tiempo requerido para la elaboración de las tablas de calibración es aproximadamente de tres días por cada tanque a ser calibrado. Este tiempo varía en función de la capacidad, cantidad y la complejidad de los accesorios internos que el tanque presente.

En la tabla 7.6 se puede observar los valores que se tendrá como ingreso luego de realizar la calibración de un número determinado de tanques en el periodo de un año.

Tabla 7.6 Ingreso Anual

INGRESOS DE CALIBRACIÓN ANUAL			
	<i>Costo Unitario Calibración (\$)</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Costo Total</i>
Calibración			
Tanques 500 bls	1,000.00	10	10,000.00
Tanque 1000 bls	1,000.00	12	12,000.00
Tanque 5000 bls	1,000.00	12	12,000.00
Tanque 10000 bls	1,200.00	8	9,600.00
Tanque 20000 bls	1,200.00	6	7,200.00
TOTAL ANUAL			50,800.00

Elaboración: Alberto Núñez, Santiago Hidalgo

En la tabla 7.7 se puede observar los valores que se requieren para realizar el proceso de calibración en el periodo de un mes, y posteriormente para el periodo de un año.

Tabla 7.7 Egreso Anual

EGRESOS DE CALIBRACION ANUAL		
	<i>Costo \$/por hora</i>	<i>Costo Total \$ Mensual</i>
EQUIPO		
Equipo óptico	2.5	80.00
Camioneta	6.25	200.00
Lote de herramientas	2.5	80.00
Andamios	0.12	3.84
Computador e impresora	1.9	60.80
MANO DE OBRA		
	<i>Costo \$/por hora</i>	
Ingeniero Mecánico	12	1,536.00
Topógrafo	10	320.00
Técnico 1	9	288.00
Ayudante 1	8	256.00
Ayudante 2	8	256.00
MATERIALES		
	<i>Costo Unitario</i>	
Papel	3.5	3.50
Tinta	12.5	12.50
Plastificados	0.8	12.80
CD	0.5	2.00
TRANSPORTE		
	<i>Costo \$/por día</i>	
Combustible	25	100.00
VIATICOS		
	<i>Costo \$/por día</i>	
Hospedaje	10	200.00
Alimentación	15	300.00
COSTO TOTAL MENSUAL		3,711.44
COSTO TOTAL ANUAL		44,537.28

Elaboración: Alberto Núñez, Santiago Hidalgo

7.3.2. INGRESOS Y EGRESOS DE LA EMPRESA CON LA IMPLEMENTACIÓN DEL SOFTWARE

Los beneficios que se obtiene al implementar el software de calibración en la empresa son los siguientes:

- Incremento en el alcance de calibración para tanques verticales con capacidades de hasta 150000 barriles con techos flotantes.
- Ampliación de los servicios de calibración para tanques horizontales y esféricos.
- Reducción en los tiempos requeridos para el proceso de elaboración de las tablas de calibración.

Todos estos factores permiten que la empresa tenga más oportunidades para incrementar sus ingresos realizando mayor cantidad de trabajos en tiempos más cortos.

Para el análisis se debe tener en cuenta los siguientes aspectos.

- Los valores con los que se va a realizar el análisis de ingresos y egresos son en base al último proyecto realizado por la empresa en el cual se procedió a realizar los trabajos de calibración mediante el software.
- Los tanques calibrados por la empresa PETROAFIN S.A en el periodo de un mes es de 11 y para el periodo de un año es de 132.
- El tiempo requerido para el levantamiento de datos es aproximadamente de un día por cada tanque a ser calibrado.

- El tiempo requerido para la elaboración de las tablas de calibración es aproximadamente de un día por cada tanque a ser calibrado. Este tiempo varía en función de la capacidad, cantidad y la complejidad de los accesorios internos que el tanque presente.

En la tabla 7.8 se puede observar los valores que se tendrá como ingreso luego de realizar la calibración de un número determinado de tanques en el periodo de un año mediante la implementación del software de calibración.

Tabla 7.8 Ingreso Anual

INGRESOS DE CALIBRACIÓN ANUAL			
	<i>Costo Unitario Calibración (\$)</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Costo Total</i>
Calibración			
Tanques 500-5000 bls	500.00	61	30,500.00
Tanque 5000-20000 bls	1,000.00	35	35,000.00
Tanque 20000-50000 bls	1,500.00	20	30,000.00
Tanque 50000-100000 bls	2,000.00	10	20,000.00
Tanque 100000-150000 bls	2,500.00	6	15,000.00
TOTAL ANUAL			130,500.00

Elaboración: Alberto Núñez, Santiago Hidalgo

En la tabla 7.9 se puede observar los valores que se requieren para realizar el proceso de calibración en el periodo de un mes, y posteriormente para el periodo de un año.

Tabla 7.9 Egreso Anual

EGRESOS DE CALIBRACION ANUAL		
	<i>Costo \$/por hora</i>	<i>Costo Total \$ Mensual</i>
EQUIPO		
Equipo óptico	2.5	220.00
Camioneta	6.25	550.00
Lote de herramientas	2.5	220.00
Andamios	0.12	10.56
Computador e impresora	1.9	167.20
MANO DE OBRA		
	<i>Costo \$/por hora</i>	
Ingeniero Mecánico	12	2,112.00
Topógrafo	10	880.00
Técnico 1	9	792.00
Ayudante 1	8	704.00
Ayudante 2	8	704.00
MATERIALES		
	<i>Costo Unitario</i>	
Papel	3.5	3.50
Tinta	12.5	12.50
Plastificados	0.8	35.20
CD	0.5	5.50
TRANSPORTE		
	<i>Costo \$/por día</i>	
Combustible	25	25.00
BEATICOS		
	<i>Costo \$/por día</i>	
Hospedaje	10	550.00
Alimentación	15	825.00
COSTO TOTAL MENSUAL		7,816.46
COSTO TOTAL ANUAL		93,797.52

Elaboración: Alberto Núñez, Santiago Hidalgo

7.3.3. FLUJO DE CAJA DIFERENCIAL

El flujo de caja diferencial toma en cuenta el flujo de caja actual (Calibración sin implementar el software), con el flujo de caja propuesto (Calibración con la implementación del software) para determinar la diferencia entre los dos procesos y los beneficios que conlleva su realización.

Tabla 7.10 Flujo de Caja (Caso Actual)

	Año1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Origen de fondos					
Aporte de inversión					
INGRESOS TOTALES		50,800.00	50,800.00	50,800.00	50,800.00
Aplicación de Fondos					
Inversión total en activos					
Gastos de Operación		44,537.28	44,537.28	44,537.28	44,537.28
EGRESOS TOTALES		44,537.28	44,537.28	44,537.28	44,537.28
SALDO DE CAJA		6,262.72	6,262.72	6,262.72	6,262.72
SALDO DE CAJA ACUMULADO		6,262.72	12,525.44	18,788.16	25,050.88

Elaboración: Alberto Núñez, Santiago Hidalgo

Tabla 7.11 Flujo de Caja (Caso Propuesto)

	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Origen de fondos					
Aporte de inversión	3,287.00				
INGRESOS TOTALES	3,287.00	130,500.00	130,500.00	130,500.00	130,500.00
Aplicación de Fondos					
Inversión total en activos	3,287.00				
Gastos de Operación		94,397.52	94,397.52	94,397.52	94,397.52
EGRESOS TOTALES	3,287.00	94,397.52	94,397.52	94,397.52	94,397.52
SALDO DE CAJA		36,102.48	36,102.48	36,102.48	36,102.48
SALDO DE CAJA ACUMULADO		36,102.48	72,204.96	108,307.44	144,409.92

Elaboración: Alberto Núñez, Santiago Hidalgo

Comparando el flujo de caja actual con el flujo de caja propuesto se observa que el saldo de caja acumula es mayor en el caso propuesto debido a que se amplió el alcance de la actividad que la empresa realiza, generando más ingresos y mayor utilidad.

Tabla 7.12 Flujo de Caja Diferencial

	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Origen de fondos					
Aporte de inversión	3,287.00				
INGRESOS TOTALES	3,287.00				
Aplicación de Fondos					
Inversión total en activos	3,287.00				
Gastos de Operación		-49,860.24	-49,860.24	-49,860.24	-49,860.24
EGRESOS TOTALES	3,287.00	-49,860.24	-49,860.24	-49,860.24	-49,860.24
SALDO DE CAJA		49,860.24	49,860.24	49,860.24	49,860.24
SALDO DE CAJA ACUMULADO		49,860.24	99,720.48	149,580.72	199,440.96

Elaboración: Alberto Núñez, Santiago Hidalgo

Al comparar los flujos de caja diferencial se determina que la empresa presenta un aumento de **49,860.24 USD** de utilidad anual.

7.4. ANALISIS DE INDICADORES FINANCIEROS

Consiste en la evaluación económica y financiera, para definir si el proyecto es viable o no mediante el cálculo de los indicadores financieros:

- a. Valor presente neto (VAN)
- b. Tasa interna de retorno (TIR)
- c. Costo-Beneficio (B/C)

Para el análisis se debe tener en cuenta los siguientes aspectos.

- No se considera la inflación
- Tasa de descuento del 10%
- La operación inicia a partir del año 2
- El periodo de evaluación se hará a 5 años
- Los gastos de personal de oficina no se considera ya que se dará uso al mismo personal

Tabla 7.13 Flujo neto de fondos

	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Inversión realizada					
Inversión Total (-)	(133,787.00)				
Saldo neto de caja		49,860.24	49,860.24	49,860.24	49,860.24
Flujo neto de fondos	(133,787.00)	49,860.24	49,860.24	49,860.24	49,860.24

Elaboración: Alberto Núñez, Santiago Hidalgo

Tabla 7.14 Rentabilidad

Valores	
VALOR ACTUAL NETO (VAN)	\$ 24,263.25
TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)	18%
COSTO-BENEFICIO	1.18

Elaboración: Alberto Núñez, Santiago Hidalgo

7.4.1. RESULTADOS

VAN: El valor del proyecto en cinco años y con una tasa de descuento del 10%, y llevados en valor presente nos da como resultado veinte cuatro mil doscientos sesenta y tres dólares americanos, indicando que el proyecto es viable.

TIR: Es mayor a la tasa de descuento, lo cual indica que el proyecto puede tener gastos sin tener pérdidas económicas.

C/B: El costo-beneficio es de 1.18 dólares americanos, lo cual indica que por cada dólar que se invierte en el proyecto se tiene 0.18 dólares americanos de ganancia.

Con el resultado de obtenido mediante los índices financieros se concluye determinando que el proyecto es viable y rentable.

CAPITULO 8

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1. CONCLUSIONES

1. Los futuros profesionales tienen un gran compromiso con el desarrollo tecnológico de nuestro país, por lo cual el presente proyecto es una muestra de que están en la capacidad de generar tecnología competitiva.
2. La calibración volumétrica es de gran interés para la industria petrolera siendo un procedimiento indispensable para la determinación del volumen real almacenado en los tanques y la importancia económica que representa.
3. La aplicación de las normas API MPMS-2A, 2551 y 2552 utilizadas para la calibración volumétrica de los tanques de almacenamiento de hidrocarburos garantiza que los procedimientos y resultados obtenidos sean convincentes y seguros.
4. Para la calibración de los tanques verticales se utilizó todos los procedimientos descritos en la norma además de la implementación de modelos matemáticos que respondan a las dificultades presentadas en la determinación de los volúmenes para los diferentes tipos de fondos y techos flotantes que afectan en la obtención de la capacidad real del tanque.
5. Para la calibración de tanques esféricos y horizontales con sus diferentes tipos de cabezas, se utilizó modelos matemáticos que cumplen con los requerimientos descritos por las normas y que proporcionaron excelentes resultados al determinar las capacidades de los mismos.

6. El diseño e implementación del software de calibración se hizo posible gracias a las herramientas y objetos proporcionados por el programa C# de Visual que facilitaron el desarrollo visual y lógico del software.
7. Utilizando el equipo e instrumentación adecuada se obtienen datos de buena calidad, que luego de interpretarlos permiten obtener excelentes resultados.
8. La calidad de los resultados obtenidos en las tablas de calibración dependen de la calidad con la que se realizó la medición y toma de datos.
9. La utilización del software optimiza el tiempo destinado a la calibración volumétrica además de permitir la ampliación de los servicios de la empresa PETROAFIN S.A realizando calibraciones volumétricas para tanques verticales, horizontales y esféricos.
10. Este programa computacional es sencillo de usar y contiene gráficas que facilitan el trabajo del usuario además de un manual de usuario.

8.2. RECOMENDACIONES

1. Cumplir con los procedimientos indicados en las normas API MPMS-2A, 2551 y 2552, para la toma de datos y la calibración de los tanques y evitar cualquier tipo de contrariedad.
2. Se recomienda que antes de realizar un trabajo de calibración se debe solicitar al supervisor de planta se informe de los procedimientos de seguridad aplicados a fin evitar cualquier tipo de eventualidad.
3. Para realizar un trabajo de calidad en la medición y toma datos se recomienda que los equipos se encuentren en óptimas condiciones y que además estén calibrados y certificados por el organismo metrológico local, preferentemente acreditado.
4. El personal que realice las mediciones esté capacitado para la manipulación e interpretación de los datos presentados por los equipos de medición y evitar realizar el trabajo de calibración con datos erróneos.
5. Es importante que todos los datos estén detallados claramente en las respectivas actas de registro desarrolladas para cada tanque con el fin de tener respaldos en caso de tener alguna eventualidad.
6. Para el ingreso de los diferentes datos es recomendable utilizar las ayudas graficas presentadas en el programa, de esta manera se evitara posibles errores que ocasionen la generación de tablas de calibración erróneas.
7. Es recomendable antes de utilizar el software de calibración revisar el manual de usuario para evitar malas interpretaciones al momento de ingresar los datos requeridos por el programa.

BIBLIOGRAFÍA


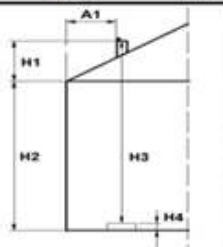
- WIKIPEDIA, “Hidrocarburo”, 2010.
<http://es.wikipedia.org/wiki/Hidrocarburo>
- SECRETARIA DE ENERGIA ARGENTINA, “Propiedades de los hidrocarburos”, 2010.
<http://energia3.mecon.gov.ar/contenidos/verpagina.php?idpagina=446>
- MONOGRAFIAS, “Tanques de Almacenamiento de Hidrocarburos”, 2008.
<http://www.monografias.com/trabajos37/almacenamiento-hidrocarburos/almacenamiento-hidrocarburos.shtml>
- SCRIBD, “Recipientes a presión”, 2008
www.scribd.com/doc/17247549/disen-y-calculo-de-recipientes-a-presion
- ECOPETROL, “Calibración de Tanques”, 2005.
http://www.ecopetrol.com.co/documentos/41020_CAPITULO_2_CALIBRACION_TANQUES.pdf
- Langone, Raimir, “Calibración en Tanques de Gran Capacidad”, SENCAMER, 2007.
www.sencamer.gob.ve/sencamer/documents/Lab_GV_Tanques.ppt
- API MPMS 2-2A. Measurement and Calibration of Upright Cylindrical Tanks by the Manual Tank Strapping Method. First Edition 1995.
- API Standar 2551. Method for Measurement and Calibration of Horizontal Tanks. First Edition 1987.

- API Standar 2552. Method for Measurement and Calibration of Spheres Spheroids Tanks. First Edition 1987.

ANEXO 1

ACTAS DE REGISTRO

ACTA DE REGISTRO DE MEDIDAS DE CAMPO TANQUES VERTICALES

		ACTA DE REGISTROS		Formulario N° 1-A					
LEVANTAMIENTO DE MEDIDAS DE CAMPO TANQUES VERTICALES PROCEDIMIENTO NORMA API MPMS 2A									
DATOS GENERALES									
Fecha de calibración	jueves, 27 de mayo de 2010		Material del tanque	A-36					
Propietario	EP-PETROECUADOR		Capacidad Nominal	106000	bbf				
Nombre del Campo	AUCA		Código del Tanque	ACT-01					
Localización	AUCA CENTRAL		Operación del Tanque	SI	X NO				
DATOS DEL PRODUCTO DEL TANQUE									
Nombre del producto	CRUDO		Temperatura del producto	89	°F				
Cantidad almacenada	68863	bbf	Temperatura Ambiente	78	°F				
Altura del producto	8.417	m	API del producto a 60 ° F	23.7					
DATOS DEL TANQUE									
Tipo de construcción	Soldado	X	Tipo de Techo	Fijo					
	Empernado			Flotante	X				
	Remachado			Peso	324913 lb				
Tipo de fondo	Cónico arriba	X	Año de construcción	-					
	Cónico abajo		Número de anillos	6					
	Plano		Altura Nominal	12.98	m				
	Otro		Diámetro Nominal	40.84	m				
Altura de escotilla (H1)			2.250	m					
Altura del tanque (H2)			13.011	m					
Altura de referencia de aforo (H3)			15.127	m					
Altura de la platina de aforo (H4)			0.134	m					
Altura máxima de llenado			9.75	m					
Distancia de la boca de aforo (A1)			0.522	m					
Altura crítica de flotamiento del techo (flotante)			1.934 - 2.054	m					
Inclinación del tanque			43	mm					
Espesor de la pintura			31	mm					
									
MEDIDAS EN LAS LÁMINAS									
ANILLO	# DE JUNTAS	ALTURA DE ANILLOS (mm)	SOLDADO		CIRCUNFERENCIA (m)	ESPEORES (mm)		SOLDADURA / TRASLAPE	
			TRASLAP.					Ancho (mm)	Espesor (mm)
1	17	2175	20%	25%	128.464	16.45	16.25	15	3
			80%	75%	128.483	16.24	16.27		
2	17	2175	20%	25%	128.469	7.04	7.03	15	3
			80%	75%	128.463	7.01	7.07		
3	17	2175	20%	25%	128.448	12.15	12.25	15	3
			80%	75%	128.439	12.11	12.18		
4	17	2165	20%	25%	128.400	9.30	9.10	15	3
			80%	75%	128.383	9.18	8.92		
5	17	2156	20%	25%	128.512	8.80	8.80	15	3
			80%	75%	128.384	9.21	8.72		
6	17	2165	20%	25%	128.377	8.38	8.45	15	3
			80%	75%	128.376	8.38	8.38		
7		13011	20%	25%					
			80%	75%					
8			20%	25%					
			80%	75%					
9			20%	25%					
			80%	75%					



Formulario Nº 2-A

ACTA DE LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO

PROCEDIMIENTO NORMA ISO 7507-PART3

DATOS EQUIPO UTILIZADO

	Marca	Apreciación		Rango	
Equipo Electro-Optico	SOKIA	(+)	3.00 MM	1350000	MM
Medidor Laser	SOKIA	(+)	3.00 MM	1350000	MM
Medidor Espesor de lámina	ELECTROMATIC	(+)	0.001 MM	63.5	MM
Circunferencia de Referencia		2	#	2 MM	Toler.

COOR	ESTACIONES				# DE PUNTOS TOMADOS	
Medidor Espesor de lámina	ELECTROMATIC	(+)	0.001 MM	63.5	MM	
Circunferencia de Referencia		2	#	2 MM	Toler.	

COOR	ESTACIONES					# DE PUNTOS TOMADOS
	N	E	Z			

ANILLO	COLUMNA A			ANILLO	COLUMNA B		
	N	E	Z		N	E	Z



ACTA DE LEVANTAMIENTO DE VOLUMENES MUERTOS

PROCEDIMIENTO NORMA API MPMS 2-2A

VOLUMEN MUERTO POR ACCESORIOS

Descripción	Altura mm	ancho mm	Longitud mm	Volumen bbl.	Desde mm	Hasta mm
Manhole A (Circular)	-	-	170	0.5276	513	1306
Manhole B (Circular)	-	-	160	0.4997	513	1308
Manhole C (Circular)	-	-	170	0.5263	513	1305
Manhole D (Circular)	-	-	170	0.5310	513	1308
Manhole E (Circular)	-	-	170	0.5263	510	1302
Brida 1	-	-	205	0.1078	265	591
Brida 2	-	-	215	0.1142	265	593
Brida 3	-	-	238	0.1982	315	726
Brida 4	-	-	265	0.3396	345	854
Manhole F (Rectangular)	1334	1464	160	1.9654	0	1334
Guia de medicion				-1.9184	0	13011
Soporte del techo				-1.9599	0	2937
Guias del techo				-1.2762	1877	2937

DETALLES ACCESORIOS

Empty space for details of accessories.

VOLUMEN MUERTO DEL FONDO


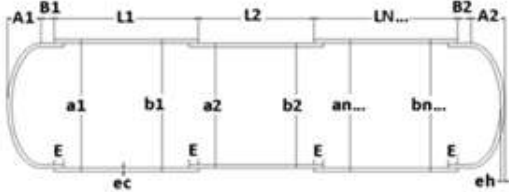
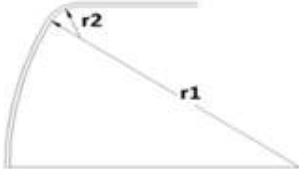
Forma del fondo del tanque:	Conico para arriba	
Altura de placa de aforo	134	mm
Altura del cono	180	mm
Distancia de la pared al punto de aforo	522	mm

Nota:

FIRMAS DE RESPONSABILIDAD

POR PETROAFIN	POR DNH	POR EL FISCALIZADOR
ING.	ING.	ING.

ACTA DE REGISTRO DE MEDIDAS DE CAMPO TANQUES HORIZONTALES

		ACTA DE REGISTROS		Formulario N° 1-B				
MEDIDAS DE CAMPO TANQUES HORIZONTALES PROCEDIMIENTO NORMA API 2551								
DATOS GENERALES								
Fecha de calibración	13/09/2010		Material del tanque	A36				
Propietario	PETROECUADOR		Capacidad Nominal	14000	gal			
Nombre del Campo	REFINERIA		Código del Tanque	H-006				
Localización	LAGO AGRIO		Operación del Tanque	SI	X NO			
DATOS DEL PRODUCTO DEL TANQUE								
Nombre del producto	GASOLINA		Temperatura del producto	80	*F			
Cantidad almacenada	1000	gal	Temperatura Ambiente	75	*F			
Altura del producto	376	mm	API del producto a 60 ° F	-				
DATOS DEL TANQUE								
Tipo de construcción	Soldado a tope Superpuesto		Tanque láminas superpuestas y soldadas a tope 					
Tipo de cabeza	Elíptica							
	Esferica							
	Torriesferica							
Otro Tipo		Cabeza Torrieferica 						
Año de construcción	-							
Número de anillos	3							
Longitud Nominal	7.105				m			
Diámetro Nominal	3.060				m			
Longitud de las cabezas (A1)	38				mm			
Longitud de las cabezas (A2)	38				mm			
Longitud cilíndrica cabezas (B1)	770				mm			
Longitud cilíndrica cabezas (B2)	770				mm			
Espesor del cuerpo (ec)	8				mm			
Espesor de las cabezas (eh)	10	mm						
Presion de trabajo	85	psi						
Longitud lamina superpuesta(E)	38	mm						
Radio Segmento esferico (r1)	3048	mm						
Radio del chaflan (r2)	38	mm						
Radio del chaflan (r2)	0.08	%						
MEDIDAS EN LAS LÁMINAS								
ANILLO			CIRCUNFERENCIA (mm)	ESPEORES DEL CUERPO (mm)	LONGITUD DE ANILLOS (mm)	JUNTAS ATOPE/SUPERPUSTAS		
						#	Ancho (mm)	Espesor (mm)
1	a1	20%	9624	8.01	1829	2	-	3
	b1	80%						
2	a2	20%	9578	7.82	1829	2	-	3
	b2	80%						
3	a3	20%	9633	8.00	1829	2	-	3
	b3	80%						
4	a4	20%						
	b4	80%						
5	a5	20%						
	b5	80%						
6	a6	20%						
	b6	80%						
7	a7	20%						
	b7	80%						
8	a8	20%						
	b8	80%						
Observaciones:								



Petroafin
SERVICIOS PETROLEROS

Formulario N° 2-B

ACTA DE LEVANTAMIENTO DE VOLUMENES MUERTOS

PROCEDIMIENTO NORMA API MPMS 2-2A

VOLUMEN MUERTO POR ACCESORIOS

Descripción	Altura mm	ancho mm	Longitud mm	Volumen gal.	Desde mm	Hasta mm
Soporte interno 1	800	80	140	-2	200	1000
Placa interna 2	1400	300	150	-17	100	1500
Accesorio interno 3	700	400	700	-52	100	800

DETALLES ACCESORIOS


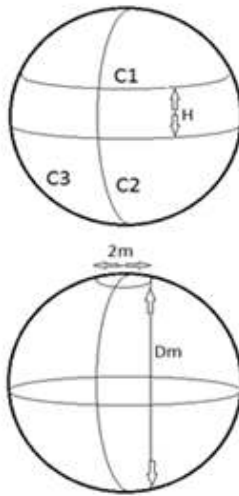
--

Observaciones:

FIRMAS DE RESPONSABILIDAD

POR PETROAFIN ING.	POR DNH ING.	POR EL FISCALIZADOR ING.
---------------------------	---------------------	---------------------------------

ACTA DE REGISTRO DE MEDIDAS DE CAMPO TANQUES ESFÉRICOS

	ACTA DE REGISTROS MEDIDAS DE CAMPO TANQUES ESFERICOS PROCEDIMIENTO NORMA API 2552	Formulario N° 1-C		
DATOS GENERALES				
Fecha de calibración	06/09/2010	Material del tanque	A 36	
Propietario	PETROECUADOR	Capacidad Nominal	215000 GAL	
Nombre del Campo	-	Código del Tanque	E-001	
Localización	-	Operación del Tanque	SI X NO	
DATOS DEL PRODUCTO DEL TANQUE				
Nombre del producto	GASOLINA	Temperatura del producto	80 °F	
Cantidad almacenada	-	Temperatura Ambiente	75 °F	
Altura del producto	-	API del producto a 60 ° F	-	
DATOS DEL PRODUCTO DEL TANQUE				
Nombre del producto	GASOLINA	Temperatura del producto	80 °F	
Cantidad almacenada	-	Temperatura Ambiente	75 °F	
Altura del producto	-	API del producto a 60 ° F	-	
DATOS DEL TANQUE				
Diámetro Nominal	11.5	m	ESQUEMA DE MEDIDAS DEL TANQUE 	
Circunferencia Horizontal "C1"	36478	mm		
Circunferencia Vertical "C2"	36502	mm		
Circunferencia Vertical (90°) "C3"	36496	mm		
Distancia "H"	254	mm		
Distancia Altura Vertical "Dm"	11449	mm		
Distancia "m"	889	mm		
ESPEORES (mm)				
#	C1	C2		C3
1	18.10	18.20		18.45
2	18.40	17.60	18.50	
3	18.30	18.10	17.50	
4	18.10	18.90	17.80	
5	18.20	18.20	17.95	
6	19.00	17.80	18.10	
7	17.98	17.70	18.65	
8	17.80	18.10	18.45	
9	18.68	17.67	19.10	
PROM	18.28	18.03	18.28	
DETALLES DEL TANQUE				
Observaciones:				
FIRMAS DE RESPONSABILIDAD				
POR PETROAFIN	POR DNH	POR EL FISCALIZADOR		
ING.	ING.	ING.		

