ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

"Comparación de los Resultados de los Volúmenes encontrados a partir de los Métodos: Calibración Líquida API 2555 y Calibración por Medidas API 2552 para un tanque esferoidal de la Refinería La Libertad"

TESIS DE GRADO

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO DE PETRÓLEOS

Presentada por:

Atilio Javier Murrieta Reasco

Carlos Alfredo Malavé Carrera

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2009

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

"Comparación de los Resultados de los Volúmenes encontrados a partir de los Métodos: Calibración Líquida API 2555 y Calibración por Medidas API 2552 para un tanque esferoidal de la Refinería La Libertad"

TESIS DE GRADO

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO DE PETRÓLEOS

Presentada por:

Atilio Javier Murrieta Reasco

Carlos Alfredo Malavé Carrera

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2009

AGRADECIMIENTO

A todas las personas que de uno u otro modo colaboraron en la realización de este trabajo, especialmente al Ing. Ricardo Gallegos Director de Tesis, y al Ing. Carlos Iñiga por su invaluable ayuda.

DEDICATORIA

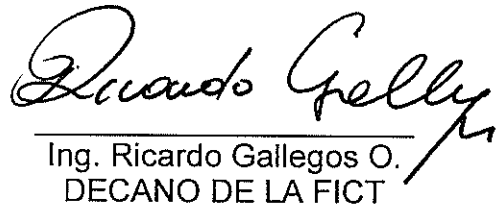
A mis padres Carmen y Teodoro y a mis hermanos que me apoyaron en todo momento.

Javier Murrieta

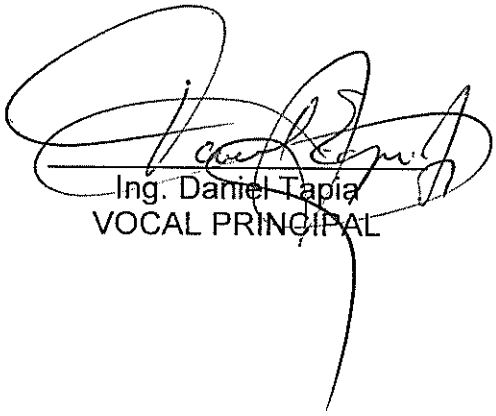
A mi madre Irene y mis hermanos que siempre me apoyaron y creyeron en mí.

Carlos Malavé

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



Ing. Ricardo Gallegos O.
DECANO DE LA FICT
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL
DIRECTOR DE TESIS



Ing. Daniel Tapia
VOCAL PRINCIPAL

DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, nos corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL"

Atilio Javier Murrieta Reasco

Carlos Alfredo Malavé Carrera

RESUMEN

Debido a la gran importancia que tiene el almacenamiento de hidrocarburos en la industria del petróleo en nuestro país, y considerando además que en la actualidad el Gobierno construirá una refinería en la localidad de El Aromo, Provincia de Manabí, es de gran relevancia tener en cuenta la calibración de tanques y sus respectivas tablas de aforo.

El presente trabajo desarrolla básicamente la comparación de los resultados de dos métodos de calibración, mediante la norma API 2555 y API 2552, aplicado a un tanque esferoidal ubicado en la Refinería de La Libertad.

En la primera parte se revisan los fundamentos teóricos para la calibración de tanques de almacenamiento describiendo en forma general los procedimientos de los dos métodos.

Realizaremos la calibración por el método de medidas API 2552 para la calibración del tanque en estudio, se elaborará una tabla de aforo y se procederá a compararla con la tabla desarrollada por una empresa particular que utilizó el método de calibración líquida en este tanque.

Finalmente discutiremos las variaciones de resultados de ambos métodos y posibles errores en los mismos.

ÍNDICE GENERAL

Pág.

RESUMEN…….. I

INDICE GENERAL……. III

ABREVIATURAS……... VI

SIMBOLOGIA……. VIII

INDICE DE FIGURAS…… X

INDICE DE TABLAS…….. XII

INTRODUCCIÓN…… 1

CAPÍTULO 1

1. Calibración Liquida

    1.1. Generalidades…… 2

    1.2. Concepto……3

    1.3. Aplicación……..……4

1.4. Equipos……5

1.5. Calibración por Medidor de Desplazamiento Positivo…… 5

1.6. Calibración por Patrón Volumétrico…… 6

CAPÍTULO 2

2. Calibración por Medidas API 2552

2.1. Generalidades…… 7

2.2. Conceptos……...7

2.3. Equipos utilizados……..8

2.3.1. Cintas para la medición de las circunferencias…… 8

2.3.2. Cintas para la medición de altura……9

2.3.3. Equipos accesorios……10

2.4. Volumen bajo la línea de capacidad base……11

2.5. Procedimiento para las Mediciones de Campo……..……12

2.6. Procedimiento para los Cálculos……12

CAPÍTULO 3

3. Datos del Tanque 31 de la Refinería La Libertad

3.1. Ubicación del Tanque……16

3.2. Diámetros del tanque 31…….. 17

3.3. Accesorios del tanque 31…….. 18

3.4. Resultado de la Calibración Líquida del Tanque 31…… 20

CAPÍTULO 4

4. Calibración del Tanque 31 de la Refinería La Libertad según el Método de Medidas API 2552

4.1. Mediciones de Campo…….. 24

4.2. Mediciones de los accesorios…… 27

4.3. Cálculos…….. 31

4.3.1. Radios en el interior del tanque…… 31

4.3.2. Cálculo de los radios horizontales interiores por medio de planos de diseño……..…… 45

4.3.3. Cálculo de los radios horizontales interiores usando las medidas de campo…… 46

4.3.4. Ajuste de los radios externos…… 48

4.3.5. Cálculo del volumen por cada pulgada……... 53

4.3.6. Corrección por accesorios……59

4.3.6.1. Volúmenes parciales de la Entrada de hombre (Manhole)……..……60

4.3.6.2. Volúmenes de las Tuberías……..... 61

4.3.6.3. Volúmenes totales de los accesorios…….. 62

4.3.7. Completar la tabla con los volúmenes acumulados por cada incremento……63

4.4. Corrección del Volumen por Cambios Térmicos de la Plancha…….68

CAPÍTULO 5

5. Diferencia entre métodos

5.1. Diferencias en Volúmenes Parciales……..82

5.2. Diferencias en Volúmenes Acumulados…… 89

CAPÍTULO 6

6. Conclusiones y Recomendaciones

6.1. Conclusiones……..96

6.2. Recomendaciones…….98

BIBLIOGRAFIA…….. 99

ABREVIATURAS

ASTM	Sociedad Norteamericana para Pruebas y Materiales
API	Instituto Norteamericano del Petróleo
cm	Centímetros
DNH	Dirección Nacional de Hidrocarburos
ft	Pies
ft^3	Pies Cúbicos
in	Pulgadas
in^3	Pulgadas Cúbicas
IP	Instituto del Petróleo
ISO	Organización Internacional para la Estandarización
LPG	Gas Licuado de Petróleo
m^3	Metro Cúbico

mm	Milímetro
MPMS	Manual of Petroleum Management Standard
NFPA	National Fire Protection Association
OSHA	Administración de Seguridad y Salud Ocupacional
RLL	Refinería La Libertad
OO	Oeste
NN	Norte
SS	Sur
EE	Este
$V_{API\ 2552}$	Volumen por el API 2552
$V_{API\ 2555}$	Volumen por el API 2555

SIMBOLOGÍA

K	Coeficiente del acero bajo en carbono
ts	Temperatura de servicio en la pared del tanque
π	Pi = 3.141593
C	Circunferencia Interior
D	Diámetro Interior
Rcv	Radio externo de la curvatura vertical
Ldb	Distancia horizontal desde el drip bar al centro del radio de la curvatura vertical
E	Espesor Horizontal en la plancha
h	distancia vertical desde el centro del segmento hasta la línea de capacidad base
a	Distancia vertical desde el centro del segmento hasta el centro del radio de curvatura vertical.
R	Radio de la curvatura vertical
L	Distancia horizontal desde la línea central del tanque hasta el centro del radio de curvatura vertical

K^1	Coeficiente tomado de la figura 7 del estándar API 2552
D	Diámetro del tanque a 60 ºF (altura total del tanque)
H	Altura verdadera del líquido medido con cinta de aforo corregida a 60 ºF.
y	Altura de referencia desde la mesa de aforo
$\propto m$	Coeficiente de Expansión Térmica
t	Actual Temperatura del Tanque
A	Área
r	Radio interno del tanque a una altura determinada

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Tanque Esferoidal……...8

Figura 2.2 Cinta para Medición de Circunferencias……. 9

Figura 2.3 Cinta para Medición de Altura y Plomada…….. 10

Figura 2.4 Medidor de Espesor por Ultrasonido……... 11

Figura 3.1 Tanque Nº 31……...17

Figura 3.2 Desarrollo de Perfil y Diámetro del Tanque Nº 31…….18

Figura 3.3 Accesorios del Fondo del Tanque Nº 31……19

Figura 3.4 Accesorios del Techo del Tanque Nº 31……19

Figura 4.1 Ubicación de las Líneas de Capacidad del Tanque Nº 31…...25

Figura 4.2 Mesa de aforo y Tina de Drenaje……27

Figura 4.3 Medición de la Altura de la Barra de Goteo……27

Figura 4.4 Entrada de Hombre del Tanque……... 29

Figura 4.5 Tuberías de Entrada y Salida en el Interior del Tanque…….. 29

Figura 4.6 Tuberías en el Interior del Tanque Nº 31…… 30

Figura 4.7 Accesorios del Techo del Tanque Nº 31……30

Figura 4.8 Radios Internos Medidos cada 50 centímetros de Altura…….31

Figura 4.9 Cálculo de los Radios Internos por Pulgada…….. 32

Figura 4.10a Secciones de tanque seleccionado…… 33

Figura 4.10b Secciones de tanque seleccionado…… 33

Figura 4.11 Ubicación de los Radios Internos por Pulgada…….. 45

Figura 4.12 Ubicación de Radios Internos en Barra de Goteo - Ecuador.. 46

Figura 4.13 Calculo del Radio de Curvatura Vertical…….. 48

Figura 4.14 Vista de Perfil de la Entrada de Hombre……60

Figura 4.15 Coeficiente de Corrección del Volumen por Expansión o Contracción Térmica para Tanques Esféricos y Esferoidales de Aceros Bajos en Carbono…….. 70

Figura 4.16 Valores de α_m para Aceros Bajo en Carbono y Aluminio…..71

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Tabla de Aforo del Tanque Nº 31 (Calibración Líquida) 1/3… 21

Tabla 1 Tabla de Aforo del Tanque Nº 31 (Calibración Líquida) 2/3… 22

Tabla 1 Tabla de Aforo del Tanque Nº 31 (Calibración Líquida) 3/3… 23

Tabla 2 Resumen de los Datos de Campo……... 26

Tabla 3 Datos de Campo de los Accesorios……28

Tabla 4 Valores por Sección para Calcular Radios Internos…… 34

Tabla 5 Cálculo de los Radios Internos, Sección 1…… 35

Tabla 6 Cálculo de los Radios Internos, Sección 2…… 36

Tabla 7 Cálculo de los Radios Internos, Sección 3…… 37

Tabla 8 Cálculo de los Radios Internos, Sección 4…… 38

Tabla 9 Cálculo de los Radios Internos, Sección 5…… 39

Tabla 10 Cálculo de los Radios Internos, Sección 6…… 40

Tabla 11 Cálculo de los Radios Internos, Sección 7…… 41

Tabla 12 Cálculo de los Radios Internos, Sección 8…… 42

Tabla 13 Cálculo de los Radios Internos, Sección 9…… 43

Tabla 14 Cálculo de los Radios Internos, Sección 10……...35

Tabla 15 Resumen de los Cálculos……..48

Tabla 16 Ajustes de los Radios en la Parte Inferior del Tanque 1/1….. 49

Tabla 17 Ajustes de los Radios en la Parte Superior del Tanque 1/4... 50

Tabla 17 Ajustes de los Radios en la Parte Superior del Tanque 2/4… 51

Tabla 17 Ajustes de los Radios en la Parte Superior del Tanque 3/4… 52

Tabla 17 Ajustes de los Radios en la Parte Superior del Tanque 4/4… 53

Tabla 18 Cálculo del Volumen por cada Pulgada 1/5……55

Tabla 18 Cálculo del Volumen por cada Pulgada 2/5……56

Tabla 18 Cálculo del Volumen por cada Pulgada 3/5……57

Tabla 18 Cálculo del Volumen por cada Pulgada 4/5……58

Tabla 18 Cálculo del Volumen por cada Pulgada 5/5……59

Tabla 19 Volúmenes de la Entrada de Hombre…… 60

Tabla 20 Volúmenes de las Tuberías por Pulgada…… 62

Tabla 21 Resumen de Volúmenes de los Accesorios……...62

Tabla 22 Volumen del Tanque por cada Pulgada 1/5……... 64

Tabla 22 Volumen del Tanque por cada Pulgada 2/5……... 65

Tabla 22 Volumen del Tanque por cada Pulgada 3/5……... 66

Tabla 22 Volumen del Tanque por cada Pulgada 4/5……... 67

Tabla 22 Volumen del Tanque por cada Pulgada 5/5……... 68

Tabla 23 Corrección del Volumen por Cambio Térmico del Tanque 1/973

Tabla 23 Corrección del Volumen por Cambio Térmico del Tanque 2/974

Tabla 23 Corrección del Volumen por Cambio Térmico del Tanque 3/975

Tabla 23 Corrección del Volumen por Cambio Térmico del Tanque 4/976

Tabla 23 Corrección del Volumen por Cambio Térmico del Tanque 5/977

Tabla 23 Corrección del Volumen por Cambio Térmico del Tanque 6/978

Tabla 23 Corrección del Volumen por Cambio Térmico del Tanque 7/979

Tabla 23 Corrección del Volumen por Cambio Térmico del Tanque 8/980

Tabla 23 Corrección del Volumen por Cambio Térmico del Tanque 9/981

Tabla 24 Diferencia entre Volúmenes Parciales (API2552-API2555) 1/5 84

Tabla 24 Diferencia entre Volúmenes Parciales (API2552-API2555) 2/5 85

Tabla 24 Diferencia entre Volúmenes Parciales (API2552-API2555) 3/5 86

Tabla 24 Diferencia entre Volúmenes Parciales (API2552-API2555) 4/5 87

Tabla 24 Diferencia entre Volúmenes Parciales (API2552-API2555) 5/5 88

Tabla 25 Comparación, Volúmenes Acumulados (API 2552-API2555) 1/5 90

Tabla 25 Comparación, Volúmenes Acumulados (API 2552-API2555) 2/5 91

Tabla 25 Comparación, Volúmenes Acumulados (API 2552-API2555) 3/5

…….. 92

Tabla 25 Comparación, Volúmenes Acumulados (API 2552-API2555) 4/5

…….. 93

Tabla 25 Comparación, Volúmenes Acumulados (API 2552-API2555) 5/5

…….. 94

INTRODUCCIÓN

Aunque muchos tanques en un mismo terminal puedan parecer idénticos, si aplicamos mediciones con elevada precisión nos daremos cuenta que cada uno tiene dimensiones únicas, por lo tanto no es aceptable realizar las tablas de calibración de tanques basados en plano de ingeniería utilizados en su construcción.

Las calibraciones de tanques son de gran interés para la industria del petróleo, esto afecta tanto al vendedor como al comprador del producto si son realizadas de manera no adecuada, es por eso que tienen que chequear y verificar las mediciones las partes involucradas, además las que realizan la fiscalización por parte del gobierno.

Una medición incorrecta dará como resultado una tabla de aforo errónea, la misma que permanecerá en uso hasta que requiera una nueva recalibración, como resultado a estas medidas con error, tendremos 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. La calibración de un tanque resulta conveniente debido a su importancia económica.

CAPÍTULO 1

1. CALIBRACIÓN LÍQUIDA

1.1. Generalidades

La calibración líquida es recomendable para cualquier tanque o parte de un tanque donde el tanque es de forma irregular. Porque las mediciones circunferenciales en un esferoide son limitadas.

Las facilidades no siempre están disponibles en el proceso de mediciones físicas, este método es una alternativa satisfactoria para estos tanques. Cuando están visiblemente distorsionados, el esferoide debería hacerse por calibración líquida.

La calibración líquida puede ser realizada por patrones volumétricos, usando agua o un producto de baja volatibilidad.

El esferoide debería ser llenado al menos una vez con un líquido tan pesado como el líquido que se almacena.

Cuando son usados patrones volumétricos, éstos deberán ser calibrados por el procedimiento de mediciones críticas, o por el procedimiento de extracción de agua.

La tabla de aforo debe ser elaborada en el incremento deseado normalmente 1/8 de pulgadas usando gráficos o métodos matemáticos para establecer una curva suavizada.

1.2. Concepto

El estándar API 2555 describe el procedimiento para calibración de tanques o partes de tanques, superiores a un barril mediante la introducción o extracción de cantidades medidas de líquido.

La calibración líquida es una manera de determinar los volúmenes incrementales y capacidades de los tanques u otros tipos de recipiente transfiriendo cantidades conocidas de líquido de un recipiente a otro.

Esta norma determina con precisión los valores incrementales requeridos para preparar las tablas de aforo para tanques de cualquier forma o diseño.

1.3. Aplicación

El procedimiento seleccionado para la calibración líquida depende de condiciones tales como el grado precisión requerida, el tipo y tamaño del tanque a ser calibrado, y los equipos disponibles para realizar el trabajo.

Un patrón volumétrico portátil es más apropiado para calibrar tanques de 50 a 500 barriles de capacidad. Este procedimiento proporciona generalmente el mejor grado de exactitud, pero toma mucho tiempo cuando es usado para calibrar tanques de mayor capacidad. Las unidades de medición portátiles se han utilizado con buenos resultados para comprobar los volúmenes de líquido.

Es preferible que el diámetro del patrón volumétrico sea menor que el diámetro del tanque a ser calibrado, con el fin de obtener el mayor grado de precisión.

El tanque debería haber sido llenado al menos una vez con un líquido tan pesado como el que se almacenará.

1.4. Equipos

Los equipos que se requieren son los siguientes:

- Suministro de líquido de preferencia no volátil, del mismo o similar peso especifico del producto a almacenarse en el tanque.
- Equipos de medición para la línea de aforo y la temperatura del tanque.
- Formas adecuadas para registros de datos.

1.5. Calibración por medidor de desplazamiento positivo

El esferoide inicialmente puede estar vacío o lleno y la calibración debe proceder mediante la introducción o retiro del líquido, este es medido con un instrumento denominado medidor de desplazamiento positivo, el cual nos proporciona el volumen a las especificaciones de tiempo requeridas.

Los incrementos de llenado o vaciado deberían ser medidos por medio de una cinta y plomada o por la lectura del medidor.

1.6. Calibración por Patrón Volumétrico

El esferoide debe ser llenado con agua hasta el tope de la línea de capacidad. El agua debe ser descargada hacia el patrón volumétrico donde es medida con precisión.

En el caso de que el esferoide sea vaciado, el procedimiento es similar.

Los incrementos de llenado o vaciado, deben ser medidos por medio de una cinta y plomada o por la lectura del medidor dentro del tanque.

CAPÍTULO 2

2. CALIBRACIÓN POR MEDIDAS API 2552

2.1. Generalidades

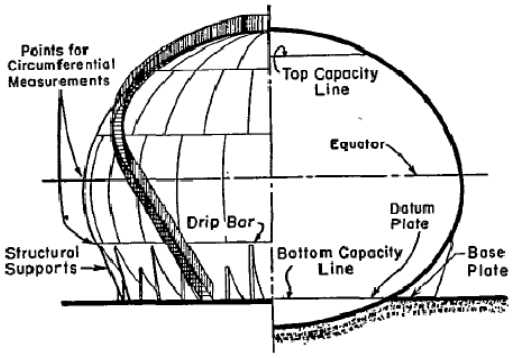
Tomar las medidas de las circunferencias en un esferoide tiene dificultades excepto en dos puntos, en la parte superior de la barra de goteo y en la circunferencia máxima donde la plancha del tanque es tangente a la línea vertical.

2.2. Conceptos

Un esferoide es un tanque de almacenamiento de líquido estacionario construido por varias planchas.

Cualquier sección transversal horizontal es circular y una sección transversal vertical es una serie de arcos circulares. La altura es reducida comparada con la de una esfera.

La barra de goteo está soldada a la estructura en un círculo horizontal justo sobre los soportes estructurales para interceptar el agua de la lluvia.



Fuente: API MPMS 2.2 A

FIGURA 2.1. TANQUE ESFEROIDAL

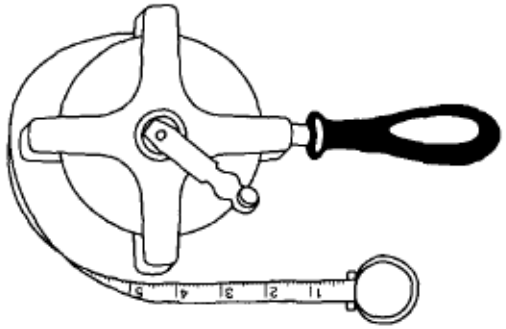
2.3. Equipos utilizados

Los equipos utilizados en la calibración de tanques por este método son descritos a continuación. Todos los equipos tienen que estar en buenas condiciones de trabajo. Además las cintas tienen que ser de una misma muestra y libre de envolturas.

2.3.1. Cintas para la medición de las circunferencias

Esta cinta generalmente tiene 100, 200, 300, o 500 pies de longitud y debería no ser más que ¼ de pulgada de ancho, y aproximadamente 0.01 pulgadas de espesor. Para más información de cintas se puede consultar el Manual de Medidas de Petróleos, API MPMS 2.2A Sección 7.

Todas las cintas de trabajo deben ser calibradas con una cinta patrón.

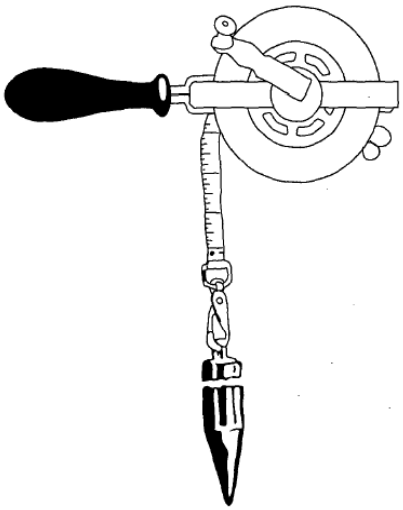


Fuente: API MPMS 2.2 A

FIGURA 2.2. CINTA PARA MEDICIÓN DE CIRCUNFERENCIAS

2.3.2. Cintas para la medición de altura

Para mediciones de altura, se utiliza una cinta de acero (ver Figura 2.3) de 3/8 o 1/2 pulgada de ancho y 0.008 a 0.012 pulgadas de espesor, graduada en pies y octavos de una pulgada, o en pies, décima parte, y centésimo de un pie es recomendado. (Para cintas métricas, referirse a IP Manual de Medidas de Petróleos, Parte 2, Sección 1) (3).



Fuente: API MPMS 2.2 A

FIGURA 2.3. CINTA PARA MEDICIÓN DE ALTURA Y PLOMADA

2.3.3. Equipos accesorios

Los equipos de medición adicionales se detallan a continuación:

- Rollos y cintas estarán equipados con agarraderas apropiadas.
- Soportes de cinta para asegurar un agarre certero en la cinta.
- Escala de tensión del resorte.
- Estación o teodolito.
- Cuerda y anillo.

- Escaleras para facilitar el manejo de cintas y la extracción de escalas, oxido, suciedad, etc., en la trayectoria donde se realizará las mediciones.
- Medidor de espesor por ultrasonido.

Fuente: Tesis de Grado J. Murrieta - C. Malavé

FIGURA 2.4. MEDIDOR DE ESPESOR POR ULTRASONIDO

- Una plomada.
- Regla.
- Calibradores y abrazaderas especiales.

2.4. Volumen bajo la línea de capacidad base

El volumen que se encuentra bajo la línea de capacidad base normalmente no es incluido en la tabla de aforo. En algunos casos el nivel cero o la mesa de aforo puede coincidir con el nivel de la línea de capacidad base. La tabla de calibración principal no debería incluir volúmenes bajo este nivel. Si el volumen fue obtenido de una calibración líquida, se podría dar una tabla auxiliar si se lo requiere.