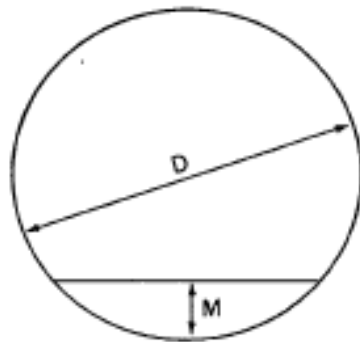
ANEXO 2

TABLAS PARA FACTOR K_h Y **K_c**

TABLAS PARA DETERMINAR EL FACTOR KC DEL CILINDRO

APPENDIX I

AREAS OF CIRCULAR SEGMENTS



Use of Table

In the table find the value of coefficient K for the value of $\frac{M}{D}$ desired. The full area of the circle multiplied by the coefficient equals the area of the segment.

Area segment = K times area full circle

This table also applies for segments of cylinders, thus:

Volume segment = K times volume of full cylinder

$\frac{M}{D}$	K	Difference	$\frac{M}{D}$	K	Difference	$\frac{M}{D}$	K	Difference
0.000	0.000000		0.020	0.004773		0.040	0.013417	
		53			361			502
0.001	0.000053		0.021	0.005134		0.041	0.013919	
		99			369			508
0.002	0.000152		0.022	0.005503		0.042	0.014427	
		127			378			513
0.003	0.000279		0.023	0.005881		0.043	0.014940	
		150			386			520
0.004	0.000429		0.024	0.006267		0.044	0.015460	
		171			393			526
0.005	0.000600		0.025	0.006660		0.045	0.015996	
		188			401			529
0.006	0.000788		0.026	0.007061		0.046	0.016515	
		204			409			538
0.007	0.000992		0.027	0.007470		0.047	0.017053	
		220			416			541
0.008	0.001212		0.028	0.007886		0.048	0.017594	
		233			424			547
0.009	0.001445		0.029	0.008310		0.049	0.018141	
		247			432			551
0.010	0.001692		0.030	0.008742		0.050	0.018692	
		260			437			558
0.011	0.001952		0.031	0.009179		0.051	0.019250	
		271			445			563
0.012	0.002223		0.032	0.009624		0.052	0.019813	
		284			451			569
0.013	0.002507		0.033	0.010075		0.053	0.020382	
		293			459			573
0.014	0.002800		0.034	0.010534		0.054	0.020955	
		304			464			578
0.015	0.003104		0.035	0.010998		0.055	0.021533	
		315			471			582
0.016	0.003419		0.036	0.011469		0.056	0.022115	
		324			478			588
0.017	0.003743		0.037	0.011947		0.057	0.022703	
		334			485			593
0.018	0.004077		0.038	0.012432		0.058	0.023296	
		344			489			598
0.019	0.004421		0.039	0.012921		0.059	0.023894	
		352			496			602

APPENDIX I (Continued)

$\frac{M}{D}$	K	Difference	$\frac{M}{D}$	K	Difference	$\frac{M}{D}$	K	Difference
0.060	0.024496	607	0.097	0.049767	756	0.134	0.079841	868
0.061	0.025103	613	0.098	0.050523	759	0.135	0.080709	873
0.062	0.025716	616	0.099	0.051282	762	0.136	0.081582	874
0.063	0.026332	620	0.100	0.052044	766	0.137	0.082456	876
0.064	0.026952	626	0.101	0.052810	769	0.138	0.083332	880
0.065	0.027578	631	0.102	0.053579	772	0.139	0.084212	882
0.066	0.028209	634	0.103	0.054351	775	0.140	0.085094	885
0.067	0.028843	639	0.104	0.055126	779	0.141	0.085979	888
0.068	0.029482	643	0.105	0.055905	783	0.142	0.086867	890
0.069	0.030125	647	0.106	0.056688	786	0.143	0.087757	894
0.070	0.030772	652	0.107	0.057474	788	0.144	0.088651	895
0.071	0.031424	657	0.108	0.058262	792	0.145	0.089546	897
0.072	0.032081	659	0.109	0.059054	796	0.146	0.090443	901
0.073	0.032740	665	0.110	0.059850	798	0.147	0.091344	902
0.074	0.033405	668	0.111	0.060648	801	0.148	0.092246	907
0.075	0.034073	674	0.112	0.061449	805	0.149	0.093153	908
0.076	0.034747	676	0.113	0.062254	808	0.150	0.094061	910
0.077	0.035423	681	0.114	0.063062	810	0.151	0.094971	913
0.078	0.036104	685	0.115	0.063872	815	0.152	0.095884	915
0.079	0.036789	689	0.116	0.064687	816	0.153	0.096799	918
0.080	0.037478	692	0.117	0.065503	820	0.154	0.097717	921
0.081	0.038170	697	0.118	0.066323	824	0.155	0.098638	922
0.082	0.038867	701	0.119	0.067147	825	0.156	0.099560	925
0.083	0.039568	705	0.120	0.067972	830	0.157	0.100485	929
0.084	0.040273	708	0.121	0.068802	831	0.158	0.101414	929
0.085	0.040981	713	0.122	0.069633	836	0.159	0.102343	932
0.086	0.041694	715	0.123	0.070469	838	0.160	0.103275	936
0.087	0.042409	719	0.124	0.071307	840	0.161	0.104211	936
0.088	0.043128	724	0.125	0.072147	844	0.162	0.105147	939
0.089	0.043852	727	0.126	0.072991	845	0.163	0.106086	943
0.090	0.044579	731	0.127	0.073836	850	0.164	0.107029	943
0.091	0.045310	733	0.128	0.074686	853	0.165	0.107972	947
0.092	0.046043	738	0.129	0.075539	854	0.166	0.108919	949
0.093	0.046781	741	0.130	0.076393	858	0.167	0.109868	951
0.094	0.047522	745	0.131	0.077251	861	0.168	0.110819	952
0.095	0.048267	749	0.132	0.078112	863	0.169	0.111771	957
0.096	0.049016	751	0.133	0.078975	866	0.170	0.112728	957

APPENDIX I (Continued)

$\frac{M}{D}$	K	Difference	$\frac{M}{D}$	K	Difference	$\frac{M}{D}$	K	Difference
0.171	0.113685	960	0.208	0.150587	1,036	0.245	0.190007	1,095
0.172	0.114645	961	0.209	0.151623	1,036	0.246	0.191102	1,097
0.173	0.115606	966	0.210	0.152659	1,038	0.247	0.192199	1,099
0.174	0.116572	966	0.211	0.153697	1,040	0.248	0.193298	1,102
0.175	0.117538	968	0.212	0.154737	1,041	0.249	0.194400	1,101
0.176	0.118506	971	0.213	0.155778	1,043	0.250	0.195501	1,104
0.177	0.119477	973	0.214	0.156821	1,046	0.251	0.196605	1,105
0.178	0.120450	975	0.215	0.157867	1,047	0.252	0.197710	1,105
0.179	0.121425	978	0.216	0.158914	1,048	0.253	0.198815	1,108
0.180	0.122403	979	0.217	0.159962	1,051	0.254	0.199923	1,110
0.181	0.123382	982	0.218	0.161013	1,053	0.255	0.201033	1,110
0.182	0.124364	983	0.219	0.162066	1,054	0.256	0.202143	1,112
0.183	0.125347	985	0.220	0.163120	1,055	0.257	0.203255	1,114
0.184	0.126332	988	0.221	0.164175	1,057	0.258	0.204369	1,114
0.185	0.127320	990	0.222	0.165232	1,060	0.259	0.205483	1,117
0.186	0.128310	992	0.223	0.166292	1,060	0.260	0.206600	1,118
0.187	0.129302	994	0.224	0.167352	1,063	0.261	0.207718	1,119
0.188	0.130296	995	0.225	0.168415	1,065	0.262	0.208837	1,120
0.189	0.131291	999	0.226	0.169480	1,065	0.263	0.209957	1,122
0.190	0.132290	1,000	0.227	0.170545	1,067	0.264	0.211079	1,123
0.191	0.133290	1,001	0.228	0.171612	1,070	0.265	0.212202	1,124
0.192	0.134291	1,005	0.229	0.172682	1,071	0.266	0.213326	1,127
0.193	0.135296	1,006	0.230	0.173753	1,072	0.267	0.214453	1,127
0.194	0.136302	1,008	0.231	0.174825	1,074	0.268	0.215580	1,128
0.195	0.137310	1,010	0.232	0.175899	1,076	0.269	0.216708	1,131
0.196	0.138320	1,012	0.233	0.176975	1,077	0.270	0.217839	1,130
0.197	0.139332	1,013	0.234	0.178052	1,079	0.271	0.218969	1,134
0.198	0.140345	1,017	0.235	0.179131	1,081	0.272	0.220103	1,133
0.199	0.141362	1,017	0.236	0.180212	1,082	0.273	0.221236	1,135
0.200	0.142379	1,020	0.237	0.181294	1,084	0.274	0.222371	1,136
0.201	0.143399	1,021	0.238	0.182378	1,084	0.275	0.223507	1,138
0.202	0.144420	1,024	0.239	0.183462	1,088	0.276	0.224645	1,139
0.203	0.145444	1,024	0.240	0.184550	1,088	0.277	0.225784	1,141
0.204	0.146468	1,027	0.241	0.185638	1,090	0.278	0.226925	1,140
0.205	0.147495	1,030	0.242	0.186728	1,092	0.279	0.228065	1,144
0.206	0.148525	1,030	0.243	0.187820	1,092	0.280	0.229209	1,143
0.207	0.149555	1,032	0.244	0.188912	1,095	0.281	0.230352	1,146

APPENDIX I (Continued)

$\frac{M}{D}$	K	Difference	$\frac{M}{D}$	K	Difference	$\frac{M}{D}$	K	Difference
0.282	0.231498	1,146	0.310	0.274681	1,187	0.356	0.319220	1,220
0.283	0.232644	1,147	0.320	0.275868	1,189	0.357	0.320440	1,221
0.284	0.233791	1,150	0.321	0.277057	1,189	0.358	0.321661	1,221
0.285	0.234941	1,150	0.322	0.278246	1,191	0.359	0.322882	1,223
0.286	0.236091	1,151	0.323	0.279437	1,190	0.360	0.324105	1,222
0.287	0.237242	1,153	0.324	0.280627	1,193	0.361	0.325327	1,223
0.288	0.238395	1,154	0.325	0.281820	1,193	0.362	0.326550	1,224
0.289	0.239549	1,155	0.326	0.283013	1,195	0.363	0.327774	1,225
0.290	0.240704	1,156	0.327	0.284208	1,194	0.364	0.328999	1,226
0.291	0.241860	1,157	0.328	0.285402	1,197	0.365	0.330225	1,226
0.292	0.243017	1,157	0.329	0.286599	1,197	0.366	0.331451	1,228
0.293	0.244174	1,160	0.330	0.287796	1,196	0.367	0.332679	1,227
0.294	0.245334	1,161	0.331	0.288992	1,200	0.368	0.333906	1,229
0.295	0.246495	1,162	0.332	0.290192	1,199	0.369	0.335135	1,228
0.296	0.247657	1,163	0.333	0.291391	1,201	0.370	0.336363	1,230
0.297	0.248820	1,164	0.334	0.292592	1,202	0.371	0.337593	1,230
0.298	0.249984	1,165	0.335	0.293794	1,202	0.372	0.338823	1,231
0.299	0.251149	1,166	0.336	0.294996	1,203	0.373	0.340054	1,233
0.300	0.252315	1,168	0.337	0.296199	1,204	0.374	0.341287	1,232
0.301	0.253483	1,169	0.338	0.297403	1,205	0.375	0.342519	1,233
0.302	0.254652	1,170	0.339	0.298608	1,206	0.376	0.343752	1,234
0.303	0.255822	1,170	0.340	0.299814	1,207	0.377	0.344986	1,235
0.304	0.256992	1,173	0.341	0.301021	1,207	0.378	0.346221	1,235
0.305	0.258165	1,172	0.342	0.302228	1,209	0.379	0.347456	1,235
0.306	0.259337	1,174	0.343	0.303437	1,209	0.380	0.348691	1,236
0.307	0.260511	1,176	0.344	0.304646	1,210	0.381	0.349927	1,238
0.308	0.261687	1,176	0.345	0.305856	1,211	0.382	0.351165	1,237
0.309	0.262863	1,176	0.346	0.307067	1,212	0.383	0.352402	1,238
0.310	0.264039	1,179	0.347	0.308279	1,213	0.384	0.353640	1,239
0.311	0.265218	1,180	0.348	0.309492	1,213	0.385	0.354879	1,240
0.312	0.266398	1,180	0.349	0.310705	1,213	0.386	0.356119	1,240
0.313	0.267578	1,181	0.350	0.311918	1,216	0.387	0.357359	1,240
0.314	0.268759	1,182	0.351	0.313134	1,216	0.388	0.358599	1,242
0.315	0.269941	1,184	0.352	0.314350	1,216	0.389	0.359841	1,241
0.316	0.271125	1,184	0.353	0.315566	1,217	0.390	0.361082	1,243
0.317	0.272309	1,186	0.354	0.316783	1,219	0.391	0.362325	1,242
0.318	0.273495	1,186	0.355	0.318002	1,218	0.392	0.363567	1,243

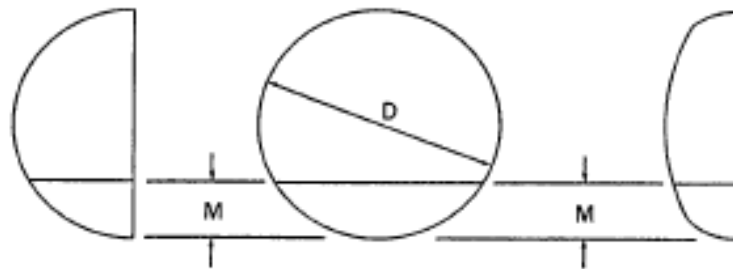
APPENDIX I (Continued)

$\frac{M}{D}$	K	Difference	$\frac{M}{D}$	K	Difference	$\frac{M}{D}$	K	Difference
0.393	0.364810	1,245	0.429	0.409904	1,261	0.465	0.455474	1,269
0.394	0.366055	1,244	0.430	0.411165	1,261	0.466	0.456743	1,271
0.395	0.367299	1,245	0.431	0.412426	1,261	0.467	0.458014	1,270
0.396	0.368544	1,246	0.432	0.413687	1,262	0.468	0.459284	1,271
0.397	0.369790	1,246	0.433	0.414949	1,262	0.469	0.460555	1,271
0.398	0.371036	1,247	0.434	0.416211	1,263	0.470	0.461826	1,270
0.399	0.372283	1,247	0.435	0.417474	1,262	0.471	0.463096	1,272
0.400	0.373530	1,248	0.436	0.418736	1,263	0.472	0.464368	1,271
0.401	0.374778	1,248	0.437	0.419999	1,263	0.473	0.465639	1,272
0.402	0.376026	1,249	0.438	0.421262	1,264	0.474	0.466911	1,272
0.403	0.377275	1,249	0.439	0.422526	1,263	0.475	0.468183	1,271
0.404	0.378524	1,250	0.440	0.423789	1,264	0.476	0.469454	1,272
0.405	0.379774	1,251	0.441	0.425053	1,265	0.477	0.470726	1,272
0.406	0.381025	1,250	0.442	0.426318	1,265	0.478	0.471998	1,272
0.407	0.382275	1,252	0.443	0.427583	1,265	0.479	0.473270	1,272
0.408	0.383527	1,251	0.444	0.428848	1,265	0.480	0.474542	1,273
0.409	0.384778	1,252	0.445	0.430113	1,266	0.481	0.475815	1,272
0.410	0.386030	1,253	0.446	0.431379	1,267	0.482	0.477087	1,272
0.411	0.387283	1,254	0.447	0.432646	1,263	0.483	0.478359	1,273
0.412	0.388537	1,253	0.448	0.433911	1,267	0.484	0.479632	1,272
0.413	0.389790	1,254	0.449	0.435178	1,267	0.485	0.480904	1,273
0.414	0.391044	1,254	0.450	0.436445	1,267	0.486	0.482177	1,274
0.415	0.392298	1,255	0.451	0.437712	1,267	0.487	0.483451	1,271
0.416	0.393553	1,256	0.452	0.438979	1,267	0.488	0.484722	1,274
0.417	0.394809	1,255	0.453	0.440246	1,268	0.489	0.485996	1,273
0.418	0.396064	1,257	0.454	0.441514	1,268	0.490	0.487269	1,273
0.419	0.397321	1,257	0.455	0.442782	1,268	0.491	0.488542	1,272
0.420	0.398578	1,256	0.456	0.444050	1,268	0.492	0.489814	1,273
0.421	0.399834	1,258	0.457	0.445318	1,270	0.493	0.491087	1,274
0.422	0.401092	1,258	0.458	0.446588	1,268	0.494	0.492361	1,273
0.423	0.402350	1,258	0.459	0.447856	1,269	0.495	0.493634	1,273
0.424	0.403608	1,258	0.460	0.449125	1,270	0.496	0.494907	1,273
0.425	0.404866	1,259	0.461	0.450395	1,269	0.497	0.496180	1,273
0.426	0.406125	1,260	0.462	0.451664	1,269	0.498	0.497454	1,273
0.427	0.407385	1,260	0.463	0.452922	1,270	0.499	0.498727	1,273
0.428	0.408645	1,259	0.464	0.454203	1,271	0.500	0.500000	1,273

TABLAS PARA DETERMINAR EL FACTOR KH DE LAS CABEZAS

APPENDIX II

COEFFICIENTS FOR PARTIAL VOLUMES OF SPHERES AND HEMISPHERICAL OR SEMIELLIPSOIDAL HEADS



Use of Table

For semielliptical heads, multiply total volume of head, or heads, by the coefficient K taken from the table for any proportion of $\frac{M}{D}$ to find volume to any given depth, M .

$$\text{Volume of one head} = \frac{\pi D^3 H}{6} = 0.52359878 D^3 H$$

For spherical tanks, multiply total volume of sphere by the coefficient K taken from the table for any proportion of $\frac{M}{D}$ to find volume to any given depth, M .

$$\text{Volume of sphere} = \frac{\pi D^3}{6} = 0.52359878 D^3$$

$\frac{M}{D}$	K	Difference	$\frac{M}{D}$	K	Difference	$\frac{M}{D}$	K	Difference
0.000	0.000000		0.017	0.000857	103	0.034	0.003389	200
0.001	0.000003	3	0.018	0.000960	109	0.035	0.003589	206
0.002	0.000012	9	0.019	0.001069	115	0.036	0.003795	211
0.003	0.000027	15	0.020	0.001184	120	0.037	0.004006	216
0.004	0.000048	21	0.021	0.001304	127	0.038	0.004222	222
0.005	0.000075	27	0.022	0.001431	132	0.039	0.004444	228
0.006	0.000108	33	0.023	0.001563	137	0.040	0.004672	233
0.007	0.000146	38	0.024	0.001700	144	0.041	0.004905	239
0.008	0.000191	45	0.025	0.001844	149	0.042	0.005144	244
0.009	0.000242	51	0.026	0.001993	155	0.043	0.005388	250
0.010	0.000298	56	0.027	0.002148	160	0.044	0.005638	255
0.011	0.000360	62	0.028	0.002308	166	0.045	0.005893	260
0.012	0.000429	69	0.029	0.002474	166	0.046	0.006153	266
0.013	0.000503	74	0.030	0.002646	172	0.047	0.006419	272
0.014	0.000583	80	0.031	0.002823	177	0.048	0.006691	277
0.015	0.000668	85	0.032	0.003006	183	0.049	0.006968	282
0.016	0.000760	92	0.033	0.003195	189	0.050	0.007250	288
		97			194			

APPENDIX II (Continued)

$\frac{M}{D}$	K	Diferença	$\frac{M}{D}$	K	Diferença	$\frac{M}{D}$	K	Diferença
0.051	0.007538		0.088	0.021869		0.125	0.042969	
		293			484			658
0.052	0.007831		0.089	0.022353		0.126	0.043627	
		298			480			663
0.053	0.008129		0.090	0.022842		0.127	0.044290	
		304			494			668
0.054	0.008433		0.091	0.023336		0.128	0.044958	
		300			499			672
0.055	0.008742		0.092	0.023835		0.129	0.045630	
		315			503			676
0.056	0.009057		0.093	0.024338		0.130	0.046306	
		320			509			681
0.057	0.009377		0.094	0.024847		0.131	0.046987	
		325			513			685
0.058	0.009702		0.095	0.025360		0.132	0.047672	
		330			519			690
0.059	0.010032		0.096	0.025879		0.133	0.048362	
		336			523			694
0.060	0.010368		0.097	0.026402		0.134	0.049056	
		341			528			698
0.061	0.010709		0.098	0.026930		0.135	0.049754	
		346			532			703
0.062	0.011055		0.099	0.027462		0.136	0.050457	
		352			538			707
0.063	0.011407		0.100	0.028000		0.137	0.051164	
		357			542			712
0.064	0.011764		0.101	0.028542		0.138	0.051876	
		362			548			716
0.065	0.012126		0.102	0.029090		0.139	0.052592	
		367			552			720
0.066	0.012493		0.103	0.029642		0.140	0.053312	
		372			556			725
0.067	0.012865		0.104	0.030198		0.141	0.054037	
		378			562			728
0.068	0.013243		0.105	0.030760		0.142	0.054765	
		383			566			734
0.069	0.013626		0.106	0.031326		0.143	0.055499	
		388			571			737
0.070	0.014014		0.107	0.031897		0.144	0.056236	
		393			576			742
0.071	0.014407		0.108	0.032473		0.145	0.056978	
		399			580			746
0.072	0.014806		0.109	0.033053		0.146	0.057724	
		403			585			750
0.073	0.015209		0.110	0.033638		0.147	0.058474	
		409			590			754
0.074	0.015618		0.111	0.034228		0.148	0.059228	
		413			594			759
0.075	0.016031		0.112	0.034822		0.149	0.059987	
		419			599			763
0.076	0.016450		0.113	0.035421		0.150	0.060750	
		424			604			767
0.077	0.016874		0.114	0.036025		0.151	0.061517	
		429			608			771
0.078	0.017303		0.115	0.036633		0.152	0.062288	
		434			613			776
0.079	0.017737		0.116	0.037246		0.153	0.063064	
		439			618			779
0.080	0.018176		0.117	0.037864		0.154	0.063843	
		444			622			784
0.081	0.018620		0.118	0.038486		0.155	0.064627	
		449			627			788
0.082	0.019069		0.119	0.039113		0.156	0.065415	
		454			631			792
0.083	0.019523		0.120	0.039744		0.157	0.066207	
		460			636			796
0.084	0.019983		0.121	0.040380		0.158	0.067003	
		464			640			801
0.085	0.020447		0.122	0.041020		0.159	0.067804	
		469			645			804
0.086	0.020916		0.123	0.041665		0.160	0.068608	
		474			650			808
0.087	0.021390		0.124	0.042315		0.161	0.069416	
		479			654			813

APPENDIX II (Continued)

$\frac{M}{D}$	K	Difference	$\frac{M}{D}$	K	Difference	$\frac{M}{D}$	K	Difference
0.162	0.070220	817	0.199	0.103042	958	0.236	0.140709	1,083
0.163	0.071046	820	0.200	0.104000	962	0.237	0.141882	1,087
0.164	0.071866	825	0.201	0.104962	965	0.238	0.142969	1,090
0.165	0.072691	829	0.202	0.105927	969	0.239	0.144059	1,093
0.166	0.073520	832	0.203	0.106896	973	0.240	0.145152	1,096
0.167	0.074352	837	0.204	0.107869	976	0.241	0.146248	1,099
0.168	0.075189	840	0.205	0.108845	979	0.242	0.147347	1,102
0.169	0.076029	845	0.206	0.109824	984	0.243	0.148449	1,105
0.170	0.076874	849	0.207	0.110808	986	0.244	0.149554	1,109
0.171	0.077723	852	0.208	0.111794	990	0.245	0.150663	1,111
0.172	0.078575	857	0.209	0.112784	994	0.246	0.151774	1,114
0.173	0.079432	860	0.210	0.113778	997	0.247	0.152888	1,118
0.174	0.080292	864	0.211	0.114775	1,001	0.248	0.154006	1,121
0.175	0.081156	868	0.212	0.115776	1,004	0.249	0.155127	1,123
0.176	0.082024	873	0.213	0.116780	1,007	0.250	0.156250	1,126
0.177	0.082897	875	0.214	0.117787	1,011	0.251	0.157376	1,130
0.178	0.083772	880	0.215	0.118798	1,015	0.252	0.158506	1,132
0.179	0.084652	884	0.216	0.119813	1,017	0.253	0.159638	1,136
0.180	0.085536	888	0.217	0.120830	1,022	0.254	0.160774	1,138
0.181	0.086424	891	0.218	0.121852	1,024	0.255	0.161912	1,142
0.182	0.087315	895	0.219	0.122876	1,028	0.256	0.163054	1,144
0.183	0.088210	899	0.220	0.123904	1,031	0.257	0.164198	1,147
0.184	0.089109	903	0.221	0.124935	1,035	0.258	0.165345	1,150
0.185	0.090012	906	0.222	0.125970	1,038	0.259	0.166495	1,153
0.186	0.090918	910	0.223	0.127008	1,041	0.260	0.167648	1,156
0.187	0.091828	915	0.224	0.128049	1,045	0.261	0.168804	1,159
0.188	0.092743	917	0.225	0.129094	1,048	0.262	0.169963	1,161
0.189	0.093660	922	0.226	0.130142	1,051	0.263	0.171124	1,165
0.190	0.094582	925	0.227	0.131193	1,054	0.264	0.172289	1,167
0.191	0.095507	929	0.228	0.132247	1,058	0.265	0.173456	1,170
0.192	0.096436	933	0.229	0.133305	1,061	0.266	0.174626	1,173
0.193	0.097369	936	0.230	0.134366	1,064	0.267	0.175799	1,175
0.194	0.098305	940	0.231	0.135430	1,068	0.268	0.176974	1,179
0.195	0.099245	944	0.232	0.136498	1,070	0.269	0.178153	1,181
0.196	0.100189	947	0.233	0.137568	1,074	0.270	0.179334	1,184
0.197	0.101136	951	0.234	0.138642	1,077	0.271	0.180518	1,187
0.198	0.102087	955	0.235	0.139719	1,080	0.272	0.181705	1,189

APPENDIX II (Continued)

$\frac{M}{D}$	K	Difference	$\frac{M}{D}$	K	Difference	$\frac{M}{D}$	K	Difference
0.273	0.182894	1,192	0.311	0.230003	1,286	0.349	0.280386	1,364
0.274	0.184086	1,195	0.312	0.231289	1,289	0.350	0.281750	1,366
0.275	0.185281	1,198	0.313	0.232578	1,292	0.351	0.283116	1,368
0.276	0.186479	1,200	0.314	0.233870	1,293	0.352	0.284484	1,369
0.277	0.187679	1,203	0.315	0.235163	1,296	0.353	0.285853	1,371
0.278	0.188882	1,206	0.316	0.236459	1,298	0.354	0.287224	1,373
0.279	0.190088	1,208	0.317	0.237757	1,300	0.355	0.288597	1,375
0.280	0.191296	1,211	0.318	0.239057	1,302	0.356	0.289972	1,376
0.281	0.192507	1,213	0.319	0.240359	1,305	0.357	0.291348	1,378
0.282	0.193720	1,217	0.320	0.241664	1,307	0.358	0.292726	1,380
0.283	0.194937	1,218	0.321	0.242971	1,309	0.359	0.294106	1,382
0.284	0.196155	1,222	0.322	0.244280	1,311	0.360	0.295488	1,383
0.285	0.197377	1,224	0.323	0.245591	1,313	0.361	0.296871	1,385
0.286	0.198601	1,226	0.324	0.246904	1,315	0.362	0.298256	1,387
0.287	0.199827	1,229	0.325	0.248219	1,317	0.363	0.299643	1,388
0.288	0.201056	1,232	0.326	0.249536	1,319	0.364	0.301031	1,390
0.289	0.202288	1,234	0.327	0.250855	1,322	0.365	0.302421	1,391
0.290	0.203522	1,237	0.328	0.252177	1,323	0.366	0.303812	1,393
0.291	0.204759	1,239	0.329	0.253500	1,326	0.367	0.305205	1,395
0.292	0.205998	1,241	0.330	0.254826	1,328	0.368	0.306600	1,396
0.293	0.207239	1,245	0.331	0.256154	1,329	0.369	0.307996	1,398
0.294	0.208484	1,246	0.332	0.257483	1,332	0.370	0.309394	1,399
0.295	0.209730	1,249	0.333	0.258815	1,334	0.371	0.310793	1,401
0.296	0.210979	1,252	0.334	0.260149	1,335	0.372	0.312194	1,403
0.297	0.212231	1,254	0.335	0.261484	1,338	0.373	0.313597	1,404
0.298	0.213485	1,256	0.336	0.262822	1,339	0.374	0.315001	1,405
0.299	0.214741	1,259	0.337	0.264161	1,342	0.375	0.316406	1,407
0.300	0.216000	1,261	0.338	0.265503	1,344	0.376	0.317813	1,409
0.301	0.217261	1,264	0.339	0.266847	1,345	0.377	0.319222	1,410
0.302	0.218525	1,266	0.340	0.268192	1,347	0.378	0.320632	1,411
0.303	0.219791	1,268	0.341	0.269539	1,350	0.379	0.322043	1,413
0.304	0.221059	1,271	0.342	0.270889	1,351	0.380	0.323456	1,414
0.305	0.222330	1,273	0.343	0.272240	1,353	0.381	0.324870	1,416
0.306	0.223603	1,275	0.344	0.273592	1,355	0.382	0.326286	1,417
0.307	0.224878	1,278	0.345	0.274948	1,357	0.383	0.327703	1,419
0.308	0.226156	1,280	0.346	0.276305	1,358	0.384	0.329122	1,420
0.309	0.227436	1,282	0.347	0.277663	1,361	0.385	0.330542	1,421
0.310	0.228718	1,285	0.348	0.279024	1,362	0.386	0.331963	1,423

APPENDIX II (Continued)

$\frac{M}{D}$	K	Difference	$\frac{M}{D}$	K	Difference	$\frac{M}{D}$	K	Difference
0.387	0.333386	1,424	0.425	0.388344	1,467	0.463	0.444601	1,492
0.388	0.334810	1,425	0.426	0.389811	1,468	0.464	0.446093	1,493
0.389	0.336235	1,427	0.427	0.391279	1,468	0.465	0.447586	1,493
0.390	0.337662	1,428	0.428	0.392747	1,469	0.466	0.449079	1,493
0.391	0.339090	1,429	0.429	0.394216	1,470	0.467	0.450572	1,494
0.392	0.340519	1,431	0.430	0.395686	1,471	0.468	0.452066	1,494
0.393	0.341950	1,432	0.431	0.397157	1,472	0.469	0.453560	1,494
0.394	0.343382	1,433	0.432	0.398629	1,473	0.470	0.455054	1,495
0.395	0.344815	1,435	0.433	0.400102	1,473	0.471	0.456549	1,495
0.396	0.346250	1,435	0.434	0.401575	1,474	0.472	0.458044	1,495
0.397	0.347685	1,437	0.435	0.403049	1,475	0.473	0.459539	1,496
0.398	0.349122	1,439	0.436	0.404524	1,476	0.474	0.461035	1,496
0.399	0.350561	1,439	0.437	0.406000	1,477	0.475	0.462531	1,497
0.400	0.352000	1,441	0.438	0.407477	1,477	0.476	0.464028	1,496
0.401	0.353441	1,441	0.439	0.408954	1,478	0.477	0.465524	1,497
0.402	0.354882	1,443	0.440	0.410432	1,479	0.478	0.467021	1,498
0.403	0.356325	1,444	0.441	0.411911	1,479	0.479	0.468519	1,497
0.404	0.357769	1,446	0.442	0.413390	1,480	0.480	0.470016	1,498
0.405	0.359215	1,447	0.443	0.414870	1,481	0.481	0.471514	1,498
0.406	0.360662	1,447	0.444	0.416351	1,482	0.482	0.473012	1,498
0.407	0.362109	1,448	0.445	0.417833	1,482	0.483	0.474510	1,498
0.408	0.363557	1,450	0.446	0.419315	1,483	0.484	0.476008	1,499
0.409	0.365007	1,451	0.447	0.420798	1,483	0.485	0.477507	1,498
0.410	0.366458	1,452	0.448	0.422281	1,484	0.486	0.479005	1,499
0.411	0.367910	1,453	0.449	0.423765	1,485	0.487	0.480504	1,499
0.412	0.369363	1,454	0.450	0.425250	1,485	0.488	0.482003	1,500
0.413	0.370817	1,455	0.451	0.426735	1,486	0.489	0.483503	1,499
0.414	0.372272	1,456	0.452	0.428221	1,487	0.490	0.485002	1,499
0.415	0.373728	1,457	0.453	0.429708	1,487	0.491	0.486501	1,500
0.416	0.375185	1,459	0.454	0.431195	1,487	0.492	0.488001	1,500
0.417	0.376644	1,459	0.455	0.432682	1,488	0.493	0.489501	1,499
0.418	0.378103	1,460	0.456	0.434170	1,489	0.494	0.491000	1,500
0.419	0.379563	1,461	0.457	0.435659	1,489	0.495	0.492500	1,500
0.420	0.381024	1,462	0.458	0.437148	1,490	0.496	0.494000	1,500
0.421	0.382486	1,463	0.459	0.438638	1,490	0.497	0.495500	1,500
0.422	0.383949	1,464	0.460	0.440128	1,491	0.498	0.497000	1,500
0.423	0.385413	1,465	0.461	0.441619	1,491	0.499	0.498500	1,500
0.424	0.386878	1,466	0.462	0.443110	1,491	0.500	0.500000	1,500

ANEXO 3

EJEMPLO DE CÁLCULOS **TANQUES VERTICALES**

EJEMPLO DE CALIBRACIÓN TANQUE VERTICAL

En este anexo se detalla el procedimiento para la calibración volumétrica de un tanque vertical de las siguientes características.

Propietario:	PETROECUADOR
Locación:	Auca Central
Capacidad:	106000 barriles
Código:	ACT-01
Tipo de cuerpo:	Láminas soldadas a tope
Tipo de techo:	Flotante
Tipo de Fondo:	Cónico hacia arriba
Producto almacenado:	Crudo

El procedimiento utilizado para realizar la calibración de este tanque es mediante la utilización de las memorias de cálculo realizadas en MathCad14 para la obtención de los incrementos de volumen de cada anillo y las hojas de Excel para la obtención de los incrementos de volumen de los accesorios, techo flotante, fondo y para la realización de la tabla de calibración.

PROCEDIMIENTO TRADICIONAL - MEMORIAS DE CÁLCULO MATHCAD14

Las medidas de campo requeridas para la calibración volumétrica del tanque vertical de código ACT-01 se muestran en el Anexo 1 (Actas de Registro de Medidas de Campo Tanques Verticales).

Con toda la información que se indica en las Actas de registro se procede a llenar los datos requeridos en las memorias de cálculo creada para este tipo de tanque para posteriormente obtener los incrementos de volumen de cada anillo. Todos los cálculos y el procedimiento realizado en MathCad14 se lo indican a continuación:

CALIBRACION DE UN TANQUE VERTICAL DE ALMACENAMIENTO SEGUN LA NORMA API MPMS

DATOS DEL TANQUE:

$$FU := 3.28083989 \quad \frac{\text{ft}}{\text{m}} \quad FX := 0.039370078 \quad \frac{\text{in}}{\text{mm}}$$

Circunferencia (pies) .-

	AI 20%		AI 80%	
Anillo 1:	$a1 := (128.464) \cdot FU = 421.469816$	ft	$b1 := (128.483) \cdot FU = 421.532152$	ft
Anillo 2:	$a2 := (128.469) \cdot FU = 421.48622$	ft	$b2 := (128.463) \cdot FU = 421.466535$	ft
Anillo 3:	$a3 := (128.448) \cdot FU = 421.417323$	ft	$b3 := (128.439) \cdot FU = 421.387795$	ft
Anillo 4:	$a4 := (128.400) \cdot FU = 421.259843$	ft	$b4 := (128.383) \cdot FU = 421.204068$	ft
Anillo 5:	$a5 := (128.513) \cdot FU = 421.627297$	ft	$b5 := (128.384) \cdot FU = 421.207349$	ft
Anillo 6:	$a6 := (128.377) \cdot FU = 421.184383$	ft	$b6 := (128.376) \cdot FU = 421.181102$	ft

Espesores (pulgadas) .-

	AI 20%	AI 80%	Promedio	
Anillo 1:	$x1 := (16.35) \cdot FX$	$y1 := (16.26) \cdot FX$	$t1 := \frac{x1 + y1}{2} = 0.641929$	in
Anillo 2:	$x2 := (7.04) \cdot FX$	$y2 := (7.04) \cdot FX$	$t2 := \frac{x2 + y2}{2} = 0.277165$	in
Anillo 3:	$x3 := (12.20) \cdot FX$	$y3 := (12.15) \cdot FX$	$t3 := \frac{x3 + y3}{2} = 0.479331$	in
Anillo 4:	$x4 := (9.20) \cdot FX$	$y4 := (9.05) \cdot FX$	$t4 := \frac{x4 + y4}{2} = 0.359252$	in
Anillo 5:	$x5 := (8.80) \cdot FX$	$y5 := (8.97) \cdot FX$	$t5 := \frac{x5 + y5}{2} = 0.349803$	in
Anillo 6:	$x6 := (8.42) \cdot FX$	$y6 := (8.38) \cdot FX$	$t6 := \frac{x6 + y6}{2} = 0.330709$	in

Altura de los anillos (pulgadas) .-

Anillo 1:	$h1 := (204) \cdot FX = 80.354331$	in
Anillo 2:	$h2 := (2175) \cdot FX = 85.629921$	in

Anillo 3:	$h3 := (2175) \cdot FX = 85.629921$	in
Anillo 4:	$h4 := (2165) \cdot FX = 85.23622$	in
Anillo 5:	$h5 := (2156) \cdot FX = 84.88189$	in
Anillo 6:	$h6 := (2165) \cdot FX = 85.23622$	in

Soldadura (pulgadas) .-

	NUMERO	ANCHO	
Anillo 1:	$N1 := 17$	$Ws := (15)FX = 0.590551$	in
Anillo 2:	$N2 := 17$	ESPESOR	
Anillo 3:	$N3 := 17$	$es := (3) \cdot FX = 0.11811$	in
Anillo 4:	$N4 := 17$		
Anillo 5:	$N5 := 17$		
Anillo 6:	$N6 := 17$		

Otros datos .-

Altura del líquido al momento de la calibración	$hL := (8.417) \cdot FU = 27.614829$	ft
Temperatura Ambiente de medición (F) :	$tm := 78$	°F
Temperatura del liquido de servicio:	$tl := 85$	°F
Diámetro nominal (in):	$dn := (40.84) \cdot \frac{FX}{0.001} = 1.607874 \times 10^3$	in
Grado API a 60°F:	$API := 23.7$	

CÁLCULOS:

1. Calibración de la cinta de trabajo con la cinta master.-

La cinta master a 10 lb de tensión = 100.0026 ft por 100 ft medidos

$$X := \frac{b1 \cdot 100.0026}{100} = 421.543112 \quad \text{ft}$$

2. Corrección de la cinta de medición a 60° F (c60) .-

Grados a corregir :	$gc := tm - 60 = 18$	°F
Coefficiente de expansion:	$ce := 0.0000064$	

Factor de corrección : $fc := 1 - (gc \cdot ce) = 0.999884$

Corrección/medida circ.: $c60 := [b1 - (X \cdot fc)] = 0.037981 \quad ft$

3. Dedución del aumento de la cinta (cc).-

JUNTAS SOLDADAS

BUTT STRAPS:

$$\left(\frac{2N \cdot t \cdot W}{d} + \frac{8N \cdot t}{3} \cdot \sqrt{\frac{t}{d}} \right) \div 12$$

N : numero de butt straps o lap joints por anillo

W : ancho de la soldadura

t : espesor de la soldadura

d : diámetro nominal

Anillo 1: $cc1 := \left(\frac{2 \cdot N1 \cdot es \cdot Ws}{dn} + \frac{8 \cdot N1 \cdot es}{3} \cdot \sqrt{\frac{es}{dn}} \right) \div 12 = 3.947121 \times 10^{-3} \quad ft$

Anillo 2: $cc2 := \left(\frac{2 \cdot N2 \cdot es \cdot Ws}{dn} + \frac{8 \cdot N2 \cdot es}{3} \cdot \sqrt{\frac{es}{dn}} \right) \div 12 = 3.947121 \times 10^{-3} \quad ft$

Anillo 3: $cc3 := \left(\frac{2 \cdot N3 \cdot es \cdot Ws}{dn} + \frac{8 \cdot N3 \cdot es}{3} \cdot \sqrt{\frac{es}{dn}} \right) \div 12 = 3.947121 \times 10^{-3} \quad ft$

Anillo 4: $cc4 := \left(\frac{2 \cdot N4 \cdot es \cdot Ws}{dn} + \frac{8 \cdot N4 \cdot es}{3} \cdot \sqrt{\frac{es}{dn}} \right) \div 12 = 3.947121 \times 10^{-3} \quad ft$

Anillo 5: $cc5 := \left(\frac{2 \cdot N5 \cdot es \cdot Ws}{dn} + \frac{8 \cdot N5 \cdot es}{3} \cdot \sqrt{\frac{es}{dn}} \right) \div 12 = 3.947121 \times 10^{-3} \quad ft$

Anillo 6: $cc6 := \left(\frac{2 \cdot N6 \cdot es \cdot Ws}{dn} + \frac{8 \cdot N6 \cdot es}{3} \cdot \sqrt{\frac{es}{dn}} \right) \div 12 = 3.947121 \times 10^{-3} \quad ft$

4. Corrección de las medidas de la circunferencia para base de tanques vacíos (cv).-

$$\frac{W \cdot h \cdot C^2}{2\pi E t}$$

Peso de un pie cubico de agua fresca a 60°F:

$\underline{W}_w := 62.5 \quad lb$

Módulo de elasticidad del acero:

E := 2900000 psi

Circunferencia medida (pies) - corrección de cinta 60° :

C = C.. - c60

Espesor de la lamina (pulgadas) :

t

Columna hidrostática por encima de la altura medida (pies) :

h

$$k := \frac{W}{24 \cdot \pi \cdot E} = 2.849239 \times 10^{-8}$$

Anillo 1: **20 %** $cv1a := k \cdot \frac{\left[hL - \left(\frac{h1 \cdot 0.20}{12} \right) \right] \cdot (a1 - c60)^2}{t1} = 0.207133$ ft

80 % $cv1b := k \cdot \frac{\left[hL - \left(\frac{h1 \cdot 0.80}{12} \right) \right] \cdot (b1 - c60)^2}{t1} = 0.175513$ ft

Anillo 2: **20 %** $cv2a := k \cdot \frac{\left[hL - \left(\frac{h1 + h2 \cdot 0.20}{12} \right) \right] \cdot (a2 - c60)^2}{t2} = 0.355896$ ft

80 % $cv2b := k \cdot \frac{\left[hL - \left(\frac{h1 + h2 \cdot 0.80}{12} \right) \right] \cdot (b2 - c60)^2}{t2} = 0.277694$ ft

Anillo 3: **20 %** $cv3a := k \cdot \frac{\left[hL - \left(\frac{h1 + h2 + h3 \cdot 0.20}{12} \right) \right] \cdot (a3 - c60)^2}{t3} = 0.130408$ ft

80 % $cv3b := k \cdot \frac{\left[hL - \left(\frac{h1 + h2 + h3 \cdot 0.80}{12} \right) \right] \cdot (b3 - c60)^2}{t3} = 0.085207$ ft

Anillo 4: **20 %** $cv4a := k \cdot \frac{\left[hL - \left(\frac{h1 + h2 + h3 + h4 \cdot 0.20}{12} \right) \right] \cdot (a4 - c60)^2}{t4} = 0.073545$ ft

80 % $cv4b := k \cdot \frac{\left[hL - \left(\frac{h1 + h2 + h3 + h4 \cdot 0.80}{12} \right) \right] \cdot (b4 - c60)^2}{t4} = 0.01357$ ft

Anillo 5: **20 %** $cv5a := k \cdot \frac{\left[hL - \left(\frac{h1 + h2 + h3 + h4 + h5 \cdot 0.20}{12} \right) \right] \cdot (a5 - c60)^2}{t5} = -0.027083$ ft

$$\mathbf{80\%} \quad cv5b := k \cdot \frac{\left[hL - \left(\frac{h1 + h2 + h3 + h4 + h5 \cdot 0.80}{12} \right) \right] \cdot (b5 - c60)^2}{t5} = -0.088349 \quad \text{ft}$$

$$\text{Anillo 6: } \mathbf{20\%} \quad cv6a := k \cdot \frac{\left[hL - \left(\frac{h1 + h2 + h3 + h4 + h5 + h6 \cdot 0.20}{12} \right) \right] \cdot (a6 - c60)^2}{t6} = -0.136766 \quad \text{ft}$$

$$\mathbf{80\%} \quad cv6b := k \cdot \frac{\left[hL - \left(\frac{h1 + h2 + h3 + h4 + h5 + h6 \cdot 0.80}{12} \right) \right] \cdot (b6 - c60)^2}{t6} = -0.201888 \quad \text{ft}$$

5. Corrección de la circunferencia exterior hacia la interior (ct).-

$$\text{Anillo 1:} \quad ct1 := \frac{\pi \cdot t1}{6} = 0.336113 \quad \text{ft}$$

$$\text{Anillo 2:} \quad ct2 := \frac{\pi \cdot t2}{6} = 0.145123 \quad \text{ft}$$

$$\text{Anillo 3:} \quad ct3 := \frac{\pi \cdot t3}{6} = 0.250977 \quad \text{ft}$$

$$\text{Anillo 4:} \quad ct4 := \frac{\pi \cdot t4}{6} = 0.188104 \quad \text{ft}$$

$$\text{Anillo 5:} \quad ct5 := \frac{\pi \cdot t5}{6} = 0.183157 \quad \text{ft}$$

$$\text{Anillo 6:} \quad ct6 := \frac{\pi \cdot t6}{6} = 0.173159 \quad \text{ft}$$

6. Resultado de las correcciones en las circunferencias internas (Cc).-

$$\text{Anillo 1:} \quad \mathbf{20\%} \quad Cc1a := a1 - c60 - cc1 - cv1a - ct1 = 420.884642 \quad \text{ft}$$

$$\mathbf{80\%} \quad Cc1b := b1 - c60 - cc1 - cv1b - ct1 = 420.978598 \quad \text{ft}$$

$$\text{Anillo 2:} \quad \mathbf{20\%} \quad Cc2a := a2 - c60 - cc2 - cv2a - ct2 = 420.943273 \quad \text{ft}$$

$$\mathbf{80\%} \quad Cc2b := b2 - c60 - cc2 - cv2b - ct2 = 421.00179 \quad \text{ft}$$

$$\text{Anillo 3:} \quad \mathbf{20\%} \quad Cc3a := a3 - c60 - cc3 - cv3a - ct3 = 420.994009 \quad \text{ft}$$

$$\mathbf{80\%} \quad Cc3b := b3 - c60 - cc3 - cv3b - ct3 = 421.009683 \quad \text{ft}$$

Anillo 4:	20 %	$Cc4a := a4 - c60 - cc4 - cv4a - ct4 = 420.956265$	ft
	80 %	$Cc4b := b4 - c60 - cc4 - cv4b - ct4 = 420.960466$	ft
Anillo 5:	20 %	$Cc5a := a5 - c60 - cc5 - 0 - ct5 = 421.402212$	ft
	80 %	$Cc5b := b5 - c60 - cc5 - 0 - ct5 = 420.982264$	ft
Anillo 6:	20 %	$Cc6a := a6 - c60 - cc6 - 0 - ct6 = 420.969296$	ft
	80 %	$Cc6b := b6 - c60 - cc6 - 0 - ct6 = 420.966015$	ft

7. Corrección de la circunferencia interna al máximo esfuerzo en cada anillo.-

$$-k \cdot \frac{SG \cdot h \cdot C^2}{t}$$

Gravedad específica a 60°F de producto almacenado:	SC
Circunferencia interna corregida (pies) :	$C = Cc$
Espesor de la lamina (pulgadas) :	t
Constante k:	$k = 2.849239 \times 10^{-8}$

$$SG := \frac{141.5}{API + 131.5} = 0.911727$$

Anillo 1:	20 %	$cs1a := k \cdot \frac{SG(h1 - h1 \cdot 0.20) \cdot (Cc1a)^2}{t1 \cdot 12} = 0.038402$	ft
	80 %	$cs1b := k \cdot \frac{SG(h1 - h1 \cdot 0.80) \cdot (Cc1b)^2}{t1 \cdot 12} = 9.604719 \times 10^{-3}$	ft
Anillo 2:	20 %	$cs2a := k \cdot \frac{SG(h2 - h2 \cdot 0.20) \cdot (Cc2a)^2}{t2 \cdot 12} = 0.094806$	ft
	80 %	$cs2b := k \cdot \frac{SG(h2 - h2 \cdot 0.80) \cdot (Cc2b)^2}{t2 \cdot 12} = 0.023708$	ft
Anillo 3:	20 %	$cs3a := k \cdot \frac{SG(h3 - h3 \cdot 0.20) \cdot (Cc3a)^2}{t3 \cdot 12} = 0.054833$	ft
	80 %	$cs3b := k \cdot \frac{SG(h3 - h3 \cdot 0.80) \cdot (Cc3b)^2}{t3 \cdot 12} = 0.013709$	ft
Anillo 4:	20 %	$cs4a := k \cdot \frac{SG(h4 - h4 \cdot 0.20) \cdot (Cc4a)^2}{t4 \cdot 12} = 0.072812$	ft
	80 %	$cs4b := k \cdot \frac{SG(h4 - h4 \cdot 0.80) \cdot (Cc4b)^2}{t4 \cdot 12} = 0.018203$	ft

Anillo 5:	20 %	$cs5a := k \cdot \frac{SG(h5 - h5 \cdot 0.20) \cdot (Cc5a)^2}{t5 \cdot 12} = 0.074626$	ft
	80 %	$cs5b := k \cdot \frac{SG(h5 - h5 \cdot 0.80) \cdot (Cc5b)^2}{t5 \cdot 12} = 0.018619$	ft
Anillo 6:	20 %	$cs6a := k \cdot \frac{SG(h6 - h6 \cdot 0.20) \cdot (Cc6a)^2}{t6 \cdot 12} = 0.079101$	ft
	80 %	$cs6b := k \cdot \frac{SG(h6 - h6 \cdot 0.80) \cdot (Cc6b)^2}{t6 \cdot 12} = 0.019775$	ft

8. Cálculo de la circunferencia interna al máximo esfuerzo (Ce).-

Anillo 1:	20 %	$Ce1a := Cc1a + cs1a = 420.923043$	ft
	80 %	$Ce1b := Cc1b + cs1b = 420.988202$	ft
	Prom.	$Ce1 := \frac{Ce1a + Ce1b}{2} = 420.955623$	ft
Anillo 2:	20 %	$Ce2a := Cc2a + cs2a = 421.038079$	ft
	80 %	$Ce2b := Cc2b + cs2b = 421.025498$	ft
	Prom.	$Ce2 := \frac{Ce2a + Ce2b}{2} = 421.031788$	ft
Anillo 3:	20 %	$Ce3a := Cc3a + cs3a = 421.048842$	ft
	80 %	$Ce3b := Cc3b + cs3b = 421.023392$	ft
	Prom.	$Ce3 := \frac{Ce3a + Ce3b}{2} = 421.036117$	ft
Anillo 4:	20 %	$Ce4a := Cc4a + cs4a = 421.029077$	ft
	80 %	$Ce4b := Cc4b + cs4b = 420.97867$	ft
	Prom.	$Ce4 := \frac{Ce4a + Ce4b}{2} = 421.003873$	ft
Anillo 5:	20 %	$Ce5a := Cc5a + cs5a = 421.476837$	ft
	80 %	$Ce5b := Cc5b + cs5b = 421.000883$	ft
	Prom.	$Ce5 := \frac{Ce5a + Ce5b}{2} = 421.23886$	ft

Anillo 6:	20 %	$Ce6a := Cc6a + cs6a = 421.048397$	ft
	80 %	$Ce6b := Cc6b + cs6b = 420.98579$	ft
	Prom.	$Ce6 := \frac{Ce6a + Ce6b}{2} = 421.017094$	ft

9. Cálculo del Incremento del Volumen.-

Factor de conversion (FC): $FC := 970 \frac{\text{in}^3}{\text{bbl}}$

Anillo 1: $r1 := \frac{Ce1}{2\pi} \cdot 12 = 803.966019$ in

$$v1 := \frac{\pi \cdot r1^2}{FC} = 209.297474 \frac{\text{bbl}}{\text{in}}$$

Anillo 2: $r2 := \frac{Ce2}{2\pi} \cdot 12 = 804.111484$ in

$$v2 := \frac{\pi \cdot r2^2}{FC} = 209.373219 \frac{\text{bbl}}{\text{in}}$$

Anillo 3: $r3 := \frac{Ce3}{2\pi} \cdot 12 = 804.119751$ in

$$v3 := \frac{\pi \cdot r3^2}{FC} = 209.377525 \frac{\text{bbl}}{\text{in}}$$

Anillo 4: $r4 := \frac{Ce4}{2\pi} \cdot 12 = 804.05817$ in

$$v4 := \frac{\pi \cdot r4^2}{FC} = 209.345457 \frac{\text{bbl}}{\text{in}}$$

Anillo 5: $r5 := \frac{Ce5}{2\pi} \cdot 12 = 804.506962$ in

$$v5 := \frac{\pi \cdot r5^2}{FC} = 209.579218 \frac{\text{bbl}}{\text{in}}$$

Anillo 6:

$$r_6 := \frac{Ce_6}{2\pi} \cdot 12 = 804.083419 \quad \text{in}$$

$$v_6 := \frac{\pi \cdot r_6^2}{FC} = 209.358605 \quad \frac{\text{bbl}}{\text{in}}$$