2.5. Procedimiento para las Mediciones de Campo

Un procedimiento general para tomar las mediciones de campo para un tanque de este tipo lo describe la norma API 2552 en la sección 18 y que detalla lo siguiente:

a) Medir la elevación de la mesa de aforo relativa a la línea de capacidad base.

b) Medir la elevación del borde superior de la barra de goteo en cuatro puntos igualmente espaciados alrededor del esferoide, relativo a la línea de capacidad base.

c) Medir la circunferencia exterior del esferoide en la circunferencia máxima horizontal en donde la plancha es tangente a la línea vertical.

d) Medir la circunferencia exterior del esferoide en la plancha en el borde superior de la barra de goteo.

2.6. Procedimiento para los Cálculos

a) Usando las dimensiones de los planos de construcción calcular el radio horizontal en el interior del tanque a media altura, de cada pulgada de incremento de profundidad sobre la línea de capacidad como lo indica la Figura 4.9.

b) De la misma forma, calcular el radio horizontal interior en el círculo horizontal más grande y en la elevación del tope de la barra de goteo.

c) Dividir las siguientes medidas de campo por 2π , para obtener el radio exterior promedio en cada una de estas posiciones y sustraer los espesores horizontales para conseguir los radios interiores.

- Medida de la circunferencia exterior del esferoide en la circunferencia horizontal máxima, donde la superficie es tangente a la línea vertical.
- Medida de la circunferencia exterior del esferoide de la parte superior del barra de goteo,

Donde:

Rcv: Radio externo de la curvatura vertical

Ldb: Distancia horizontal desde la barra de goteo al centro del radio de la curvatura vertical

E: Espesor Horizontal en la plancha

1. Se calcula el espesor en la plancha

E = (Rcv / Ldb) x (espesor de la plancha en la barra de goteo / 12)

2. Calculamos el radio interno en la barra de goteo

Radio interno en la barra de goteo = (circunferencia en la barra de goteo / 2 π) – (E)

3. Calculamos el factor

Factor = radio interno en la barra de goteo / radio interno en la barra de goteo (planos)

d) Ajustar todos los radios horizontales calculados en el literal (a) por la multiplicación por el radio interior del literal (c), y dividiendo por el correspondiente radio interior calculado del literal (b). Usar el ajuste de la barra de goteo para una mitad de la elevación entre la barra de goteo y la circunferencia horizontal máxima. Usar el ajuste de la circunferencia horizontal máxima para todos los incrementos de altura.
e) Usando el ajuste del radio, calcule el volumen de cada pulgada de incremento asumiendo que cada uno es un cilindro.
f) Corrección por accesorios.
g) Completar la tabla de aforo por suma de los volúmenes incrementales netos empezando con cero en la línea de capacidad base. La tabla de aforo puede ser preparada en algunos incrementos deseados (usualmente 1/8 in.) usando

gráficos o métodos matemáticos para establecer una curva suavizada.

h) Registrar en la tabla de aforo la elevación de la mesa de aforo con relación a la línea de capacidad base.

i) La tabla de capacidad debería producir una nota expresando si esto fue preparado de datos obtenidos por calibración de agua o por el método de medidas API 2552.

CAPÍTULO 3

3. DATOS DEL TANQUE 31

En el presente capítulo se describirá la información del Tanque 31 de la RLL, como son sus planos, ubicación y su tabla de aforo que se obtuvo por la aplicación del método de calibración líquida (API 2555) realizada por una empresa de calibraciones.

3.1. Ubicación del Tanque

El tanque que analizaremos se encuentra ubicado en el Cantón La Libertad Provincia de Santa Elena, específicamente en la Refinería La Libertad.

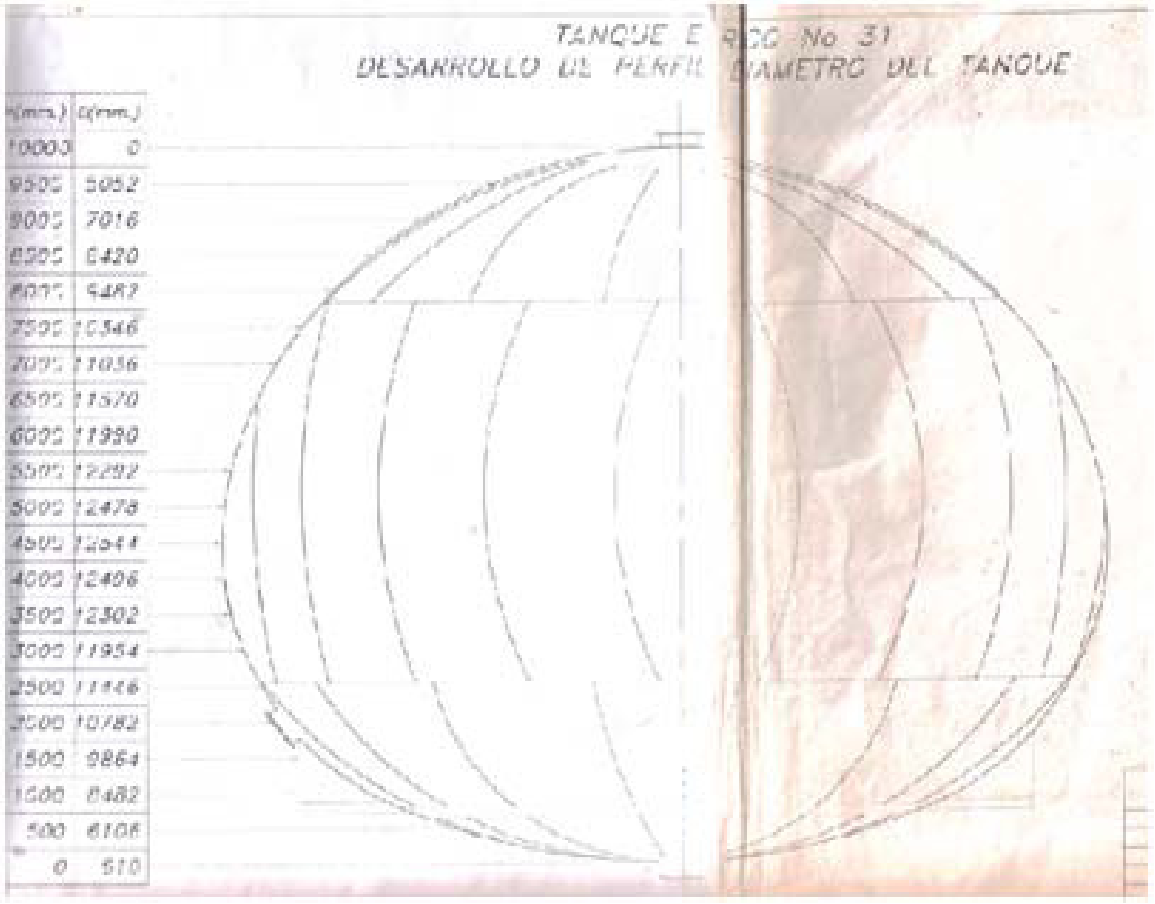
El tanque es el número 31 de la RLL y es un tanque del tipo esferoidal, como se muestra en la Figura 3.1,

Fuente: Refinería La Libertad, PETROINDUSTRIAL
FIGURA 3.1. TANQUE Nº 31

PETROINDUSTRIAL es una Empresa de Industrialización de Petróleos del Ecuador, unas de las filiales de PETROECUADOR que es la Matriz. Esta tiene por objeto la industrialización de hidrocarburos en el territorio ecuatoriano, con el propósito de satisfacer la demanda interna de combustibles en el país. El tanque se lo utiliza para el almacenamiento de gasolina extra.

3.2. Diámetros del tanque 31

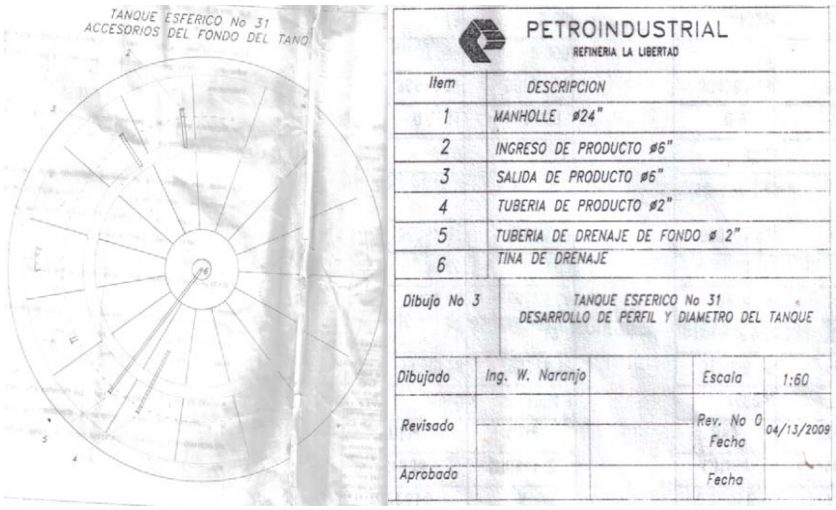
En la siguiente figura se describe el desarrollo de perfil y el diámetro del tanque. Estos diámetros están tomados cada 500 mm de distancia desde la parte inferior hasta la parte del superior.



Fuente: Refinería La Libertad, PETROINDUSTRIAL
FIGURA 3.2. DESARROLLO DE PERFIL Y DIAMETRO DEL TANQUE Nº 31

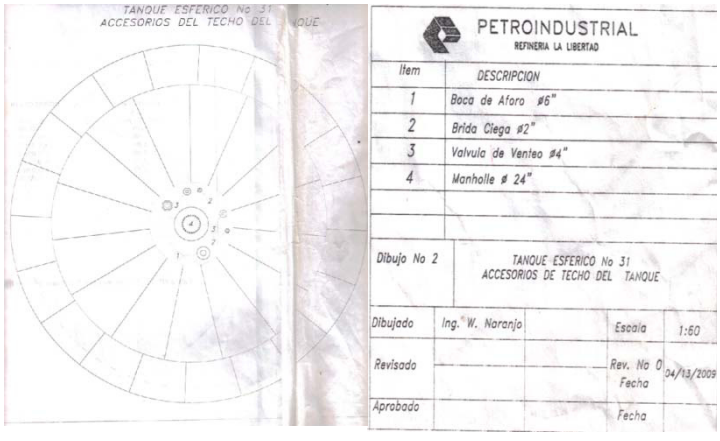
3.3. Accesorios del tanque 31

Se describe los accesorios del fondo del tanque los cuales serán considerados en la elaboración de la tabla de aforo para la corrección del volumen. En la figura se aprecia que existen 6 accesorios en el fondo del tanque.



Fuente: Refinería La Libertad, PETROINDUSTRIAL
FIGURA 3.3. ACCESORIOS DEL FONDO DEL TANQUE Nº 31

Además de los accesorios anteriormente descritos, el tanque cuenta también con los accesorios del techo, aunque estos no son relevantes en la corrección del volumen, porque solo se consideran los que están bajo la línea de capacidad tope, estos accesorios del techo están sobre esta línea de referencia.



Fuente: Refinería La Libertad, PETROINDUSTRIAL
FIGURA 3.4. ACCESORIOS DE TECHO DEL TANQUE Nº 31

3.4. Resultado de la Calibración Líquida del Tanque 31

Los datos de esta calibración fueron obtenidos mediante la norma API 2555 que se refiere a la calibración líquida, los mismos que fueron obtenidos de una re-calibración en este tanque por una empresa inspectora de mucho prestigio a nivel internacional. Esta calibración será comparada con la tabla que desarrollaremos por el método de medidas API 2552.

La distancia que tiene la línea de capacidad superior es decir hasta donde se realizara la tabla de aforo es de 29 pies con 9 pulgadas. La tabla establece valores de volúmenes por cada pulgada desde la línea de capacidad base.

Los volúmenes están expresados por lo general en unidades de litros, metros cúbicos, barriles y galones. En nuestro análisis, en la tabla que realizaremos por el método API 2552 usaremos barriles, la misma que fue elaborada por la empresa SGS.

TABLA 1

TABLA DE AFORO DEL TANQUE 31 (CALIBRACIÓN LÍQUIDA) 1/3

Ft	in	Barriles	Ft	in	Barriles	Ft	In	Barriles	Ft	in	Barriles
0	1	141,32	3	5	589,43	6	9	1227,83	10	1	1983,86
0	2	149,31	3	6	602,93	6	10	1249,76	10	2	2008,58
0	3	157,45	3	7	617,52	6	11	1268,47	10	3	2025,01
0	4	165,89	3	8	632,70	7	0	1283,16	10	4	2047,39
0	5	174,61	3	9	646,92	7	1	1296,73	10	5	2067,66
0	6	183,15	3	10	661,04	7	2	1317,26	10	6	2085,51
0	7	191,82	3	11	676,25	7	3	1337,92	10	7	2105,91
0	8	200,51	4	0	690,58	7	4	1357,54	10	8	2125,33
0	9	209,20	4	1	704,41	7	5	1375,55	10	9	2143,94
0	10	218,34	4	2	718,98	7	6	1392,87	10	10	2162,63
0	11	228,66	4	3	734,84	7	7	1410,13	10	11	2181,22
1	0	238,99	4	4	750,45	7	8	1433,17	11	0	2199,74
1	1	249,33	4	5	765,67	7	9	1450,29	11	1	2219,31
1	2	259,97	4	6	780,53	7	10	1467,06	11	2	2240,20
1	3	270,45	4	7	794,52	7	11	1483,74	11	3	2279,82
1	4	280,47	4	8	811,87	8	0	1500,61	11	4	2307,11
1	5	290,49	4	9	827,63	8	1	1522,48	11	5	2325,99
1	6	301,23	4	10	842,29	8	2	1540,44	11	6	2346,34
1	7	314,30	4	11	857,20	8	3	1560,00	11	7	2366,26
1	8	325,39	5	0	874,79	8	4	1580,13	11	8	2386,33
1	9	337,02	5	1	889,89	8	5	1598,60	11	9	2406,64
1	10	348,91	5	2	905,22	8	6	1616,74	11	10	2426,86
1	11	360,42	5	3	921,12	8	7	1639,84	11	11	2446,16
2	0	372,23	5	4	939,50	8	8	1658,59	12	0	2465,67
2	1	384,00	5	5	958,68	8	9	1677,95	12	1	2485,92
2	2	395,11	5	6	973,39	8	10	1697,21	12	2	2506,38
2	3	407,53	5	7	992,10	8	11	1716,83	12	3	2524,56
2	4	419,93	5	8	1006,58	9	0	1735,48	12	4	2542,52
2	5	431,44	5	9	1022,00	9	1	1751,20	12	5	2565,72
2	6	444,38	5	10	1038,95	9	2	1772,19	12	6	2585,78
2	7	457,03	5	11	1056,35	9	3	1792,39	12	7	2607,92
2	8	469,33	6	0	1070,77	9	4	1812,33	12	8	2629,03
2	9	481,34	6	1	1085,35	9	5	1827,59	12	9	2646,40
2	10	494,06	6	2	1105,53	9	6	1845,00	12	10	2666,18
2	11	507,25	6	3	1122,05	9	7	1871,89	12	11	2686,23
3	0	521,10	6	4	1137,84	9	8	1889,25	13	0	2706,20
3	1	534,34	6	5	1156,67	9	9	1908,03	13	1	2726,69
3	2	548,67	6	6	1177,50	9	10	1933,13	13	2	2746,63
3	3	562,20	6	7	1195,14	9	11	1953,69	13	3	2766,45
3	4	575,49	6	8	1212,28	10	0	1969,75	13	4	2786,30

Fuente: Datos obtenidos de Calibración Líquida de la empresa SGS

TABLA 1

TABLA DE AFORO DEL TANQUE 31 (CALIBRACIÓN LÍQUIDA) 2/3

Ft	in	Barriles	Ft	in	Barriles	Ft	In	Barriles	Ft	in	Barriles
13	5	2806,11	16	9	3584,96	20	1	4282,73	23	5	4836,09
13	6	2826,28	16	10	3603,46	20	2	4298,91	23	6	4847,03
13	7	2845,98	16	11	3621,65	20	3	4315,12	23	7	4858,52
13	8	2864,29	17	0	3640,46	20	4	4331,11	23	8	4870,29
13	9	2885,69	17	1	3659,12	20	5	4346,91	23	9	4881,93
13	10	2905,81	17	2	3677,63	20	6	4362,38	23	10	4893,45
13	11	2925,45	17	3	3696,11	20	7	4377,77	23	11	4904,73
14	0	2946,40	17	4	3714,62	20	8	4393,06	24	0	4915,81
14	1	2964,04	17	5	3733,22	20	9	4408,29	24	1	4926,77
14	2	2982,97	17	6	3751,43	20	10	4423,31	24	2	4937,77
14	3	3004,59	17	7	3769,43	20	11	4438,96	24	3	4948,58
14	4	3024,92	17	8	3786,85	21	0	4455,37	24	4	4959,20
14	5	3040,74	17	9	3805,01	21	1	4465,85	24	5	4969,50
14	6	3058,08	17	10	3823,87	21	2	4473,50	24	6	4979,78
14	7	3082,37	17	11	3841,80	21	3	4485,52	24	7	4990,10
14	8	3102,53	18	0	3859,67	21	4	4500,15	24	8	5000,28
14	9	3123,25	18	1	3877,51	21	5	4514,35	24	9	5010,36
14	10	3143,91	18	2	3895,57	21	6	4528,17	24	10	5020,29
14	11	3162,47	18	3	3913,74	21	7	4543,23	24	11	5030,14
15	0	3182,05	18	4	3930,74	21	8	4557,13	25	0	5039,72
15	1	3201,40	18	5	3947,88	21	9	4572,08	25	1	5049,16
15	2	3220,12	18	6	3965,44	21	10	4583,67	25	2	5058,35
15	3	3239,63	18	7	3982,91	21	11	4600,42	25	3	5067,66
15	4	3261,89	18	8	4000,29	22	0	4614,81	25	4	5077,12
15	5	3285,46	18	9	4019,06	22	1	4628,02	25	5	5086,10
15	6	3301,29	18	10	4037,09	22	2	4642,02	25	6	5094,81
15	7	3317,11	18	11	4050,53	22	3	4659,37	25	7	5103,40
15	8	3336,90	19	0	4064,99	22	4	4688,24	25	8	5111,92
15	9	3353,35	19	1	4082,61	22	5	4694,45	25	9	5120,30
15	10	3369,16	19	2	4099,62	22	6	4700,67	25	10	5128,56
15	11	3392,88	19	3	4116,36	22	7	4706,88	25	11	5136,65
16	0	3412,83	19	4	4132,89	22	8	4721,01	26	0	5144,53
16	1	3431,74	19	5	4149,95	22	9	4736,87	26	1	5152,38
16	2	3451,38	19	6	4166,87	22	10	4749,62	26	2	5160,20
16	3	3470,40	19	7	4182,96	22	11	4762,17	26	3	5168,01
16	4	3489,46	19	8	4199,76	23	0	4774,78	26	4	5175,35
16	5	3508,69	19	9	4216,80	23	1	4787,09	26	5	5182,64
16	6	3528,97	19	10	4233,26	23	2	4799,21	26	6	5189,74
16	7	3547,73	19	11	4249,84	23	3	4811,58	26	7	5196,62
16	8	3566,02	20	0	4266,52	23	4	4825,55	26	8	5203,49

Fuente: Datos obtenidos de Calibración Líquida de la empresa SGS

TABLA 1

TABLA DE AFORO DEL TANQUE 31 (CALIBRACIÓN LÍQUIDA) 3/3

Ft	in	Barriles	Ft	In	Barriles
26	9	5210,04	28	4	5298,28
26	10	5216,53	28	5	5301,68
26	11	5222,99	28	6	5304,96
27	0	5229,23	28	7	5308,01
27	1	5235,46	28	8	5311,06
27	2	5241,22	28	9	5313,84
27	3	5243,89	28	10	5316,03
27	4	5246,57	28	11	5318,23
27	5	5249,25	29	0	5320,43
27	6	5254,12	29	1	5322,18
27	7	5259,37	29	2	5322,34
27	8	5264,23	29	3	5322,50
27	9	5269,04	29	4	5322,66
27	10	5273,77	29	5	5322,82
27	11	5278,32	29	6	5322,98
28	0	5282,66	29	7	5323,14
28	1	5286,88	29	8	5323,30
28	2	5290,90	29	9	5323,47
28	3	5294,88			

Fuente: Datos obtenidos de Calibración Líquida de la empresa SGS

CAPÍTULO 4

4. CALIBRACIÓN DEL TANQUE 31 SEGÚN EL MÉTODO DE MEDIDAS API 2552

Para la calibración del tanque 31 vamos a seguir el procedimiento descrito por el estándar API 2552 que fue descrito en el capítulo 2.

4.1. Mediciones de Campo del Tanque 31

a) Medida de la mesa de aforo relativa a la línea de capacidad base

   11.11in

b) Altura de la barra de goteo relativa a la línea de capacidad base

   OO = 69,5in

   SS= 69,25in

   EE = 68,25in

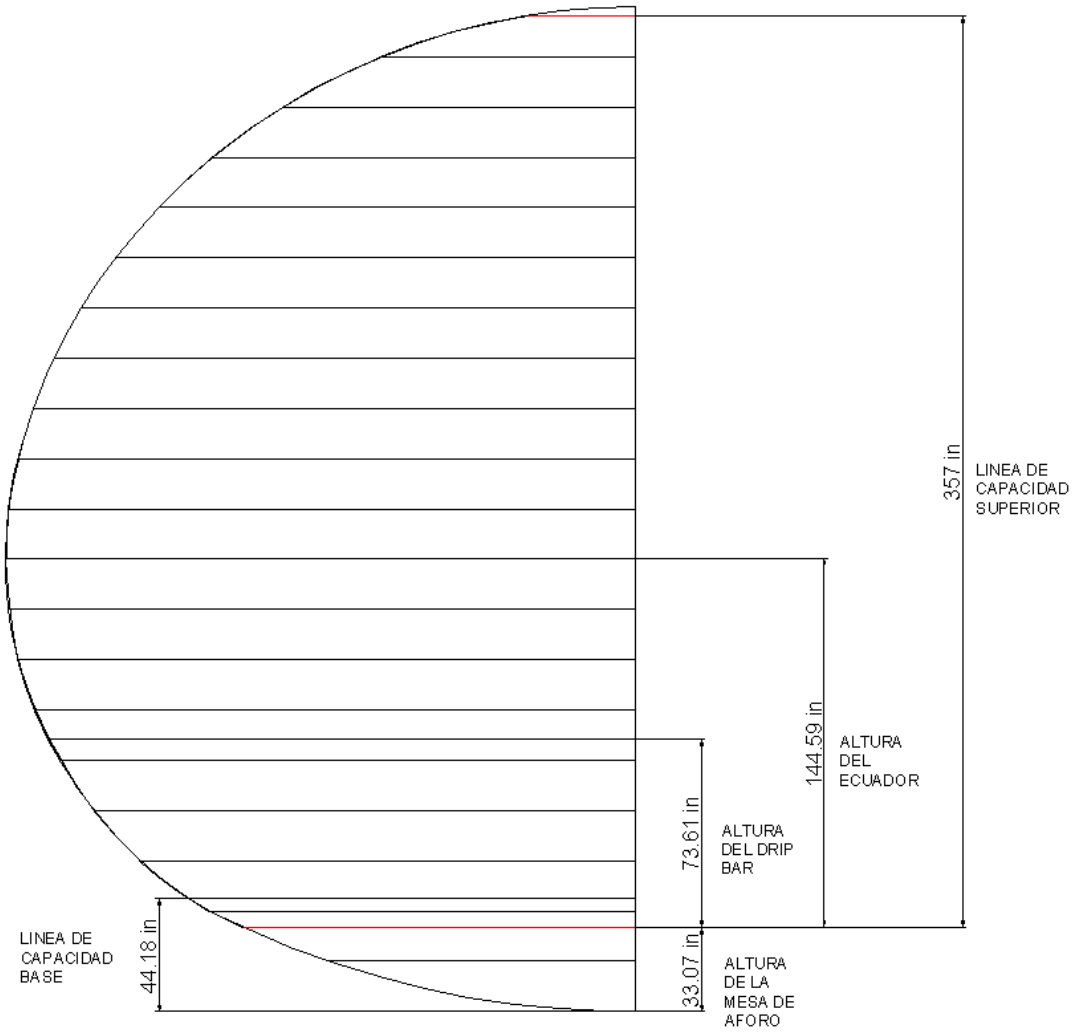
NN = 69in

c) Circunferencia en el “Ecuador” del tanque

129.490 ft

d) Circunferencia en la barra de goteo

120.139532 ft



Fuente: Refinería La Libertad, PETROINDUSTRIAL, Datos Calculados en Tesis de Grado J. Murrieta - C. Malavé

FIGURA 4.1.UBICACIÓN DE LAS LINEAS DE CAPACIDAD DEL TANQUE 31

En la Figura 4.1 se muestran las medidas en pulgadas de las principales ubicaciones las cuales servirán para los cálculos. Se observa que la línea de capacidad base no está ubicada a la misma altura que la mesa de aforo.

En la Tabla 2 se muestran las medidas de campo realizadas en el tanque.

TABLA 2

RESUMEN DE LOS DATOS DE CAMPO

Medidas de Campo Tanque 31			
Altura de la mesa de aforo =		33,07	in
Altura de la barra de goteo	OO =	69,50	in
	SS =	69,25	in
	EE =	68,25	in
	NN =	69,00	in
	Promedio =	69,00	in
Máxima Circunferencia Horizontal =		129.49	ft
Circunferencia en la barra de goteo =		120.1395	ft

Fuente: Datos Calculados Tesis de Grado J. Murrieta - C. Malavé

En la figura 4.2 se muestra el interior del tanque donde se puede apreciar las dos mesas de aforo que generalmente poseen este tipo de tanque, además se observa la tina de drenaje y una tubería de 2 pulgadas.

Fuente: Refinería La Libertad, PETROINDUSTRIAL
FIGURA 4.2.MESA DE AFORO Y TINA DE DRENAJE

En la figura 4.3 se muestra la barra de goteo del tanque 31. En esta parte se toman las medidas en cuatro puntos en la parte superior de la barra de goteo en el norte, sur, este y oeste. Luego calculamos el promedio.

Fuente: Refinería La Libertad, PETROINDUSTRIAL
FIGURA 4.3. MEDICIÓN DE LA ALTURA DE LA BARRA DE GOTEO DEL TANQUE Nº 31

4.2. Mediciones de los accesorios del Tanque 31

Además de las medidas de campo tomadas anteriormente, necesitamos medir en el tanque los accesorios para posteriormente calcular su volumen y realizar la corrección en la tabla de aforo con estos volúmenes.

En la Tabla 3 se detallan los datos tomados en el campo a los accesorios, se describe la longitud de su diámetro y su altura ya que todos son cilindros, además se detalla su respectiva ubicación con respecto a la mesa de aforo.

No se ha considerado el espesor de las tuberías internas ya que el volumen de éstas es relativamente despreciable.

TABLA 3

DATOS DE CAMPO DE LOS ACCESORIOS

ACCESORIOS DEL TANQUE 31					
DESCRIPCIÓN:	LONGITUD	DIAMETRO	RADIO	UBICACIÓN	
	L (in)	D (in)	r (in)	Desde (in)	Hasta (in)
Entrada del hombre	7,87	20	10	33	51
Ingreso de Producto	37	6	3	13	19
Salida de Producto	35	6	3	13	19
Tub. Producto	34	2	1	13	15
Tub. Drenaje de Fondo	53	2	1	13	15
Drenaje 2	17	2	1	16,5	18,5
Tina de drenaje	1	24	12	0	12

Fuente: Datos Calculados en Tesis de Grado J. Murrieta - C. Malavé

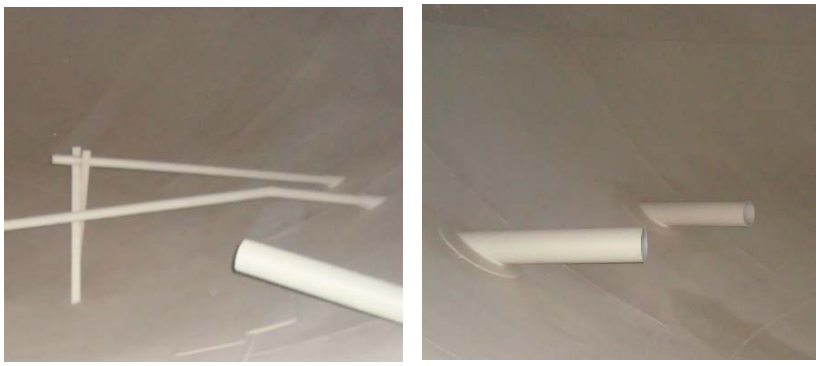
En la figura 4.4 se muestra la Entrada de Hombre (manhole) del tanque. Este es el accesorio con mayor volumen que se puede apreciar a simple vista. Para tomar dichas medidas se abrió la tapa para facilitar el trabajo.

Fuente: Refinería La Libertad, PETROINDUSTRIAL
FIGURA 4.4. ENTRADA DE HOMBRE DEL TANQUE Nº 31

Las tuberías de ingreso y de salida del producto se muestran en la Figura 4.5, ambas tuberías tienen igual diámetro, aunque una de ellas tiene un diámetro mayor después de la válvula, volumen que no es objeto de análisis por cuanto se encuentra ubicada justo después de la válvula.

Fuente: Refinería La Libertad, PETROINDUSTRIAL
FIGURA 4.5. TUBERÍA DE ENTRADA Y SALIDA DEL TANQUE Nº 31

En la figura 4.6 se muestran las tuberías desde el interior del tanque, el volumen que se agregará para la corrección del volumen en la tabla de aforo es justo donde la tubería sale de la plancha del tanque.



Fuente: Refinería La Libertad, PETROINDUSTRIAL
FIGURA 4.6. TUBERÍAS EN EL INTERIOR DEL TANQUE

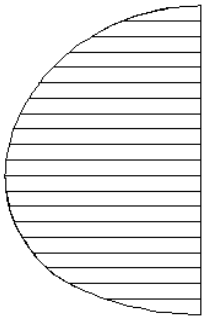
Los accesorios del techo del tanque no van a ser medidos, debido a que estos se encuentran sobre la línea de capacidad superior del tanque, no alteran el volumen bajo esta línea. En la figura 4.7 se tiene los accesorios del techo del tanque vistos desde el interior del tanque.

Fuente: Refinería La Libertad, PETROINDUSTRIAL
FIGURA 4.7. ACCESORIOS DEL TECHO DEL TANQUE Nº 31

4.3. Cálculos

4.3.1. Radios en el interior del tanque

Para calcular el radio del tanque a cada pulgada de altura, usamos la Figura 4.9, con la ayuda del Desarrollo de Perfil y Diámetros del Tanque 31 (Figura 3.2), construimos los radios del tanque cada 500 mm, usando el programa Auto CAD 2009 como se muestra en la Figura 4.8.



Fuente: Datos Dibujados en Tesis de Grado J. Murrieta - C. Malavé de los Datos de PETROINDUSTRIAL
FIGURA 4.8. RADIOS INTERNOS MEDIDOS CADA 500 MILIMETROS DE ALTURA

En la figura 4.9 se ilustra los valores que intervienen para obtener los volúmenes por cada pulgada.

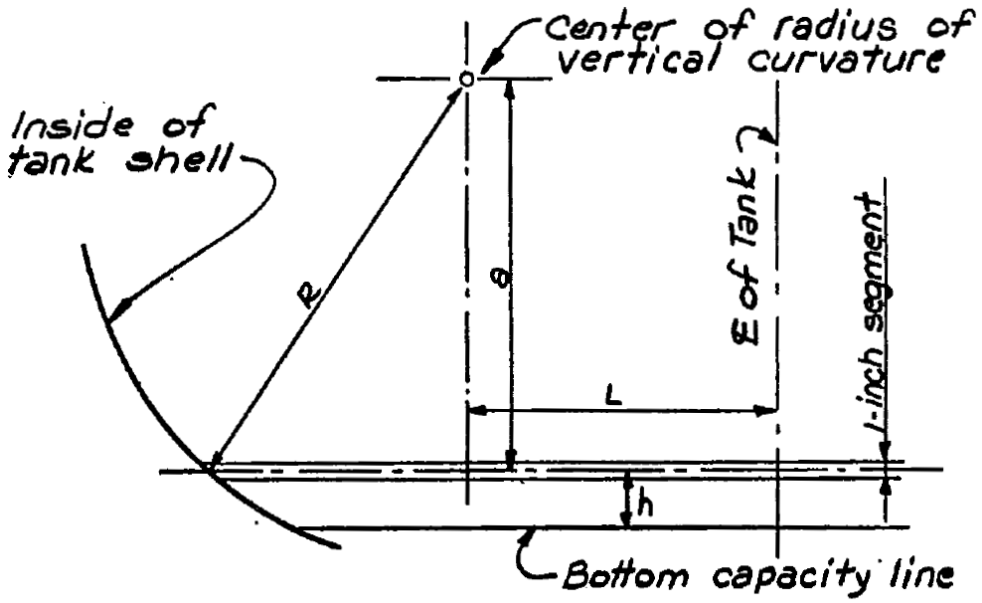
h = distancia vertical desde el centro del segmento hasta la línea de capacidad base.

a = distancia vertical desde el centro del segmento hasta el centro del radio de curvatura vertical.

R = radio de la curvatura vertical

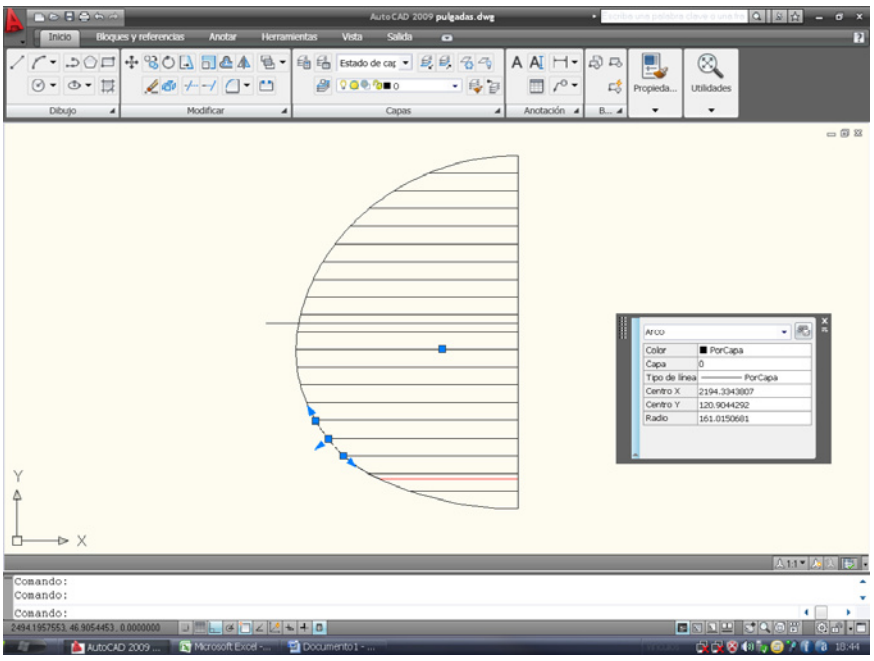
L = distancia horizontal desde la línea central del tanque hasta el centro del radio de curvatura vertical.

El valor de h comienza con un valor mínimo de 0.5 pulgadas, a este se le suma 1 pulgada hasta llegar al final de la sección seleccionada.

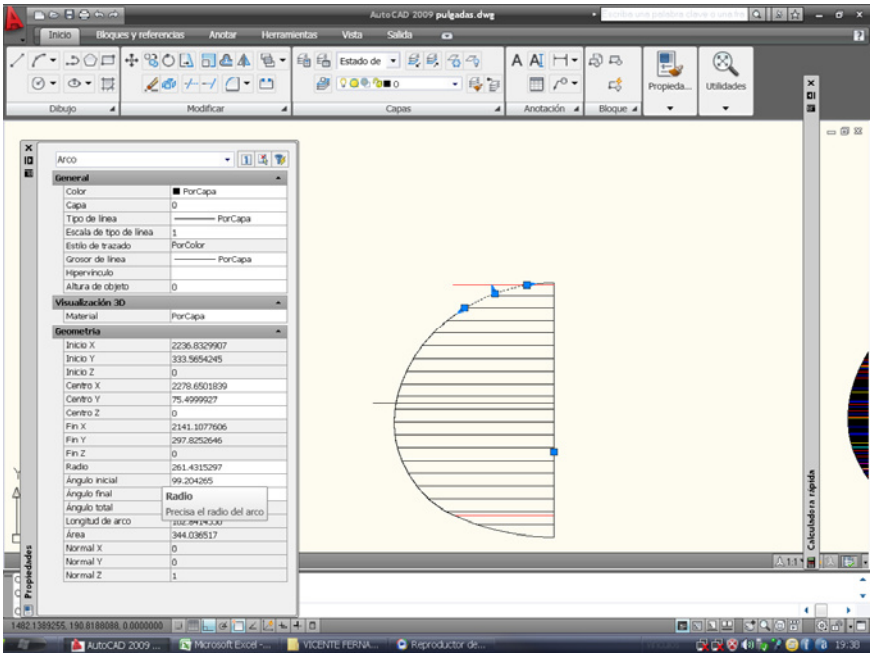


Fuente: API MPMS 2.2 A
FIGURA 4.9. CÁLCULO DE LOS RADIOS INTERIORES POR CADA PULGADA

Se seleccionaron 10 secciones del tanque, en la que cada sección se le ha determinado un radio de arco que pasa por tres puntos internos del tanque con una altura de 50 centímetros entre ellos, como se detalla en la Figura 4.10a y 4.10b.



Fuente: Tesis de Grado J. Murrieta – C. Malavé
FIGURA 4.10a SECCIONES DE TANQUE SELECCIONADO



Fuente: Tesis de Grado J. Murrieta – C. Malavé
FIGURA 4.10b SECCIONES DE TANQUE SELECCIONADO

En la Tabla 4, se describen los valores *a, R* y *L* por cada sección. Estos valores fueron determinados con la ayuda del programa Auto CAD 2009, y que servirán para obtener los radios a cada pulgada de altura.

TABLA 4

VALORES POR SECCIÓN PARA CALCULAR RADIOS INTERIORES

Número de sección	**Intervalo (in)**	**a (in)**	**R (in)**	**L (in)**
1	0 - 25,9842496	119,4518469	127,9742651	107,898507
2	25,9842496 - 65,3471305	117,854755	161,0150681	83,6196161
3	65,3471305 - 104,7244093	81,1515284	158,9340023	91,4723023
4	104,7244093 - 144,0872863	44,5121683	210,7721731	39,8481331
5	144,094488 - 163,779528	0	160,2715197	94,2738534
6	163,779528 - 203,149606	17,6103507	156,541851	91,7619785
7	203,149606 - 242,519685	81,6543941	235,2353377	21,9064418
8	242,519685 - 281,8897619	121,123569	230,0350677	23,1074652
9	281,8897619 - 321,2598401	157,603959	229,7588442	26,7367096
10	321,2598401 - 357	226,351024	265,0615418	-0,6302981

Fuente: Valores calculados Tesis de Grado J. Murrieta – C. Malavé

En la tabla 5 se muestra los valores que servirán para determinar los radios interiores por cada pulgada de incremento en el tanque.

Nótese que el valor de h tiene un incremento de 1 pulgada en todos los intervalos de la sección, empezando desde 0,5 pulgadas, en tanto que el valor *a* tiene decrementos de 1 pulgada. El radio de curvatura vertical *R* permanece invariable por sección, así como

también la longitud *L* por ser una variable dependiente del radio de curvatura.

TABLA 5

CÁLCULO DE LOS RADIOS INTERNOS SECCIÓN 1

Altura (in)	h (in)	a (in)	R (in)	$\sqrt{R^2 - a^2}$	L (in)	$\sqrt{R^2 - a^2} + L$ Radio Horizontal (in)
0	-	-	-	-	-	-
1	0,5	119,451847	127,974265	45,9202439	107,898507	153,8187509
2	1,5	118,451847	127,974265	48,4414336	107,898507	156,3399406
3	2,5	117,451847	127,974265	50,8180695	107,898507	158,7165765
4	3,5	116,451847	127,974265	53,0695759	107,898507	160,9680829
5	4,5	115,451847	127,974265	55,2112631	107,898507	163,1097701
6	5,5	114,451847	127,974265	57,2554562	107,898507	165,1539632
7	6,5	113,451847	127,974265	59,2122535	107,898507	167,1107605
8	7,5	112,451847	127,974265	61,0900537	107,898507	168,9885607
9	8,5	111,451847	127,974265	62,8959327	107,898507	170,7944397
10	9,5	110,451847	127,974265	64,6359191	107,898507	172,5344261
11	10,5	109,451847	127,974265	66,3151999	107,898507	174,2137069
12	11,5	108,451847	127,974265	67,9382766	107,898507	175,8367836
13	12,5	107,451847	127,974265	69,5090866	107,898507	177,4075936
14	13,5	106,451847	127,974265	71,0310976	107,898507	178,9296046
15	14,5	105,451847	127,974265	72,5073825	107,898507	180,4058895
16	15,5	104,451847	127,974265	73,9406803	107,898507	181,8391873
17	16,5	103,451847	127,974265	75,3334448	107,898507	183,2319518
18	17,5	102,451847	127,974265	76,6878843	107,898507	184,5863913
19	18,5	101,451847	127,974265	78,0059952	107,898507	185,9045022
20	19,5	100,451847	127,974265	79,2895894	107,898507	187,1880964
21	20,5	99,4518469	127,974265	80,5403171	107,898507	188,4388241
22	21,5	98,4518469	127,974265	81,7596867	107,898507	189,6581937
23	22,5	97,4518469	127,974265	82,9490812	107,898507	190,8475882
24	23,5	96,4518469	127,974265	84,1097721	107,898507	192,0082791
25	24,5	95,4518469	127,974265	85,242932	107,898507	193,141439
26	25,5	94,4518469	127,974265	86,3496447	107,898507	194,2481517

Fuente: Valores calculados Tesis de Grado J. Murrieta – C. Malavé

TABLA 6

CÁLCULO DE LOS RADIOS INTERNOS SECCIÓN 2

Altura (in)	h (in)	a (in)	R (in)	$\sqrt{R^2 - a^2}$	L (in)	$\sqrt{R^2 - a^{2\cdot\cdot}} + L$ Radio Horizontal (in)
27	0,5	117,854755	161,015068	109,709201	83,6196161	193,3288175
28	1,5	116,854755	161,015068	110,773726	83,6196161	194,3933422
29	2,5	115,854755	161,015068	111,819175	83,6196161	195,4387911
30	3,5	114,854755	161,015068	112,846078	83,6196161	196,4656945
31	4,5	113,854755	161,015068	113,854938	83,6196161	197,4745542
32	5,5	112,854755	161,015068	114,846229	83,6196161	198,4658456
33	6,5	111,854755	161,015068	115,820404	83,6196161	199,4400199
34	7,5	110,854755	161,015068	116,777889	83,6196161	200,3975055
35	8,5	109,854755	161,015068	117,719093	83,6196161	201,3387095
36	9,5	108,854755	161,015068	118,644403	83,6196161	202,2640195
37	10,5	107,854755	161,015068	119,554188	83,6196161	203,1738046
38	11,5	106,854755	161,015068	120,4488	83,6196161	204,0684164
39	12,5	105,854755	161,015068	121,328575	83,6196161	204,9481906
40	13,5	104,854755	161,015068	122,193832	83,6196161	205,8134478
41	14,5	103,854755	161,015068	123,044878	83,6196161	206,6644942
42	15,5	102,854755	161,015068	123,882006	83,6196161	207,5016226
43	16,5	101,854755	161,015068	124,705497	83,6196161	208,3251133
44	17,5	100,854755	161,015068	125,515619	83,6196161	209,1352348
45	18,5	99,854755	161,015068	126,312628	83,6196161	209,9322444
46	19,5	98,854755	161,015068	127,096772	83,6196161	210,7163886
47	20,5	97,854755	161,015068	127,868288	83,6196161	211,4879041
48	21,5	96,854755	161,015068	128,627402	83,6196161	212,2470183
49	22,5	95,854755	161,015068	129,374333	83,6196161	212,9939493
50	23,5	94,854755	161,015068	130,109291	83,6196161	213,7289071
51	24,5	93,854755	161,015068	130,832477	83,6196161	214,4520934
52	25,5	92,854755	161,015068	131,544086	83,6196161	215,1637024
53	26,5	91,854755	161,015068	132,244305	83,6196161	215,8639209
54	27,5	90,854755	161,015068	132,933313	83,6196161	216,5529289
55	28,5	89,854755	161,015068	133,611284	83,6196161	217,2308999
56	29,5	88,854755	161,015068	134,278385	83,6196161	217,8980011
57	30,5	87,854755	161,015068	134,934778	83,6196161	218,5543936
58	31,5	86,854755	161,015068	135,580617	83,6196161	219,200233
59	32,5	85,854755	161,015068	136,216053	83,6196161	219,8356695
60	33,5	84,854755	161,015068	136,841232	83,6196161	220,4608479
61	34,5	83,854755	161,015068	137,456292	83,6196161	221,0759081
62	35,5	82,854755	161,015068	138,061369	83,6196161	221,6809855
63	36,5	81,854755	161,015068	138,656595	83,6196161	222,2762107
64	37,5	80,854755	161,015068	139,242094	83,6196161	222,8617101
65	38,5	79,854755	161,015068	139,81799	83,6196161	223,4376059

Fuente: Valores calculados Tesis de Grado J. Murrieta – C. Malavé

TABLA 7

CÁLCULO DE LOS RADIOS INTERNOS SECCIÓN 3

Altura (in)	h (in)	a (in)	R (in)	$\sqrt{R^2 - a^2}$	L (in)	$\sqrt{R^2 - a^2} + L$ Radio Horizontal (in)
66	0,5	81,1515284	158,934002	136,654479	91,4723023	228,1267809
67	1,5	80,1515284	158,934002	137,243395	91,4723023	228,7156977
68	2,5	79,1515284	158,934002	137,82254	91,4723023	229,2948427
69	3,5	78,1515284	158,934002	138,392036	91,4723023	229,8643385
70	4,5	77,1515284	158,934002	138,952002	91,4723023	230,4243039
71	5,5	76,1515284	158,934002	139,502551	91,4723023	230,9748536
72	6,5	75,1515284	158,934002	140,043796	91,4723023	231,5160985
73	7,5	74,1515284	158,934002	140,575844	91,4723023	232,0481463
74	8,5	73,1515284	158,934002	141,098799	91,4723023	232,5711009
75	9,5	72,1515284	158,934002	141,612761	91,4723023	233,0850632
76	10,5	71,1515284	158,934002	142,117828	91,4723023	233,5901305
77	11,5	70,1515284	158,934002	142,614095	91,4723023	234,0863975
78	12,5	69,1515284	158,934002	143,101653	91,4723023	234,5739557
79	13,5	68,1515284	158,934002	143,580592	91,4723023	235,0528938
80	14,5	67,1515284	158,934002	144,050996	91,4723023	235,5232979
81	15,5	66,1515284	158,934002	144,512949	91,4723023	235,9852511
82	16,5	65,1515284	158,934002	144,966532	91,4723023	236,4388344
83	17,5	64,1515284	158,934002	145,411824	91,4723023	236,8841261
84	18,5	63,1515284	158,934002	145,8489	91,4723023	237,321202
85	19,5	62,1515284	158,934002	146,277834	91,4723023	237,7501359
86	20,5	61,1515284	158,934002	146,698697	91,4723023	238,1709992
87	21,5	60,1515284	158,934002	147,111559	91,4723023	238,5838611
88	22,5	59,1515284	158,934002	147,516486	91,4723023	238,9887888
89	23,5	58,1515284	158,934002	147,913545	91,4723023	239,3858474
90	24,5	57,1515284	158,934002	148,302798	91,4723023	239,7751003
91	25,5	56,1515284	158,934002	148,684306	91,4723023	240,1566086
92	26,5	55,1515284	158,934002	149,05813	91,4723023	240,5304319
93	27,5	54,1515284	158,934002	149,424326	91,4723023	240,8966278
94	28,5	53,1515284	158,934002	149,78295	91,4723023	241,2552523
95	29,5	52,1515284	158,934002	150,134057	91,4723023	241,6063596
96	30,5	51,1515284	158,934002	150,4777	91,4723023	241,9500024
97	31,5	50,1515284	158,934002	150,813929	91,4723023	242,2862317
98	32,5	49,1515284	158,934002	151,142795	91,4723023	242,6150968
99	33,5	48,1515284	158,934002	151,464344	91,4723023	242,936646
100	34,5	47,1515284	158,934002	151,778623	91,4723023	243,2509255
101	35,5	46,1515284	158,934002	152,085678	91,4723023	243,5579805
102	36,5	45,1515284	158,934002	152,385552	91,4723023	243,8578547
103	37,5	44,1515284	158,934002	152,678288	91,4723023	244,1505903
104	38,5	43,1515284	158,934002	152,963926	91,4723023	244,4362284
105	39,5	42,1515284	158,934002	153,242506	91,4723023	244,7148086