10. Incremento del volumen por anillo y por cada pulgada de liquido sobre el anillo.-

$$\frac{\pi \cdot W \cdot SG \cdot d^3 \cdot h}{4 \cdot E \cdot t}$$

Gravedad especifica a 60°F de producto almacenado: $SG = 0.911727$

Módulo de elasticidad del acero: $E = 2.9 \times 10^7 \quad \text{psi}$

Peso de un pie cubico de agua fresca a 60°F: $W = 62.3 \quad \text{lb}$

Altura del anillo en pulgadas: h

Espesor de los anillos en pulgadas: t

Promedio del diámetro interno : $d := \frac{2}{12} \cdot \frac{(r_1 + r_2 + r_3 + r_4 + r_5 + r_6)}{6} \quad \text{in}$

$$K_t := \frac{\pi \cdot W \cdot SG \cdot d^3}{4 \cdot E} = 3.703288$$

Anillo 1: $\Delta v_1 := \frac{K_t}{FC} \cdot \frac{h_1}{t_1} = 0.04778 \quad \frac{\text{bbl}}{\text{in}}$

Anillo 2: $\Delta v_2 := \frac{K_t}{FC} \cdot \frac{h_2}{t_2} = 0.117927 \quad \frac{\text{bbl}}{\text{in}}$

Anillo 3: $\Delta v_3 := \frac{K_t}{FC} \cdot \frac{h_3}{t_3} = 0.068189 \quad \frac{\text{bbl}}{\text{in}}$

Anillo 4: $\Delta v_4 := \frac{K_t}{FC} \cdot \frac{h_4}{t_4} = 0.090563 \quad \frac{\text{bbl}}{\text{in}}$

Anillo 5: $\Delta v_5 := \frac{K_t}{FC} \cdot \frac{h_5}{t_5} = 0.092623 \quad \frac{\text{bbl}}{\text{in}}$

Anillo 6: $\Delta v_6 := \frac{K_t}{FC} \cdot \frac{h_6}{t_6} = 0.09838 \quad \frac{\text{bbl}}{\text{in}}$

Corrección del incremento de volumen

Anillo 1:	$\Delta V1 := 0$	
Anillo 2:	$\Delta V2 := \Delta v1 = 0.04778$	$\frac{\text{bbl}}{\text{in}}$
Anillo 3:	$\Delta V3 := \Delta v1 + \Delta v2 = 0.165707$	$\frac{\text{bbl}}{\text{in}}$
Anillo 4:	$\Delta V4 := \Delta v1 + \Delta v2 + \Delta v3 = 0.233896$	$\frac{\text{bbl}}{\text{in}}$
Anillo 5:	$\Delta V5 := \Delta v1 + \Delta v2 + \Delta v3 + \Delta v4 = 0.32446$	$\frac{\text{bbl}}{\text{in}}$
Anillo 5:	$\Delta V6 := \Delta v1 + \Delta v2 + \Delta v3 + \Delta v4 + \Delta v5 = 0.417082$	$\frac{\text{bbl}}{\text{in}}$

11. Sumario de correcciones realizadas.-

Anillo 1:	$V1 := v1 + \Delta V1 = 209.297474$	$\frac{\text{bbl}}{\text{in}}$
Anillo 2:	$V2 := v2 + \Delta V2 = 209.421$	$\frac{\text{bbl}}{\text{in}}$
Anillo 3:	$V3 := v3 + \Delta V3 = 209.543232$	$\frac{\text{bbl}}{\text{in}}$
Anillo 4:	$V4 := v4 + \Delta V4 = 209.579353$	$\frac{\text{bbl}}{\text{in}}$
Anillo 5:	$V5 := v5 + \Delta V5 = 209.903678$	$\frac{\text{bbl}}{\text{in}}$
Anillo 5:	$V6 := v6 + \Delta V6 = 209.775687$	$\frac{\text{bbl}}{\text{in}}$

12. Expansión y contracción del tanque debido a la temperatura.-

Temperatura del liquido de servicio:	$t_l = 89$	$^{\circ}\text{F}$
Temperatura del medio ambiente:	$t_m = 78$	$^{\circ}\text{F}$
Temperatura del acero:	TS	

Para tanques metálicos no aislados

$$TS := \frac{(7 \cdot t_l + t_m)}{8} = 87.625 \quad ^{\circ}\text{F}$$

$$K_t := 1 + 12.4 \cdot 10^{-6} \cdot (TS - 60) + 4 \cdot 10^{-9} \cdot (TS - 60)^2$$

$$K_t = 1.000346$$

13. Corrección del volumen a la temperatura del acero.-

Anillo 1:	$V1c := K_t \cdot V1 = 209.369808$	$\frac{\text{bbl}}{\text{in}}$	Como se
Anillo 2:	$V2c := K_t \cdot V2 = 209.493376$	$\frac{\text{bbl}}{\text{in}}$	resultado final
Anillo 3:	$V3c := K_t \cdot V3 = 209.615651$	$\frac{\text{bbl}}{\text{in}}$	son los
Anillo 4:	$V4c := K_t \cdot V4 = 209.651785$	$\frac{\text{bbl}}{\text{in}}$	cada anillo.
Anillo 5:	$V5c := K_t \cdot V5 = 209.976221$	$\frac{\text{bbl}}{\text{in}}$	Excel para la
Anillo 6:	$V6c := K_t \cdot V6 = 209.848186$	$\frac{\text{bbl}}{\text{in}}$	

puede observar la memoria de cálculo nos da como
los valores de V1c, V2c, V3c, V4c, V5c y V6c que
incrementos de volumen en barriles por pulgada de
Estos incrementos serán utilizados en la Hoja de
realización de la tabla de calibración.

PROCEDIMIENTO TRADICIONAL – HOJAS DE EXCEL

Ya obtenido los incrementos de cada anillo se procede a realizar la tabla de calibración con la corrección por inclinación y los volúmenes muertos tanto de accesorios, fondo y techo flotante. En la tabla 1 se puede observar cómo se realizó la tabla de calibración con las siguientes observaciones.

- Las filas de color celeste indican la altura donde es afectado el volumen por el techo flotante.
- Las celdas pintadas de amarillo indican en donde termina el anillo e inicia el siguiente.

Tabla 1. Tabla de Calibración - SI

ALTURA (cm)	Incremento V. (bbl/cm)	V1 (bbl)	INCLINACIÓN (bbl)	VOLUMENES MUERTOS (bbl)				VOLUMEN TOTAL (bbl)	VOLUMEN TOTAL (m3)
				ACCESORIOS	FONDO	TECHO	TOTAL		
0	0.0000	0.0000	0.0000	0.088248007	617.9329436		618.021192	618.021	98.258
1	78.1334	78.1334	78.1339	0.006585672			618.027777	696.162	110.681
2	79.9644	158.0978	158.0987	0.006585672			618.034363	776.133	123.395
3	81.2867	239.3845	239.3858	0.006585672			618.040949	857.427	136.320
4	82.1001	321.4846	321.4864	0.006585672			618.047534	939.534	149.374
5	82.4107	403.8954	403.8976	0.006585672			618.05412	1021.952	162.477
179	82.4291	14746.5515	14746.6337	-0.020187203			621.559904	15368.194	2443.348
180	82.4291	14828.9806	14829.0632	-0.020187203			621.539717	15450.603	2456.450
181	82.4291	14911.4096	14911.4928	-0.020187203		-84.7301093	536.789421	15448.282	2456.081
182	82.4291	14993.8387	14993.9223	-0.020187203		-84.7301093	452.039124	15445.961	2455.712
183	82.4291	15076.2677	15076.3518	-0.020187203		-84.7301093	367.288828	15443.641	2455.343
184	82.4291	15158.6968	15158.7813	-0.020187203		-84.7301093	282.538531	15441.320	2454.974
185	82.4291	15241.1259	15241.2108	-0.020187203		-84.7301093	197.788235	15438.999	2454.605
186	82.4291	15323.5549	15323.6403	-0.020187203		-84.7301093	113.037938	15436.678	2454.236
187	82.4291	15405.9840	15406.0699	-0.020187203		-84.7301093	28.2876417	15434.358	2453.867
188	82.4291	15488.4130	15488.4994	-0.020187203		-84.7301093	-56.462655	15432.037	2453.498
189	82.4291	15570.8421	15570.9289	-0.020187203		-84.7301093	-141.21295	15429.716	2453.129
190	82.4291	15653.2711	15653.3584	-0.020187203		-84.7301093	-225.96325	15427.395	2452.760
191	82.4291	15735.7002	15735.7879	-0.020187203		-84.7301093	-310.71354	15425.074	2452.391
192	82.4291	15818.1293	15818.2175	-0.020187203		-84.7301093	-395.46384	15422.754	2452.022
193	82.4291	15900.5583	15900.6470	-0.020187203			-395.48403	15505.163	2465.124
194	82.4291	15982.9874	15983.0765	-0.020187203			-395.50422	15587.572	2478.226
195	82.4291	16065.4164	16065.5060	-0.020187203			-395.5244	15669.982	2491.328
196	82.4291	16147.8455	16147.9355	-0.020187203			-395.54459	15752.391	2504.430

201	82.4291	16559.9908	16560.0831	-0.020187203			-395.64553	16164.438	2569.940
202	82.4291	16642.4198	16642.5126	-0.020187203			-395.66571	16246.847	2583.042
203	82.4291	16724.8489	16724.9421	-0.020187203			-395.6859	16329.256	2596.144
204	82.4291	16807.2780	16807.3717	-0.020187203			-395.70609	16411.666	2609.246
205	82.4777	16889.7557	16889.8498	-0.020187203			-395.72627	16494.124	2622.356
206	82.4777	16972.2334	16972.3280	-0.020187203			-395.74646	16576.582	2635.466
207	82.4777	17054.7111	17054.8062	-0.020187203			-395.76665	16659.040	2648.576
208	82.4777	17137.1888	17137.2843	-0.020187203			-395.78684	16741.497	2661.685
409	82.4777	33715.2079	33715.3959	-0.001474445			-397.43252	33317.963	5297.133
410	82.4777	33797.6856	33797.8741	-0.001474445			-397.43399	33400.440	5310.246
413	82.4777	34045.1187	34045.3086	-0.001474445			-397.43842	33647.870	5349.584
419	82.4777	34539.9850	34540.1776	-0.001474445			-397.44726	34142.730	5428.260
420	82.4777	34622.4627	34622.6557	-0.001474445			-397.44874	34225.207	5441.373
421	82.4777	34704.9404	34705.1339	-0.001474445			-397.45021	34307.684	5454.486
422	82.4777	34787.4181	34787.6121	-0.001474445			-397.45169	34390.160	5467.599
423	82.5258	34869.9440	34870.1384	-0.001474445			-397.45316	34472.685	5480.719
424	82.5258	34952.4698	34952.6647	-0.001474445			-397.45464	34555.210	5493.839
425	82.5258	35034.9956	35035.1910	-0.001474445			-397.45611	34637.735	5506.960
426	82.5258	35117.5215	35117.7173	-0.001474445			-397.45759	34720.260	5520.080
427	82.5258	35200.0473	35200.2436	-0.001474445			-397.45906	34802.785	5533.201
634	82.5258	52282.8976	52283.1891	-0.001474445			-397.76427	51885.425	8249.123
635	82.5258	52365.4235	52365.7154	-0.001474445			-397.76574	51967.950	8262.244
636	82.5258	52447.9493	52448.2417	-0.001474445			-397.76722	52050.475	8275.364
637	82.5258	52530.4752	52530.7681	-0.001474445			-397.76869	52132.999	8288.485
638	82.5258	52613.0010	52613.2944	-0.001474445			-397.77017	52215.524	8301.605
639	82.5258	52695.5269	52695.8207	-0.001474445			-397.77164	52298.049	8314.725
640	82.5401	52778.0669	52778.3612	-0.001474445			-397.77312	52380.588	8327.848

641	82.5401	52860.6070	52860.9017	-0.001474445			-397.77459	52463.127	8340.971
642	82.5401	52943.1471	52943.4423	-0.001474445			-397.77607	52545.666	8354.093
643	82.5401	53025.6872	53025.9828	-0.001474445			-397.77754	52628.205	8367.216
644	82.5401	53108.2272	53108.5233	-0.001474445			-397.77901	52710.744	8380.339
645	82.5401	53190.7673	53191.0639	-0.001474445			-397.78049	52793.283	8393.461
855	82.5401	70524.1826	70524.5758	-0.001474445			-398.09012	70126.486	11149.220
856	82.5401	70606.7227	70607.1163	-0.001474445			-398.0916	70209.025	11162.343
857	82.6678	70689.3905	70689.7846	-0.001474445			-398.09307	70291.692	11175.486
858	82.6678	70772.0583	70772.4529	-0.001474445			-398.09455	70374.358	11188.629
859	82.6678	70854.7261	70855.1211	-0.001474445			-398.09602	70457.025	11201.772
860	82.6678	70937.3939	70937.7894	-0.001474445			-398.09749	70539.692	11214.915
1060	82.6678	87470.9546	87471.4423	-0.001474445			-398.39238	87073.050	13843.509
1061	82.6678	87553.6224	87554.1105	-0.001474445			-398.39386	87155.717	13856.652
1071	82.6678	88380.3004	88380.7932	-0.001474445			-398.4086	87982.385	13988.081
1072	82.6174	88462.9178	88463.4111	-0.001474445			-398.41008	88065.001	14001.216
1073	82.6174	88545.5352	88546.0289	-0.001474445			-398.41155	88147.617	14014.351
1074	82.6174	88628.1526	88628.6468	-0.001474445			-398.41303	88230.234	14027.486
1075	82.6174	88710.7700	88711.2646	-0.001474445			-398.4145	88312.850	14040.621
1076	82.6174	88793.3874	88793.8825	-0.001474445			-398.41597	88395.467	14053.756
1077	82.6174	88876.0048	88876.5003	-0.001474445			-398.41745	88478.083	14066.891
1078	82.6174	88958.6222	88959.1182	-0.001474445			-398.41892	88560.699	14080.026
1284	82.6174	105977.8058	105978.3967	-0.001474445			-398.72266	105579.674	16785.827
1285	82.6174	106060.4232	106061.0145	-0.001474445			-398.72413	105662.290	16798.962
1286	82.6174	106143.0406	106143.6324	-0.001474445			-398.72561	105744.907	16812.097
1287	82.6174	106225.6580	106226.2502	-0.001474445			-398.72708	105827.523	16825.232
1288	82.6174	106308.2754	106308.8681	-0.001474445			-398.72856	105910.140	16838.367

Para la obtención de las diferentes columnas que forman la tabla se realizó de la siguiente manera:

1. Columna **Altura**

Los valores en la columna **Altura** van desde 0 hasta la altura total del tanque. Su incremento es definido por el cliente. En este caso el incremento es de 1 cm y va aumentando la altura de 1 en 1 hasta llegar a su altura total.

2. Columna **Incremento V**

Como el ejemplo es de la tabla en sistema americano y la memoria de cálculo lanza los resultados en bbl/plg se debe transformar esos incrementos a bbl/cm dividiéndolo para 2.54.

Tabla 2. Incrementos en cada anillo

ANILLOS	INCREMENTO V bbl/plg	INCREMENTO V bbl/cm
1	209.369808	82.4290583
2	209.493376	82.4777071
3	209.615651	82.5258469
4	209.651785	82.5400728
5	209.976221	82.6678035
6	209.848186	82.6173961

En esta columna **Incremento V** de la Tabla 1 se colocan los valores V1c, V2c, V3c, V4c, V5c y V6c convertidos a bbl/cm. Se utiliza el mismo incremento de volumen a lo largo de todo el anillo.

Anillo 1: de 0 a 204 el incremento V es igual a $V1c$ con el valor de 82.4290583.

Anillo 2: de 204 a 422 el incremento V es igual a $V2c$ con el valor de 82.4777071.

Anillo 3: de 0 a 204 el incremento V es igual a $V3c$ con el valor de 82.5258469.

Anillo 4: de 204 a 422 el incremento V es igual a $V4c$ con el valor de 82.5400728.

Anillo 5: de 0 a 204 el incremento V es igual a $V5c$ con el valor de 82.6678035.

Anillo 6: de 204 a 422 el incremento V es igual a $V6c$ con el valor de 82.6172961.

3. Columna $V1$

En esta columna se realiza la sumatoria acumulativa de los incrementos.

$$V1(x) = Iv(x) + V1(x - 1)$$

$$V1(10) = Iv(10) + V1(9)$$

$$V1(10) = 82.4291 + 733.6116$$

$$V1(10) = 816.0407$$

$$V1(631) = Iv(631) + V1(630)$$

$$V1(631) = 82.5258 + 51952.7942$$

$$V1(631) = 52035.3201$$

Donde: $V1(x)$ = valor de la columna $V1$ a la altura x . (bb)
 $Iv(x)$ = valor de la columna **Incremento V** a la altura x .
 $V1(x-1)$ = valor de la columna $V1$ a la altura $(x-1)$ (bb)

4. Columna Inclinación

En esta columna se realiza la corrección del volumen por inclinación del tanque. Para la hacer la corrección se hace lo siguiente:

a) Relación m .

$$m = \frac{\textit{inclinación del tanque}}{\textit{altura total del tanque}}$$

$$m = \frac{43 \text{ mm}}{12877 \text{ mm}}$$

$$m = 0.003339287$$

b) Se calcula el porcentaje de corrección de volumen.

$$\% \textit{ corrección de volumen} = 100 (\sqrt{1 + m^2} - 1)$$

$$\% = 100 (\sqrt{1 + 0.003339287^2} - 1)$$

$$\% = 0.00055754$$

c) Con el porcentaje de corrección ya calculado se corrige el volumen de la siguiente manera:

$$V_{\textit{incl.}}(x) = V_1(x) * \left(1 + \frac{\%}{100}\right)$$

$$V_{\textit{incl.}}(180) = V_1(180) * \left(1 + \frac{\%}{100}\right)$$

$$V_{\textit{incl.}}(180) = 14828,9806 * \left(1 + \frac{0.00055754}{100}\right)$$

$$V_{\textit{incl.}}(180) = 14829,0632$$

$$V_{\textit{incl.}}(850) = V_1(850) * \left(1 + \frac{\%}{100}\right)$$

$$V_{\textit{incl.}}(850) = 70111,4822 * \left(1 + \frac{0.00055754}{100}\right)$$

$$V_{incl.}(850) = 70111,8731$$

Donde: **V1(x)** = valor de la columna **V1** a la altura x.
Vincl.(x) = volumen corregido por inclinación a la altura x.
 % = porcentaje de corrección de volumen.

5. Columna Volumen Muerto - Accesorios

Los accesorios son todos aquellos que pueden aumentar o disminuir el volumen total del tanque. En cada altura de esta columna, esta la sumatoria de todos los incrementos de los accesorios que afectan a dicha altura.

El procedimiento para obtener los incrementos de cada accesorio es el siguiente.

En la Tabla 3 la celdas pintadas son los datos que se deben ingresar para obtener el incremento de cada accesorio.

Tabla 3. Datos e Incrementos de los Accesorios

	ACCESORIOS				
	Desde (cm)	Hasta (cm)	Altura (cm)	Vol. (bbl)	Incremento (bbl/cm)
Manhole A	37.9	117.2	79.3	0.52756422	0.006652764
Manhole B	37.9	117.4	79.5	0.49972671	0.006285871
Manhole C	37.9	117.1	79.2	0.52629374	0.006645123
Manhole D	37.9	117.4	79.5	0.53095963	0.006678738
Manhole E	37.6	116.8	79.2	0.52629374	0.006645123
Brida 1	13.1	45.7	32.6	0.10780262	0.003306829
Brida 2	13.1	45.9	32.8	0.11416701	0.003480702
Brida 3	18.1	59.2	41.1	0.19823672	0.004823278
Brida 4	21.1	72	50.9	0.33955768	0.006671074
Manhole F	-13.4	120	133.4	1.96541592	0.014733253
Guía	-13.4	1287.7	1301.1	-1.9184	-0.001474445
SopORTE	-13.4	280.3	293.7	-1.9599	-0.006673136
Guía techo	174.3	280.3	106	-1.2762	-0.012039623

$$Altura = Hasta - Desde$$

$$IncrementoAcc = \frac{Vol}{Altura} * Incremento$$

$$Va(x) = \sum IncrementoAcc(x)$$

- Donde:
- Desde:** representa el inicio de la altura del accesorio
 - Hasta:** representa el fin de la altura del accesorio.
 - Altura:** es la altura del accesorio.
 - Vol:** el volumen que representa el accesorio, este puede ser positivo o negativo.
 - IncrementoAcc:** es el volumen del accesorio que va distribuido a lo largo de la altura del accesorio.
 - Incremento:** es el incremento en que se desea que vaya aumentando la altura.
 - Va(x):** es la sumatoria de los incrementos de los diferentes accesorios que tiene el tanque y que afectan a una altura x.

El valor Va(x) es el que esta a lo largo de toda la columna de Accesorios de la Tabla 1.

6. Columna Volumen muerto – Fondo

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

Los tipos de fondo mas comunes son: planos, conico hacia abajo y conico hacia arriba.

a) Cálculo del volumen del fondo plano.-

Este caso existe cuando el tanque es de fondo plano y tiene una altura de platina de aforo.

$$Vf = \frac{\pi * r1^2 * haf.}{158987,294938922}$$

Donde: **Vf** = volumen del fondo a la altura 0 (bbl)

r1 = radio interno del primer anillo del tanque (cm)

haf. = altura de la platina de aforo. (cm)

b) Cálculo del volumen del fondo conico hacia abajo.-

Este caso se el volumen del fondo a la altura 0 es el volumen del cono.

$$Vf = \frac{\pi * r1^2 * hcono.}{3 * 158987,294938922}$$

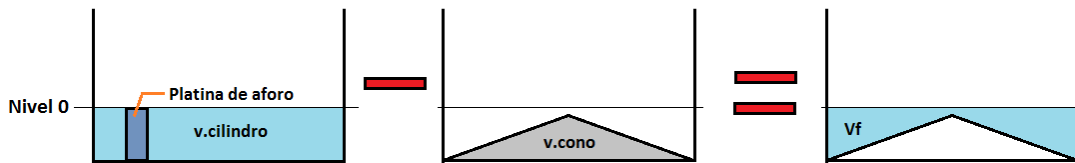
Donde: **Vf** = volumen del fondo a la altura 0 (bbl)

r1 = radio interno del primer anillo del tanque (cm)

hcono. = altura del cono. (cm)

c) Cálculo del volumen del fondo conico hacia arriba.-

Aquí se producen 2 casos. El primero cuando la platina de aforo es mayor o igual que la altura del cono del fondo ($haf. \geq hcono$); y el volumen del fondo se calcula de la siguiente manera:



$$v. cilindro = \frac{\pi * r1^2 * haf.}{158987,294938922}$$

$$v. cono = \frac{\pi * r1^2 * hcono.}{3 * 158987,294938922}$$

$$Vf = v. cilindro - v. cono$$

Donde: **Vf** = volumen del fondo a la altura 0 (bbf)

v.cono = volumen del cono (bbf)

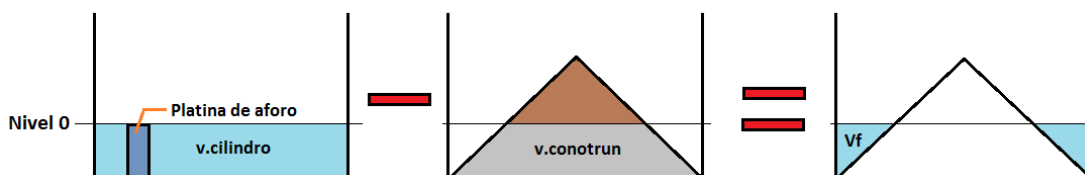
v.cilindro = volumen del cilindro hasta la altura de platina de aforo (bbf)

r1 = radio interno del primer anillo del tanque (cm)

haf. = altura de la platina de aforo. (cm)

hcono. = altura del cono. (cm)

El segundo caso es cuando la platina de aforo es menor que la altura del cono del fondo ($haf. < hcono$). Se calcula el fondo de la siguiente manera:



$$v. conotrun = \frac{\pi * r1^2}{hcono^2 * 158987,2} * \left[(haf * hcono^2) - (hcono * haf^2) + \left(\frac{haf.^3}{3} \right) \right]$$

$$v. cilindro = \frac{\pi * r1^2 * haf.}{158987,294938922}$$

$$Vf = v. cilindro - v. conotrunc$$

- Donde: **Vf** = volumen del fondo a la altura 0 (bbl)
v.conotrunc = volumen del cono truncado (bbl)
v.cilindro = volumen del cilindro hasta la altura de platina de aforo (bbl)
r1 = radio interno del primer anillo del tanque (cm)
haf. = altura de la platina de aforo. (cm)
hcono. = altura del cono. (cm)

En este caso el volumen de la parte del techo sobre la platina de aforo tambien debe ser calculado y restado. Este volumen se le resta en la columna **Incremento V**.

7. Columna Volumen muerto – Techo

Para el cálculo del volumen muerto por techo flotante primero se debe encontrar el volumen desplazado por el techo de la siguiente forma:

$$Vd = \frac{Wt}{\delta fl * 42}$$

$$Vd = \frac{324913}{7.60850524 * 42}$$

$$Vd = 1016.76131$$

- Donde: **Vd** = volumen desplazado por el techo (bbl)
Wt = peso del techo (lb)
δfl = densidad del fluido (lb/gal)

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

El decremento de volumen por el techo flotante se calcula de la siguiente manera:

$$Vt(x) = \frac{-Vd}{Asup. - Ainf.} * Incremento$$

$$Vt(190) = \frac{-1016.76131}{205.4 - 193.4} * 1$$

$$Vt(190) = -84.7301093$$

Donde: **Asup.:** altura critica superior en cm.

Ainf.: altura critica inferior en cm.

Vd: volumen desplazado por el techo en bbl.

Incremento: es el incremente en que se desea que vaya aumentando la altura.

Vt(x): es el decremento del volumen por el techo o volumen del techo a una altura x.

El valor Vt(x) solo se usa cuando hay techo flotante y solo entre la altura critica superior e inferior.