Fuente: Valores calculados Tesis de Grado J. Murrieta – C. Malavé

TABLA 8

CÁLCULO DE LOS RADIOS INTERNOS SECCIÓN 4

Altura (in)	h (in)	a (in)	R (in)	$\sqrt{R^2 - a^2}$	L (in)	$\sqrt{R^2 - a^2} + L$ Radio Horizontal (in)
106	0,5	44,5121683	210,772173	206,018387	39,8481331	245,8665202
107	1,5	43,5121683	210,772173	206,231909	39,8481331	246,0800418
108	2,5	42,5121683	210,772173	206,440365	39,8481331	246,2884986
109	3,5	41,5121683	210,772173	206,643773	39,8481331	246,4919059
110	4,5	40,5121683	210,772173	206,842146	39,8481331	246,6902786
111	5,5	39,5121683	210,772173	207,035498	39,8481331	246,8836313
112	6,5	38,5121683	210,772173	207,223845	39,8481331	247,0719779
113	7,5	37,5121683	210,772173	207,407199	39,8481331	247,2553321
114	8,5	36,5121683	210,772173	207,585574	39,8481331	247,4337071
115	9,5	35,5121683	210,772173	207,758983	39,8481331	247,6071157
116	10,5	34,5121683	210,772173	207,927437	39,8481331	247,7755704
117	11,5	33,5121683	210,772173	208,09095	39,8481331	247,9390832
118	12,5	32,5121683	210,772173	208,249533	39,8481331	248,0976658
119	13,5	31,5121683	210,772173	208,403196	39,8481331	248,2513293
120	14,5	30,5121683	210,772173	208,551952	39,8481331	248,4000848
121	15,5	29,5121683	210,772173	208,695809	39,8481331	248,5439425
122	16,5	28,5121683	210,772173	208,83478	39,8481331	248,6829128
123	17,5	27,5121683	210,772173	208,968872	39,8481331	248,8170053
124	18,5	26,5121683	210,772173	209,098096	39,8481331	248,9462294
125	19,5	25,5121683	210,772173	209,222461	39,8481331	249,0705942
126	20,5	24,5121683	210,772173	209,341975	39,8481331	249,1901082
127	21,5	23,5121683	210,772173	209,456647	39,8481331	249,3047799
128	22,5	22,5121683	210,772173	209,566484	39,8481331	249,4146171
129	23,5	21,5121683	210,772173	209,671494	39,8481331	249,5196275
130	24,5	20,5121683	210,772173	209,771685	39,8481331	249,6198183
131	25,5	19,5121683	210,772173	209,867063	39,8481331	249,7151964
132	26,5	18,5121683	210,772173	209,957635	39,8481331	249,8057683
133	27,5	17,5121683	210,772173	210,043407	39,8481331	249,8915403
134	28,5	16,5121683	210,772173	210,124385	39,8481331	249,9725183
135	29,5	15,5121683	210,772173	210,200575	39,8481331	250,0487078
136	30,5	14,5121683	210,772173	210,271981	39,8481331	250,1201139
137	31,5	13,5121683	210,772173	210,338609	39,8481331	250,1867417
138	32,5	12,5121683	210,772173	210,400462	39,8481331	250,2485955
139	33,5	11,5121683	210,772173	210,457547	39,8481331	250,3056797
140	34,5	10,5121683	210,772173	210,509865	39,8481331	250,3579981
141	35,5	9,5121683	210,772173	210,557421	39,8481331	250,4055543
142	36,5	8,5121683	210,772173	210,600218	39,8481331	250,4483514
143	37,5	7,5121683	210,772173	210,638259	39,8481331	250,4863924
144	38,5	6,5121683	210,772173	210,671547	39,8481331	250,5196799

Fuente: Valores calculados Tesis de Grado J. Murrieta – C. Malavé

TABLA 9

CÁLCULO DE LOS RADIOS INTERNOS SECCIÓN 5

Altura (in)	**h (in)**	**a (in)**	**R (in)**	$\sqrt{\mathbf{R^2 - a^2}}$	**L (in)**	$\sqrt{\mathbf{R^2 - a^2}} + \mathbf{L}$ **Radio Horizontal (in)**
145	0,5	0	160,27152	160,27152	94,2738534	254,5453731
146	1,5	1	160,27152	160,2684	94,2738534	254,5422534
147	2,5	2	160,27152	160,25904	94,2738534	254,5328938
148	3,5	3	160,27152	160,24344	94,2738534	254,5172933
149	4,5	4	160,27152	160,221597	94,2738534	254,49545
150	5,5	5	160,27152	160,193508	94,2738534	254,4673615
151	6,5	6	160,27152	160,159171	94,2738534	254,4330243
152	7,5	7	160,27152	160,118581	94,2738534	254,3924345
153	8,5	8	160,27152	160,071734	94,2738534	254,3455874
154	9,5	9	160,27152	160,018624	94,2738534	254,2924774
155	10,5	10	160,27152	159,959245	94,2738534	254,2330983
156	11,5	11	160,27152	159,89359	94,2738534	254,1674431
157	12,5	12	160,27152	159,821651	94,2738534	254,0955041
158	13,5	13	160,27152	159,743419	94,2738534	254,0172728
159	14,5	14	160,27152	159,658886	94,2738534	253,9327399
160	15,5	15	160,27152	159,568042	94,2738534	253,8418954
161	16,5	16	160,27152	159,470875	94,2738534	253,7447286
162	17,5	17	160,27152	159,367374	94,2738534	253,6412278
163	18,5	18	160,27152	159,257527	94,2738534	253,5313808

Fuente: Valores calculados Tesis de Grado J. Murrieta – C. Malavé

TABLA 10

CÁLCULO DE LOS RADIOS INTERNOS SECCIÓN 6

Altura (in)	h (in)	a (in)	R (in)	$\sqrt{R^2 - a^2}$	L (in)	$\sqrt{R^2 - a^2} + L$ Radio Horizontal (in)
164	0,5	17,6103507	156,541851	155,548149	91,7619785	247,3101275
165	1,5	18,6103507	156,541851	155,431676	91,7619785	247,1936547
166	2,5	19,6103507	156,541851	155,308677	91,7619785	247,0706558
167	3,5	20,6103507	156,541851	155,179137	91,7619785	246,9411155
168	4,5	21,6103507	156,541851	155,043039	91,7619785	246,8050172
169	5,5	22,6103507	156,541851	154,900365	91,7619785	246,6623438
170	6,5	23,6103507	156,541851	154,751098	91,7619785	246,5130769
171	7,5	24,6103507	156,541851	154,595219	91,7619785	246,3571975
172	8,5	25,6103507	156,541851	154,432707	91,7619785	246,1946857
173	9,5	26,6103507	156,541851	154,263542	91,7619785	246,0255204
174	10,5	27,6103507	156,541851	154,087701	91,7619785	245,8496797
175	11,5	28,6103507	156,541851	153,905162	91,7619785	245,6671407
176	12,5	29,6103507	156,541851	153,715901	91,7619785	245,4778796
177	13,5	30,6103507	156,541851	153,519893	91,7619785	245,2818715
178	14,5	31,6103507	156,541851	153,317112	91,7619785	245,0790905
179	15,5	32,6103507	156,541851	153,107531	91,7619785	244,8695098
180	16,5	33,6103507	156,541851	152,891123	91,7619785	244,6531013
181	17,5	34,6103507	156,541851	152,667858	91,7619785	244,4298361
182	18,5	35,6103507	156,541851	152,437705	91,7619785	244,1996839
183	19,5	36,6103507	156,541851	152,200635	91,7619785	243,9626136
184	20,5	37,6103507	156,541851	151,956614	91,7619785	243,7185928
185	21,5	38,6103507	156,541851	151,705609	91,7619785	243,4675879
186	22,5	39,6103507	156,541851	151,447586	91,7619785	243,2095643
187	23,5	40,6103507	156,541851	151,182507	91,7619785	242,9444859
188	24,5	41,6103507	156,541851	150,910337	91,7619785	242,6723156
189	25,5	42,6103507	156,541851	150,631036	91,7619785	242,3930149
190	26,5	43,6103507	156,541851	150,344566	91,7619785	242,1065442
191	27,5	44,6103507	156,541851	150,050884	91,7619785	241,8128623
192	28,5	45,6103507	156,541851	149,749948	91,7619785	241,5119268
193	29,5	46,6103507	156,541851	149,441715	91,7619785	241,203694
194	30,5	47,6103507	156,541851	149,12614	91,7619785	240,8881185
195	31,5	48,6103507	156,541851	148,803175	91,7619785	240,5651536
196	32,5	49,6103507	156,541851	148,472773	91,7619785	240,2347511
197	33,5	50,6103507	156,541851	148,134883	91,7619785	239,8968613
198	34,5	51,6103507	156,541851	147,789454	91,7619785	239,5514328
199	35,5	52,6103507	156,541851	147,436434	91,7619785	239,1984126
200	36,5	53,6103507	156,541851	147,075768	91,7619785	238,8377461
201	37,5	54,6103507	156,541851	146,707398	91,7619785	238,4693768
202	38,5	55,6103507	156,541851	146,331268	91,7619785	238,0932466

Fuente: Valores calculados Tesis de Grado J. Murrieta – C. Malavé

TABLA 11

CÁLCULO DE LOS RADIOS INTERNOS SECCIÓN 7

Altura (in)	h (in)	a (in)	R (in)	$\sqrt{R^2 - a^2}$	L (in)	$\sqrt{R^2 - a^2} + L$ Radio Horizontal (in)
203	0,5	81,6543941	235,235338	220,608758	21,9064418	242,5151996
204	1,5	82,6543941	235,235338	220,236044	21,9064418	242,1424862
205	2,5	83,6543941	235,235338	219,858151	21,9064418	241,7645925
206	3,5	84,6543941	235,235338	219,47505	21,9064418	241,381492
207	4,5	85,6543941	235,235338	219,086715	21,9064418	240,9931572
208	5,5	86,6543941	235,235338	218,693119	21,9064418	240,5995603
209	6,5	87,6543941	235,235338	218,294231	21,9064418	240,2006728
210	7,5	88,6543941	235,235338	217,890024	21,9064418	239,7964657
211	8,5	89,6543941	235,235338	217,480467	21,9064418	239,3869092
212	9,5	90,6543941	235,235338	217,065531	21,9064418	238,9719732
213	10,5	91,6543941	235,235338	216,645185	21,9064418	238,5516267
214	11,5	92,6543941	235,235338	216,219396	21,9064418	238,1258381
215	12,5	93,6543941	235,235338	215,788134	21,9064418	237,6945753
216	13,5	94,6543941	235,235338	215,351364	21,9064418	237,2578053
217	14,5	95,6543941	235,235338	214,909053	21,9064418	236,8154946
218	15,5	96,6543941	235,235338	214,461167	21,9064418	236,3676089
219	16,5	97,6543941	235,235338	214,007671	21,9064418	235,9141132
220	17,5	98,6543941	235,235338	213,54853	21,9064418	235,4549717
221	18,5	99,6543941	235,235338	213,083706	21,9064418	234,990148
222	19,5	100,654394	235,235338	212,613163	21,9064418	234,5196047
223	20,5	101,654394	235,235338	212,136862	21,9064418	234,0433039
224	21,5	102,654394	235,235338	211,654765	21,9064418	233,5612066
225	22,5	103,654394	235,235338	211,166831	21,9064418	233,0732732
226	23,5	104,654394	235,235338	210,673021	21,9064418	232,5794631
227	24,5	105,654394	235,235338	210,173293	21,9064418	232,0797348
228	25,5	106,654394	235,235338	209,667604	21,9064418	231,5740462
229	26,5	107,654394	235,235338	209,155912	21,9064418	231,0623538
230	27,5	108,654394	235,235338	208,638172	21,9064418	230,5446136
231	28,5	109,654394	235,235338	208,114339	21,9064418	230,0207805
232	29,5	110,654394	235,235338	207,584366	21,9064418	229,4908082
233	30,5	111,654394	235,235338	207,048208	21,9064418	228,9546497
234	31,5	112,654394	235,235338	206,505815	21,9064418	228,4122567
235	32,5	113,654394	235,235338	205,957138	21,9064418	227,8635801
236	33,5	114,654394	235,235338	205,402128	21,9064418	227,3085694
237	34,5	115,654394	235,235338	204,840731	21,9064418	226,7471732
238	35,5	116,654394	235,235338	204,272897	21,9064418	226,1793388
239	36,5	117,654394	235,235338	203,698571	21,9064418	225,6050124
240	37,5	118,654394	235,235338	203,117697	21,9064418	225,0241389
241	38,5	119,654394	235,235338	202,53022	21,9064418	224,436662
242	39,5	120,654394	235,235338	201,936082	21,9064418	223,842524

Fuente: Valores calculados Tesis de Grado J. Murrieta – C. Malavé

TABLA 12

CÁLCULO DE LOS RADIOS INTERNOS SECCIÓN 8

Altura (in)	h (in)	a (in)	R (in)	$\sqrt{R^2 - a^2}$	L (in)	$\sqrt{R^2 - a^2} + L$ Radio Horizontal (in)
243	0,5	121,123569	230,035068	195,563835	23,1074652	218,6712998
244	1,5	122,123569	230,035068	194,94093	23,1074652	218,0483954
245	2,5	123,123569	230,035068	194,310883	23,1074652	217,4183479
246	3,5	124,123569	230,035068	193,673622	23,1074652	216,7810875
247	4,5	125,123569	230,035068	193,029078	23,1074652	216,1365429
248	5,5	126,123569	230,035068	192,377176	23,1074652	215,4846409
249	6,5	127,123569	230,035068	191,717841	23,1074652	214,8253062
250	7,5	128,123569	230,035068	191,050997	23,1074652	214,1584622
251	8,5	129,123569	230,035068	190,376564	23,1074652	213,4840297
252	9,5	130,123569	230,035068	189,694463	23,1074652	212,8019279
253	10,5	131,123569	230,035068	189,004608	23,1074652	212,1120737
254	11,5	132,123569	230,035068	188,306917	23,1074652	211,4143819
255	12,5	133,123569	230,035068	187,6013	23,1074652	210,7087652
256	13,5	134,123569	230,035068	186,887668	23,1074652	209,9951336
257	14,5	135,123569	230,035068	186,16593	23,1074652	209,2733951
258	15,5	136,123569	230,035068	185,43599	23,1074652	208,5434551
259	16,5	137,123569	230,035068	184,697751	23,1074652	207,8052161
260	17,5	138,123569	230,035068	183,951113	23,1074652	207,0585784
261	18,5	139,123569	230,035068	183,195974	23,1074652	206,3034393
262	19,5	140,123569	230,035068	182,432228	23,1074652	205,5396931
263	20,5	141,123569	230,035068	181,659766	23,1074652	204,7672314
264	21,5	142,123569	230,035068	180,878477	23,1074652	203,9859424
265	22,5	143,123569	230,035068	180,088246	23,1074652	203,1957113
266	23,5	144,123569	230,035068	179,288955	23,1074652	202,3964198
267	24,5	145,123569	230,035068	178,480481	23,1074652	201,5879462
268	25,5	146,123569	230,035068	177,6627	23,1074652	200,7701652
269	26,5	147,123569	230,035068	176,835482	23,1074652	199,9429475
270	27,5	148,123569	230,035068	175,998695	23,1074652	199,1061603
271	28,5	149,123569	230,035068	175,152201	23,1074652	198,2596663
272	29,5	150,123569	230,035068	174,295859	23,1074652	197,403324
273	30,5	151,123569	230,035068	173,429522	23,1074652	196,5369877
274	31,5	152,123569	230,035068	172,553041	23,1074652	195,6605067
275	32,5	153,123569	230,035068	171,66626	23,1074652	194,7737257
276	33,5	154,123569	230,035068	170,769019	23,1074652	193,8764842
277	34,5	155,123569	230,035068	169,861151	23,1074652	192,9686165
278	35,5	156,123569	230,035068	168,942486	23,1074652	192,0499512
279	36,5	157,123569	230,035068	168,012846	23,1074652	191,1203112
280	37,5	158,123569	230,035068	167,072048	23,1074652	190,1795134
281	38,5	159,123569	230,035068	166,119903	23,1074652	189,2273682

Fuente: Valores calculados Tesis de Grado J. Murrieta – C. Malavé

TABLA 13

CÁLCULO DE LOS RADIOS INTERNOS SECCIÓN 9

Altura (in)	h (in)	a (in)	R (in)	$\sqrt{R^2 - a^2}$	L (in)	$\sqrt{R^2 - a^2} + L$ Radio Horizontal (in)
282	0,5	157,603959	229,758844	167,18289	26,7367096	193,9195993
283	1,5	158,603959	229,758844	166,234505	26,7367096	192,9712147
284	2,5	159,603959	229,758844	165,274628	26,7367096	192,0113379
285	3,5	160,603959	229,758844	164,303058	26,7367096	191,0397675
286	4,5	161,603959	229,758844	163,319585	26,7367096	190,0562948
287	5,5	162,603959	229,758844	162,323994	26,7367096	189,0607035
288	6,5	163,603959	229,758844	161,31606	26,7367096	188,0527692
289	7,5	164,603959	229,758844	160,295549	26,7367096	187,032259
290	8,5	165,603959	229,758844	159,262222	26,7367096	185,9989313
291	9,5	166,603959	229,758844	158,215825	26,7367096	184,9525348
292	10,5	167,603959	229,758844	157,156099	26,7367096	183,8928085
293	11,5	168,603959	229,758844	156,082771	26,7367096	182,8194809
294	12,5	169,603959	229,758844	154,99556	26,7367096	181,7322695
295	13,5	170,603959	229,758844	153,89417	26,7367096	180,6308799
296	14,5	171,603959	229,758844	152,778296	26,7367096	179,5150056
297	15,5	172,603959	229,758844	151,647617	26,7367096	178,3843269
298	16,5	173,603959	229,758844	150,5018	26,7367096	177,2385099
299	17,5	174,603959	229,758844	149,340497	26,7367096	176,0772064
300	18,5	175,603959	229,758844	148,163343	26,7367096	174,9000521
301	19,5	176,603959	229,758844	146,969957	26,7367096	173,7066662
302	20,5	177,603959	229,758844	145,75994	26,7367096	172,49665
303	21,5	178,603959	229,758844	144,532876	26,7367096	171,2695859
304	22,5	179,603959	229,758844	143,288326	26,7367096	170,0250357
305	23,5	180,603959	229,758844	142,02583	26,7367096	168,7625399
306	24,5	181,603959	229,758844	140,744906	26,7367096	167,4816156
307	25,5	182,603959	229,758844	139,445045	26,7367096	166,1817549
308	26,5	183,603959	229,758844	138,125713	26,7367096	164,8624231
309	27,5	184,603959	229,758844	136,786347	26,7367096	163,5230569
310	28,5	185,603959	229,758844	135,426352	26,7367096	162,1630619
311	29,5	186,603959	229,758844	134,045101	26,7367096	160,7818101
312	30,5	187,603959	229,758844	132,641928	26,7367096	159,3786376
313	31,5	188,603959	229,758844	131,216131	26,7367096	157,952841
314	32,5	189,603959	229,758844	129,766965	26,7367096	156,5036747
315	33,5	190,603959	229,758844	128,293637	26,7367096	155,0303466
316	34,5	191,603959	229,758844	126,795305	26,7367096	153,5320147
317	35,5	192,603959	229,758844	125,271072	26,7367096	152,0077815
318	36,5	193,603959	229,758844	123,71998	26,7367096	150,45669
319	37,5	194,603959	229,758844	122,141007	26,7367096	148,8777168
320	38,5	195,603959	229,758844	120,533057	26,7367096	147,2697661

Fuente: Valores calculados Tesis de Grado J. Murrieta – C. Malavé

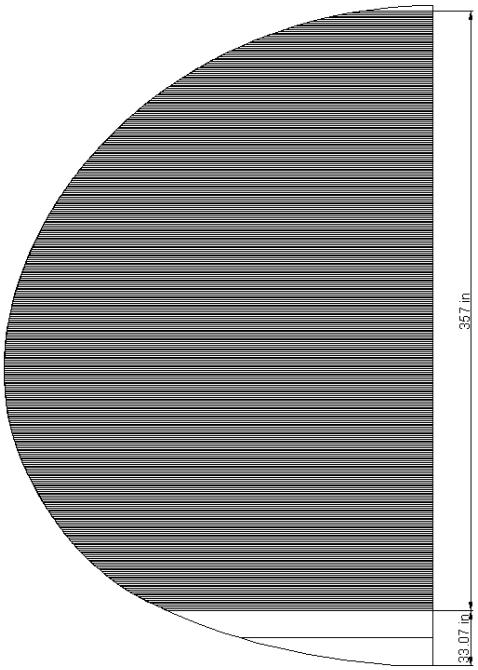
TABLA 14

CÁLCULO DE LOS RADIOS INTERNOS SECCIÓN 10

Altura (in)	h (in)	a (in)	R (in)	$\sqrt{R^2 - a^2}$	L (in)	$\sqrt{R^2 - a^2} + L$ Radio Horizontal (in)
321	0,5	226,351024	265,061542	137,923293	-0,6302981	137,2929953
322	1,5	227,351024	265,061542	136,268605	-0,6302981	135,6383073
323	2,5	228,351024	265,061542	134,586146	-0,6302981	133,9558482
324	3,5	229,351024	265,061542	132,874861	-0,6302981	132,2445631
325	4,5	230,351024	265,061542	131,133621	-0,6302981	130,5033234
326	5,5	231,351024	265,061542	129,361218	-0,6302981	128,7309196
327	6,5	232,351024	265,061542	127,556351	-0,6302981	126,9260525
328	7,5	233,351024	265,061542	125,717622	-0,6302981	125,0873241
329	8,5	234,351024	265,061542	123,843524	-0,6302981	123,2132261
330	9,5	235,351024	265,061542	121,932426	-0,6302981	121,3021276
331	10,5	236,351024	265,061542	119,982559	-0,6302981	119,3522606
332	11,5	237,351024	265,061542	117,992001	-0,6302981	117,3617031
333	12,5	238,351024	265,061542	115,958658	-0,6302981	115,3283596
334	13,5	239,351024	265,061542	113,880236	-0,6302981	113,2499383
335	14,5	240,351024	265,061542	111,754222	-0,6302981	111,1239242
336	15,5	241,351024	265,061542	109,577845	-0,6302981	108,9475471
337	16,5	242,351024	265,061542	107,348042	-0,6302981	106,7177438
338	17,5	243,351024	265,061542	105,061411	-0,6302981	104,4311128
339	18,5	244,351024	265,061542	102,714157	-0,6302981	102,0838587
340	19,5	245,351024	265,061542	100,302024	-0,6302981	99,67172563
341	20,5	246,351024	265,061542	97,8202122	-0,6302981	97,1899141
342	21,5	247,351024	265,061542	95,2632766	-0,6302981	94,63297849
343	22,5	248,351024	265,061542	92,6249957	-0,6302981	91,99469755
344	23,5	249,351024	265,061542	89,8982078	-0,6302981	89,26790973
345	24,5	250,351024	265,061542	87,0745986	-0,6302981	86,44430051
346	25,5	251,351024	265,061542	84,1444215	-0,6302981	83,51412344
347	26,5	252,351024	265,061542	81,0961258	-0,6302981	80,46582775
348	27,5	253,351024	265,061542	77,9158493	-0,6302981	77,28555125
349	28,5	254,351024	265,061542	74,5867115	-0,6302981	73,95641339
350	29,5	255,351024	265,061542	71,0878012	-0,6302981	70,45750313
351	30,5	256,351024	265,061542	67,3926809	-0,6302981	66,76238278
352	31,5	257,351024	265,061542	63,467089	-0,6302981	62,83679091
353	32,5	258,351024	265,061542	59,2652456	-0,6302981	58,63494753
354	33,5	259,351024	265,061542	54,7235534	-0,6302981	54,09325525
355	34,5	260,351024	265,061542	49,7490225	-0,6302981	49,11872444
356	35,5	261,351024	265,061542	44,1957373	-0,6302981	43,5654392
357	36,5	262,351024	265,061542	37,8095378	-0,6302981	37,17923969

Fuente: Valores calculados Tesis de Grado J. Murrieta – C. Malavé

En las figuras 4.11 y 4.12 se observa el gráfico obtenido a partir del programa AUTOCAD 2009 para determinar la ubicación de los radios internos por pulgada y que fue considerado para efectos de la calibración.