8. Columna Volumen muerto – Total

En esta columna se realiza la sumatoria acumulativa de los volúmenes muertos.

$$VMT(x) = Va(x) + Vf + Vt(x) + VMT(x - 1)$$

$$VMT(0) = Va(0) + Vf(0) + Vt(0) + VMT(0)$$

$$VMT(0) = 0.088248007 + 617.9329436 + 0 + 0$$

$$VMT(0) = 618.021192$$

$$VMT(190) = Va(190) + Vf(190) + Vt(190) + VMT(190)$$

$$VMT(190) = -0.020187203 + 0 - 84.7301093 - 141.21295$$

$$VMT(190) = -225.96325$$

Donde: **Va(x)** = volumen de los accesorios a la altura x.
Vt(x) = volumen del techo flotante a la altura x.
Vf(x) = volumen del fondo a la altura x.
VMT(x-1) = volumen muerto total a la altura (x-1)
VMT(x) = volumen muerto total a la altura x.

9. Columna Volumen Total (bbl)

Es el volumen total que tiene el tanque en las diferentes alturas en barriles.

$$VTbbl(x) = VMT(x) + Vincl.(x)$$

$$VTbbl(200) = VMT(200) + Vincl.(200)$$

$$VTbbl(200) = -395.62534 + 16477.6536$$

$$VTbbl(200) = 16082.028$$

$$VTbbl(1280) = VMT(1280) + Vincl.(1280)$$

$$VTbbl(1280) = -398.71676 + 105647.9252$$

$$VTbbl(1280) = 105249.208$$

Donde: **VTbbl(x)** = valor del volumen total a la altura x.
VMT(x) = volumen muerto total a la altura x.
Vincl.(x) = volumen corregido por inclinación a la altura x.

10. Columna Volumen Total (m3)

Es el volumen total que tiene el tanque en las diferentes alturas en metros cubicos.

$$VTm3(x) = VTbbl(x) * 0,1589872949$$

$$\begin{aligned}VTm3(630) &= VTbbl(x) * 0,1589872949 \\VTm3(630) &= 51555.326 * 0,1589872949 \\VTm3(630) &= 8196.642\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}VTm3(1074) &= VTbbl(x) * 0,1589872949 \\VTm3(1074) &= 88230.234 * 0,1589872949 \\VTm3(1074) &= 14027.486\end{aligned}$$

Donde: **$VTbbl(x)$** = valor del volumen total en bbl a la altura x.
 $VTm3(x)$ = valor del volumen total en m3 a la altura x.

ANEXO 4

EJEMPLO DE CÁLCULOS **TANQUES HORIZONTALES**

EJEMPLO DE CALIBRACIÓN TANQUE HORIZONTAL

En este anexo se detalla el procedimiento para la calibración volumétrica de un tanque horizontal de las siguientes características.

Propietario	PETROECUADOR
Locación	Refinería
Capacidad	14000 galones
Código	H-006
Tipo de cuerpo	Láminas soldadas a tope
Tipo de cabeza	Torriesférica
Producto almacenado	Gasolina

El procedimiento utilizado para realizar la calibración de este tanque es mediante la utilización de las memorias de cálculo realizadas en MathCad, las hojas de Excel y los resultados obtenidos mediante el software de calibración.

PROCEDIMIENTO TRADICIONAL (HOJAS EN EXCEL Y MEMORIAS DE CÁLCULO)

Los datos requeridos para la calibración volumétrica del tanque de código H-006 se muestran en el Anexo 1.

Con toda la información que se indica en el Acta de registro se procede a llenar los datos requeridos en las memorias de cálculo creada para este tipo de tanque para posteriormente obtener el volumen total y el modelo matemático. Todos los cálculos y el procedimiento realizado en MathCad se lo indican a continuación.

CALIBRACIÓN DE TANQUES HORIZONTALES LÁMINAS SUPERPUESTAS

MÉTODO API 2551

CABEZA TORRIESFERICA

Dimensiones del tanque tomadas en campo

$$FC := 7.4805194 \frac{\text{gal}}{\text{ft}^3} \qquad FX := \frac{1}{304.8} \frac{\text{ft}}{\text{mm}} \qquad FY := \frac{1}{25.4} \frac{\text{in}}{\text{mm}}$$

Longitud de las cabezas

$$A1 := (38) \cdot FX = 0.124672 \quad \text{ft} \qquad A2 := (38) \cdot FX = 0.124672 \quad \text{ft}$$

Longitud de la parte cilíndrica de las cabezas

$$B1 := (770) \cdot FX = 2.526247 \quad \text{ft} \qquad B2 := (770) \cdot FX = 2.526247 \quad \text{ft}$$

Circunferencias

	20%		80%	
<i>ANILLO 1</i>	$a1 := (9624) \cdot FX = 31.574803$	ft	$b1 := (9624) \cdot FX = 31.574803$	ft
<i>ANILLO 2</i>	$a2 := (9578) \cdot FX = 31.423885$	ft	$b2 := (9578) \cdot FX = 31.423885$	ft
<i>ANILLO 3</i>	$a3 := (9633) \cdot FX = 31.604331$	ft	$b3 := (9633) \cdot FX = 31.604331$	ft

Longitud de los anillos

<i>ANILLO 1</i>	$L1 := (1829) \cdot FX = 6.000656$	ft
<i>ANILLO 2</i>	$L2 := (1829) \cdot FX = 6.000656$	ft
<i>ANILLO 3</i>	$L3 := (1829) \cdot FX = 6.000656$	ft

Otros Datos

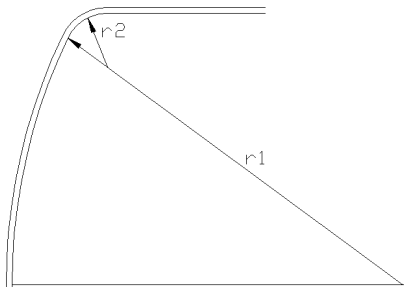
<i>Espesor de la cabeza</i>	$eh := (10) \cdot FY = 0.393701$	in
<i>Espesor del cuerpo</i>	$ec := (8) \cdot FY = 0.314961$	in
<i>Presión de trabajo</i>	$Pt := 85$	psi
<i>Radio del segmento esférico</i>	$r1 := (3048) \cdot FX = 10$	ft
<i>Radio del chaflán</i>	$r2 := (38) \cdot FY = 1.496063$	in
<i>Superposición</i>	$E := (38) \cdot FY = 1.496063$	in
<i>Diámetro nominal</i>	$dn := (3032) \cdot FX = 119.370079$	in

Temp. Liquido	Tl = 80	°F
Temp. Ambiente	Ta = 75	°F
Inclinación	m = 0.08	%

Datos de la junta

# de juntas	Nj := 2	
Espesor	$\underline{T}_w := (3) \cdot FY = 0.11811$	in

Cabeza torriesferica



Radio del segmento esférico

r1 = 10 ft

Radio del chaflán

r2 = 1.496063 in

1. Corrección de la circunferencia por la presión de trabajo

a) Cálculo del perímetro exterior del cilindro principal

Lanillo1 := $L1 - \frac{2 \cdot E}{12}$

Lanillo2 := $L2 + \frac{2 \cdot E}{12}$

Lanillo3 := $L3 - \frac{2 \cdot E}{12}$

Lanillos := Lanillo1 + Lanillo2 + Lanillo3 ft

Lc := Lanillos

Panillo1 := $\frac{(a1 + b1)}{2} \cdot Lanillo1$

Panillo2 := $\frac{(a2 + b2)}{2} \cdot Lanillo2$

Panillo3 := $\frac{(a3 + b3)}{2} \cdot Lanillo3$

Panillos := Panillo1 + Panillo2 + Panillo3 ft2

$\underline{C}_w := \frac{\text{Panillos}}{\text{Lanillos}} = 31.531237$ ft

$$d := \frac{C}{\pi} - \frac{2 \cdot ec}{12} = 9.984211 \quad \text{ft} \quad \text{Diámetro de 10 ft (9.5 < d < 10.5)}$$

$$F := \frac{6 \cdot Pt \cdot d}{ec} = 1.616693 \times 10^4 \quad \text{psi} \quad F < 17000$$

$$\delta := \frac{F - 8000}{1168831} + 0.007$$

$$\delta = 0.014287 \quad \text{ft} \quad \delta > 0$$

2. Cálculo del volumen del cilindro principal

a) Cálculo del perímetro exterior del cilindro principal

$$P1 := C$$

$$P2 := C + \delta$$

$$P := \frac{P1 + P2}{2} - \frac{4 \cdot Nj \cdot T}{36} \cdot \sqrt{\frac{T}{2 \cdot dn}}$$

$$P = 31.537797 \quad \text{ft}$$

b) Diámetro interno del cilindro principal corregido

$$D := \frac{P}{\pi} - \frac{2 \cdot ec}{12}$$

$$D = 9.986299 \quad \text{ft}$$

c) Diámetro de la sección cilíndrica de las cabezas

$$D1 := \frac{(a1 + b3)}{2 \cdot \pi} - \frac{2 \cdot (eh + ec)}{12}$$

$$D1 = 9.937161 \quad \text{ft}$$

d) Volumen del cilindro principal incluido la parte cilíndrica de la cabezas

$$B := 6 \cdot (B1 + B2) \quad \text{in}$$

Volumen del cilindro

Volumen de la parte cilíndrica de las cabezas

$$V1 := D^2 \cdot \frac{\pi \cdot Lc}{4} \quad \text{ft}^3$$

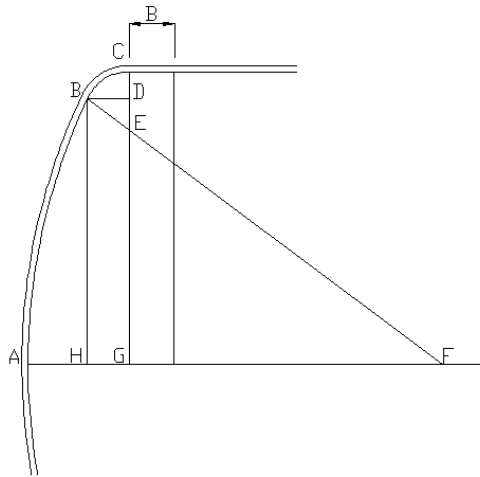
$$V2 := D1^2 \cdot \frac{\pi \cdot B}{12 \cdot 4} \quad \text{ft}^3$$

$$Vc := (V1 + V2) \cdot FC \quad \text{gal}$$

$$Vc = 1.333268 \times 10^4 \quad \text{gal}$$

3. Cálculo del volumen de las dos cabezas

a) Determinación de los segmentos de la cabeza del tanque



$$BF := r1 \quad EB := \frac{r2}{12} \quad GC := \frac{D1}{2}$$

$$EF := BF - EB \quad EC := EB \quad AF := BF$$

$$GE := GC - EC$$

$$GF := \sqrt{EF^2 - GE^2}$$

$$HG := \frac{EB \cdot GF}{EF}$$

$$HF := GF + HG$$

$$HB := \sqrt{BF^2 - HF^2}$$

$$AH := AF - HF$$

$$AG := AH + HG$$

$$\phi := \text{asin}\left(\frac{HG}{EB}\right)$$

b) Cálculo del volumen de la sección formada por el radio del chaflán

$$V_k := \left(GE^2 \cdot HG + EB^2 \cdot HG - \frac{HG^3}{3} + GEHG\sqrt{EB^2 - HG^2} + GEEB^2 \cdot \phi \right) \cdot \pi \cdot FC$$

$$V_k = 62.565274 \quad \text{gal}$$

c) Cálculo del volumen de la sección formada por el segmento esférico

$$V_s := \frac{\pi}{6} \cdot AH \cdot (3 \cdot HB^2 + AH^2) \cdot FC$$

$$V_s = 371.780553 \quad \text{gal}$$

d) Volumen de las cabezas

$$V_h := 2 \cdot (V_k + V_s)$$

$$V_h = 868.691655 \quad \text{gal}$$

4. Volumen Total del Tanque

$$V_T := V_c + V_h$$

$$V_T = 1.420137 \times 10^4 \quad \text{gal}$$

5. Factor de corrección del volumen por medidas

a) Volumen del cilindro principal incluida la parte cilíndrica de las cabezas

$$\text{Radio del cilindro principal} \quad R_i := \frac{D}{2} = 4.993149 \quad \text{ft}$$

$$\text{Longitud del cilindro} \quad L_c = 17.752625 \quad \text{ft}$$

$$\text{Incremento} \quad y := 2 \cdot R_i \quad \text{ft}$$

$$\Delta := \frac{D - D_1}{27\mathcal{F}} \quad \text{ft}$$

$$V_{c1} := Ri^2 \left[\operatorname{asin} \left(\frac{y - Ri}{Ri} \right) + \frac{(y - Ri) \cdot \sqrt{Ri^2 - (y - Ri)^2}}{Ri^2} + \frac{\pi}{2} \right] \cdot \left(Lc + \frac{2 \cdot B}{12} \right) \cdot FC$$

$$V_{c1} = 1.336174 \times 10^4 \quad \text{gal}$$

b) Volumen de las cabezas torriesfericas

$$V_{h2} := \frac{9\pi}{40} \cdot \left[(Ri - \Delta) \cdot y^2 - \frac{y^3}{3} \right]$$

$$V_{hc} := V_{h2} \cdot FC = 864.704944 \quad \text{gal}$$

c) Volumen total teórico del tanque

Volumen total práctico del tanque

$$VT1 := V_{c1} + V_{hc}$$

$$VT1 = 1.422645 \times 10^4 \quad \text{gal}$$

$$VT = 1.420137 \times 10^4 \quad \text{gal}$$

$$U := \frac{VT}{VT1} = 0.998238$$

Factor de corrección del volumen

6. Modelo matemático para el cálculo del volumen en función del incremento

UNIDADES (in-gal)

$$\underline{Ri} := Ri \cdot 12 = 59.917794 \quad \text{in}$$

$$\underline{\Delta} := \Delta \cdot 12 = 0.294827 \quad \text{in}$$

$$\underline{Lc} := Lc \cdot 12 = 213.031496 \quad \text{in}$$

$$FG := 0.004329004 \quad \frac{\text{gal}}{\text{in}^3}$$

$$\underline{B} := B = 30.314961 \quad \text{in}$$

$$\underline{y} := (2 \cdot Ri) \quad \text{in}$$

$$V_y := \left[Ri^2 \left[\operatorname{asin} \left(\frac{y - Ri}{Ri} \right) + \frac{(y - Ri) \cdot \sqrt{Ri^2 - (y - Ri)^2}}{Ri^2} + \frac{\pi}{2} \right] \cdot (Lc + 2 \cdot B) + \frac{9\pi}{40} \cdot \left[(Ri - \Delta) \cdot y^2 - \frac{y^3}{3} \right] \right] \cdot U \cdot FC$$

$$V_y = 1.420137 \times 10^4 \quad \text{gal}$$

Tabla 1. Pocedimiento para determinar el volumen de tanque horizontal con incrementos a cada pulgada.

INCREMENTO (in)	V1 (gal)	CORRECCION POR TEMPERATURA				INCLINACIÓN Vi	ACCESORIOS Vacc	VOL. TOTAL (gal)
		R=H/D	K	%	Vt			
0	0	0	0.0009	0.00087231	0	0	0	0
1	17.39891889	0.00834477	0.00091427	0.00088613	17.3990731	17.38515381	-0.0508	17.33435381
2	49.29690846	0.01668953	0.0009271	0.00089857	49.2973514	49.25791355	-0.0508	49.20711355
3	90.62623165	0.0250343	0.0009386	0.00090972	90.6270561	90.55455445	-0.0508	90.50375445
4	139.5464091	0.03337907	0.00094887	0.00091968	139.547692	139.4360543	-0.0508	139.3852543
5	194.9767668	0.04172384	0.00095801	0.00092854	194.978577	194.8225944	-0.0508	194.7717944
6	256.1764714	0.0500686	0.00096612	0.00093639	256.17887	255.9739271	-0.0508	255.9231271
7	322.5928318	0.05841337	0.00097327	0.00094333	322.595875	322.3377982	-0.0508	322.2869982
8	393.7905682	0.06675814	0.00097956	0.00094942	393.794307	393.4792715	-0.0508	393.4284715
9	469.4136315	0.0751029	0.00098507	0.00095476	469.418113	469.0425788	-0.0508	468.9917788
10	549.1624871	0.08344767	0.00098987	0.00095941	549.167756	548.7284217	-0.0508	548.6776217
11	632.7796213	0.09179244	0.00099403	0.00096344	632.785718	632.2794892	-0.0508	632.2286892
12	720.0397895	0.1001372	0.00099763	0.00096693	720.046752	719.4707144	-0.0508	719.4199144
13	810.7431771	0.10848197	0.00100072	0.00096993	810.751041	810.1024399	-0.0508	810.0516399
14	904.7104379	0.11682674	0.00100338	0.0009725	904.719236	903.9954608	-0.0508	903.9446608
15	1001.778994	0.12517151	0.00100565	0.00097471	1001.78876	1000.987327	-0.0508	1000.936527
16	1101.80021	0.13351627	0.0010076	0.00097659	1101.81097	1100.929521	-0.0508	1100.878721
17	1204.637195	0.14186104	0.00100927	0.00097821	1204.64898	1203.68526	-0.0508	1203.63446
18	1310.163058	0.15020581	0.00101071	0.00097961	1310.17589	1309.127752	-0.0508	1309.076952
19	1418.259505	0.15855057	0.00101197	0.00098083	1418.27342	1417.138797	-0.0508	1417.087997
20	1528.8157	0.16689534	0.00101308	0.00098191	1528.83071	1527.607647	-0.0508	1527.556847
21	1641.727319	0.17524011	0.0010141	0.00098289	1641.74346	1640.430061	-0.4826	1639.947461
22	1756.895766	0.18358488	0.00101504	0.00098381	1756.91305	1755.507521	-0.4826	1755.024921

23	1874.227515	0.19192964	0.00101595	0.00098469	1874.24597	1872.746574	-0.4826	1872.263974
24	1993.633546	0.20027441	0.00101686	0.00098557	1993.65319	1992.058272	-0.4826	1991.575672
25	2115.028867	0.20861918	0.00101779	0.00098648	2115.04973	2113.357691	-0.4826	2112.875091
26	2238.332102	0.21696394	0.00101877	0.00098743	2238.3542	2236.56352	-0.4826	2236.08092
27	2363.465132	0.22530871	0.00101982	0.00098845	2363.48849	2361.597703	-0.4826	2361.115103
28	2490.352785	0.23365348	0.00102097	0.00098955	2490.37743	2488.385127	-0.4826	2487.902527
29	2618.922558	0.24199824	0.00102222	0.00099077	2618.94851	2616.853347	-0.4826	2616.370747
30	2749.104378	0.25034301	0.00102359	0.0009921	2749.13165	2746.932347	-0.4826	2746.449747
100	12694.50596	0.83447671	0.00137916	0.00133673	12694.6757	12684.51991	0	12684.51991
101	12804.51887	0.84282147	0.00139337	0.0013505	12804.6918	12794.44804	0	12794.44804
102	12912.05066	0.85116624	0.00140874	0.00136539	12912.227	12901.89718	0	12901.89718
103	13016.98936	0.85951101	0.00142534	0.00138149	13017.1692	13006.75546	0	13006.75546
104	13119.21535	0.86785577	0.00144329	0.00139888	13119.3989	13108.90335	0	13108.90335
105	13218.60018	0.87620054	0.00146268	0.00141768	13218.7876	13208.21255	0	13208.21255
106	13315.00517	0.88454531	0.00148362	0.00143797	13315.1966	13304.54448	0	13304.54448
107	13408.27955	0.89289007	0.00150621	0.00145987	13408.4753	13397.74852	0	13397.74852
108	13498.25821	0.90123484	0.00153058	0.00148349	13498.4585	13487.65969	0	13487.65969
109	13584.75872	0.90957961	0.00155684	0.00150894	13584.9637	13574.09573	0	13574.09573
110	13667.57745	0.91792438	0.00158511	0.00153634	13667.7874	13656.85321	0	13656.85321
111	13746.4844	0.92626914	0.00161552	0.00156582	13746.6996	13735.70229	0	13735.70229
112	13821.21591	0.93461391	0.00164822	0.0015975	13821.4367	13810.37956	0	13810.37956
113	13891.46431	0.94295868	0.00168332	0.00163153	13891.691	13880.5776	0	13880.5776
114	13956.86238	0.95130344	0.00172099	0.00166804	13957.0952	13945.9295	0	13945.9295
115	14016.95873	0.95964821	0.00176137	0.00170718	14017.198	14005.98426	0	14005.98426
116	14071.17588	0.96799298	0.00180461	0.00174909	14071.422	14060.16486	0	14060.16486
117	14118.73103	0.97633775	0.00185088	0.00179393	14118.9843	14107.68912	0	14107.68912
118	14158.46059	0.98468251	0.00190034	0.00184187	14158.7214	14147.39439	0	14147.39439
119.83558	14201.40676	1	0.002	0.00193846	14201.6821	14190.32071	0	14190.32071

Ejemplo de calculos:

En la Tabla 1 se indica las correcciones que se realiza para la obtención del volumen del tanque para cada incremento. En la tabla no se indican todos los valores debido a que es muy extensa.

11. Incremento

El incremento de la tabla de calibración es de 1 pulgada. Este valor lo define el usuario.

12. Obtención de V1

Para la obtención del volumen V1 se utiliza el modelo matemático para este tipo de tanque.

$$V_y := \left[Ri^2 \left[\arcsin\left(\frac{y - Ri}{Ri}\right) + \frac{(y - Ri) \cdot \sqrt{Ri^2 - (y - Ri)^2}}{Ri^2} + \frac{\pi}{2} \right] \cdot (Lc + 2 \cdot B) + \frac{9\pi}{40} \cdot \left[(Ri - \Delta) \cdot y^2 - \frac{y^3}{3} \right] \right] \cdot U \cdot FG$$

Donde:

y= es el incremento (in)

Ri= es el radio interno (in)

Lc= longitud del cilindro principal (in)

B= longitud de la parte cilindrica de las cabezas (in)

Δ = diferencia de diametros (in)

U= factor de correccion del volumen

FG= factor de converción (0.0043290043 gal/in³)

13. Corrección por temperatura

Para realizar la corrección por temperatura se realiza lo siguiente.

d) *Relación $R=H/D$*

Se divide cada incremento para el diámetro del tanque.

e) *Factor k*

Se remplaza el valor de R en la siguiente función que representa el factor de corrección por volumen.

$$k = 0.0181R^5 - 0.0401R^4 + 0.0324R^3 - 0.0111R^2 + 0.0018R + 0.0009$$

f) *Porcentaje de corrección*

Con la temperatura de operación determinamos el coeficiente de dilatación lineal mediante la siguiente tabla.

Tabla 2. Coeficiente de expansión lineal

Temperatura del Tanque t_s (°F)			Valor de α_m por °F
-70	a	-21	0.0000060
-20	a	28	0.0000061
29	a	78	0.0000062
79	a	128	0.0000063
129	a	177	0.0000064
178	a	227	0.0000065
228	a	276	0.0000066
277	a	326	0.0000067
327	a	376	0.0000068
377	a	425	0.0000069

Temperatura de la placa 80 °F, $\alpha_m = 0.0000063$

La temperatura de la placa se lo obtiene de la siguiente ecuación

$$T_s = \frac{(7 \cdot T_l + T_a)}{8} = \frac{7 \cdot 80 + 78}{8} = 79.75^\circ F$$

Una vez determinado el coeficiente de expansión lineal se determina el porcentaje de corrección para cada incremento mediante de la siguiente función.

$$\% = k \frac{\alpha m}{0.0000065}$$

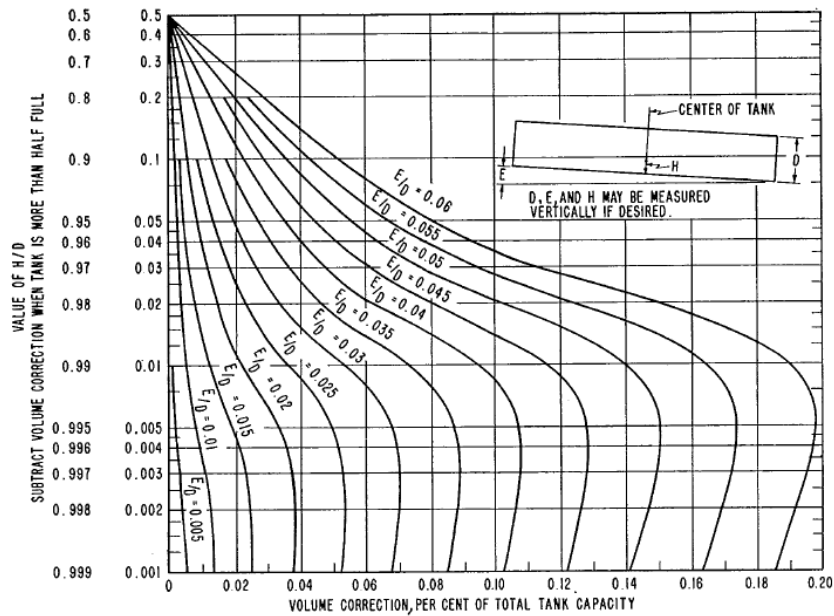
g) Volumen corregido (Vt)

Finalmente el volumen corregido por temperatura se lo determina a mediante la siguiente función.

$$V_t = V_1(1 + \%)$$

14. Corrección por inclinación Vi

Para realizar la corrección por inclinación se requiere obtener el porcentaje de inclinación mediante la siguiente figura.



Para ingresar en la grafica y obtener el porcentaje de inclinación “m” se requiere de la relación H/D y E/D. La función que realiza la corrección por la inclinación es la siguiente.

$$V_{ci} = V_i + \frac{m}{100} * V_i$$

15. Accesorios Vacc

Los accesorios son todos aquellos que pueden aumentar o disminuir el volumen total del tanque. El procedimiento para obtener los incrementos de cada accesorio es el siguiente.

En la Tabla 3 se indica los datos que se deben ingresar para obtener el incremento de cada accesorio.

Tabla 3. Datos e Incrementos de los Accesorios

ACCESORIOS				
Desde (cm)	Hasta (cm)	Altura (cm)	Vol. (gal)	IncrementoAcc (gal/cm)
0	100	100	-2	-0.02

50	150	100	-17	-0.17
150	200	50	-52	-1.04

Desde: representa el inicio de la altura del accesorio

Hasta: representa el fin de la altura del accesorio.

Altura: es la altura del accesorio.

Vol: el volumen que representa el accesorio, este puede ser positivo o negativo.

$$Altura = Hasta - Desde$$

$$IncrementoAcc = \frac{Vol}{Altura} * Incremento$$

Con el incremento del accesorio se lo agrega a cada altura del accesorio en la tabla de calibración.

16. Volumen total

El volumen total representa el volumen corregido por temperatura, inclinación y accesorio para cada incremento.

ANEXO 5

EJEMPLO DE CÁLCULOS

TANQUES ESFÉRICOS

EJEMPLO DE CALIBRACIÓN TANQUE ESFÉRICO

En este anexo se detalla el procedimiento para la calibración volumétrica de un tanque esférico de las siguientes características.