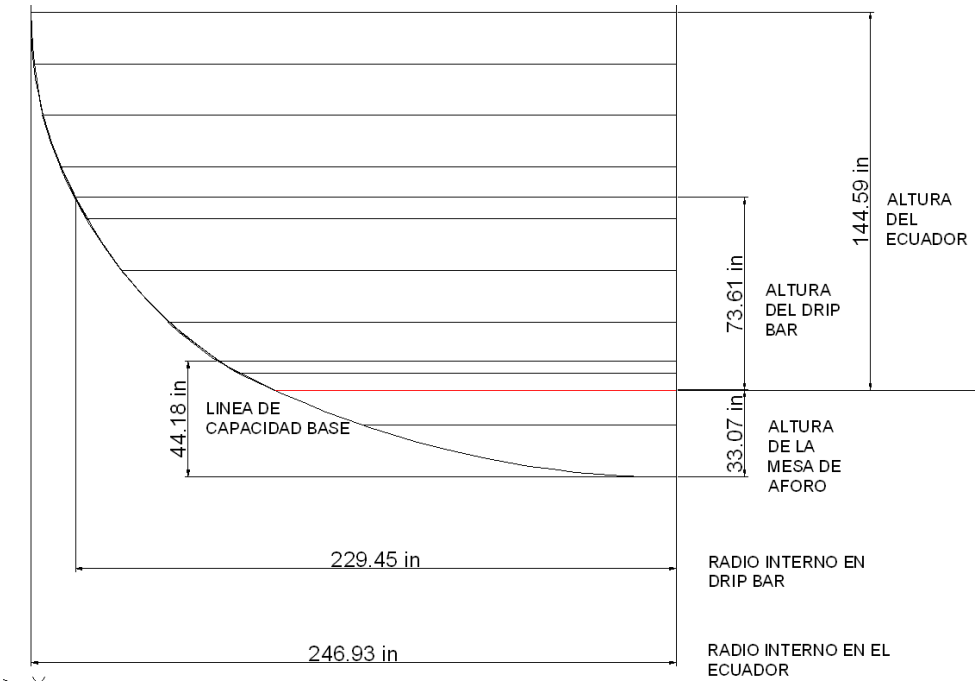
Fuente: Tesis de Grado J. Murrieta – C. Malavé

FIGURA 4.11. UBICACIÓN DE LOS RADIOS INTERNOS POR PULGADA

4.3.2. Cálculo de los radios horizontales interiores por medio de planos de diseño.

Radio en círculo horizontal grande = 246.929134/12 = 20.5774278ft

Radio parte superior barra de goteo = 229.4496037/12 = 19.1208003ft



Fuente: Tesis de Grado J. Murrieta – C. Malavé

FIGURA 4.12. UBICACIÓN DE RADIOS INTERIORES EN BARRA DE GOTEO - ECUADOR

4.3.3. Cálculo de los radios horizontales interiores usando las medidas de campo

Dividimos para 2π las medidas de campo de los literales c) y d) para conseguir el radio externo promedio en estas dos posiciones.

Empezamos con el siguiente literal de las medidas de campo:

c) Circunferencia en el ecuador = 129.490ft

Espesor de la plancha de la máxima circunferencia = 0.0245ft

Radio interno en el ecuador (medido)= $129.490 \div 2\pi$ -0.0245= 20.5844736 ft.

Radio interno en el ecuador (planos) = 20.5774278 ft.

Procedemos a calcular un factor para ajustar el radio en la parte superior del tanque.

Factor parte superior = 20.5844736 / 20.5774278 = 1.0003424

Continuamos con el literal d), las medidas de campo para obtener el otro factor:

d) Circunferencia en la barra de goteo = 120.139532 ft

Radio exterior de la curvatura vertical = 169.0261587 in

Este radio de curvatura se especifica en la Figura 4.13.

Espesor del plato en la barra de goteo = 0.33 in

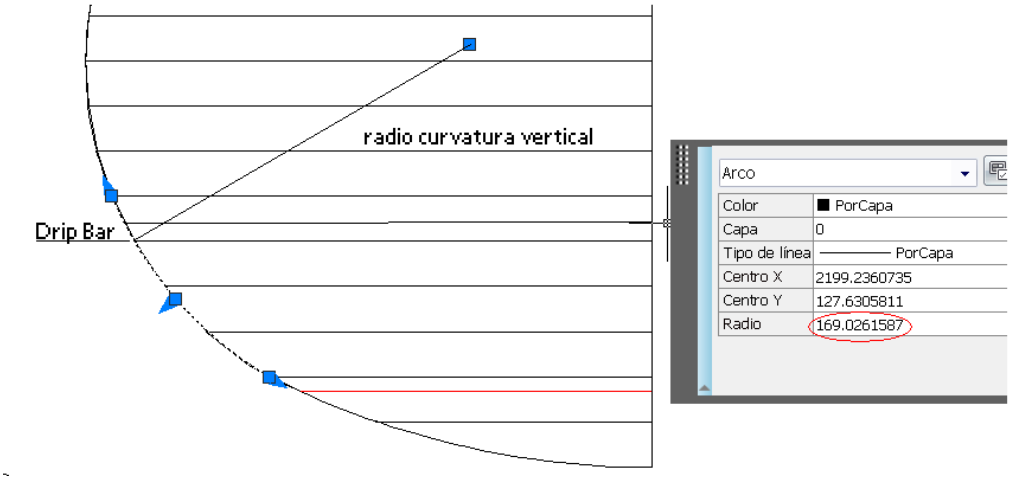
Distancia horizontal desde la barra de goteo al centro del radio de curvatura vertical = 149.731575 in

Espesor horizontal de la plancha = (196.850394/149.527559)*0.33/12 = 0.03620326 ft

Radio interno en la barra de goteo = (120.139532 ÷ 2π) – 0.0362032 = 19.0845972 ft

Radio interno en la barra de goteo (plano) = 19.1208003 ft

Factor parte inferior = 19.0845972 / 19.1208003 = 0.998106612



Fuente: Tesis de Grado J. Murrieta – C. Malavé

FIGURA 4.13. CÁLCULO DEL RADIO DE CURVATURA VERTICAL

TABLA 15

RESÚMEN DE LOS CÁLCULOS

RESUMEN DE CALCULOS		
Radio interno en el ecuador =	20.5844736	ft
Radio interno en el Ecuador (planos) =	20.5774278	ft
Factor para los radio de ajuste en la parte superior del tanque =	1.0003424	
Espesor horizontal de la plancha =	0,03620326	ft
Radio interno en la barra de goteo =	19.0845972	ft
Radio interno en la barra de goteo (planos) =	19.1208003	ft
Factor para los radio de ajuste en la parte inferior del tanque =	0.998106612	

Fuente: Valores calculados Tesis de Grado J. Murrieta – C. Malavé

4.3.4. Ajuste de los radios externos

Se realizará el ajuste de los radios externos por medio de los factores tanto en la parte superior como en la inferior del tanque, lo cual se encuentra detallado en la tabla 16 hasta la tabla 17.

TABLA 16

AJUSTES DE LOS RADIOS EN LA PARTE INFERIOR DEL TANQUE 1/1

h (in)	Radio (in)	Ajuste (in)	h (in)	Radio (in)	Ajuste (in)
1	153,818751	153,527512	38	204,068416	203,682036
2	156,339941	156,043928	39	204,948191	204,560144
3	158,716576	158,416064	40	205,813448	205,423763
4	160,968083	160,663308	41	206,664494	206,273198
5	163,10977	162,80094	42	207,501623	207,108741
6	165,153963	164,841263	43	208,325113	207,930673
7	167,11076	166,794355	44	209,135235	208,739261
8	168,988561	168,6686	45	209,932244	209,534761
9	170,79444	170,47106	46	210,716389	210,317421
10	172,534426	172,207752	47	211,487904	211,087475
11	174,213707	173,883853	48	212,247018	211,845152
12	175,836784	175,503856	49	212,993949	212,590669
13	177,407594	177,071692	50	213,728907	213,324235
14	178,929605	178,590821	51	214,452093	214,046052
15	180,405889	180,064311	52	215,163702	214,756314
16	181,839187	181,494895	53	215,863921	215,455207
17	183,231952	182,885023	54	216,552929	216,14291
18	184,586391	184,236898	55	217,2309	216,819598
19	185,904502	185,552513	56	217,898001	217,485436
20	187,188096	186,833677	57	218,554394	218,140585
21	188,438824	188,082036	58	219,200233	218,785202
22	189,658194	189,299097	59	219,835669	219,419435
23	190,847588	190,48624	60	220,460848	220,04343
24	192,008279	191,644733	61	221,075908	220,657326
25	193,141439	192,775747	62	221,680986	221,261257
26	194,248152	193,880365	63	222,276211	221,855356
27	193,328818	192,962771	64	222,86171	222,439746
28	194,393342	194,02528	65	223,437606	223,014552
29	195,438791	195,06875	66	228,126781	227,694848
30	196,465694	196,093709	67	228,715698	228,28265
31	197,474554	197,100658	68	229,294843	228,860699
32	198,465846	198,090073	69	229,864339	229,429116
33	199,44002	199,062403	70	230,424304	229,988021
34	200,397505	200,018075	71	230,974854	230,537529
35	201,33871	200,957497	72	231,516099	231,077749
36	202,26402	201,881055	73	232,048146	231,608789
37	203,173805	202,789118	74	232,571101	232,130754

Fuente: Valores calculados Tesis de Grado J. Murrieta – C. Malavé

TABLA 17

AJUSTES DE LOS RADIOS EN LA PARTE SUPERIOR DEL TANQUE 1/4

h (in)	Radio (in)	Ajuste (in)	h (in)	Radio (in)	Ajuste (in)
75	233,085063	233,164871	115	247,607116	247,691896
76	233,590131	233,670112	116	247,77557	247,860409
77	234,086398	234,166549	117	247,939083	248,023978
78	234,573956	234,654274	118	248,097666	248,182614
79	235,052894	235,133376	119	248,251329	248,336331
80	235,523298	235,603941	120	248,400085	248,485137
81	235,985251	236,066052	121	248,543943	248,629044
82	236,438834	236,519791	122	248,682913	248,768062
83	236,884126	236,965235	123	248,817005	248,9022
84	237,321202	237,402461	124	248,946229	249,031469
85	237,750136	237,831542	125	249,070594	249,155876
86	238,170999	238,252549	126	249,190108	249,275431
87	238,583861	238,665552	127	249,30478	249,390142
88	238,988789	239,070619	128	249,414617	249,500017
89	239,385847	239,467813	129	249,519628	249,605063
90	239,7751	239,857199	130	249,619818	249,705288
91	240,156609	240,238838	131	249,715196	249,800699
92	240,530432	240,61279	132	249,805768	249,891302
93	240,896628	240,979111	133	249,89154	249,977103
94	241,255252	241,337858	134	249,972518	250,058109
95	241,60636	241,689086	135	250,048708	250,134324
96	241,950002	242,032846	136	250,120114	250,205755
97	242,286232	242,36919	137	250,186742	250,272406
98	242,615097	242,698168	138	250,248596	250,334281
99	242,936646	243,019827	139	250,30568	250,391384
100	243,250925	243,334215	140	250,357998	250,443721
101	243,55798	243,641375	141	250,405554	250,491293
102	243,857855	243,941352	142	250,448351	250,534105
103	244,15059	244,234187	143	250,486392	250,572159
104	244,436228	244,519923	144	250,51968	250,605458
105	244,714809	244,798599	145	254,545373	254,632529
106	245,86652	245,950705	146	254,542253	254,629409
107	246,080042	246,1643	147	254,532894	254,620046
108	246,288499	246,372828	148	254,517293	254,60444
109	246,491906	246,576305	149	254,49545	254,582589
110	246,690279	246,774745	150	254,467361	254,554491
111	246,883631	246,968164	151	254,433024	254,520142
112	247,071978	247,156575	152	254,392435	254,479539
113	247,255332	247,339992	153	254,345587	254,432675
114	247,433707	247,518428	154	254,292477	254,379547

Fuente: Valores calculados Tesis de Grado J. Murrieta – C. Malavé

TABLA 17

AJUSTES DE LOS RADIOS EN LA PARTE SUPERIOR DEL TANQUE 2/4

h (in)	Radio (in)	Ajuste (in)	h (in)	Radio (in)	Ajuste (in)
155	254,233098	254,320148	195	240,565154	240,647523
156	254,167443	254,25447	196	240,234751	240,317008
157	254,095504	254,182506	197	239,896861	239,979002
158	254,017273	254,104248	198	239,551433	239,633455
159	253,93274	254,019686	199	239,198413	239,280314
160	253,841895	253,928811	200	238,837746	238,919524
161	253,744729	253,831611	201	238,469377	238,551029
162	253,641228	253,728075	202	238,093247	238,17477
163	253,531381	253,61819	203	242,5152	242,598237
164	247,310128	247,394807	204	242,142486	242,225396
165	247,193655	247,278294	205	241,764593	241,847373
166	247,070656	247,155253	206	241,381492	241,464141
167	246,941115	247,025668	207	240,993157	241,075673
168	246,805017	246,889523	208	240,59956	240,681942
169	246,662344	246,746801	209	240,200673	240,282918
170	246,513077	246,597483	210	239,796466	239,878572
171	246,357198	246,44155	211	239,386909	239,468875
172	246,194686	246,278983	212	238,971973	239,053797
173	246,02552	246,10976	213	238,551627	238,633307
174	245,84968	245,933859	214	238,125838	238,207372
175	245,667141	245,751257	215	237,694575	237,775962
176	245,47788	245,561931	216	237,257805	237,339042
177	245,281871	245,365856	217	236,815495	236,89658
178	245,079091	245,163006	218	236,367609	236,448541
179	244,86951	244,953353	219	235,914113	235,99489
180	244,653101	244,736871	220	235,454972	235,535591
181	244,429836	244,513529	221	234,990148	235,070609
182	244,199684	244,283298	222	234,519605	234,599904
183	243,962614	244,046146	223	234,043304	234,12344
184	243,718593	243,802042	224	233,561207	233,641178
185	243,467588	243,550951	225	233,073273	233,153077
186	243,209564	243,292839	226	232,579463	232,659098
187	242,944486	243,02767	227	232,079735	232,159199
188	242,672316	242,755407	228	231,574046	231,653337
189	242,393015	242,47601	229	231,062354	231,14147
190	242,106544	242,189441	230	230,544614	230,623552
191	241,812862	241,895659	231	230,02078	230,09954
192	241,511927	241,594621	232	229,490808	229,569386
193	241,203694	241,286282	233	228,95465	229,033044
194	240,888118	240,970599	234	228,412257	228,490465

Fuente: Valores calculados Tesis de Grado J. Murrieta – C. Malavé

TABLA 17

AJUSTES DE LOS RADIOS EN LA PARTE SUPERIOR DEL TANQUE 3/4

h (in)	Radio (in)	Ajuste (in)	h (in)	Radio (in)	Ajuste (in)
235	227,86358	227,941601	275	194,773726	194,840416
236	227,308569	227,3864	276	193,876484	193,942868
237	226,747173	226,824811	277	192,968616	193,034689
238	226,179339	226,256783	278	192,049951	192,115709
239	225,605012	225,68226	279	191,120311	191,185751
240	225,024139	225,101187	280	190,179513	190,244631
241	224,436662	224,513509	281	189,227368	189,29216
242	223,842524	223,919168	282	193,919599	193,985997
243	218,6713	218,746173	283	192,971215	193,037288
244	218,048395	218,123055	284	192,011338	192,077083
245	217,418348	217,492792	285	191,039768	191,10518
246	216,781088	216,855313	286	190,056295	190,12137
247	216,136543	216,210548	287	189,060704	189,125438
248	215,484641	215,558423	288	188,052769	188,117158
249	214,825306	214,898862	289	187,032259	187,096299
250	214,158462	214,23179	290	185,998931	186,062617
251	213,48403	213,557127	291	184,952535	185,015863
252	212,801928	212,874791	292	183,892808	183,955773
253	212,112074	212,184701	293	182,819481	182,882078
254	211,414382	211,48677	294	181,732269	181,794495
255	210,708765	210,780912	295	180,63088	180,692728
256	209,995134	210,067036	296	179,515006	179,576472
257	209,273395	209,34505	297	178,384327	178,445406
258	208,543455	208,61486	298	177,23851	177,299196
259	207,805216	207,876369	299	176,077206	176,137495
260	207,058578	207,129475	300	174,900052	174,959938
261	206,303439	206,374078	301	173,706666	173,766143
262	205,539693	205,61007	302	172,49665	172,555713
263	204,767231	204,837344	303	171,269586	171,328229
264	203,985942	204,055787	304	170,025036	170,083252
265	203,195711	203,265285	305	168,76254	168,820324
266	202,39642	202,46572	306	167,481616	167,538961
267	201,587946	201,65697	307	166,181755	166,238655
268	200,770165	200,838909	308	164,862423	164,918872
269	199,942948	200,011408	309	163,523057	163,579047
270	199,10616	199,174334	310	162,163062	162,218587
271	198,259666	198,32755	311	160,78181	160,836862
272	197,403324	197,470915	312	159,378638	159,433209
273	196,536988	196,604282	313	157,952841	158,006924
274	195,660507	195,727501	314	156,503675	156,557262

Fuente: Valores calculados Tesis de Grado J. Murrieta – C. Malavé

TABLA 17

AJUSTES DE LOS RADIOS EN LA PARTE SUPERIOR DEL TANQUE 4/4

h (in)	Radio (in)	Ajuste (in)	h (in)	Radio (in)	Ajuste (in)
315	155,030347	155,083429	337	106,717744	106,754284
316	153,532015	153,584584	338	104,431113	104,46687
317	152,007782	152,059829	339	102,083859	102,118812
318	150,45669	150,508206	340	99,6717256	99,7058532
319	148,877717	148,928692	341	97,1899141	97,2231919
320	147,269766	147,320191	342	94,6329785	94,6653808
321	137,292995	137,340004	343	91,9946976	92,0261965
322	135,638307	135,68475	344	89,2679097	89,2984751
323	133,955848	134,001715	345	86,4443005	86,473899
324	132,244563	132,289844	346	83,5141234	83,5427187
325	130,503323	130,548008	347	80,4658277	80,4933792
326	128,73092	128,774997	348	77,2855512	77,3120138
327	126,926053	126,969512	349	73,9564134	73,9817361
328	125,087324	125,130154	350	70,4575031	70,4816278
329	123,213226	123,255414	351	66,7623828	66,7852422
330	121,302128	121,343661	352	62,8367909	62,8583062
331	119,352261	119,393127	353	58,6349475	58,6550241
332	117,361703	117,401888	354	54,0932553	54,1117768
333	115,32836	115,367848	355	49,1187244	49,1355427
334	113,249938	113,288715	356	43,5654392	43,580356
335	111,123924	111,161973	357	37,1792397	37,1919699
336	108,947547	108,984851			

Fuente: Valores calculados Tesis de Grado J. Murrieta – C. Malavé

4.3.5. Cálculo del volumen por cada pulgada.

A continuación se determina el volumen por cada incremento de pulgada considerando que son cilindros conforme a la norma API 2552. Nótese que para calcular el volumen, se ha considerado la altura de 1 pulgada, por lo tanto el factor de conversión que se muestra en la norma API 2552 se lo

multiplica por 8, ya que dicha norma lo multiplica por 1/8. Es decir, el valor del volumen en barriles es 0.0003238088 por el radio interno en cada incremento.

VOLUMEN (Cilindro) = ÁREA (base) * ALTURA (cilindro)

Como estamos considerando una altura de 1 pulgada tenemos lo siguiente:

VOLUMEN (Cilindro) = (πr^2) (1), $[in^3]$

$$= \pi r^2 \ \ in^3 * \frac{1 \text{ barril}}{9702.002678 \text{ in}^3}$$

VOLUMEN (Cilindro) = $0.0003238088 * r^2$ $[barriles]$

TABLA 18

CÁLCULO DEL VOLUMEN POR CADA PULGADA 1/5

h (in)	0.0003238088 r	V (bbls)	h (in)	0.0003238088 r	V (bbls)
1	153,527512	7,63239912	41	206,273198	13,7776216
2	156,043928	7,8846496	42	207,108741	13,8894646
3	158,416064	8,12619214	43	207,930673	13,9999268
4	160,663308	8,35837892	44	208,739261	14,1090226
5	162,80094	8,58227574	45	209,534761	14,2167658
6	164,841263	8,79874056	46	210,317421	14,3231698
7	166,794355	9,00847637	47	211,087475	14,4282473
8	168,6686	9,21206781	48	211,845152	14,5320107
9	170,47106	9,41000747	49	212,590669	14,6344716
10	172,207752	9,60271501	50	213,324235	14,7356413
11	173,883853	9,79055149	51	214,046052	14,8355309
12	175,503856	9,9738303	52	214,756314	14,9341507
13	177,071692	10,1528255	53	215,455207	15,0315108
14	178,590821	10,3277785	54	216,14291	15,127621
15	180,064311	10,4989033	55	216,819598	15,2224906
16	181,494895	10,6663904	56	217,485436	15,3161286
17	182,885023	10,8304107	57	218,140585	15,4085437
18	184,236898	10,991118	58	218,785202	15,4997444
19	185,552513	11,1486512	59	219,419435	15,5897386
20	186,833677	11,3031364	60	220,04343	15,6785342
21	188,082036	11,4546885	61	220,657326	15,7661389
22	189,299097	11,6034125	62	221,261257	15,8525598
23	190,48624	11,7494047	63	221,855356	15,937804
24	191,644733	11,8927536	64	222,439746	16,0218783
25	192,775747	12,0335409	65	223,014552	16,1047894
26	193,880365	12,1718419	66	227,694848	16,7878491
27	192,962771	12,0569012	67	228,28265	16,8746377
28	194,02528	12,1900443	68	228,860699	16,9602045
29	195,06875	12,3215132	69	229,429116	17,0445567
30	196,093709	12,4513364	70	229,988021	17,1277013
31	197,100658	12,579541	71	230,537529	17,2096451
32	198,090073	12,7061527	72	231,077749	17,2903945
33	199,062403	12,8311957	73	231,608789	17,369956
34	200,018075	12,9546933	74	232,130754	17,4483358
35	200,957497	13,0766673	75	233,164871	17,604143
36	201,881055	13,1971387	76	233,670112	17,6805178
37	202,789118	13,3161273	77	234,166549	17,7557228
38	203,682036	13,4336522	78	234,654274	17,8297636
39	204,560144	13,5497315	79	235,133376	17,9026452
40	205,423763	13,6643824	80	235,603941	17,974373

Fuente: Valores calculados Tesis de Grado J. Murrieta – C. Malavé

TABLA 18

CÁLCULO DEL VOLUMEN POR CADA PULGADA 2/5

h (in)	0.0003238088 r	V (bbls)	h (in)	0.0003238088 r	V (bbls)
81	236,066052	18,0449516	121	248,629044	20,0166948
82	236,519791	18,1143861	122	248,768062	20,0390852
83	236,965235	18,182681	123	248,9022	20,0607016
84	237,402461	18,2498408	124	249,031469	20,0815443
85	237,831542	18,3158699	125	249,155876	20,1016133
86	238,252549	18,3807724	126	249,275431	20,1209091
87	238,665552	18,4445526	127	249,390142	20,1394317
88	239,070619	18,5072145	128	249,500017	20,1571815
89	239,467813	18,5687617	129	249,605063	20,1741585
90	239,857199	18,6291982	130	249,705288	20,190363
91	240,238838	18,6885276	131	249,800699	20,2057951
92	240,61279	18,7467533	132	249,891302	20,2204551
93	240,979111	18,8038788	133	249,977103	20,2343431
94	241,337858	18,8599074	134	250,058109	20,2474592
95	241,689086	18,9148423	135	250,134324	20,2598036
96	242,032846	18,9686867	136	250,205755	20,2713764
97	242,36919	19,0214435	137	250,272406	20,2821777
98	242,698168	19,0731157	138	250,334281	20,2922077
99	243,019827	19,1237062	139	250,391384	20,3014665
100	243,334215	19,1732177	140	250,443721	20,3099541
101	243,641375	19,2216529	141	250,491293	20,3176707
102	243,941352	19,2690143	142	250,534105	20,3246163
103	244,234187	19,3153045	143	250,572159	20,3307911
104	244,519923	19,3605259	144	250,605458	20,336195
105	244,798599	19,4046808	145	254,632529	20,9950259
106	245,950705	19,5877607	146	254,629409	20,9945113
107	246,1643	19,6217973	147	254,620046	20,9929674
108	246,372828	19,655055	148	254,60444	20,9903941
109	246,576305	19,6875343	149	254,582589	20,9867914
110	246,774745	19,7192354	150	254,554491	20,982159
111	246,968164	19,7501589	151	254,520142	20,9764969
112	247,156575	19,780305	152	254,479539	20,9698046
113	247,339992	19,8096742	153	254,432675	20,962082
114	247,518428	19,8382667	154	254,379547	20,9533287
115	247,691896	19,8660829	155	254,320148	20,9435444
116	247,860409	19,8931231	156	254,25447	20,9327285
117	248,023978	19,9193876	157	254,182506	20,9208807
118	248,182614	19,9448768	158	254,104248	20,9080004
119	248,336331	19,9695908	159	254,019686	20,894087
120	248,485137	19,9935301	160	253,928811	20,8791399