Propietario	PETROECUADOR
Capacidad	215000 galones
Código	E-001
Producto almacenado	Gasolina

El procedimiento utilizado para realizar la calibración de este tanque es mediante la utilización de las memorias de cálculo realizadas en MathCad14, las hojas de Excel y los resultados obtenidos mediante el software de calibración.

PROCEDIMIENTO TRADICIONAL (MEMORIAS DE CÁLCULO Y HOJAS EN EXCEL)

Los datos requeridos para la calibración volumétrica del tanque de código E-001 se muestran en el Anexo 1.

Con toda la información que se indica en el Acta de registro se procede a llenar los datos requeridos en las memorias de cálculo creada para este tipo de tanque para posteriormente obtener el volumen total y el modelo matemático. Todos los cálculos y el procedimiento realizado en MathCad se lo indican a continuación.

$$FC := 7.4805194 \frac{\text{gal}}{\text{ft}^3} \quad FX := \frac{1}{304.8} \frac{\text{ft}}{\text{mm}} \quad FY := \frac{1}{25.4} \frac{\text{in}}{\text{mm}}$$

Datos tomados en Campo

Circunferencias

Circunferencia Horizontal C1 := (36478)·FX = 119.678478 ft

Circunferencia tomada en el plano vertical C2 := (36503)·FX = 119.760499 ft

Circunferencia tomada a 90° de C2 en un plano vertical C3 := (36497)·FX = 119.740814 ft

Espesores

Espesores para cada circunferencia e1 := (19)·FY = 0.748031 in

e2 := (18)·FY = 0.708661 in

e3 := (18)·FY = 0.708661 in

Datos Generales

Distancia desde la línea ecuatorial hasta C1 H_w := (254)·FY = 10 in

Distancia de la altura vertical del tanque Dm := (11449)·FX = 37.562336 ft

Distancia desde el centro del tanque hasta el Dm ma := (889)·FY = 35 in

Temperatura del líquido Tl := 80 °F

Temperatura ambiente Ta := 75 °F

1. Corrección de la circunferencia Horizontal

$$Co := \sqrt{C1^2 + \left(\frac{2\pi \cdot H}{12}\right)^2}$$

Co = 119.792961 ft

2. Cálculo de las circunferencias Internas

$$C1i := C0 - \frac{e1 \cdot \pi}{6} \quad C1i = 119.401293 \quad \text{ft}$$

$$C2i := C2 - \frac{e2 \cdot \pi}{6} \quad C2i = 119.389444 \quad \text{ft}$$

$$C3i := C3 - \frac{e3 \cdot \pi}{6} \quad C3i = 119.369759 \quad \text{ft}$$

3. Diámetro vertical

$$D := \sqrt{Dm^2 + 4 \cdot \left(\frac{ma}{12}\right)^2}$$

$$D = 38.012588 \quad \text{ft}$$

4. Volumen de la Esfera

$$VT := \frac{C1i \cdot C2i \cdot C3i}{6\pi^2} \cdot FC$$

$$VT = 2.149562 \times 10^5 \quad \text{gal}$$

5. Factor de corrección del volumen por medidas

a) Volumen de la esfera

$$\text{Radio de la esfera} \quad Ri := \frac{D}{2} = 19.006294 \quad \text{ft}$$

$$\text{Incremento} \quad y := 2 \cdot Ri \quad \text{ft}$$

$$VT1 := \pi \cdot \left(Ri \cdot y^2 - \frac{y^3}{3} \right) \cdot FC$$

$$VT1 = 2.151358 \times 10^5 \quad 286 \quad \text{gal}$$

b) Volumen total teórico del tanque

Volumen total práctico del tanque

$$VT1 = 2.151358 \times 10^5 \quad \text{gal}$$

$$VT = 2.149562 \times 10^5 \quad \text{gal}$$

$$U := \frac{VT}{VT1} = 0.999165$$

Factor de corrección del volumen

6. Modelo matemático para el cálculo del volumen en función del incremento

UNIDADES (in-gal)

$$Ri := Ri \cdot 12 = 228.075529 \quad \text{in}$$

$$FG := 0.004329004 \quad \frac{\text{gal}}{\text{in}^3}$$

$$y := 2 \cdot Ri \quad \text{in}$$

$$Vy := \pi \cdot \left(Ri \cdot y^2 - \frac{y^3}{3} \right) \cdot U \cdot FG$$

$$Vy = 2.149562 \times 10^5 \quad \text{gal}$$

Tabla 1. Pocerimiento para determinar el volumen de tanque esférico con incrementos a cada 5 centímetros.

INCREMENTO (cm)	V1 (gal)	CORRECCION POR TEMPERATURA				VT (gal)
		R=H/D	K	%	Vt	
0	0	0	0.00065	0.00063	0	0
5	11.97499096	0.00431547	0.00065111	0.00063107	11.9750665	11.9750665
10	47.76175914	0.00863093	0.00065226	0.00063219	47.7620611	47.7620611
15	107.1529975	0.0129464	0.00065347	0.00063337	107.153676	107.153676
20	189.941399	0.01726186	0.00065473	0.00063459	189.942604	189.942604
25	295.9196567	0.02157733	0.00065604	0.00063586	295.921538	295.921538
30	424.8804634	0.02589279	0.0006574	0.00063717	424.883171	424.883171
35	576.6165121	0.03020826	0.00065881	0.00063853	576.620194	576.620194
40	750.9204959	0.03452372	0.00066026	0.00063994	750.925301	750.925301
45	947.5851077	0.03883919	0.00066175	0.00064139	947.591185	947.591185
50	1166.40304	0.04315465	0.0006633	0.00064289	1166.41054	1166.41054
55	1407.166987	0.04747012	0.00066488	0.00064442	1407.17605	1407.17605
60	1669.66964	0.05178558	0.00066651	0.000646	1669.68043	1669.68043
65	1953.703694	0.05610105	0.00066818	0.00064762	1953.71635	1953.71635
70	2259.06184	0.06041651	0.00066989	0.00064927	2259.07651	2259.07651
75	2585.536771	0.06473198	0.00067164	0.00065097	2585.5536	2585.5536
80	2932.921182	0.06904744	0.00067343	0.0006527	2932.94033	2932.94033
85	3301.007764	0.07336291	0.00067525	0.00065448	3301.02937	3301.02937
90	3689.589211	0.07767837	0.00067712	0.00065628	3689.61343	3689.61343
95	4098.458216	0.08199384	0.00067902	0.00065812	4098.48519	4098.48519
100	4527.407471	0.0863093	0.00068095	0.00066	4527.43735	4527.43735
800	165922.6752	0.6904744	0.00118795	0.0011514	165924.586	165924.586
805	167107.5891	0.69478987	0.00119427	0.00115752	167109.523	167109.523
810	168283.1455	0.69910533	0.00120067	0.00116373	168285.104	168285.104
815	169449.1374	0.7034208	0.00120715	0.00117	169451.12	169451.12
820	170605.3573	0.70773626	0.00121371	0.00117636	170607.364	170607.364
825	171751.5979	0.71205173	0.00122035	0.0011828	171753.629	171753.629
830	172887.6519	0.71636719	0.00122708	0.00118932	172889.708	172889.708
835	174013.3121	0.72068266	0.00123389	0.00119593	174015.393	174015.393
840	175128.371	0.72499812	0.00124079	0.00120262	175130.477	175130.477
845	176232.6215	0.72931359	0.00124778	0.00120939	176234.753	176234.753
850	177325.8561	0.73362905	0.00125487	0.00121625	177328.013	177328.013
855	178407.8677	0.73794452	0.00126204	0.00122321	178410.05	178410.05
860	179478.4488	0.74225998	0.00126931	0.00123025	179480.657	179480.657
865	180537.3922	0.74657545	0.00127667	0.00123739	180539.626	180539.626
870	181584.4906	0.75089091	0.00128413	0.00124461	181586.751	181586.751
875	182619.5366	0.75520638	0.00129168	0.00125194	182621.823	182621.823
880	183642.323	0.75952184	0.00129934	0.00125936	183644.636	183644.636

885	184652.6424	0.76383731	0.0013071	0.00126688	184654.982	184654.982
890	185650.2876	0.76815277	0.00131496	0.0012745	185652.654	185652.654
895	186635.0512	0.77246824	0.00132293	0.00128222	186637.444	186637.444
995	203305.941	0.85877754	0.00150699	0.00146062	203308.91	203308.91
1000	203972.3037	0.86309301	0.00151757	0.00147088	203975.304	203975.304
1005	204621.2241	0.86740847	0.0015283	0.00148127	204624.255	204624.255
1010	205252.4949	0.87172394	0.00153917	0.00149181	205255.557	205255.557
1015	205865.9088	0.8760394	0.00155019	0.00150249	205869.002	205869.002
1020	206461.2584	0.88035487	0.00156137	0.00151333	206464.383	206464.383
1025	207038.3364	0.88467033	0.00157269	0.0015243	207041.492	207041.492
1030	207596.9356	0.8889858	0.00158418	0.00153543	207600.123	207600.123
1035	208136.8486	0.89330126	0.00159582	0.00154672	208140.068	208140.068
1040	208657.8682	0.89761673	0.00160762	0.00155815	208661.119	208661.119
1045	209159.787	0.90193219	0.00161958	0.00156975	209163.07	209163.07
1050	209642.3977	0.90624766	0.00163171	0.0015815	209645.713	209645.713
1055	210105.493	0.91056312	0.001644	0.00159342	210108.841	210108.841
1060	210548.8656	0.91487859	0.00165646	0.00160549	210552.246	210552.246
1065	210972.3082	0.91919405	0.00166909	0.00161774	210975.721	210975.721
1070	211375.6135	0.92350952	0.0016819	0.00163015	211379.059	211379.059
1075	211758.5741	0.92782498	0.00169488	0.00164273	211762.053	211762.053
1080	212120.9828	0.93214045	0.00170803	0.00165548	212124.494	212124.494
1085	212462.6323	0.93645591	0.00172137	0.0016684	212466.177	212466.177
1090	212783.3153	0.94077138	0.00173489	0.00168151	212786.893	212786.893
1095	213082.8244	0.94508684	0.00174859	0.00169479	213086.436	213086.436
1100	213360.9523	0.94940231	0.00176248	0.00170825	213364.597	213364.597
1105	213617.4918	0.95371777	0.00177655	0.00172189	213621.17	213621.17
1110	213852.2355	0.95803324	0.00179082	0.00173572	213855.947	213855.947
1115	214064.9761	0.9623487	0.00180528	0.00174973	214068.722	214068.722
1120	214255.5064	0.96666417	0.00181994	0.00176394	214259.286	214259.286
1125	214423.6189	0.97097963	0.00183479	0.00177833	214427.432	214427.432
1130	214569.1065	0.9752951	0.00184984	0.00179292	214572.954	214572.954
1135	214691.7618	0.97961056	0.0018651	0.00180771	214695.643	214695.643
1140	214791.3774	0.98392603	0.00188056	0.0018227	214795.292	214795.292
1145	214867.7461	0.98824149	0.00189623	0.00183789	214871.695	214871.695
1150	214920.6606	0.99255696	0.00191211	0.00185328	214924.644	214924.644
1155	214949.9136	0.99687242	0.0019282	0.00186887	214953.931	214953.931
1158.623687	214956.2083	1	0.00194	0.00188031	214960.25	214960.25

Ejemplo de calculos:

En la Tabla 1 se indica las correcciones que se realiza para la obtención del volumen del tanque para cada incremento. En la tabla no se indican todos los valores debido a que es muy extensa.

17. Incremento

El incremento de la tabla de calibración es de 5 centímetros. Este valor lo define el usuario.

18. Obtención de V1

Para la obtención del volumen V1 se utiliza el modelo matemático para este tipo de tanque.

$$V_y := \pi \cdot \left(R_i \cdot y^2 - \frac{y^3}{3} \right) \cdot U \cdot FG$$

Donde:

y= es el incremento (cm)

Ri= es el radio interno (cm)

U= factor de correccion del volumen

FG= factor de converción (0.0002641721 gal/cm3)

19. Corrección por temperatura

Para realizar la corrección por temperatura se realiza lo siguiente.

h) Relación R=H/D

Se divide cada incremento para el diámetro del tanque.

i) Factor k

Se remplasa el valor de R en la siguiente función que representa el factor de corrección por volumen.

$$k = 0.00186R^4 - 0.00226R^3 + 0.00144R^2 + 0.00025R + 0.00065$$

j) *Porcentaje de corrección*

Con la temperatura de operación determinemos el coeficiente de dilatación lineal mediante la siguiente tabla.

Tabla 2. Coeficiente de expansión lineal

Temperatura del Tanque	ts (°F)	Valor de α_m por °F
-70	a -21	0.0000060
-20	a 28	0.0000061
29	a 78	0.0000062
79	a 128	0.0000063
129	a 177	0.0000064
178	a 227	0.0000065
228	a 276	0.0000066
277	a 326	0.0000067
327	a 376	0.0000068
377	a 425	0.0000069

Temperatura de la placa 80 °F, $\alpha_m = 0.0000063$

La temperatura de la placa se lo obtiene de la siguiente ecuación

$$T_s = \frac{(7 \cdot T_l + T_a)}{8} = \frac{7 \cdot 80 + 78}{8} = 79.75^\circ F$$

Una vez determinado el coeficiente de expansión lineal se determina el porcentaje de corrección para cada incremento mediante de la siguiente función.

$$\% = k \frac{\alpha_m}{0.0000065}$$

k) *Volumen corregido (Vt)*

Finalmente el volumen corregido por temperatura se lo determina mediante la siguiente función.

$$V_t = V_1(1 + \%)$$

20. Volumen total

El volumen total representa el volumen corregido por temperatura para cada incremento.

ANEXO 6

MANUAL DE USUARIO

MANUAL DE USUARIO

INTRODUCCIÓN

El presente manual, guía a los usuarios a utilizar correctamente este software. Paso a paso indica cómo utilizar el programa con los diferentes aspectos involucrados para la calibración de los tanques de almacenamiento de hidrocarburos y mediante gráficos permite visualizar de mejor manera cuales son los datos requeridos por el software.

Las normas utilizadas para el desarrollo del programa garantizan los resultados obtenidos.

Para el correcto funcionamiento del software de calibración se necesitan los siguientes requerimientos:

Requerimientos del hardware.-

Los requisitos que debe tener el computador para que el programa computacional instalado funcione eficazmente son los siguientes:

- 64 MB. RAM (mínimo)
- 856 Mhz. de velocidad (recomendable)
- 200 MB. espacio disponible en disco duro.
- Monitor SVGA 15" o superior. Resolución 800 x 600 pixeles (recomendable)
- Teclado de 101 teclas o superior
- Ratón

Requerimientos del software.-

Para la utilización del programa computacional se requiere que los siguientes sistemas se encuentren instalados en el computador.

- Windows 98 / NT / 2000 / Me / XP / Vista / 7
- Microsoft Excel Version 7.0 Mínimo.

CALIBRACIÓN TANQUES VERTICALES

Pantalla Principal.-

Al hacer correr el programa aparece la pantalla principal (Figura 1). En esta ventana el usuario puede seleccionar el tipo de tanque que desea calibrar, el

sistema de medidas o unidades en el que se va a realizar el ingreso de datos y el número de anillos que el tanque posea.



Figura 1.

- Seleccionar en **Tipo de Tanque** la opción **Tanque Vertical** (Figura 2)

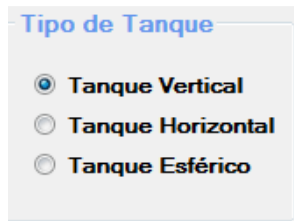


Figura 2.

- Seleccionar en **Ingreso de Datos en Sistema de Medidas** el sistema de unidades en el que se va a trabajar ya sea **Sistema Internacional** (SI) o **Sistema Americano** (SA).



Figura 3.

- Seleccionar en **Anillos del Tanque** el número de anillos que tiene el tanque.

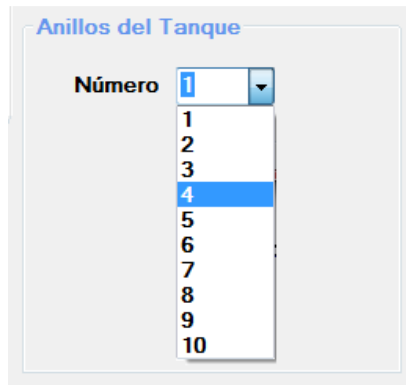


Figura 4.

- Hacer click en **Calibrar Tanque**.
- Aparece un mensaje de confirmación del tanque que se va a calibrar. Hacer click en **Yes** si es el tanque deseado; **No** si se desea modificar algún dato ingresado (Figura 5).



Figura 5.

Una vez seleccionados el tipo de tanque a calibrar se presenta otra pantalla **Calibración de Tanques Verticales** con varias pestañas, en donde se tiene que llenar los datos requeridos por el programa para su calibración. Las pestañas de esta pantalla son las siguientes:

- Datos Generales
- Circunferencias
- Espesores
- Alturas
- J. a Tope / J. Traslapadas
- Volumen Muerto
- Cálculos
- Tabla SA
- Tabla SI

Datos Generales.-

En esta pestaña (Figura 6) se ingresa los datos Generales del tanque a calibrar. Los pasos a seguir son los siguientes:

Figura 6.

- Ingresar en **Datos** el valor del **Diámetro Nominal**. Si el sistema de unidades seleccionado en la pantalla principal es el **SI** ingresar en **metros**, si es el **SA** ingresar en **pulgadas**.

Figura 7.

- Ingresar en **Datos** el valor de la **Altura del líquido**. Si el sistema de unidades seleccionado en la pantalla principal es el **SI** ingresar en **metros**, si es el **SA** ingresar en **pies**.

Figura 8.

- Ingresar en **Datos** el valor de la **Temperatura del Líquido** y el valor de la **Temperatura del Ambiente**. En ambos sistemas estos valores se ingresan en grados **Fahrenheit**.

Figura 9.

- Ingresar en **Datos** el valor del **Grado API a 60°F**.

Grado API a 60°F

Figura 10.

- Ingresar en **Datos** el valor de la **Altura Platina de Aforo** y el valor **Inclinación del tanque**. Si el sistema de unidades seleccionado en la pantalla principal es el **SI** ingresar en **milímetros**, si es el **SA** ingresar en **pulgadas**.

Altura Platina Aforo mm
 Inclinación tanque mm

Figura 11.

- Seleccionar en **Datos** el **Tipo de juntas** si son juntas a tope o traslapadas.

Tipo de Juntas

Figura 12.

- Seleccionar en **Fondo del Tanque** el **Tipo de fondo** si es: plano, cónico hacia arriba o cónico hacia abajo.

Fondo del Tanque
 Tipo de Fondo

 Altura del Cono

Figura 13.

- Si el tipo de fondo es **cónico hacia arriba** o **cónico hacia abajo** se activa la opción para ingresar la **altura del cono**. Si el sistema de unidades seleccionado en la pantalla principal es el **SI** ingresar en **milímetros**, si es el **SA** ingresar en **pulgadas**.

Fondo del Tanque

Tipo de Fondo

Altura del Cono mm

Figura 14.

- Seleccionar en **Techo del Tanque** el **Tipo de techo** si es: fijo o flotante.

Techo del Tanque

Tipo de Techo

Peso

Figura 15.

- Si el tipo de techo es **Flotante** se activan las opciones para ingresar el **Peso**, **Altura Crítica Inferior** y **Altura Crítica Superior**. Para el **Peso** en ambos sistemas el valor se ingresa en **Kilogramos**. Para **las Alturas Críticas superior e inferior** si el sistema de unidades seleccionado en la pantalla principal es el **SI** ingresar en **centímetros**, si es el **SA** ingresar en **pulgadas**.

Techo del Tanque

Tipo de Techo

Peso kg

Altura Crítica Inferior cm

Altura Crítica Superior cm

Figura 16.

- Ingresar en **Incrementos** el valor del incremento que se quiere que tengan las tablas de resultados.

Incrementos

Tabla SA: plg

Tabla SI: cm

Figura 17.

- Hacer click en **Ingresar Valores**.
- Aparece un mensaje de confirmación de ingreso de datos. Hacer click en **OK** (Figura 18).

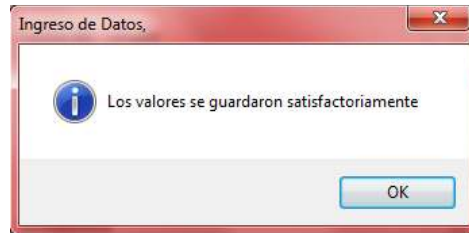


Figura 18.

- Si el usuario del software tiene dudas de cuáles son los datos que se requieren puede hacer click en los *links azules* **Imagen del Tanque** e **Imagen del fondo**. En donde aparecerá una imagen indicando de manera gráfica cuales son los datos requeridos (Figura 19 y Figura 20).

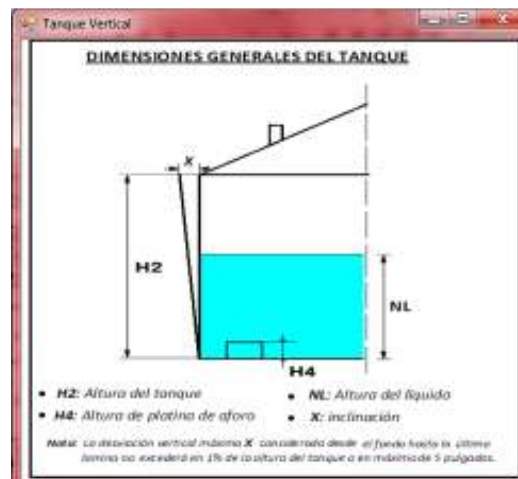


Figura 19.



Figura 20.

Circunferencias.-

En esta pestaña (Figura 21) se ingresan las circunferencias de cada anillo del tanque a la altura del 20% y 80% si las juntas están a tope o a la altura del 25% y 75% si las juntas están traslapadas. Los pasos a seguir son los siguientes:

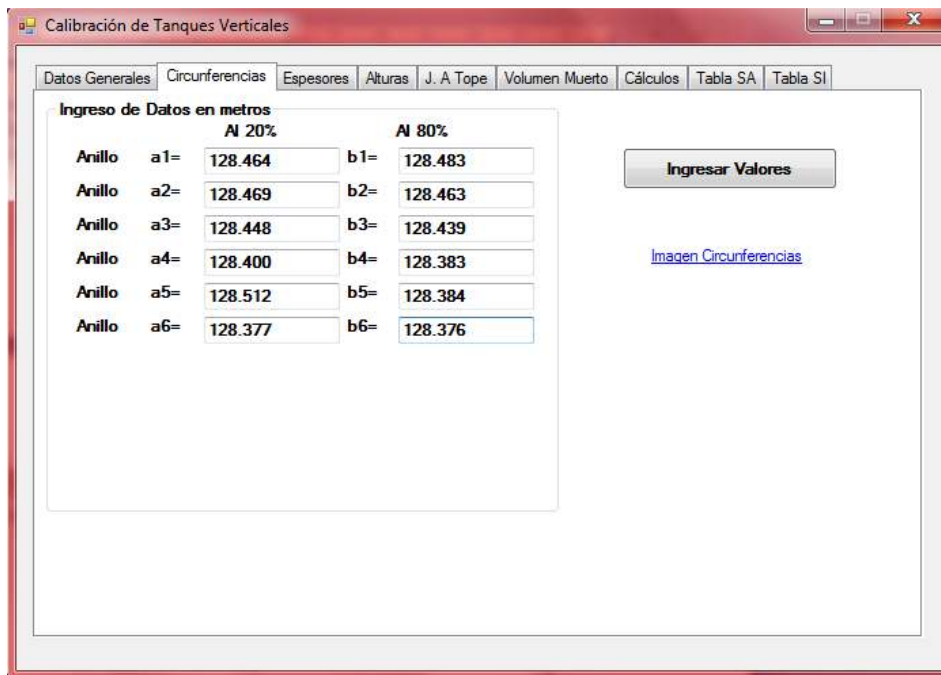


Figura 21.

- Ingresar los valores de las circunferencias de cada anillo. Si el sistema de unidades seleccionado en la pantalla principal es el **SI** ingresar en **metros**, si es el **SA** ingresar en **pies**.
- Hacer click en **Ingresar Valores**.
- Aparece un mensaje de confirmación de ingreso de datos. Hacer click en **OK** (Figura 18).
- Si el usuario del software tiene dudas de cuáles son los datos que se requieren puede hacer click en el link azul **Imagen Circunferencias**. En donde aparecerá una imagen indicando de manera gráfica cuales son los datos requeridos (Figura 22).



Figura 22.

Espesores.-

En esta pestaña (Figura 23) se ingresan los espesores de cada anillo del tanque a la altura del 20% y 80% si las juntas están a tope o a la altura del 25% y 75% si las juntas están traslapadas. Los pasos a seguir son los siguientes:

Anillo	x	Al 20%	y	Al 80%	Resultado
Anillo 1	x1=	16.35	y1=	16.26	11 = 16.305
Anillo 2	x2=	7.04	y2=	7.04	12 = 7.04
Anillo 3	x3=	12.26	y3=	12.15	13 = 12.175
Anillo 4	x4=	9.20	y4=	9.05	14 = 9.125
Anillo 5	x5=	8.80	y5=	8.97	15 = 8.885
Anillo 6	x6=	8.42	y6=	8.38	16 = 8.4

Figura 23.

- Ingresar los valores de los espesores de cada anillo. Si el sistema de unidades seleccionado en la pantalla principal es el **SI** ingresar en **milímetros**, si es el **SA** ingresar en **pulgadas**.
- Hacer click en **Ingresar Valores**.
- Aparece un mensaje de confirmación de ingreso de datos. Hacer click en **OK** (Figura 18).

Alturas.-

En esta pestaña (Figura 24) se ingresan las alturas de cada anillo del tanque. Los pasos a seguir son los siguientes:

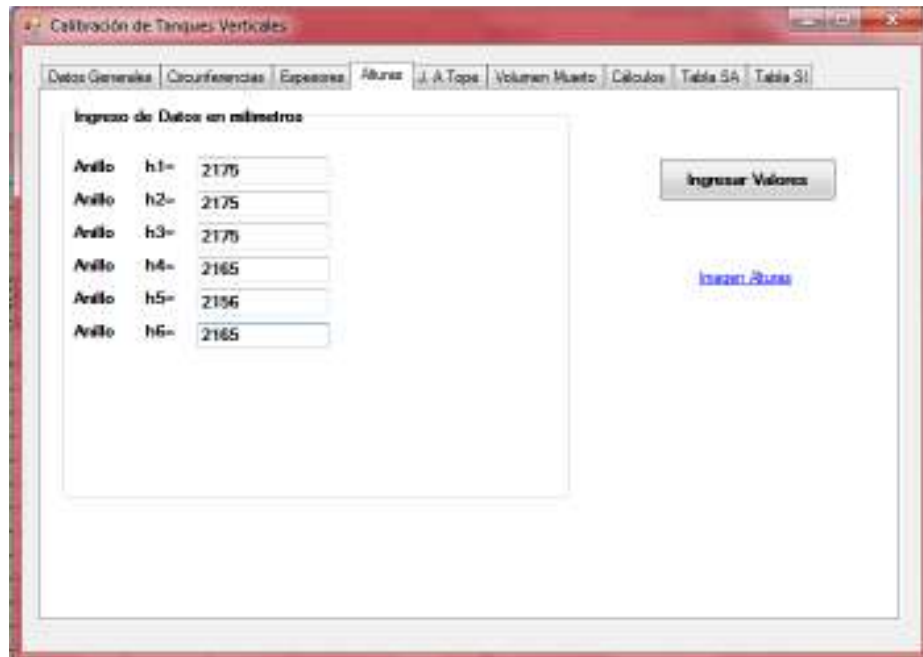


Figura 24.

- Ingresar los valores de las alturas de cada anillo. Si el sistema de unidades seleccionado en la pantalla principal es el **SI** ingresar en **milímetros**, si es el **SA** ingresar en **pulgadas**.
- Hacer click en **Ingresar Valores**.
- Aparece un mensaje de confirmación de ingreso de datos. Hacer click en **OK** (Figura 18).
- Si el usuario del software tiene dudas de cuáles son los datos que se requieren puede hacer click en el link azul **Imagen Alturas**. En donde aparecerá una imagen indicando de manera gráfica cuales son los datos requeridos (Figura 25).



Figura 25.

J. a Tope / J. Traslapadas.-

En esta pestaña (Figura 26) se ingresan las dimensiones de la soldadura o del traslape y el número de juntas verticales que hay en cada anillo. Los pasos a seguir son los siguientes:

		NUMERO	ANCHO	ESPESOR
Anillo	N1=	17	W1= 15	e1= 3
Anillo	N2=	17	W2= 15	e2= 3
Anillo	N3=	17	W3= 15	e3= 3
Anillo	N4=	17	W4= 15	e4= 3
Anillo	N5=	17	W5= 15	e5= 3
Anillo	N6=	17	W6= 15	e6= 3

Figura 26.

- Ingresar el **número** de juntas a tope o juntas traslapadas de cada anillo.
- Ingresar el **ancho** de las juntas a tope en cada anillo. Si el sistema de unidades seleccionado en la pantalla principal es el **SI** ingresar en **milímetros**, si es el **SA** ingresar en **pulgadas**. Si el tanque es de juntas traslapadas esta opción no está disponible.
- Ingresar el **espesor** de las juntas a tope o juntas traslapadas de cada anillo. Si el sistema de unidades seleccionado en la pantalla principal es el **SI** ingresar en **milímetros**, si es el **SA** ingresar en **pulgadas**.
- Hacer click en **Ingresar Valores**.
- Aparece un mensaje de confirmación de ingreso de datos. Hacer click en **OK** (Figura 18).
- Si el usuario del software tiene dudas de cuáles son los datos que se requieren puede hacer click en los links azules **Juntas a Tope** o **Juntas Traslapadas**. En donde aparecerá una imagen indicando de manera gráfica cuales son los datos requeridos (Figura 27 y Figura 28).

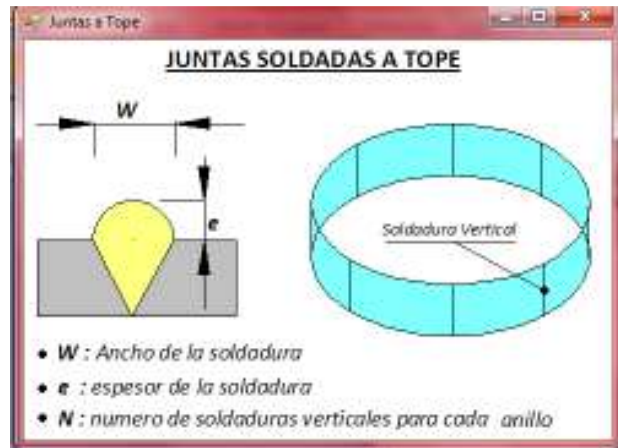


Figura 27.



Figura 28.

Volumen Muerto.-

En esta pestaña (Figura 29) se ingresan todos los datos necesarios para el cálculo del volumen muerto debido a los accesorios que posea el tanque. Los pasos a seguir son los siguientes:

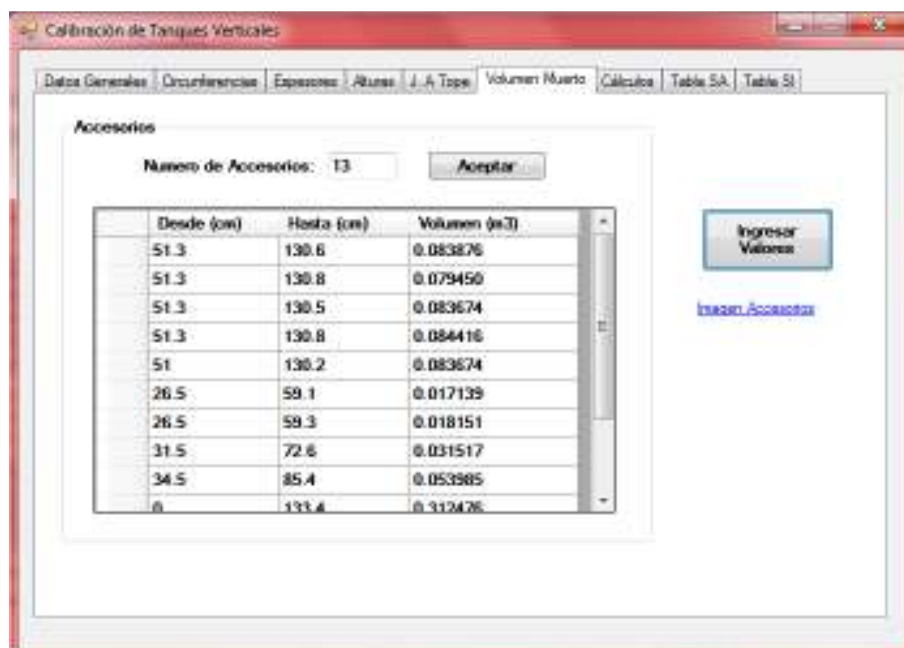


Figura 29.

- Ingresar en **Número de Accesorios** el número de accesorios que tiene posee el tanque.
- Hacer click en **Aceptar** para que se realice una lista en donde se pueda ingresar los datos necesarios.
- Ingresar en **Desde** y en **Hasta** el valor de la altura desde donde empieza el accesorio y hasta donde termina el accesorio respectivamente. Si el sistema de unidades seleccionado en la pantalla principal es el **SI** ingresar en **centímetros**, si es el **SA** ingresar en **pulgadas**.
- Ingresar en **Volumen** el valor del volumen que ocupa el accesorio. El volumen puede ser negativo si el accesorio resta volumen al tanque. Si el sistema de unidades seleccionado en la pantalla principal es el **SI** ingresar en **centímetros cúbicos**, si es el **SA** ingresar en **barriles**.
- Hacer click en **Ingresar Valores**.
- Aparece un mensaje de confirmación de ingreso de datos. Hacer click en **OK** (Figura 18).
- Si el usuario del software tiene dudas de cuáles son los datos que se requieren puede hacer click en el link azul **Imagen Accesorios**. En donde aparecerá una imagen indicando de manera gráfica cuales son los datos requeridos (Figura 30).

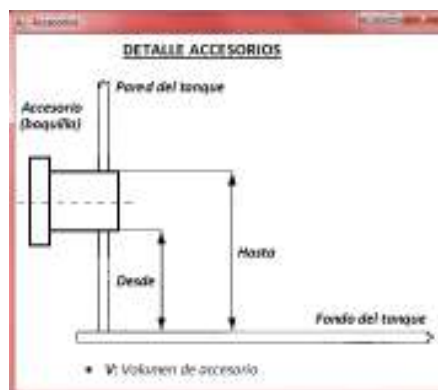


Figura 30.

Cálculos.-

En esta pestaña (Figura 31) se presentan las diferentes correcciones y cálculos que hace el programa según las normas.

Para obtener los resultados hacer click en **Calcular**.

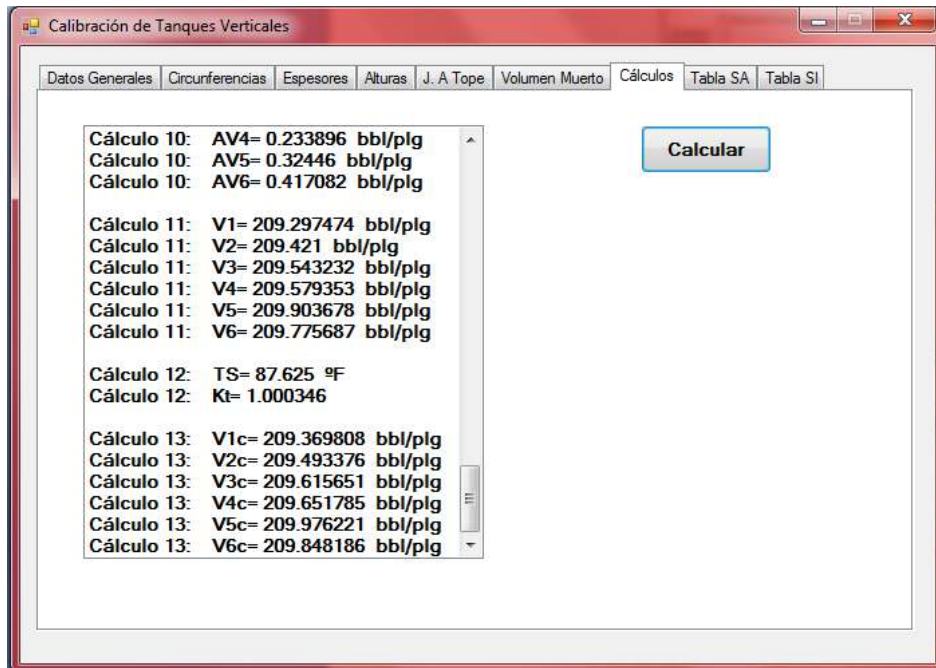


Figura 31.

Tabla SA.-

En esta pestaña (Figura 32) se presentan la tabla total de calibración del tanque vertical en unidades del sistema americano.

Calibración de Tanques Verticales

Datos Generales | Circunferencias | Espesores | Alturas | J. A Tope | Volumen Muerto | Cálculos | Tabla SA | Tabla SI

	Altura (plg)	Incremento (bbl/plg)	T. Acumulado (bbl)	Inclinación (bb)	Accesorios (bbl)	Fondo (bbl)	Techo (bbl)	V. Muerto (bbl)
0	0	0	0	0	0.08893148	617.807480	0	617.824338
1	201.861834	201.861834	201.862959	0.01685715	0.01685715	0	0	617.841195
2	209.369808	411.231642	411.233935	0.01685715	0.01685715	0	0	617.858052
3	209.369808	620.601450	620.604910	0.01685715	0.01685715	0	0	617.874909
4	209.369808	829.971258	829.975885	0.01685715	0.01685715	0	0	617.891766
5	209.369808	1039.34106	1039.34686	0.01685715	0.01685715	0	0	617.908623
6	209.369808	1248.71087	1248.71783	0.03354152	0.03354152	0	0	617.942585
7	209.369808	1458.08068	1458.08881	0.03354152	0.03354152	0	0	617.976507
8	209.369808	1667.45049	1667.45978	0.04593047	0.04593047	0	0	618.022438
9	209.369808	1876.82029	1876.83076	0.04593047	0.04593047	0	0	618.068368
10	209.369808	2086.19010	2086.20173	0.06284167	0.06284167	0	0	618.131210
11	209.369808	2295.55991	2295.57271	0.06284167	0.06284167	0	0	618.194052
12	209.369808	2504.92972	2504.94368	0.06284167	0.06284167	0	0	618.256893

Figura 32.

Tabla SI.-

En esta pestaña (Figura 33) se presentan la tabla total de calibración del tanque vertical en unidades del sistema internacional.

Calibración de Tanques Verticales

[Datos Generales](#)
[Circunferencias](#)
[Espesores](#)
[Alturas](#)
[J. A. Topo](#)
[Volumen Muerto](#)
[Cálculos](#)
[Tabla SA](#)
[Tabla SI](#)

	Altura (m)	Incremento (m3/cm)	I. Acumulado (m3)	Inclinación (m3)	Accesorio (m3)	Fondo (m3)	Techo (m3)	V. Muerto (m3)
0	0	0	0	0	0.01413857	98.2295401	0	98.2245953
1	12.4223367	12.4223367	12.4223367	12.4224059	0.00195514		0	98.2296904
2	12.7133640	25.1357007	25.1357007	25.1358408	0.00195514		0	98.2267056
3	12.9295903	38.0592511	38.0592511	38.0594633	0.00195514		0	98.2277607
4	13.0528958	51.1121469	51.1121469	51.1124319	0.00195514		0	98.2288159
5	13.1051729	64.2173199	64.2173199	64.2176779	0.00195514		0	98.2298710
6	13.1051729	77.3224929	77.3224929	77.3229239	0.00195514		0	98.2309262
7	13.1051729	90.4276658	90.4276658	90.4281699	0.00195514		0	98.2319813
8	13.1051729	103.532838	103.532838	103.533416	0.00195514		0	98.2330365
9	13.1051729	116.638011	116.638011	116.638662	0.00195514		0	98.2340916
10	13.1051729	129.743184	129.743184	129.743908	0.00195514		0	98.2351468
11	13.1051729	142.848357	142.848357	142.849154	0.00195514		0	98.2362019
12	13.1051729	155.953530	155.953530	155.954400	0.00195514		0	98.2372571

Figura 33.

CALIBRACIÓN TANQUES HORIZONTALES

Pantalla Principal.-

Al hacer correr el programa aparece la pantalla principal (Figura 33). En esta ventana el usuario puede seleccionar el tipo de tanque que desea calibrar, el sistema de medidas o unidades en el que se va a realizar el ingreso de datos y el número de anillos que el tanque posea.



Figura 33.

- Seleccionar en **Tipo de Tanque** la opción **Tanque Horizontal** (Figura 34).

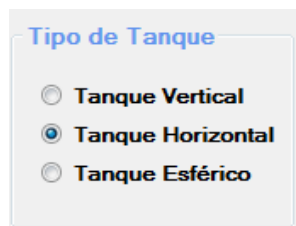


Figura 34.

- Seleccionar en **Ingreso de Datos en Sistema de Medidas** el sistema de unidades en el que se va a trabajar ya sea **Sistema Internacional** (SI) o **Sistema Americano** (SA).



Figura 35.

- Seleccionar en **Anillos del Tanque** el número de anillos que tiene el tanque.

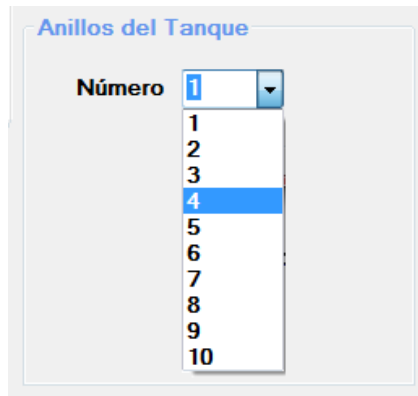


Figura 36.

- Hacer click en **Calibrar Tanque**.
- Aparece un mensaje de confirmación del tanque que se va a calibrar. Hacer click en **Yes** si es el tanque deseado; **No** si se desea modificar algún dato ingresado (Figura 37).



Figura 37.

Pantalla Tanques Horizontales.-

Una vez seleccionado el tipo de tanque a calibrar se presenta esta pantalla para seleccionar el tipo de tanque horizontal que se va a calibrar (Figura 38).

Los pasos a seguir son los siguientes:

- Seleccionar en Tipo de Cabezas el tipo de cabeza que está construido el tanque.
- Seleccionar en Tipo de Laminas el tipo de juntas verticales.
- Hacer click en **Aceptar**.

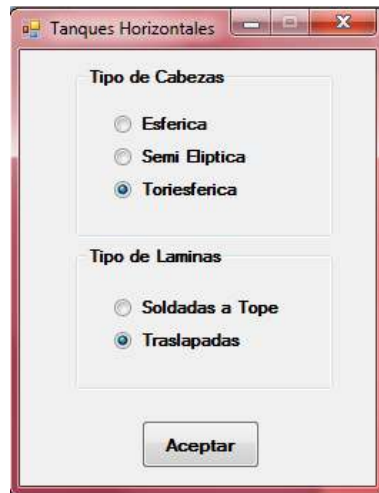


Figura 38.

Ya seleccionado el tipo de tanque horizontal que se va a calibrar se presenta otra pantalla **Calibración de Tanques Horizontales** con varias pestañas, en donde se tiene que llenar los datos requeridos por el programa para su calibración. Las pestañas de esta pantalla son las siguientes:

- Datos Generales
- Circunferencias
- Longitud anillos
- Accesorios
- Cálculos
- Tabla SA
- Tabla SI

Datos Generales.-

En esta pestaña (Figura 39) se ingresa los datos Generales del tanque a calibrar. Los pasos a seguir son los siguientes:

Figura 39.

- Ingresar en **Longitud de las Cabezas** los valores **A1** y **A2**. Si el sistema de unidades seleccionado en la pantalla principal es el **SI** ingresar en **milímetros**, si es el **SA** ingresar en **pies**. Si el usuario tiene dudas de cuáles son los datos que se requieren puede hacer click en el link azul **Imagen Tanque** (Figura 54).

Figura 40.

- Ingresar en **Longitud parte Cilíndrica de las Cabezas** los valores **B1** y **B2**. Si el sistema de unidades seleccionado en la pantalla principal es el **SI** ingresar en **milímetros**, si es el **SA** ingresar en **pies**. Si el usuario tiene dudas de cuáles son los datos que se requieren puede hacer click en el link azul **Imagen Tanque** (Figura 54).

Figura 41.

- Seleccionar en **Datos de Juntas Horizontales** el **Tipo de Juntas**, si son juntas a tope o traslapadas.

Tipo de Juntas



Figura 42.

- Ingresar en **Datos de Juntas Horizontales** el **número** de juntas horizontales a tope o juntas horizontales traslapadas.
- Ingresar en **Datos de Juntas Horizontales** el **Espesor** y **Ancho** de las juntas. Si el sistema de unidades seleccionado en la pantalla principal es el **SI** ingresar en **milímetros**, si es el **SA** ingresar en **pulgadas**. Si el tanque es de juntas traslapadas la opción **Ancho** no está disponible.

Datos de Juntas Horizontales

Tipo Junta: **Traslapado**

Número:

Espesor: mm

Ancho: mm

Figura 43.

- Ingresar el valor del Espesor del Cuerpo y el Espesor de las Cabezas. Si el sistema de unidades seleccionado en la pantalla principal es el **SI** ingresar en **milímetros**, si es el **SA** ingresar en **pulgadas**.

Espesor Cabeza: mm

Espesor Cuerpo: mm

Figura 44.

- Ingresar el valor de la **Presión de Trabajo** del tanque en PSI.

Presión Trabajo: PSI

Figura 45.

- Ingresar el valor del **Diámetro Nominal**. Si el sistema de unidades seleccionado en la pantalla principal es el **SI** ingresar en **milímetros**, si es el **SA** ingresar en **pulgadas**.

Diametro Nominal: mm

Figura 46.

- Ingresar el valor de la **Temperatura del Líquido** y el valor de la **Temperatura del Ambiente**. En ambos sistemas estos valores se ingresan en grados **Fahrenheit**.

Temperatura Líquido: °F
Temperatura Ambiente: °F

Figura 47.

- Ingresar el valor de la **Inclinación**. El porcentaje de inclinación se lo puede encontrar con la ayuda de la Figura 56 haciendo click en el link azul **Inclinación**.

Inclinación: %

Figura 48.

- Ingresar el valor del **Radio Segmento Esférico**. Si el sistema de unidades seleccionado en la pantalla principal es el **SI** ingresar en **milímetros**, si es el **SA** ingresar en **pies**. Si el usuario tiene dudas de cuál es el dato que se requiere puede hacer click en el link azul **Imagen Cabeza** (Figura 55).

Radio Segmento Esférico: mm

Figura 49.

- Ingresar el valor del **Radio del Chaflán**. Si el sistema de unidades seleccionado en la pantalla principal es el **SI** ingresar en **milímetros**, si es el **SA** ingresar en **pulgadas**. Si el usuario tiene dudas de cuál es el dato que se requiere puede hacer click en el link azul **Imagen Cabeza** (Figura 55).

Radio del Chaflán: mm

Figura 50.

- Ingresar el valor del **Traslape**. Si el sistema de unidades seleccionado en la pantalla principal es el **SI** ingresar en **milímetros**, si es el **SA** ingresar en **pulgadas**. Si el usuario tiene dudas de cuál es el dato que se requiere puede hacer click en el link azul **Imagen Tanque** (Figura 54)

Traslape: mm

Figura 51.

- Ingresar en **Incrementos** el valor del incremento que se quiere que tengan las tablas de resultados.

Incremento de Tablas

Incremento SI: cm

Incremento SA: plg

Figura 52.

- Hacer click en **Ingresar Valores**.
- Aparece un mensaje de confirmación de ingreso de datos. Hacer click en **OK** (Figura 53).

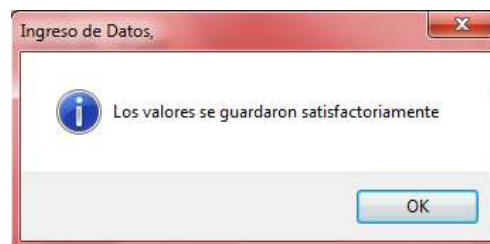


Figura 53.

- Si el usuario del software tiene dudas de cuáles son los datos que se requieren puede hacer click en el **link azul**. En donde aparecerá una imagen indicando de manera gráfica cuales son los datos requeridos (Figura 54, Figura 55 y Figura 56).

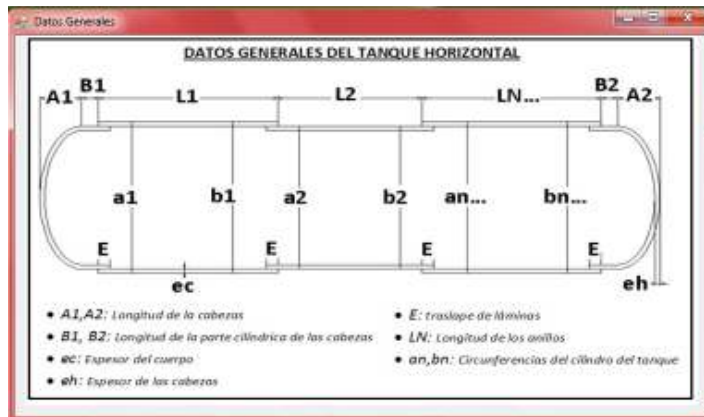


Figura 54.

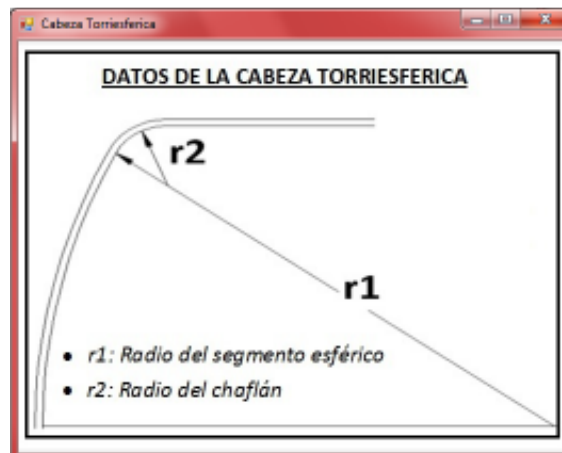


Figura 55.

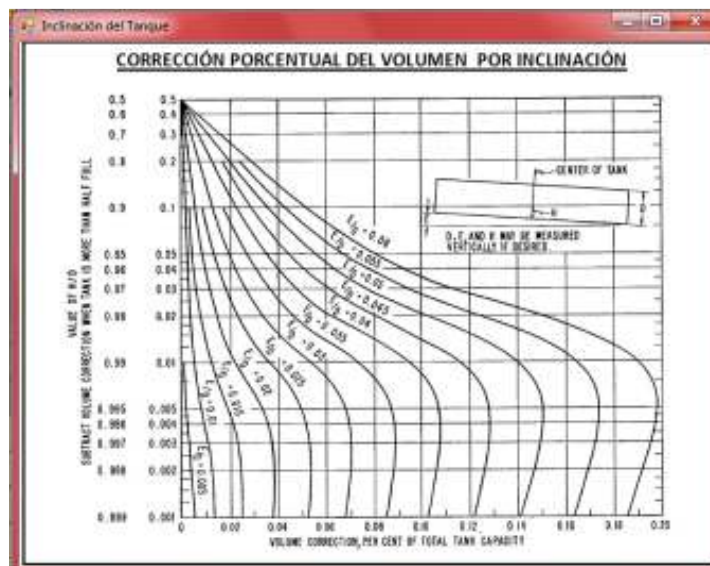


Figura 56.

Circunferencias.-

En esta pestaña (Figura 57) se ingresan las circunferencias de cada anillo del tanque a la altura del 20% y 80%. Los pasos a seguir son los siguientes:

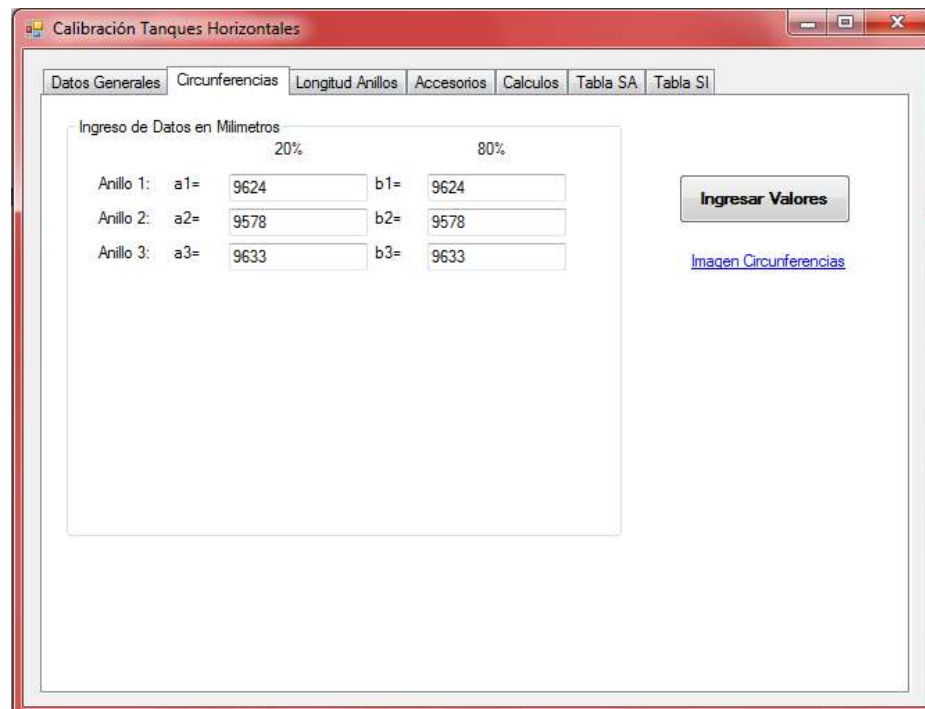


Figura 57.