Fuente: Valores calculados Tesis de Grado J. Murrieta – C. Malavé

TABLA 18

CÁLCULO DEL VOLUMEN POR CADA PULGADA 3/5

h (in)	0.0003238088 r	V (bbls)	h (in)	0.0003238088 r	V (bbls)
161	253,831611	20,8631586	201	238,551029	18,4268557
162	253,728075	20,8461421	202	238,17477	18,3687733
163	253,61819	20,8280899	203	242,598237	19,0574122
164	247,394807	19,8184554	204	242,225396	18,9988798
165	247,278294	19,7997925	205	241,847373	18,9396258
166	247,155253	19,7800934	206	241,464141	18,8796499
167	247,025668	19,7593572	207	241,075673	18,8189515
168	246,889523	19,737583	208	240,681942	18,7575304
169	246,746801	19,7147697	209	240,282918	18,6953862
170	246,597483	19,6909163	210	239,878572	18,6325183
171	246,44155	19,6660216	211	239,468875	18,5689265
172	246,278983	19,6400844	212	239,053797	18,5046102
173	246,10976	19,6131035	213	238,633307	18,439569
174	245,933859	19,5850775	214	238,207372	18,3738025
175	245,751257	19,5560052	215	237,775962	18,3073103
176	245,561931	19,525885	216	237,339042	18,2400918
177	245,365856	19,4947156	217	236,89658	18,1721465
178	245,163006	19,4624953	218	236,448541	18,1034741
179	244,953353	19,4292226	219	235,99489	18,034074
180	244,736871	19,3948959	220	235,535591	17,9639456
181	244,513529	19,3595133	221	235,070609	17,8930885
182	244,283298	19,3230731	222	234,599904	17,8215022
183	244,046146	19,2855734	223	234,12344	17,749186
184	243,802042	19,2470124	224	233,641178	17,6761396
185	243,550951	19,2073879	225	233,153077	17,6023621
186	243,292839	19,166698	226	232,659098	17,5278532
187	243,02767	19,1249405	227	232,159199	17,4526123
188	242,755407	19,0821133	228	231,653337	17,3766386
189	242,47601	19,0382139	229	231,14147	17,2999317
190	242,189441	18,9932401	230	230,623552	17,2224908
191	241,895659	18,9471894	231	230,09954	17,1443154
192	241,594621	18,9000593	232	229,569386	17,0654047
193	241,286282	18,8518472	233	229,033044	16,9857582
194	240,970599	18,8025503	234	228,490465	16,9053751
195	240,647523	18,752166	235	227,941601	16,8242547
196	240,317008	18,7006913	236	227,3864	16,7423963
197	239,979002	18,6481233	237	226,824811	16,6597993
198	239,633455	18,594459	238	226,256783	16,5764627
199	239,280314	18,5396951	239	225,68226	16,492386
200	238,919524	18,4838285	240	225,101187	16,4075682

Fuente: Valores calculados Tesis de Grado J. Murrieta – C. Malavé

TABLA 18

CÁLCULO DEL VOLUMEN POR CADA PULGADA 4/5

h (in)	0.0003238088 r	V (bbls)	h (in)	0.0003238088 r R	V (bbls)
241	224,513509	16,3220086	281	189,29216	11,602562
242	223,919168	16,2357064	282	193,985997	12,1851088
243	218,746173	15,4942149	283	193,037288	12,0662151
244	218,123055	15,4060673	284	192,077083	11,9464742
245	217,492792	15,3171648	285	191,10518	11,8258826
246	216,855313	15,2275061	286	190,12137	11,7044367
247	216,210548	15,1370903	287	189,125438	11,5821328
248	215,558423	15,0459163	288	188,117158	11,458967
249	214,898862	14,9539829	289	187,096299	11,3349352
250	214,23179	14,861289	290	186,062617	11,2100332
251	213,557127	14,7678334	291	185,015863	11,0842567
252	212,874791	14,6736149	292	183,955773	10,9576012
253	212,184701	14,5786322	293	182,882078	10,830062
254	211,48677	14,4828842	294	181,794495	10,7016342
255	210,780912	14,3863693	295	180,692728	10,5723126
256	210,067036	14,2890864	296	179,576472	10,442092
257	209,34505	14,191034	297	178,445406	10,3109668
258	208,61486	14,0922108	298	177,299196	10,1789313
259	207,876369	13,9926152	299	176,137495	10,0459793
260	207,129475	13,8922457	300	174,959938	9,91210466
261	206,374078	13,7911009	301	173,766143	9,7773007
262	205,61007	13,6891792	302	172,555713	9,64156052
263	204,837344	13,5864789	303	171,328229	9,50487689
264	204,055787	13,4829983	304	170,083252	9,36724222
265	203,265285	13,3787357	305	168,820324	9,22864855
266	202,46572	13,2736895	306	167,538961	9,0890875
267	201,65697	13,1678576	307	166,238655	8,94855028
268	200,838909	13,0612383	308	164,918872	8,80702762
269	200,011408	12,9538296	309	163,579047	8,66450977
270	199,174334	12,8456296	310	162,218587	8,52098642
271	198,32755	12,7366362	311	160,836862	8,37644669
272	197,470915	12,6268472	312	159,433209	8,23087907
273	196,604282	12,5162605	313	158,006924	8,08427139
274	195,727501	12,4048738	314	156,557262	7,93661072
275	194,840416	12,2926848	315	155,083429	7,78788334
276	193,942868	12,1796911	316	153,584584	7,63807465
277	193,034689	12,0658902	317	152,059829	7,48716911
278	192,115709	11,9512795	318	150,508206	7,33515014
279	191,185751	11,8358564	319	148,928692	7,182
280	190,244631	11,7196182	320	147,320191	7,0276997

Fuente: Valores calculados Tesis de Grado J. Murrieta – C. Malavé

TABLA 18

CÁLCULO DEL VOLUMEN POR CADA PULGADA 5/5

h (in)	0.0003238088 r	V (bbls)	h (in)	0.0003238088 r	V (bbls)
321	137,340004	6,10777122	340	99,7058532	3,21906655
322	135,68475	5,96143378	341	97,2231919	3,0607538
323	134,001715	5,81445962	342	94,6653808	2,90182368
324	132,289844	5,66684917	343	92,0261965	2,74227872
325	130,548008	5,51860289	344	89,2984751	2,58212185
326	128,774997	5,36972129	345	86,473899	2,42135647
327	126,969512	5,22020488	346	83,5427187	2,25998655
328	125,130154	5,07005424	347	80,4933792	2,09801683
329	123,255414	4,91926999	348	77,3120138	1,93545295
330	121,343661	4,76785279	349	73,9817361	1,77230182
331	119,393127	4,61580337	350	70,4816278	1,60857198
332	117,401888	4,4631225	351	66,7852422	1,44427422
333	115,367848	4,30981106	352	62,8583062	1,27942254
334	113,288715	4,15586996	353	58,6550241	1,11403563
335	111,161973	4,00130024	354	54,1117768	0,94813949
336	108,984851	3,84610304	355	49,1355427	0,78177209
337	106,754284	3,69027959	356	43,580356	0,61499303
338	104,46687	3,5338313	357	37,1919699	0,44790613
339	102,118812	3,37675971			

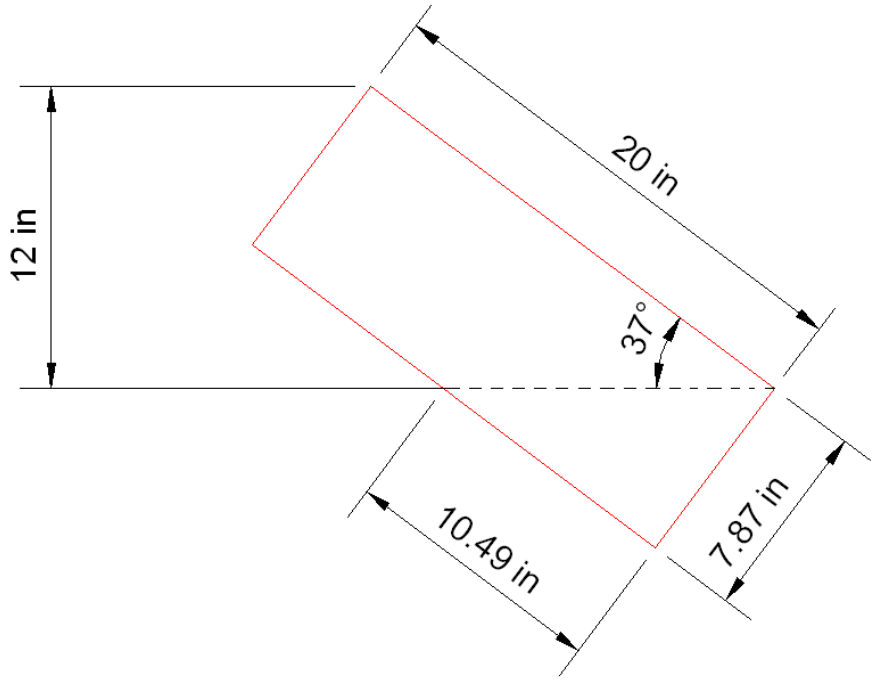
Fuente: Valores calculados Tesis de Grado J. Murrieta – C. Malavé

4.3.6. Corrección por accesorios

Para determinar las correcciones a los volúmenes encontrados en cada incremento de pulgada, se realizará el cálculo de volúmenes de cada accesorio, tomando en cuenta la altura de referencia en que se encuentran. A continuación se calcula individualmente los volúmenes:

4.3.6.1. Volúmenes parciales de la Entrada de hombre (Manhole)

Para calcular los volúmenes por cada pulgada, se lo determina por medio del programa AUTO CAD 2009, considerando la Figura 4.14, determinando los volúmenes parciales por cada pulgada de incremento.



Fuente: Tesis de Grado J. Murrieta – C. Malavé

FIGURA 4.14. VISTA DE PERFIL DE LA ENTRADA DE HOMBRE

Los resultados se muestran en la tabla 19.

TABLA 19

VOLUMENES DE LA ENTRADA DE HOMBRE

ENTRADA DE HOMBRE (Ubicación 33 i n - 51 in)	
ALTURA(in)	VOLUMEN (bbl)
0	0,013427633
1	0,022969268
2	0,035257307
3	0,049260986
4	0,064500142
5	0,080635761
6	0,097393643
7	0,114533881
8	0,131834483
9	0,14908037
10	0,16605414
11	0,182526261
12	0,198241952
13	0,212899347
14	0,226103007
15	0,237215201
16	0,246333187
17	0,252440526
18	0,254686373

Fuente: Valores calculados Tesis de Grado J. Murrieta – C. Malavé

4.3.6.2. Volúmenes de las Tuberías

Asimismo se muestran los resultados en la tabla 20 del volumen de tuberías por cada incremento de una pulgada, tanto en las tuberías de ingreso, de salida y de drenaje del tanque.

TABLA 20

VOLUMEN DE LAS TUBERIAS POR PULGADA

VOLÚMEN TUBERÍAS (bbl)					
Incremento	INGRESO Altura (13-19)in	SALIDA Altura (13-19)in	ENTRADA Altura (13-15)in	DRENAJE Altura (13-15)in	DRENAJE 2 Altura (16,5-18,5)in
1/8	0,0005995	0,00052	0,000286	0,000446599	0,000143249
1	0,0129461	0,01117	0,005505	0,008580932	0,002752375
2	0,0344822	0,02976	0,011009	0,017161865	0,005504749
3	0,059087	0,051			
4	0,0836918	0,07224			
5	0,1052279	0,09083			
6	0,118174	0,102			

Fuente: Tesis de Grado J. Murrieta – C. Malavé

4.3.6.3. Volúmenes totales de los accesorios

A continuación, se determina el volumen total de los accesorios internos del tanque.

TABLA 21

RESUMEN DE VOLÚMENES DE LOS ACCESORIOS

CÁLCULOS DE ACCESORIOS DEL TANQUE							
DESCRIPCIÓN:	LONGITUD	DIAMETRO	VOLÚMEN		RADIO	UBICACIÓN	
	L (in)	D (in)	V (bbl)	V (in cu)	r (in)	Desde (in)	Hasta (in)
Entrada de Hombre	7,87	20	0,25466064	2472,43342	10	33	51
Ingreso de Producto	44.55	6	0,118092	1146.524	3	13	19
Salida de Producto	35	6	0,10192897	989,601686	3	13	19
Entrada	34	2	0,01100186	106,81415	1	13	15
Drenaje	53	2	0,01714995	166,504411	1	13	15
Drenaje 2	17	2	0,00550093	53,4070751	1	16,5	18,5
Tina de Drenaje	1	24,015748	0,04665727	452,983223	12,007874	0	1
VOLUMEN TOTAL ACCESORIOS:			**0,5549916**	**5388,268**			

Fuente: Tesis de Grado J. Murrieta – C. Malavé

4.3.7. Completar la tabla con los volúmenes acumulados por cada incremento

Considerando el volumen de la mesa de aforo de 133,384061 barriles, obtenemos los volúmenes acumulados de líquido por cada pulgada de incremento, la misma que se encuentra detallada en la Tabla 22.

TABLA 22

VOLUMEN DEL TANQUE POR CADA PULGADA 1/5

h (in)	V (bbls) Parcial	V (bbls) Acumulado	h(in)	V (bbls) Parcial	V (bbls) Acumulado
1	7,63239912	141,01646	41	13,909456	592,126836
2	7,8846496	148,90111	42	14,038545	606,165381
3	8,12619214	157,027302	43	14,165981	620,331362
4	8,35837892	165,385681	44	14,2915489	634,622911
5	8,58227574	173,967957	45	14,4150078	649,037919
6	8,79874056	182,766697	46	14,5360692	663,573988
7	9,00847637	191,775174	47	14,6543504	678,228338
8	9,21206781	200,987241	48	14,7692259	692,997564
9	9,41000747	210,397249	49	14,8808047	707,878369
10	9,60271501	219,999964	50	14,9880819	722,866451
11	9,79055149	229,790515	51	15,0902173	737,956668
12	9,9738303	239,764346	52	14,9341507	752,890819
13	10,1528255	249,917171	53	15,0315108	767,92233
14	10,3659845	260,283156	54	15,127621	783,049951
15	10,5913195	270,874475	55	15,2224906	798,272441
16	10,7764773	281,650952	56	15,3161286	813,58857
17	10,9890921	292,640044	57	15,4085437	828,997114
18	11,1926763	303,832721	58	15,4997444	844,496858
19	11,368825	315,201546	59	15,5897386	860,086597
20	11,3031364	326,504682	60	15,6785342	875,765131
21	11,4546885	337,959371	61	15,7661389	891,53127
22	11,6034125	349,562783	62	15,8525598	907,38383
23	11,7494047	361,312188	63	15,937804	923,321634
24	11,8927536	373,204941	64	16,0218783	939,343512
25	12,0335409	385,238482	65	16,1047894	955,448301
26	12,1718419	397,410324	66	16,7878491	972,23615
27	12,0569012	409,467225	67	16,8746377	989,110788
28	12,1900443	421,65727	68	16,9602045	1006,07099
29	12,3215132	433,978783	69	17,0445567	1023,11555
30	12,4513364	446,430119	70	17,1277013	1040,24325
31	12,579541	459,00966	71	17,2096451	1057,4529
32	12,7061527	471,715813	72	17,2903945	1074,74329
33	12,8446234	484,560437	73	17,369956	1092,11325
34	12,9776625	497,538099	74	17,4483358	1109,56158
35	13,1119246	510,650024	75	17,604143	1127,16573
36	13,2463996	523,896423	76	17,6805178	1144,84624
37	13,3806275	537,277051	77	17,7557228	1162,60197
38	13,514288	550,791339	78	17,8297636	1180,43173
39	13,6471251	564,438464	79	17,9026452	1198,33437
40	13,7789163	578,21738	80	17,974373	1216,30875

Fuente: Valores calculados Tesis de Grado J. Murrieta – C. Malavé

TABLA 22

VOLUMEN DEL TANQUE POR CADA PULGADA 2/5

h (in)	V (bbls) Parcial	V (bbls) Acumulado	h(in)	V (bbls) Parcial	V (bbls) Acumulado
81	18,0449516	1234,3537	121	20,0166948	2002,74531
82	18,1143861	1252,46809	122	20,0390852	2022,78439
83	18,182681	1270,65077	123	20,0607016	2042,84509
84	18,2498408	1288,90061	124	20,0815443	2062,92664
85	18,3158699	1307,21648	125	20,1016133	2083,02825
86	18,3807724	1325,59725	126	20,1209091	2103,14916
87	18,4445526	1344,0418	127	20,1394317	2123,28859
88	18,5072145	1362,54902	128	20,1571815	2143,44577
89	18,5687617	1381,11778	129	20,1741585	2163,61993
90	18,6291982	1399,74698	130	20,190363	2183,8103
91	18,6885276	1418,4355	131	20,2057951	2204,01609
92	18,7467533	1437,18226	132	20,2204551	2224,23655
93	18,8038788	1455,98614	133	20,2343431	2244,47089
94	18,8599074	1474,84604	134	20,2474592	2264,71835
95	18,9148423	1493,76089	135	20,2598036	2284,97815
96	18,9686867	1512,72957	136	20,2713764	2305,24953
97	19,0214435	1531,75102	137	20,2821777	2325,53171
98	19,0731157	1550,82413	138	20,2922077	2345,82391
99	19,1237062	1569,94784	139	20,3014665	2366,12538
100	19,1732177	1589,12106	140	20,3099541	2386,43533
101	19,2216529	1608,34271	141	20,3176707	2406,753
102	19,2690143	1627,61172	142	20,3246163	2427,07762
103	19,3153045	1646,92703	143	20,3307911	2447,40841
104	19,3605259	1666,28755	144	20,336195	2467,74461
105	19,4046808	1685,69223	145	20,9950259	2488,73963
106	19,5877607	1705,27999	146	20,9945113	2509,73414
107	19,6217973	1724,90179	147	20,9929674	2530,72711
108	19,655055	1744,55685	148	20,9903941	2551,71751
109	19,6875343	1764,24438	149	20,9867914	2572,7043
110	19,7192354	1783,96362	150	20,982159	2593,68646
111	19,7501589	1803,71378	151	20,9764969	2614,66295
112	19,780305	1823,49408	152	20,9698046	2635,63276
113	19,8096742	1843,30375	153	20,962082	2656,59484
114	19,8382667	1863,14202	154	20,9533287	2677,54817
115	19,8660829	1883,0081	155	20,9435444	2698,49171
116	19,8931231	1902,90123	156	20,9327285	2719,42444
117	19,9193876	1922,82062	157	20,9208807	2740,34532
118	19,9448768	1942,76549	158	20,9080004	2761,25332
119	19,9695908	1962,73508	159	20,894087	2782,14741
120	19,9935301	1982,72861	160	20,8791399	2803,02655

Fuente: Valores calculados Tesis de Grado J. Murrieta – C. Malavé

TABLA 22

VOLUMEN DEL TANQUE POR CADA PULGADA 3/5

h (in)	V (bbls) Parcial	V (bbls) Acumulado	h(in)	V (bbls) Parcial	V (bbls) Acumulado
161	20,8631586	2823,88971	201	18,4268557	3596,70765
162	20,8461421	2844,73585	202	18,3687733	3615,07642
163	20,8280899	2865,56394	203	19,0574122	3634,13383
164	19,8184554	2885,3824	204	18,9988798	3653,13271
165	19,7997925	2905,18219	205	18,9396258	3672,07234
166	19,7800934	2924,96228	206	18,8796499	3690,95199
167	19,7593572	2944,72164	207	18,8189515	3709,77094
168	19,737583	2964,45922	208	18,7575304	3728,52847
169	19,7147697	2984,17399	209	18,6953862	3747,22385
170	19,6909163	3003,86491	210	18,6325183	3765,85637
171	19,6660216	3023,53093	211	18,5689265	3784,4253
172	19,6400844	3043,17101	212	18,5046102	3802,92991
173	19,6131035	3062,78412	213	18,439569	3821,36948
174	19,5850775	3082,36919	214	18,3738025	3839,74328
175	19,5560052	3101,9252	215	18,3073103	3858,05059
176	19,525885	3121,45108	216	18,2400918	3876,29068
177	19,4947156	3140,9458	217	18,1721465	3894,46283
178	19,4624953	3160,4083	218	18,1034741	3912,5663
179	19,4292226	3179,83752	219	18,034074	3930,60038
180	19,3948959	3199,23241	220	17,9639456	3948,56432
181	19,3595133	3218,59193	221	17,8930885	3966,45741
182	19,3230731	3237,915	222	17,8215022	3984,27891
183	19,2855734	3257,20057	223	17,749186	4002,0281
184	19,2470124	3276,44759	224	17,6761396	4019,70424
185	19,2073879	3295,65497	225	17,6023621	4037,3066
186	19,166698	3314,82167	226	17,5278532	4054,83445
187	19,1249405	3333,94661	227	17,4526123	4072,28707
188	19,0821133	3353,02873	228	17,3766386	4089,66371
189	19,0382139	3372,06694	229	17,2999317	4106,96364
190	18,9932401	3391,06018	230	17,2224908	4124,18613
191	18,9471894	3410,00737	231	17,1443154	4141,33044
192	18,9000593	3428,90743	232	17,0654047	4158,39585
193	18,8518472	3447,75928	233	16,9857582	4175,38161
194	18,8025503	3466,56183	234	16,9053751	4192,28698
195	18,752166	3485,31399	235	16,8242547	4209,11124
196	18,7006913	3504,01468	236	16,7423963	4225,85363
197	18,6481233	3522,66281	237	16,6597993	4242,51343
198	18,594459	3541,25727	238	16,5764627	4259,08989
199	18,5396951	3559,79696	239	16,492386	4275,58228
200	18,4838285	3578,28079	240	16,4075682	4291,98985

Fuente: Valores calculados Tesis de Grado J. Murrieta – C. Malavé

TABLA 22

VOLUMEN DEL TANQUE POR CADA PULGADA 4/5

h (in)	V (bbls) Parcial	V (bbls) Acumulado	h(in)	V (bbls) Parcial	V (bbls) Acumulado
241	16,3220086	4308,31186	281	11,602562	4856,50026
242	16,2357064	4324,54756	282	12,1851088	4868,68537
243	15,4942149	4340,04178	283	12,0662151	4880,75158
244	15,4060673	4355,44785	284	11,9464742	4892,69806
245	15,3171648	4370,76501	285	11,8258826	4904,52394
246	15,2275061	4385,99252	286	11,7044367	4916,22838
247	15,1370903	4401,12961	287	11,5821328	4927,81051
248	15,0459163	4416,17552	288	11,458967	4939,26948
249	14,9539829	4431,12951	289	11,3349352	4950,60441
250	14,861289	4445,9908	290	11,2100332	4961,81444
251	14,7678334	4460,75863	291	11,0842567	4972,8987
252	14,6736149	4475,43224	292	10,9576012	4983,8563
253	14,5786322	4490,01088	293	10,830062	4994,68636
254	14,4828842	4504,49376	294	10,7016342	5005,388
255	14,3863693	4518,88013	295	10,5723126	5015,96031
256	14,2890864	4533,16922	296	10,442092	5026,4024
257	14,191034	4547,36025	297	10,3109668	5036,71337
258	14,0922108	4561,45246	298	10,1789313	5046,8923
259	13,9926152	4575,44508	299	10,0459793	5056,93828
260	13,8922457	4589,33732	300	9,91210466	5066,85039
261	13,7911009	4603,12842	301	9,7773007	5076,62769
262	13,6891792	4616,8176	302	9,64156052	5086,26925
263	13,5864789	4630,40408	303	9,50487689	5095,77412
264	13,4829983	4643,88708	304	9,36724222	5105,14137
265	13,3787357	4657,26581	305	9,22864855	5114,37001
266	13,2736895	4670,5395	306	9,0890875	5123,4591
267	13,1678576	4683,70736	307	8,94855028	5132,40765
268	13,0612383	4696,7686	308	8,80702762	5141,21468
269	12,9538296	4709,72243	309	8,66450977	5149,87919
270	12,8456296	4722,56806	310	8,52098642	5158,40018
271	12,7366362	4735,3047	311	8,37644669	5166,77662
272	12,6268472	4747,93154	312	8,23087907	5175,0075
273	12,5162605	4760,4478	313	8,08427139	5183,09177
274	12,4048738	4772,85268	314	7,93661072	5191,02838
275	12,2926848	4785,14536	315	7,78788334	5198,81627
276	12,1796911	4797,32505	316	7,63807465	5206,45434
277	12,0658902	4809,39094	317	7,48716911	5213,94151
278	11,9512795	4821,34222	318	7,33515014	5221,27666
279	11,8358564	4833,17808	319	7,182	5228,45866
280	11,7196182	4844,8977	320	7,0276997	5235,48636

Fuente: Valores calculados Tesis de Grado J. Murrieta – C. Malavé

TABLA 22

VOLUMEN DEL TANQUE POR CADA PULGADA 5/5

h (in)	V (bbls) Parcial	V (bbls) Acumulado	h(in)	V (bbls) Parcial	V (bbls) Acumulado
321	6,10777122	5241,59413	340	3,21906655	5329,11453
322	5,96143378	5247,55557	341	3,0607538	5332,17528
323	5,81445962	5253,37003	342	2,90182368	5335,07711
324	5,66684917	5259,03687	343	2,74227872	5337,81938
325	5,51860289	5264,55548	344	2,58212185	5340,40151
326	5,36972129	5269,9252	345	2,42135647	5342,82286
327	5,22020488	5275,1454	346	2,25998655	5345,08285
328	5,07005424	5280,21546	347	2,09801683	5347,18087
329	4,91926999	5285,13473	348	1,93545295	5349,11632
330	4,76785279	5289,90258	349	1,77230182	5350,88862
331	4,61580337	5294,51838	350	1,60857198	5352,49719
332	4,4631225	5298,98151	351	1,44427422	5353,94147
333	4,30981106	5303,29132	352	1,27942254	5355,22089
334	4,15586996	5307,44719	353	1,11403563	5356,33492
335	4,00130024	5311,44849	354	0,94813949	5357,28306
336	3,84610304	5315,29459	355	0,78177209	5358,06484
337	3,69027959	5318,98487	356	0,61499303	5358,67983
338	3,5338313	5322,5187	357	0,44790613	5359,12774
339	3,37675971	5325,89546			

Fuente: Valores calculados Tesis de Grado J. Murrieta – C. Malavé

4.4. Corrección del Volumen por Cambios Térmicos de la Plancha

Para calcular la corrección del volumen por expansión o contracción del tanque vamos a seguir el procedimiento de la sección 10 de la norma API 2552 tomado de la figura 4.14.

Corrección del Volumen = K (t_s - 60)

Donde,

K^1: Coeficiente tomado de la figura 7 del estándar API 2552

t_s : temperatura de servicio de la plancha del tanque, en grados Fahrenheit

t_s = 73 ºF

El coeficiente K está basado en un acero bajo en carbono, tiene un coeficiente de expansión térmica de 0.0000065, en la siguiente figura se describe el procedimiento para calcular el coeficiente K.

Donde:

D: Diámetro del tanque a 60 ºF (altura total del tanque)

H: Altura verdadera del líquido medido con la cinta de aforo corregida a 60 ºF

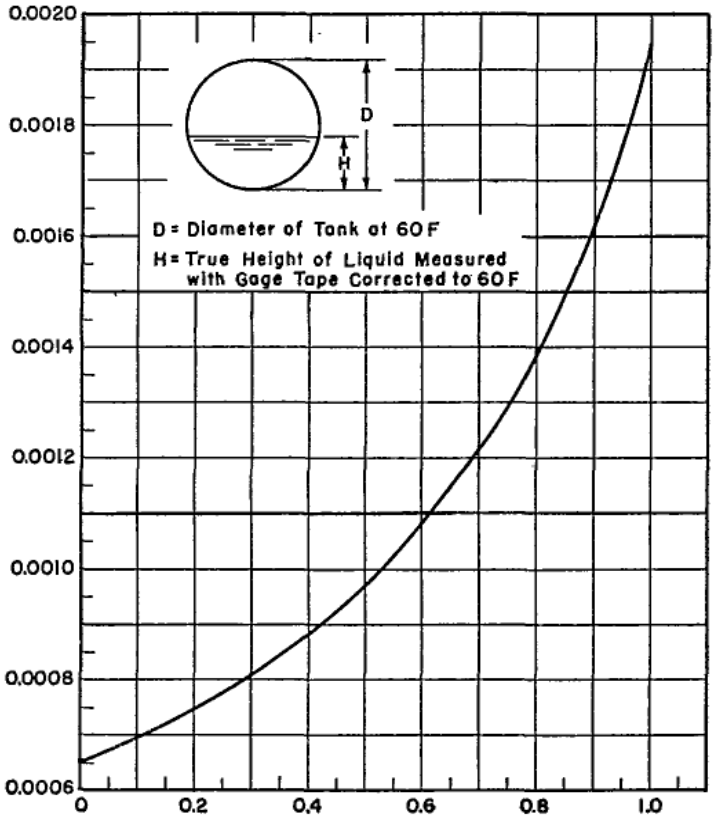
D = 10000 mm = 393,700787 in = 32,808399 ft

H = 33.07 + y

33.07 = altura de la mesa de aforo

y = altura de referencia desde la mesa de aforo

Procedimiento para calcular la corrección del volumen por expansión o contracción térmica de tanques esféricos y esferoidales.



Coeficiente K^1 para $\propto m$ = 0.0000065 por Grado F (Porcentaje de Corrección)

Valor de H/D

Fuente: API MPMS 2.2 A

FIGURA 4.15. COEFICIENTE DE CORRECCION DE VOLUMEN POR EXPANSIÓN O CONTRACCIÓN TÉRMICA PARA TANQUES ESFERICOS Y ESFEROIDALES DE ACEROS BAJO EN CARBONO

El coeficiente K^1 es obtenido de la curva mostrada en la figura anterior, que está basada en un principal coeficiente de expansión térmica,$\propto m$, de 0.0000065 por grado F. El valor, K^1, tomado de la curva puede ser ajustado para la actual expansión térmica, $\propto m$, del material del tanque a la actual temperatura del tanque, t.

Para aceros bajo en carbono y estructuras de aluminio, los valores de $\propto m$ son:

Temperatura de la Pared del Tanque t, °F	Valor de ∝ m por °F
Steel	
−70 to −21	0.0000060
−20 to +28	0.0000061
+29 to 78	0.0000062
79 to 128	0.0000063
129 to 177	0.0000064
178 to 227	0.0000065
228 to 276	0.0000066
277 to 326	0.0000067
327 to 376	0.0000068
377 to 425	0.0000069
Aluminum	
−70 to −11	0.0000122
−10 to +49	0.0000124
+50 to 109	0.0000126
110 to 169	0.0000128
170 to 229	0.0000130
230 to 289	0.0000132
290 to 349	0.0000134
350 to 409	0.0000136

Fuente: API MPMS 2.2 A

FIGURA 4.15. VALORES DE $\propto m$ PARA ACEROS BAJO EN CARBONO Y ALUMINIO

El valor de K para usar en la corrección del volumen es igual a K^1 de la curva mostrada en la Figura 4.14, dividida por 0.0000065 por grado °F y multiplicada por el valor apropiado de $\propto m$ para el material de la plancha del tanque temperatura correspondiente, esto es:

$$\mathrm{K} = K^1 \frac{\propto m}{0.0000065}$$

Donde:

$\propto m$ = el coeficiente principal de expansión lineal entre la temperatura, t=60°F. En la tabla 23 se muestra la corrección del volumen por expansión o contracción térmica del tanque 31.

TABLA 23

CORRECCIÓN DEL VOLUMEN POR CAMBIO TÉRMICO DEL TANQUE 1/9

h (in)	H =33,07+h	H / D	K1	K	V=K(ts-60)	V Parcial (bbls)	V Total (bbls)
0	33,07	0,0839978	0,00067	0,00063908	0,008308	0,008308	133,35402
1	34,07	0,0865378	0,00067	0,00063908	0,008308	7,64070712	141,003035
2	35,07	0,0890778	0,00068	0,00064862	0,008432	7,8930816	148,904549
3	36,07	0,0916178	0,00068	0,00064862	0,008432	8,13462414	157,047605
4	37,07	0,0941578	0,00069	0,00065815	0,008556	8,36693492	165,423096
5	38,07	0,0966978	0,00069	0,00065815	0,008556	8,59083174	174,022483
6	39,07	0,0992378	0,00069	0,00065815	0,008556	8,80729656	182,838336
7	40,07	0,1017778	0,00069	0,00065815	0,008556	9,01703237	191,863924
8	41,07	0,1043178	0,00069	0,00065815	0,008556	9,22062381	201,093104
9	42,07	0,1068578	0,00069	0,00065815	0,008556	9,41856347	210,520224
10	43,07	0,1093978	0,0007	0,00066769	0,00868	9,61139501	220,140299
11	44,07	0,1119378	0,0007	0,00066769	0,00868	9,79923149	229,94821
12	45,07	0,1144778	0,00071	0,00067723	0,008804	9,9826343	239,939648
13	46,07	0,1170178	0,00071	0,00067723	0,008804	10,1616295	250,110082
14	47,07	0,1195578	0,00071	0,00067723	0,008804	10,3747885	260,493674
15	48,07	0,1220978	0,00071	0,00067723	0,008804	10,6001235	271,102602
16	49,07	0,1246378	0,00072	0,00068677	0,008928	10,7854053	281,896935
17	50,07	0,1271778	0,00072	0,00068677	0,008928	10,9980201	292,903883
18	51,07	0,1297178	0,00072	0,00068677	0,008928	11,2016043	304,114415
19	52,07	0,1322578	0,00072	0,00068677	0,008928	11,377753	315,501096
20	53,07	0,1347978	0,00072	0,00068677	0,008928	11,3120644	326,822089
21	54,07	0,1373378	0,00072	0,00068677	0,008928	11,4636165	338,294633
22	55,07	0,1398778	0,00072	0,00068677	0,008928	11,6123405	349,915902
23	56,07	0,1424178	0,00072	0,00068677	0,008928	11,7583327	361,683163
24	57,07	0,1449578	0,00072	0,00068677	0,008928	11,9016816	373,593772
25	58,07	0,1474978	0,00072	0,00068677	0,008928	12,0424689	385,645169
26	59,07	0,1500378	0,00072	0,00068677	0,008928	12,1807699	397,834867
27	60,07	0,1525778	0,00072	0,00068677	0,008928	12,0658292	409,909624
28	61,07	0,1551178	0,000723	0,00068963	0,0089652	12,1990095	422,117599
29	62,07	0,1576578	0,000723	0,00068963	0,0089652	12,3304784	434,457043
30	63,07	0,1601978	0,000724	0,00069058	0,0089776	12,460314	446,926334
31	64,07	0,1627378	0,000724	0,00069058	0,0089776	12,5885186	459,52383
32	65,07	0,1652778	0,000724	0,00069058	0,0089776	12,7151303	472,247938
33	66,07	0,1678178	0,000724	0,00069058	0,0089776	12,853601	485,110517
34	67,07	0,1703578	0,000725	0,00069154	0,00899	12,9866525	498,106159
35	68,07	0,1728978	0,00073	0,00069631	0,009052	13,1209766	511,236188
36	69,07	0,1754378	0,00073	0,00069631	0,009052	13,2554516	524,500692
37	70,07	0,1779778	0,00073	0,00069631	0,009052	13,3896795	537,899423
38	71,07	0,1805178	0,00074	0,00070585	0,009176	13,523464	551,432063
39	72,07	0,1830578	0,00074	0,00070585	0,009176	13,6563011	565,09754
40	73,07	0,1855978	0,00074	0,00070585	0,009176	13,7880923	578,894809

Fuente: Valores calculados Tesis de Grado J. Murrieta – C. Malavé

TABLA 23
CORRECCIÓN DEL VOLUMEN POR CAMBIO TÉRMICO DEL TANQUE 2/9

h (in)	H =33,07+h	H / D	K1	K	V=K(ts-60)	V Parcial (bbls)	V Total (bbls)
41	74,07	0,1881378	0,00074	0,00070585	0,009176	13,918632	592,822617
42	75,07	0,1906778	0,00074	0,00070585	0,009176	14,047721	606,879514
43	76,07	0,1932178	0,00074	0,00070585	0,009176	14,175157	621,063847
44	77,07	0,1957578	0,00074	0,00070585	0,009176	14,3007249	635,373747
45	78,07	0,1982978	0,00074	0,00070585	0,009176	14,4241838	649,807107
46	79,07	0,2008378	0,000742	0,00070775	0,0092008	14,54527	664,361578
47	80,07	0,2033778	0,000742	0,00070775	0,0092008	14,6635512	679,03433
48	81,07	0,2059178	0,000745	0,00071062	0,009238	14,7784639	693,822032
49	82,07	0,2084578	0,000746	0,00071157	0,0092504	14,8900551	708,721337
50	83,07	0,2109978	0,00075	0,00071538	0,0093	14,9973819	723,728019
51	84,07	0,2135378	0,00075	0,00071538	0,0093	15,0995173	738,836837
52	85,07	0,2160778	0,00075	0,00071538	0,0093	14,9434507	753,789587
53	86,07	0,2186178	0,00075	0,00071538	0,0093	15,0408108	768,839698
54	87,07	0,2211578	0,00076	0,00072492	0,009424	15,137045	783,986167
55	88,07	0,2236978	0,00076	0,00072492	0,009424	15,2319146	799,227506
56	89,07	0,2262378	0,00076	0,00072492	0,009424	15,3255526	814,562482
57	90,07	0,2287778	0,00076	0,00072492	0,009424	15,4179677	829,989874
58	91,07	0,2313178	0,00076	0,00072492	0,009424	15,5091684	845,508466
59	92,07	0,2338578	0,00076	0,00072492	0,009424	15,5991626	861,117053
60	93,07	0,2363978	0,00077	0,00073446	0,009548	15,6880822	876,814683
61	94,07	0,2389378	0,00077	0,00073446	0,009548	15,7756869	892,599918
62	95,07	0,2414778	0,00077	0,00073446	0,009548	15,8621078	908,471574
63	96,07	0,2440178	0,00077	0,00073446	0,009548	15,947352	924,428474
64	97,07	0,2465578	0,00077	0,00073446	0,009548	16,0314263	940,469448
65	98,07	0,2490978	0,00078	0,000744	0,009672	16,1144614	956,593582
66	99,07	0,2516378	0,00078	0,000744	0,009672	16,7975211	973,400775
67	100,07	0,2541778	0,00078	0,000744	0,009672	16,8843097	990,294757
68	101,07	0,2567178	0,00078	0,000744	0,009672	16,9698765	1007,27431
69	102,07	0,2592578	0,00078	0,000744	0,009672	17,0542287	1024,33821
70	103,07	0,2617978	0,00078	0,000744	0,009672	17,1373733	1041,48525
71	104,07	0,2643378	0,00078	0,000744	0,009672	17,2193171	1058,71424
72	105,07	0,2668778	0,00078	0,000744	0,009672	17,3000665	1076,02398
73	106,07	0,2694178	0,00079	0,00075354	0,009796	17,379752	1093,41353
74	107,07	0,2719578	0,00079	0,00075354	0,009796	17,4581318	1110,88145
75	108,07	0,2744978	0,00079	0,00075354	0,009796	17,613939	1128,50519
76	109,07	0,2770378	0,00079	0,00075354	0,009796	17,6903138	1146,2053
77	110,07	0,2795778	0,00079	0,00075354	0,009796	17,7655188	1163,98061
78	111,07	0,2821178	0,00079	0,00075354	0,009796	17,8395596	1181,82997
79	112,07	0,2846578	0,00079	0,00075354	0,009796	17,9124412	1199,75221
80	113,07	0,2871978	0,00079	0,00075354	0,009796	17,984169	1217,74617

Fuente: Valores calculados Tesis de Grado J. Murrieta – C. Malavé

TABLA 23

CORRECCIÓN DEL VOLUMEN POR CAMBIO TÉRMICO DEL TANQUE 3/9

h (in)	H =33,07+h	H / D	K1	K	V=K(ts-60)	V Parcial (bbls)	V Total (bbls)
81	114,07	0,2897378	0,00079	0,00075354	0,009796	18,0547476	1235,81072
82	115,07	0,2922778	0,00079	0,00075354	0,009796	18,1241821	1253,94469
83	116,07	0,2948178	0,0079	0,00753538	0,09796	18,280641	1272,32329
84	117,07	0,2973578	0,0008	0,00076308	0,00992	18,2597608	1290,59298
85	118,07	0,2998978	0,0008	0,00076308	0,00992	18,3257899	1308,92869
86	119,07	0,3024378	0,0008	0,00076308	0,00992	18,3906924	1327,3293
87	120,07	0,3049778	0,00081	0,00077262	0,010044	18,4545966	1345,79394
88	121,07	0,3075178	0,00081	0,00077262	0,010044	18,5172585	1364,32124
89	122,07	0,3100578	0,00081	0,00077262	0,010044	18,5788057	1382,91009
90	123,07	0,3125978	0,00082	0,00078215	0,010168	18,6393662	1401,55962
91	124,07	0,3151378	0,00082	0,00078215	0,010168	18,6986956	1420,26849
92	125,07	0,3176778	0,00082	0,00078215	0,010168	18,7569213	1439,03558
93	126,07	0,3202178	0,00082	0,00078215	0,010168	18,8140468	1457,85979
94	127,07	0,3227578	0,00082	0,00078215	0,010168	18,8700754	1476,74004
95	128,07	0,3252978	0,00082	0,00078215	0,010168	18,9250103	1495,67521
96	129,07	0,3278378	0,00082	0,00078215	0,010168	18,9788547	1514,66424
97	130,07	0,3303778	0,00082	0,00078215	0,010168	19,0316115	1533,70602
98	131,07	0,3329178	0,00082	0,00078215	0,010168	19,0832837	1552,79947
99	132,07	0,3354578	0,00082	0,00078215	0,010168	19,1338742	1571,94351
100	133,07	0,3379978	0,00083	0,00079169	0,010292	19,1835097	1591,13731
101	134,07	0,3405378	0,00083	0,00079169	0,010292	19,2319449	1610,37955
102	135,07	0,3430778	0,00083	0,00079169	0,010292	19,2793063	1629,66915
103	136,07	0,3456178	0,00083	0,00079169	0,010292	19,3255965	1649,00504
104	137,07	0,3481578	0,00083	0,00079169	0,010292	19,3708179	1668,38615
105	138,07	0,3506978	0,00084	0,00080123	0,010416	19,4150968	1687,81166
106	139,07	0,3532378	0,00084	0,00080123	0,010416	19,5981767	1707,42025
107	140,07	0,3557778	0,00084	0,00080123	0,010416	19,6322133	1727,06288
108	141,07	0,3583178	0,00084	0,00080123	0,010416	19,665471	1746,73877
109	142,07	0,3608578	0,00084	0,00080123	0,010416	19,6979503	1766,44713
110	143,07	0,3633978	0,00085	0,00081077	0,01054	19,7297754	1786,18745
111	144,07	0,3659378	0,00085	0,00081077	0,01054	19,7606989	1805,95869
112	145,07	0,3684778	0,00085	0,00081077	0,01054	19,790845	1825,76007
113	146,07	0,3710178	0,00085	0,00081077	0,01054	19,8202142	1845,59083
114	147,07	0,3735578	0,00085	0,00081077	0,01054	19,8488067	1865,45017
115	148,07	0,3760978	0,00085	0,00081077	0,01054	19,8766229	1885,33734
116	149,07	0,3786378	0,00086	0,00082031	0,010664	19,9037871	1905,25179
117	150,07	0,3811778	0,00086	0,00082031	0,010664	19,9300516	1925,1925
118	151,07	0,3837178	0,00086	0,00082031	0,010664	19,9555408	1945,15871
119	152,07	0,3862578	0,00086	0,00082031	0,010664	19,9802548	1965,14963
120	153,07	0,3887978	0,00086	0,00082031	0,010664	20,0041941	1985,16449

Fuente: Valores calculados Tesis de Grado J. Murrieta – C. Malavé

TABLA 23

CORRECCIÓN DEL VOLUMEN POR CAMBIO TÉRMICO DEL TANQUE 4/9

h (in)	H =33,07+h	H / D	K1	K	V=K(ts-60)	V Parcial (bbls)	V Total (bbls)
121	154,07	0,3913378	0,00087	0,00082985	0,010788	20,0274828	2005,20276
122	155,07	0,3938778	0,00087	0,00082985	0,010788	20,0498732	2025,26342
123	156,07	0,3964178	0,00087	0,00082985	0,010788	20,0714896	2045,34569
124	157,07	0,3989578	0,0087	0,00829846	0,10788	20,1894243	2065,643
125	158,07	0,4014978	0,00087	0,00082985	0,010788	20,1124013	2085,76619
126	159,07	0,4040378	0,00088	0,00083938	0,010912	20,1318211	2105,90892
127	160,07	0,4065778	0,00088	0,00083938	0,010912	20,1503437	2126,07018
128	161,07	0,4091178	0,00088	0,00083938	0,010912	20,1680935	2146,24918
129	162,07	0,4116578	0,00088	0,00083938	0,010912	20,1850705	2166,44517
130	163,07	0,4141978	0,00088	0,00083938	0,010912	20,201275	2186,65735
131	164,07	0,4167378	0,00088	0,00083938	0,010912	20,2167071	2206,88497
132	165,07	0,4192778	0,00089	0,00084892	0,011036	20,2314911	2227,1275
133	166,07	0,4218178	0,00089	0,00084892	0,011036	20,2453791	2247,38391
134	167,07	0,4243578	0,00089	0,00084892	0,011036	20,2584952	2267,65344
135	168,07	0,4268978	0,00089	0,00084892	0,011036	20,2708396	2287,93532
136	169,07	0,4294378	0,00089	0,00084892	0,011036	20,2824124	2308,22877
137	170,07	0,4319778	0,0009	0,00085846	0,01116	20,2933377	2328,53327
138	171,07	0,4345178	0,0009	0,00085846	0,01116	20,3033677	2348,84779
139	172,07	0,4370578	0,0009	0,00085846	0,01116	20,3126265	2369,17158
140	173,07	0,4395978	0,0009	0,00085846	0,01116	20,3211141	2389,50385
141	174,07	0,4421378	0,00091	0,000868	0,011284	20,3289547	2409,84409
142	175,07	0,4446778	0,00091	0,000868	0,011284	20,3359003	2430,19128
143	176,07	0,4472178	0,00091	0,000868	0,011284	20,3420751	2450,54464
144	177,07	0,4497578	0,00091	0,000868	0,011284	20,347479	2470,9034
145	178,07	0,4522978	0,00092	0,00087754	0,011408	21,0064339	2491,92124
146	179,07	0,4548378	0,00092	0,00087754	0,011408	21,0059193	2512,93857
147	180,07	0,4573778	0,00092	0,00087754	0,011408	21,0043754	2533,95435
148	181,07	0,4599178	0,00092	0,00087754	0,011408	21,0018021	2554,96756
149	182,07	0,4624578	0,00092	0,00087754	0,011408	20,9981994	2575,97717
150	183,07	0,4649978	0,00092	0,00087754	0,011408	20,993567	2596,98214
151	184,07	0,4675378	0,00092	0,00087754	0,011408	20,9879049	2617,98146
152	185,07	0,4700778	0,00093	0,00088708	0,011532	20,9813366	2638,97433
153	186,07	0,4726178	0,00093	0,00088708	0,011532	20,973614	2659,95947
154	187,07	0,4751578	0,00093	0,00088708	0,011532	20,9648607	2680,93586
155	188,07	0,4776978	0,00093	0,00088708	0,011532	20,9550764	2701,90247
156	189,07	0,4802378	0,00094	0,00089662	0,011656	20,9443845	2722,85851
157	190,07	0,4827778	0,00094	0,00089662	0,011656	20,9325367	2743,80271
158	191,07	0,4853178	0,00095	0,00090615	0,01178	20,9197804	2764,73427
159	192,07	0,4878578	0,00095	0,00090615	0,01178	20,905867	2785,65191
160	193,07	0,4903978	0,00096	0,00091569	0,011904	20,8910439	2806,55486