- Ingresar los valores de las circunferencias de cada anillo. Si el sistema de unidades seleccionado en la pantalla principal es el **SI** ingresar en **milímetros**, si es el **SA** ingresar en **pies**.
- Hacer click en **Ingresar Valores**.
- Aparece un mensaje de confirmación de ingreso de datos. Hacer click en **OK** (Figura 53).
- Si el usuario del software tiene dudas de cuáles son los datos que se requieren puede hacer click en el link azul **Imagen Circunferencias**. En donde aparecerá una imagen indicando de manera gráfica cuales son los datos requeridos (Figura 58).

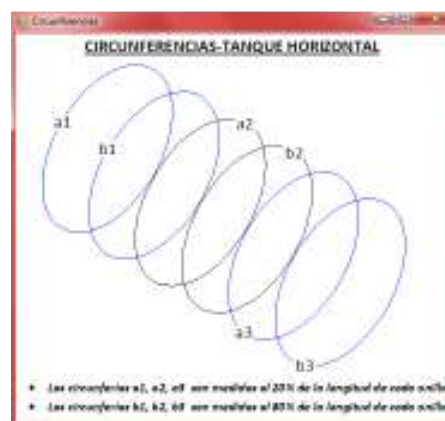


Figura 58.

Longitudes de los Anillos.-

En esta pestaña (Figura 59) se ingresan las longitudes de cada anillo del tanque. Los pasos a seguir son los siguientes:

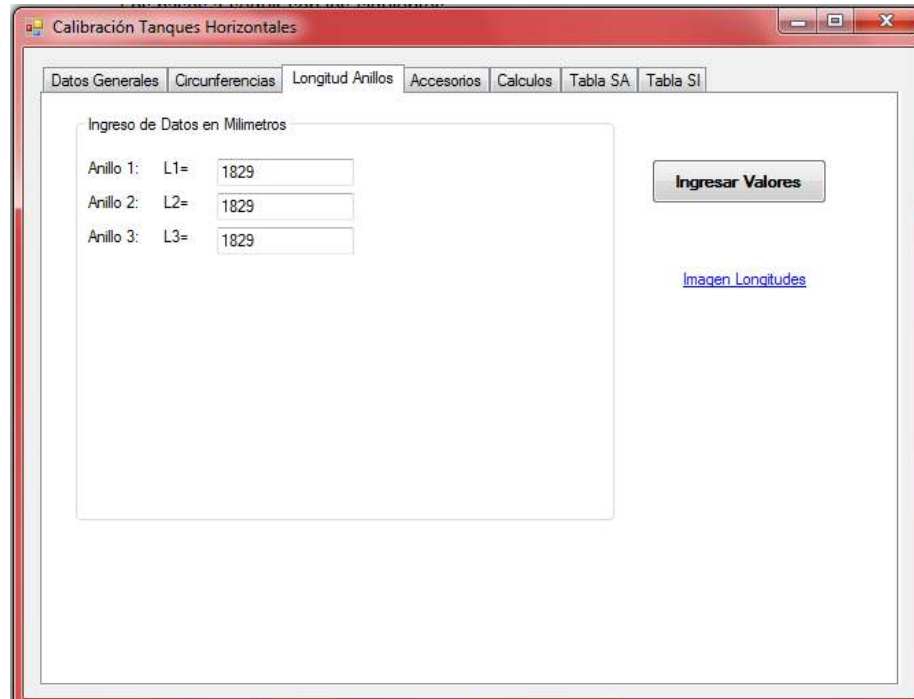


Figura 59.

- Ingresar los valores de las longitudes de cada anillo. Si el sistema de unidades seleccionado en la pantalla principal es el **SI** ingresar en **milímetros**, si es el **SA** ingresar en **pies**.
- Hacer click en **Ingresar Valores**.
- Aparece un mensaje de confirmación de ingreso de datos. Hacer click en **OK** (Figura 53).
- Si el usuario del software tiene dudas de cuáles son los datos que se requieren puede hacer click en el link azul **Imagen Longitudes**. En donde aparecerá una imagen indicando de manera gráfica cuales son los datos requeridos (Figura 60).



Figura 60.

Accesorios.-

En esta pestaña (Figura 61) se ingresan todos los datos necesarios para el cálculo del volumen muerto debido a los accesorios que posea el tanque. Los pasos a seguir son los siguientes:

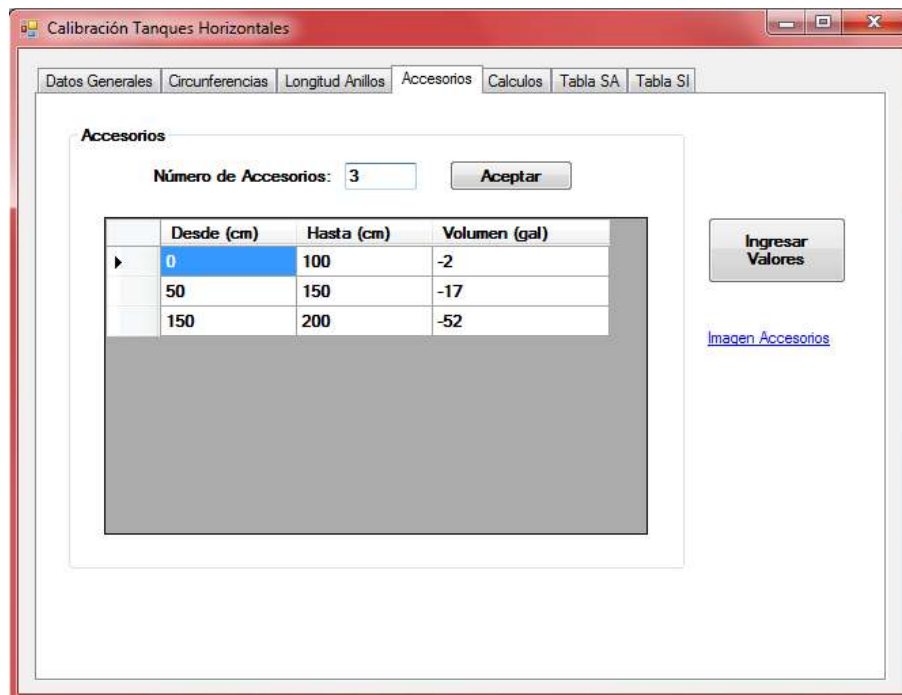


Figura 61.

- Ingresar en **Número de Accesorios** el número de accesorios que tiene posee el tanque.
- Hacer click en **Aceptar** para que se realice una lista en donde se pueda ingresar los datos necesarios.
- Ingresar en **Desde** y en **Hasta** el valor de la altura desde donde empieza el accesorio y hasta donde termina el accesorio respectivamente. Si el sistema de unidades seleccionado en la pantalla principal es el **SI** ingresar en **centímetros**, si es el **SA** ingresar en **pulgadas**.

- Ingresar en **Volumen** el valor del volumen que ocupa el accesorio en **galones**. El volumen puede ser negativo si el accesorio resta volumen al tanque.
- Hacer click en **Ingresar Valores**.
- Aparece un mensaje de confirmación de ingreso de datos. Hacer click en **OK** (Figura 53).
- Si el usuario del software tiene dudas de cuáles son los datos que se requieren puede hacer click en el link azul **Imagen Accesorios**. En donde aparecerá una imagen en donde se indica gráficamente cuales son los datos requeridos (Figura 62).

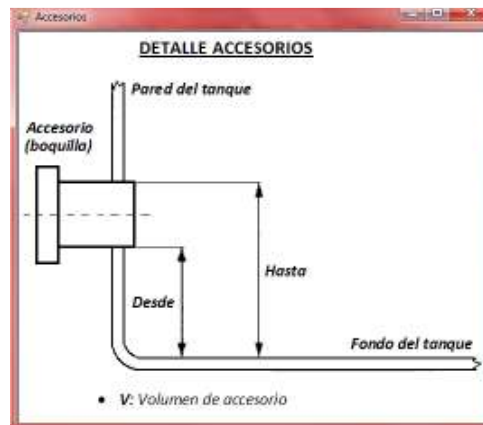


Figura 62.

Cálculos.-

En esta pestaña (Figura 63) se presentan las diferentes correcciones y cálculos que hace el programa según las normas.

Para obtener los resultados hacer click en **Calcular**.

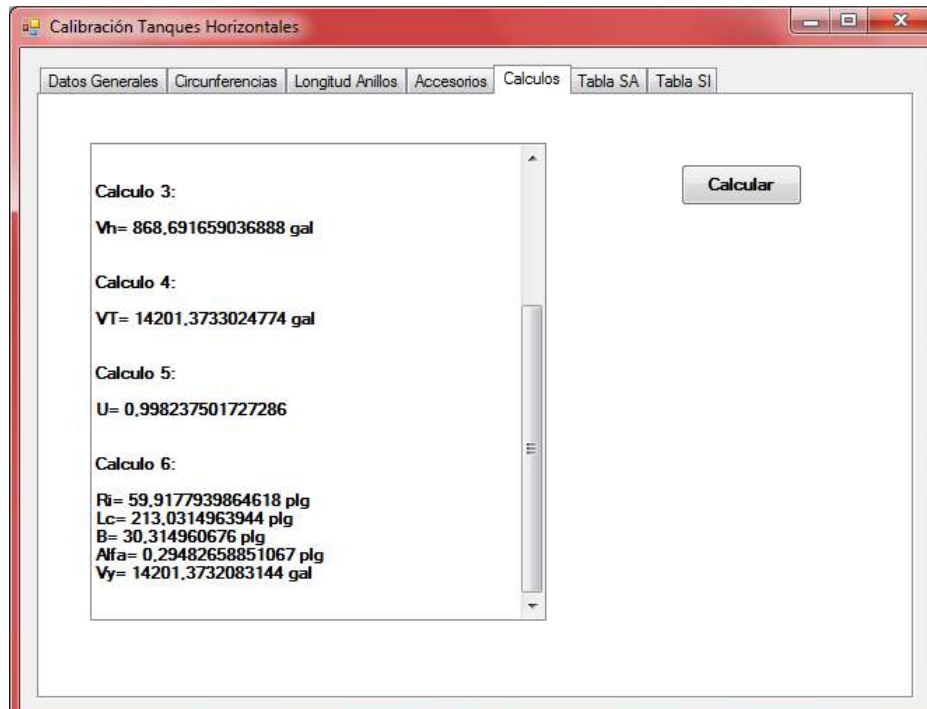


Figura 63.

Tabla SA.-

En esta pestaña (Figura 64) se presentan la tabla total de calibración del tanque horizontal en unidades del sistema americano.

	Incremento (plg)	V1 (gal)	R	ko	K(%)	Vt (gal)
0	0	0	0	0,0009	0,000872307692...	0
1	17,39887580438...	17,39887580438...	0,008344766499...	0,000914266263...	0,000886134993...	17,399029
2	49,29678641161...	49,29678641161...	0,016689532999...	0,000927096890...	0,000898570832...	49,297229
3	90,62600731760...	90,62600731760...	0,025034299499...	0,000938597954...	0,000909718017...	90,626831
4	139,5460637449...	139,5460637449...	0,033379065999...	0,000948871037...	0,000919675005...	139,54734
5	194,9762843337...	194,9762843337...	0,041723832498...	0,000958013319...	0,000928535986...	194,97809
6	256,1758375553...	256,1758375553...	0,050068598998...	0,000966117665...	0,000936390968...	256,17823
7	322,59203375328	322,59203375328	0,058413365498...	0,000973272711...	0,000943325858...	322,59507
8	393,78959426793	393,78959426793	0,066758131998...	0,000979562954...	0,000949422556...	393,79333
9	469,4124706974...	469,4124706974...	0,075102898498...	0,000985068841...	0,000954759031...	469,41695
10	549,1611292826...	549,1611292826...	0,083447664997...	0,000989866855...	0,000959409413...	549,16639
11	632,7780568869...	632,7780568869...	0,091792431497...	0,000994029602...	0,000963444075...	632,78415
12	720,0380096171...	720,0380096171...	0,100137197997...	0,000997625900...	0,000966929719...	720,04497
13	810,7411732895...	810,7411732895...	0,108481964497...	0,001000720869...	0,000969929458...	810,74903
14	904,7082021186...	904,7082021186...	0,116826730997...	0,001003376016...	0,000972502908...	904,71700

Figura 64.

Tabla SI.-

En esta pestaña (Figura 65) se presentan la tabla total de calibración del tanque horizontal en unidades del sistema internacional.

Calibración Tanques Horizontales

Datos Generales | Circunferencias | Longitud Anillos | Accesorios | Calculos | Tabla SA | Tabla SI

	Incremento (cm)	V1 (gal)	R	ko	K(%)	Vt (gal)
▶	0	0	0	0,0009	0,000872307692...	0
	1	4,287954838515...	0,003285341141...	0,000905794950...	0,000877924336...	4,287992
	2	12,14901140924...	0,006570682283...	0,000911357114...	0,000883315357...	12,14911
	3	22,34311453994...	0,009856023424...	0,000916693218...	0,000888487273...	22,34331
	4	34,42483382294...	0,013141364566...	0,000921809878...	0,000893446497...	34,42514
	5	48,13522794576...	0,016426705708...	0,000926713599...	0,000898199334...	48,13566
	6	63,29856622808...	0,019712046849...	0,000931410779...	0,000902751986...	63,29913
	7	79,78508429164...	0,022997387991...	0,000935907708...	0,000907110548...	79,78580
	8	97,49364540500...	0,026282729133...	0,000940210568...	0,000911281012...	97,49453
	9	116,3423951181...	0,029568070274...	0,000944325435...	0,000915269268...	116,3434
	10	136,2632094826...	0,032853411416...	0,000948258280...	0,000919081102...	136,2644
	11	157,1981578708...	0,036138752558...	0,000952014969...	0,000922722200...	157,1996
	12	179,0971267054...	0,039424093699...	0,000955601263...	0,000926198147...	179,0987
	13	201,9161552222...	0,042709434841...	0,000959022823...	0,000929514428...	201,9180
	14	225,6162300512...	0,045994775983...	0,000962285204...	0,000932676429...	225,6183

Figura 65.

CALIBRACIÓN TANQUES ESFÉRICOS

Pantalla Principal.-

Al hacer correr el programa aparece la pantalla principal (Figura 66). En esta ventana el usuario puede seleccionar el tipo de tanque que desea calibrar, el sistema de medidas o unidades en el que se va a realizar el ingreso de datos y el número de anillos que el tanque posea.



Figura 66.

- Seleccionar en **Tipo de Tanque** la opción **Tanque Esférico** (Figura 67).

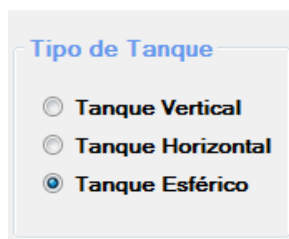


Figura 67.

- Seleccionar en **Ingreso de Datos en Sistema de Medidas** el sistema de unidades en el que se va a trabajar ya sea **Sistema Internacional** (SI) o **Sistema Americano** (SA).



Figura 68.

- Hacer click en **Calibrar Tanque**.
- Aparece un mensaje de confirmación del tanque que se va a calibrar. Hacer click en **Yes** si es el tanque deseado; **No** si se desea modificar algún dato ingresado (Figura 69).



Figura 69.

Una vez seleccionados el tipo de tanque a calibrar se presenta otra pantalla **Calibración de Tanques Esféricos** con varias pestañas, en donde se tiene que llenar los datos requeridos por el programa para su calibración. Las pestañas de esta pantalla son las siguientes:

- Datos Generales
- Cálculos
- Tabla SA
- Tabla SI

Datos Generales.-

En esta pestaña (Figura 70) se ingresa los datos Generales del tanque a calibrar. Los pasos a seguir son los siguientes:

The screenshot shows a software window titled 'Calibración Tanques Esféricos' with four tabs: 'Datos Generales', 'Cálculos', 'Tabla SA', and 'Tabla SI'. The 'Datos Generales' tab is active and contains the following fields:

- Datos:**
 - Distancia hasta C1: 254 mm
 - Altura Vertical: 11449 mm
 - Distancia hasta Dm: 889 mm
 - Temperatura Líquido: 86 °F
 - Temperatura Ambiente: 70 °F
- Circunferencias:**
 - Horizontal: 36478 mm
 - Vertical: 36503 mm
 - Vertical 90: 36497 mm
- Espesores:**
 - e1: 19 mm
 - e2: 18 mm
 - e3: 18 mm
- Incrementos:**
 - Tabla SA: 1 plg
 - Tabla SI: 1 cm

At the bottom left is a blue link labeled 'Imagen Tanque'. At the bottom center is a button labeled 'Ingresar Valores'.

Figura 70.

- Ingresar en **Datos** el valor de la **Distancia hasta C1**. Si el sistema de unidades seleccionado en la pantalla principal es el **SI** ingresar en **milímetros**, si es el **SA** ingresar en **pulgadas**. Si el usuario tiene dudas de cuál es el dato que se requiere puede hacer click en el link azul **Imagen Tanque** (Figura 79).

A close-up of the 'Datos' section of the software interface, showing the 'Distancia hasta C1' field with the value '254' and the unit 'mm'.

Figura 71.

- Ingresar en **Datos** el valor de la **Altura Vertical**. Si el sistema de unidades seleccionado en la pantalla principal es el **SI** ingresar en **milímetros**, si es el **SA** ingresar en **pies**.

A close-up of the 'Altura Vertical' field in the software interface, showing the value '11449' and the unit 'mm'.

Figura 72.

- Ingresar en **Datos** el valor de la **Distancia hasta Dm**. Si el sistema de unidades seleccionado en la pantalla principal es el **SI** ingresar en **milímetros**, si es el **SA** ingresar en **pulgadas**. Si el usuario tiene dudas

de cuál es el dato que se requiere puede hacer click en el link azul **Imagen Tanque** (Figura 79).

Distancia hasta Dm: mm

Figura 73.

- Ingresar el valor de la **Temperatura del Líquido** y el valor de la **Temperatura del Ambiente**. En ambos sistemas estos valores se ingresan en grados **Fahrenheit**.

Temperatura Líquido: °F

Temperatura Ambiente °F

Figura 74.

- Ingresar en **Circunferencias** los valores de las circunferencias **Horizontal**, **Vertical** y **Vertical a 90°**. Si el sistema de unidades seleccionado en la pantalla principal es el **SI** ingresar en **milímetros**, si es el **SA** ingresar en **pies**. Si el usuario tiene dudas de cuáles son los datos que se requieren puede hacer click en el link azul **Imagen Tanque** (Figura 79).

Circunferencias

Horizontal: mm

Verical: mm

Vertical 90: mm

Figura 75.

- Ingresar en **Espesores** los valores de los espesores **e1**, **e2** y **e3** de las circunferencias Horizontal, Vertical y Vertical a 90°. Si el sistema de unidades seleccionado en la pantalla principal es el **SI** ingresar en **milímetros**, si es el **SA** ingresar en **pulgadas**.

Espesores

e1: mm

e2: mm

e3: mm

Figura 76.

- Ingresar en **Incrementos** el valor del incremento que se quiere que tengan las tablas de resultados.

Figura 77.

- Hacer click en **Ingresar Valores**.
- Aparece un mensaje de confirmación de ingreso de datos. Hacer click en **OK** (Figura 78).

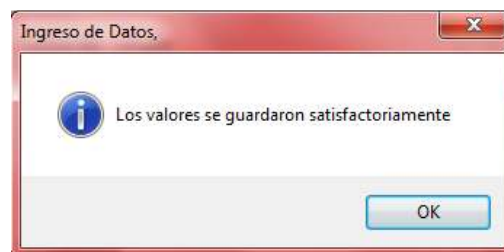


Figura 78.

- Si el usuario del software tiene dudas de cuáles son los datos que se requieren puede hacer click en el **link azul**. En donde aparecerá una imagen indicando de manera gráfica cuales son los datos requeridos (Figura 79).

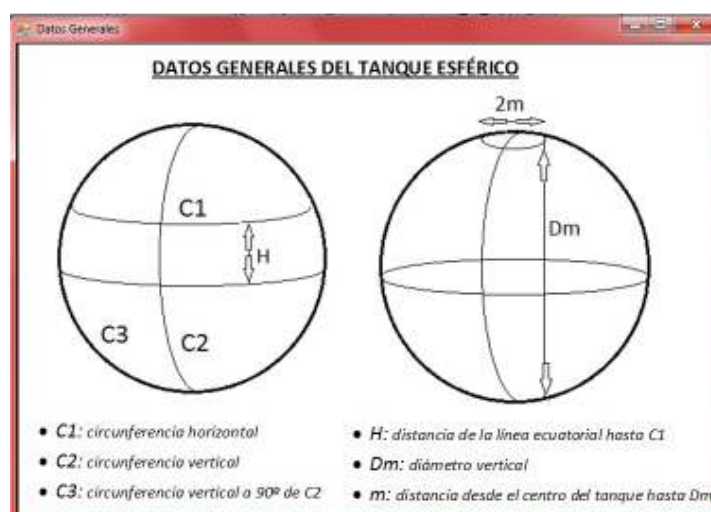


Figura 79.

Cálculos.-

En esta pestaña (Figura 80) se presentan las diferentes correcciones y cálculos que hace el programa según las normas.

Para obtener los resultados hacer click en **Calcular**.

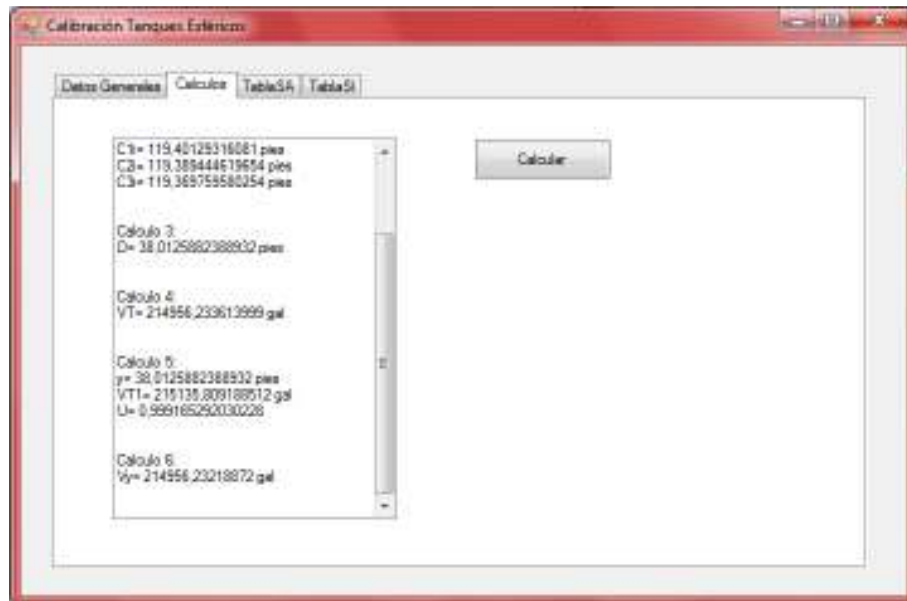


Figura 80.

Tabla SA.-

En esta pestaña (Figura 81) se presentan la tabla total de calibración del tanque esférico en unidades del sistema americano.

The screenshot shows the 'TablaSA' tab in the software, displaying a table with the following columns: 'Incremento (gal)', 'VT (gal)', 'R', 'ko', 'K%', and 'VOLUMEN TOTAL (gal)'. The table contains 12 rows of data:

Incremento (gal)	VT (gal)	R	ko	K%	VOLUMEN TOTAL (gal)
0	0	0	0.00065	0.00063	0
1	3,094701273592	0.002192256228	0.000650954960	0.000630537895	3,094720786896
2	12,36068693956	0.004384512457	0.000651123620	0.000631089047	12,36076494650
3	27,77077976570	0.006576768685	0.000651705838	0.000631653351	27,77095518076
4	45,29780251980	0.008769024914	0.000652301473	0.000632230858	45,29811419583
5	76,91457969665	0.010961281143	0.000652910386	0.000632820835	76,91506470114
6	110,5699288830	0.013153537371	0.000653532409	0.000633423748	110,5696294112
7	150,3086780277	0.015345793600	0.000654167494	0.000634039264	150,3086310438
8	196,0318481716	0.017538049829	0.000654815416	0.000634667250	196,0328923203
9	247,7356620824	0.019730306057	0.000655476070	0.000635307575	247,7372359658
10	305,3935425279	0.021922562286	0.000656149321	0.000635960111	305,3934847090
11	368,9781122758	0.024114818515	0.000656835036	0.000636624727	368,9804612817
12	438,4821940941	0.026307074743	0.000657533083	0.000637301296	438,4649884194

Figura 81.

Tabla SI.-

En esta pestaña (Figura 82) se presentan la tabla total de calibración del tanque esférico en unidades del sistema internacional.

Calibración Tanques Estéreo

Tabla General, Cálculos, Tabla SA, Tabla SI

	Incremento (cc)	V1 (gal)	R	ko	K(1)	VOLUMEN TOTAL (gal)
0	0	0	0	0.00065	0.00063	0
1	0.480105235319...	0.000863093003...	0.000650216844...	0.000630210172...	0.000630210172...	0.480108260991...
2	1.919315303848...	0.001726186006...	0.000650435825...	0.000630422415...	0.000630422415...	1.919327403841...
3	4.315971749439...	0.002589279010...	0.000650696934...	0.000630636721...	0.000630636721...	4.3159989675419
4	7.668416115947...	0.003452372013...	0.000650880163...	0.000630853081...	0.000630853081...	7.668464492386
5	11.974989947226...	0.004315465017...	0.000651105502...	0.000631071487...	0.000631071487...	11.97508551797
6	17.29403478712...	0.005178558020...	0.000651332944...	0.000631291930...	0.000631291930...	17.29414358420
7	23.44389217951...	0.006041651023...	0.000651562479...	0.000631514402...	0.000631514402...	23.44404023106
8	30.60290368822...	0.006904744027...	0.000651794098...	0.000631738895...	0.000631738895...	30.60309699867
9	38.70941079713...	0.007767837030...	0.000652027795...	0.000631965401...	0.000631965401...	38.70965542721
10	47.76175511007...	0.008630930034...	0.000652263559...	0.000632193911...	0.000632193911...	47.76205705699
11	57.75827815091...	0.009494023037...	0.000652501383...	0.000632424417...	0.000632424417...	57.75864342837
12	68.69732146350...	0.010357116040...	0.000652741258...	0.000632656911...	0.000632656911...	68.69775608185

Figura 82.