Fuente: Valores calculados Tesis de Grado J. Murrieta – C. Malavé

TABLA 23

CORRECCIÓN DEL VOLUMEN POR CAMBIO TÉRMICO DEL TANQUE 5/9

h (in)	H =33,07+h	H / D	K1	K	V=K(ts-60)	V Parcial (bbls)	V Total (bbls)
161	194,07	0,4929378	0,00096	0,00091569	0,011904	20,8750626	2827,44183
162	195,07	0,4954778	0,00096	0,00091569	0,011904	20,8580461	2848,31178
163	196,07	0,4980178	0,00096	0,00091569	0,011904	20,8399939	2869,16368
164	197,07	0,5005578	0,00097	0,00092523	0,012028	19,8304834	2889,00619
165	198,07	0,5030978	0,00097	0,00092523	0,012028	19,8118205	2908,83004
166	199,07	0,5056378	0,00097	0,00092523	0,012028	19,7921214	2928,63419
167	200,07	0,5081778	0,00097	0,00092523	0,012028	19,7713852	2948,4176
168	201,07	0,5107178	0,00097	0,00092523	0,012028	19,749611	2968,17924
169	202,07	0,5132578	0,00098	0,00093477	0,012152	19,7269217	2987,91831
170	203,07	0,5157978	0,00098	0,00093477	0,012152	19,7030683	3007,63353
171	204,07	0,5183378	0,00098	0,00093477	0,012152	19,6781736	3027,32386
172	205,07	0,5208778	0,00098	0,00093477	0,012152	19,6522364	3046,98825
173	206,07	0,5234178	0,00098	0,00093477	0,012152	19,6252555	3066,62565
174	207,07	0,5259578	0,00098	0,00093477	0,012152	19,5972295	3086,23503
175	208,07	0,5284978	0,00099	0,00094431	0,012276	19,5682812	3105,81559
176	209,07	0,5310378	0,00099	0,00094431	0,012276	19,538161	3125,36603
177	210,07	0,5335778	0,00099	0,00094431	0,012276	19,5069916	3144,8853
178	211,07	0,5361178	0,00099	0,00094431	0,012276	19,4747713	3164,37234
179	212,07	0,5386578	0,00099	0,00094431	0,012276	19,4414986	3183,82612
180	213,07	0,5411978	0,001	0,00095385	0,0124	19,4072959	3203,24581
181	214,07	0,5437378	0,001	0,00095385	0,0124	19,3719133	3222,63013
182	215,07	0,5462778	0,001	0,00095385	0,0124	19,3354731	3241,978
183	216,07	0,5488178	0,001	0,00095385	0,0124	19,2979734	3261,28837
184	217,07	0,5513578	0,00101	0,00096338	0,012524	19,2595364	3280,56043
185	218,07	0,5538978	0,00101	0,00096338	0,012524	19,2199119	3299,79287
186	219,07	0,5564378	0,00101	0,00096338	0,012524	19,179222	3318,98462
187	220,07	0,5589778	0,00102	0,00097292	0,012648	19,1375885	3338,13485
188	221,07	0,5615178	0,00102	0,00097292	0,012648	19,0947613	3357,24226
189	222,07	0,5640578	0,00102	0,00097292	0,012648	19,0508619	3376,30577
190	223,07	0,5665978	0,00103	0,00098246	0,012772	19,0060121	3395,32456
191	224,07	0,5691378	0,00103	0,00098246	0,012772	18,9599614	3414,29729
192	225,07	0,5716778	0,00103	0,00098246	0,012772	18,9128313	3433,22289
193	226,07	0,5742178	0,00104	0,000992	0,012896	18,8647432	3452,10053
194	227,07	0,5767578	0,00104	0,000992	0,012896	18,8154463	3470,92887
195	228,07	0,5792978	0,00104	0,000992	0,012896	18,765062	3489,70683
196	229,07	0,5818378	0,00105	0,00100154	0,01302	18,7137113	3508,43356
197	230,07	0,5843778	0,00105	0,00100154	0,01302	18,6611433	3527,10773
198	231,07	0,5869178	0,00105	0,00100154	0,01302	18,607479	3545,72823
199	232,07	0,5894578	0,00105	0,00100154	0,01302	18,5527151	3564,29396
200	233,07	0,5919978	0,00106	0,00101108	0,013144	18,4969725	3582,80408

Fuente: Valores calculados Tesis de Grado J. Murrieta – C. Malavé

TABLA 23

CORRECCIÓN DEL VOLUMEN POR CAMBIO TÉRMICO DEL TANQUE 6/9

h (in)	H =33,07+h	H / D	K1	K	V=K(ts-60)	V Parcial (bbls)	V Total (bbls)
201	234,07	0,5945378	0,00106	0,00101108	0,013144	18,4399997	3601,25722
202	235,07	0,5970778	0,00107	0,00102062	0,013268	18,3820413	3619,65253
203	236,07	0,5996178	0,00107	0,00102062	0,013268	19,0706802	3638,73648
204	237,07	0,6021578	0,00108	0,00103015	0,013392	19,0122718	3657,76214
205	238,07	0,6046978	0,00108	0,00103015	0,013392	18,9530178	3676,72855
206	239,07	0,6072378	0,00108	0,00103015	0,013392	18,8930419	3695,63499
207	240,07	0,6097778	0,00108	0,00103015	0,013392	18,8323435	3714,48072
208	241,07	0,6123178	0,00109	0,00103969	0,013516	18,7710464	3733,26528
209	242,07	0,6148578	0,00109	0,00103969	0,013516	18,7089022	3751,9877
210	243,07	0,6173978	0,00109	0,00103969	0,013516	18,6460343	3770,64725
211	244,07	0,6199378	0,00109	0,00103969	0,013516	18,5824425	3789,24321
212	245,07	0,6224778	0,0011	0,00104923	0,01364	18,5182502	3807,7751
213	246,07	0,6250178	0,0011	0,00104923	0,01364	18,453209	3826,24195
214	247,07	0,6275578	0,0011	0,00104923	0,01364	18,3874425	3844,64303
215	248,07	0,6300978	0,00112	0,00106831	0,013888	18,3211983	3862,97812
216	249,07	0,6326378	0,00112	0,00106831	0,013888	18,2539798	3881,24599
217	250,07	0,6351778	0,00113	0,00107785	0,014012	18,1861585	3899,44616
218	251,07	0,6377178	0,00113	0,00107785	0,014012	18,1174861	3917,57766
219	252,07	0,6402578	0,00114	0,00108738	0,014136	18,04821	3935,64
220	253,07	0,6427978	0,00114	0,00108738	0,014136	17,9780816	3953,63222
221	254,07	0,6453378	0,00114	0,00108738	0,014136	17,9072245	3971,55358
222	255,07	0,6478778	0,00114	0,00108738	0,014136	17,8356382	3989,40335
223	256,07	0,6504178	0,00115	0,00109692	0,01426	17,763446	4007,18106
224	257,07	0,6529578	0,00115	0,00109692	0,01426	17,6903996	4024,88572
225	258,07	0,6554978	0,00115	0,00109692	0,01426	17,6166221	4042,5166
226	259,07	0,6580378	0,00115	0,00109692	0,01426	17,5421132	4060,07298
227	260,07	0,6605778	0,00116	0,00110646	0,014384	17,4669963	4077,55436
228	261,07	0,6631178	0,00116	0,00110646	0,014384	17,3910226	4094,95976
229	262,07	0,6656578	0,00116	0,00110646	0,014384	17,3143157	4112,28846
230	263,07	0,6681978	0,00116	0,00110646	0,014384	17,2368748	4129,53972
231	264,07	0,6707378	0,0017	0,00162154	0,02108	17,1653954	4146,7262
232	265,07	0,6732778	0,0017	0,00162154	0,02108	17,0864847	4163,83376
233	266,07	0,6758178	0,00117	0,001116	0,014508	17,0002662	4180,84853
234	267,07	0,6783578	0,00117	0,001116	0,014508	16,9198831	4197,78293
235	268,07	0,6808978	0,00118	0,00112554	0,014632	16,8388867	4214,63644
236	269,07	0,6834378	0,00118	0,00112554	0,014632	16,7570283	4231,4081
237	270,07	0,6859778	0,00118	0,00112554	0,014632	16,6744313	4248,09717
238	271,07	0,6885178	0,00118	0,00112554	0,014632	16,5910947	4264,70289
239	272,07	0,6910578	0,00119	0,00113508	0,014756	16,507142	4281,22479
240	273,07	0,6935978	0,00119	0,00113508	0,014756	16,4223242	4297,66187

Fuente: Valores calculados Tesis de Grado J. Murrieta – C. Malavé

TABLA 23

CORRECCIÓN DEL VOLUMEN POR CAMBIO TÉRMICO DEL TANQUE 7/9

h (in)	H =33,07+h	H / D	K1	K	V=K(ts-60)	V Parcial (bbls)	V Total (bbls)
241	274,07	0,6961378	0,0012	0,00114462	0,01488	16,3368886	4314,01364
242	275,07	0,6986778	0,0012	0,00114462	0,01488	16,2505864	4330,27911
243	276,07	0,7012178	0,00121	0,00115415	0,015004	15,5092189	4345,80333
244	277,07	0,7037578	0,00121	0,00115415	0,015004	15,4210713	4361,23941
245	278,07	0,7062978	0,00121	0,00115415	0,015004	15,3321688	4376,58658
246	279,07	0,7088378	0,00121	0,00115415	0,015004	15,2425101	4391,84409
247	280,07	0,7113778	0,00122	0,00116369	0,015128	15,1522183	4407,01144
248	281,07	0,7139178	0,00122	0,00116369	0,015128	15,0610443	4422,08761
249	282,07	0,7164578	0,00122	0,00116369	0,015128	14,9691109	4437,07185
250	283,07	0,7189978	0,00122	0,00116369	0,015128	14,876417	4451,9634
251	284,07	0,7215378	0,00123	0,00117323	0,015252	14,7830854	4466,76173
252	285,07	0,7240778	0,00123	0,00117323	0,015252	14,6888669	4481,46585
253	286,07	0,7266178	0,00123	0,00117323	0,015252	14,5938842	4496,07499
254	287,07	0,7291578	0,00123	0,00117323	0,015252	14,4981362	4510,58838
255	288,07	0,7316978	0,00124	0,00118277	0,015376	14,4017453	4525,0055
256	289,07	0,7342378	0,00124	0,00118277	0,015376	14,3044624	4539,32534
257	290,07	0,7367778	0,00124	0,00118277	0,015376	14,20641	4553,54712
258	291,07	0,7393178	0,00125	0,00119231	0,0155	14,1077108	4567,67033
259	292,07	0,7418578	0,00126	0,00120185	0,015624	14,0082392	4581,6942
260	293,07	0,7443978	0,00126	0,00120185	0,015624	13,9078697	4595,61769
261	294,07	0,7469378	0,00127	0,00121138	0,015748	13,8068489	4609,44029
262	295,07	0,7494778	0,00127	0,00121138	0,015748	13,7049272	4623,16096
263	296,07	0,7520178	0,00128	0,00122092	0,015872	13,6023509	4636,77918
264	297,07	0,7545578	0,00128	0,00122092	0,015872	13,4988703	4650,29393
265	298,07	0,7570978	0,00129	0,00123046	0,015996	13,3947317	4663,70465
266	299,07	0,7596378	0,00129	0,00123046	0,015996	13,2896855	4677,01034
267	300,07	0,7621778	0,0013	0,00124	0,01612	13,1839776	4690,21043
268	301,07	0,7647178	0,0013	0,00124	0,01612	13,0773583	4703,30391
269	302,07	0,7672578	0,00131	0,00124954	0,016244	12,9700736	4716,29023
270	303,07	0,7697978	0,00131	0,00124954	0,016244	12,8618736	4729,16835
271	304,07	0,7723378	0,00131	0,00124954	0,016244	12,7528802	4741,93747
272	305,07	0,7748778	0,00132	0,00125908	0,016368	12,6432152	4754,59705
273	306,07	0,7774178	0,00132	0,00125908	0,016368	12,5326285	4767,14605
274	307,07	0,7799578	0,00133	0,00126862	0,016492	12,4213658	4779,58391
275	308,07	0,7824978	0,00134	0,00127815	0,016616	12,3093008	4791,90983
276	309,07	0,7850378	0,00135	0,00128769	0,01674	12,1964311	4804,123
277	310,07	0,7875778	0,00135	0,00128769	0,01674	12,0826302	4816,22237
278	311,07	0,7901178	0,00136	0,00129723	0,016864	11,9681435	4828,20737
279	312,07	0,7926578	0,00136	0,00129723	0,016864	11,8527204	4840,07696
280	313,07	0,7951978	0,00136	0,00129723	0,016864	11,7364822	4851,83031

Fuente: Valores calculados Tesis de Grado J. Murrieta – C. Malavé

TABLA 23

CORRECCIÓN DEL VOLUMEN POR CAMBIO TÉRMICO DEL TANQUE 8/9

h (in)	H =33,07+h	H / D	K1	K	V=K(ts-60)	V Parcial (bbls)	V Total (bbls)
281	314,07	0,7977378	0,00137	0,00130677	0,016988	11,61955	4863,46684
282	315,07	0,8002778	0,00137	0,00130677	0,016988	12,2020968	4875,68593
283	316,07	0,8028178	0,00138	0,00131631	0,017112	12,0833271	4887,78637
284	317,07	0,8053578	0,00139	0,00132585	0,017236	11,9637102	4899,76731
285	318,07	0,8078978	0,0014	0,00133538	0,01736	11,8432426	4911,62792
286	319,07	0,8104378	0,0014	0,00133538	0,01736	11,7217967	4923,36707
287	320,07	0,8129778	0,00141	0,00134492	0,017484	11,5996168	4934,98417
288	321,07	0,8155178	0,00141	0,00134492	0,017484	11,476451	4946,47811
289	322,07	0,8180578	0,00142	0,00135446	0,017608	11,3525432	4957,84826
290	323,07	0,8205978	0,00142	0,00135446	0,017608	11,2276412	4969,09351
291	324,07	0,8231378	0,00142	0,00135446	0,017608	11,1018647	4980,21298
292	325,07	0,8256778	0,00143	0,001364	0,017732	10,9753332	4991,20605
293	326,07	0,8282178	0,00143	0,001364	0,017732	10,847794	5002,07157
294	327,07	0,8307578	0,00144	0,00137354	0,017856	10,7194902	5012,80892
295	328,07	0,8332978	0,00144	0,00137354	0,017856	10,5901686	5023,41694
296	329,07	0,8358378	0,00145	0,00138308	0,01798	10,460072	5033,895
297	330,07	0,8383778	0,00145	0,00138308	0,01798	10,3289468	5044,24192
298	331,07	0,8409178	0,00146	0,00139262	0,018104	10,1970353	5054,45706
299	332,07	0,8434578	0,00146	0,00139262	0,018104	10,0640833	5064,53925
300	333,07	0,8459978	0,00147	0,00140215	0,018228	9,93033266	5074,48781
301	334,07	0,8485378	0,00148	0,00141169	0,018352	9,7956527	5084,30181
302	335,07	0,8510778	0,00148	0,00141169	0,018352	9,65991252	5093,98008
303	336,07	0,8536178	0,00149	0,00142123	0,018476	9,52335289	5103,52191
304	337,07	0,8561578	0,0015	0,00143077	0,0186	9,38584222	5112,92635
305	338,07	0,8586978	0,0015	0,00143077	0,0186	9,24724855	5122,1922
306	339,07	0,8612378	0,0015	0,00143077	0,0186	9,1076875	5131,31849
307	340,07	0,8637778	0,00151	0,00144031	0,018724	8,96727428	5140,30448
308	341,07	0,8663178	0,00151	0,00144031	0,018724	8,82575162	5149,14896
309	342,07	0,8688578	0,00151	0,00144031	0,018724	8,68323377	5157,85092
310	343,07	0,8713978	0,00152	0,00144985	0,018848	8,53983442	5166,4096
311	344,07	0,8739378	0,00152	0,00144985	0,018848	8,39529469	5174,82374
312	345,07	0,8764778	0,00153	0,00145938	0,018972	8,24985107	5183,09257
313	346,07	0,8790178	0,00154	0,00146892	0,019096	8,10336739	5191,21503
314	347,07	0,8815578	0,00154	0,00146892	0,019096	7,95570672	5199,18983
315	348,07	0,8840978	0,0055	0,00524615	0,0682	7,85608334	5207,11412
316	349,07	0,8866378	0,00156	0,001488	0,019344	7,65741865	5214,79088
317	350,07	0,8891778	0,0157	0,01497538	0,19468	7,68184911	5222,66741
318	351,07	0,8917178	0,00158	0,00150708	0,019592	7,35474214	5230,04174
319	352,07	0,8942578	0,00159	0,00151662	0,019716	7,201716	5237,26317
320	353,07	0,8967978	0,0016	0,00152615	0,01984	7,0475397	5244,33055

Fuente: Valores calculados Tesis de Grado J. Murrieta – C. Malavé

TABLA 23

CORRECCIÓN DEL VOLUMEN POR CAMBIO TÉRMICO DEL TANQUE 9/9

h (in)	H =33,07+h	H / D	K1	K	V=K(ts-60)	V Parcial (bbls)	V Total (bbls)
321	354,07	0,8993378	0,0016	0,00152615	0,01984	6,12761122	5250,478
322	355,07	0,9018778	0,00161	0,00153569	0,019964	5,98139778	5256,47937
323	356,07	0,9044178	0,00161	0,00153569	0,019964	5,83442362	5262,33375
324	357,07	0,9069578	0,00161	0,00153569	0,019964	5,68681317	5268,04053
325	358,07	0,9094978	0,00161	0,00153569	0,019964	5,53856689	5273,59906
326	359,07	0,9120378	0,00162	0,00154523	0,020088	5,38980929	5279,00896
327	360,07	0,9145778	0,00162	0,00154523	0,020088	5,24029288	5284,26934
328	361,07	0,9171178	0,00163	0,00155477	0,020212	5,09026624	5289,37982
329	362,07	0,9196578	0,00163	0,00155477	0,020212	4,93948199	5294,33951
330	363,07	0,9221978	0,00164	0,00156431	0,020336	4,78818879	5299,14804
331	364,07	0,9247378	0,00164	0,00156431	0,020336	4,63613937	5303,80451
332	365,07	0,9272778	0,00165	0,00157385	0,02046	4,4835825	5308,30855
333	366,07	0,9298178	0,00166	0,00158338	0,020584	4,33039506	5312,65953
334	367,07	0,9323578	0,00167	0,00159292	0,020708	4,17657796	5316,85682
335	368,07	0,9348978	0,00167	0,00159292	0,020708	4,02200824	5320,89954
336	369,07	0,9374378	0,00168	0,00160246	0,020832	3,86693504	5324,7873
337	370,07	0,9399778	0,00169	0,001612	0,020956	3,71123559	5328,51949
338	371,07	0,9425178	0,0017	0,00162154	0,02108	3,5549113	5332,09549
339	372,07	0,9450578	0,00172	0,00164062	0,021328	3,39808771	5335,5149
340	373,07	0,9475978	0,00173	0,00165015	0,021452	3,24051855	5338,77687
341	374,07	0,9501378	0,00175	0,00166923	0,0217	3,0824538	5341,88103
342	375,07	0,9526778	0,00175	0,00166923	0,0217	2,92352368	5344,82625
343	376,07	0,9552178	0,00176	0,00167877	0,021824	2,76410272	5347,61218
344	377,07	0,9577578	0,00177	0,00168831	0,021948	2,60406985	5350,23819
345	378,07	0,9602978	0,00177	0,00168831	0,021948	2,44330447	5352,70345
346	379,07	0,9628378	0,00178	0,00169785	0,022072	2,28205855	5355,00758
347	380,07	0,9653778	0,00178	0,00169785	0,022072	2,12008883	5357,14974
348	381,07	0,9679178	0,00179	0,00170738	0,022196	1,95764895	5359,12958
349	382,07	0,9704578	0,00181	0,00172646	0,022444	1,79474582	5360,94677
350	383,07	0,9729978	0,00182	0,001736	0,022568	1,63113998	5362,60048
351	384,07	0,9755378	0,00183	0,00174554	0,022692	1,46696622	5364,09014
352	385,07	0,9780778	0,00184	0,00175508	0,022816	1,30223854	5365,41519
353	386,07	0,9806178	0,00185	0,00176462	0,02294	1,13697563	5366,57511
354	387,07	0,9831578	0,00186	0,00177415	0,023064	0,97120349	5367,56938
355	388,07	0,9856978	0,00187	0,00178369	0,023188	0,80496009	5368,39752
356	389,07	0,9882378	0,00188	0,00179323	0,023312	0,63830503	5369,05914
357	390,07	0,9907778	0,0019	0,00181231	0,02356	0,47146613	5369,55417

Fuente: Valores calculados Tesis de Grado J. Murrieta – C. Malavé

CAPÍTULO 5

5. DIFERENCIA ENTRE MÉTODOS

A continuación discutiremos las diferencias de capacidades tanto en volúmenes parciales como en volúmenes acumulados que existen en la aplicación de la calibración por mediciones físicas (API 2552) y mediciones volumétricas (API 2555) efectuadas sobre el mismo tanque.

5.1. Diferencias en Volúmenes Parciales

La tabla 24 muestra las diferencias entre los volúmenes parciales de las tablas de calibración realizada mediante los dos estándares API 2552 y API 2555.

Los volúmenes en ambos métodos están en barriles, para apreciar mejor la diferencia, se graficó estos volúmenes, como se ilustra en la Figura 5.1.

Los volúmenes parciales empiezan en el nivel cero, es decir a partir de la mesa de aforo hasta la línea de capacidad superior, con incrementos de una pulgada.

TABLA 24

DIFERENCIA ENTRE VOLÚMENES PARCIALES (API 2552 – API 2555) 1/5

h (in)	VAPI 2552	VAPI 2555	DIFERENCIA	h (in)	VAPI 2552	VAPI 2555	DIFERENCIA
1	7,64070712	7,99	-0,34929288	41	13,918632	13,94	-0,02136797
2	7,8930816	7,99	-0,0969184	42	14,047721	13,5	0,54772101
3	8,13462414	8,14	-0,00537586	43	14,175157	14,59	-0,41484303
4	8,36693492	8,44	-0,07306508	44	14,3007249	15,18	-0,87927514
5	8,59083174	8,72	-0,12916826	45	14,4241838	14,22	0,20418378
6	8,80729656	8,54	0,26729656	46	14,54527	14,12	0,42526997
7	9,01703237	8,67	0,34703237	47	14,6635512	15,21	-0,54644884
8	9,22062381	8,69	0,53062381	48	14,7784639	14,33	0,44846387
9	9,41856347	8,69	0,72856347	49	14,8900551	13,83	1,06005515
10	9,61139501	9,14	0,47139501	50	14,9973819	14,57	0,42738187
11	9,79923149	10,32	-0,52076851	51	15,0995173	15,86	-0,76048273
12	9,9826343	10,33	-0,3473657	52	14,9434507	15,61	-0,66654929
13	10,1616295	10,34	-0,17837048	53	15,0408108	15,22	-0,17918915
14	10,3747885	10,64	-0,26521152	54	15,137045	14,86	0,27704503
15	10,6001235	10,48	0,12012346	55	15,2319146	13,99	1,24191462
16	10,7854053	10,02	0,7654053	56	15,3255526	17,35	-2,02444738
17	10,9980201	10,02	0,97802008	57	15,4179677	15,76	-0,34203226
18	11,2016043	10,74	0,46160427	58	15,5091684	14,66	0,84916836
19	11,377753	13,07	-1,69224705	59	15,5991626	14,91	0,68916259
20	11,3120644	11,09	0,22206438	60	15,6880822	17,59	-1,90191775
21	11,4636165	11,63	-0,1663835	61	15,7756869	15,1	0,67568688
22	11,6123405	11,89	-0,27765948	62	15,8621078	15,33	0,53210778
23	11,7583327	11,51	0,24833273	63	15,947352	15,9	0,04735199
24	11,9016816	11,81	0,09168164	64	16,0314263	18,38	-2,34857365
25	12,0424689	11,77	0,27246888	65	16,1144614	19,18	-3,06553857
26	12,1807699	11,11	1,0707699	66	16,7975211	14,71	2,0875211
27	12,0658292	12,42	-0,35417081	67	16,8843097	18,71	-1,82569025
28	12,1990095	12,4	-0,20099045	68	16,9698765	14,48	2,48987655
29	12,3304784	11,51	0,82047843	69	17,0542287	15,42	1,63422874
30	12,460314	12,94	-0,47968596	70	17,1373733	16,95	0,18737331
31	12,5885186	12,65	-0,06148136	71	17,2193171	17,4	-0,18068294
32	12,7151303	12,3	0,4151303	72	17,3000665	14,42	2,88006652
33	12,853601	12,01	0,84360097	73	17,379752	14,58	2,79975204
34	12,9866525	12,72	0,26665254	74	17,4581318	20,18	-2,72186824
35	13,1209766	13,19	-0,06902341	75	17,613939	16,52	1,09393901
36	13,2554516	13,85	-0,59454836	76	17,6903138	15,79	1,9003138
37	13,3896795	13,24	0,14967945	77	17,7655188	18,83	-1,06448116
38	13,523464	14,33	-0,80653601	78	17,8395596	20,83	-2,99044043
39	13,6563011	13,53	0,12630115	79	17,9124412	17,64	0,27244124
40	13,7880923	13,29	0,49809232	80	17,984169	17,14	0,84416896

Fuente: Valores calculados Tesis de Grado J. Murrieta – C. Malavé

TABLA 24

DIFERENCIA DE LOS VOLUMENES PARCIALES (API 2552 – API 2555) 2/5

h (in)	VAPI 2552	VAPI 2555	DIFERENCIA	h (in)	VAPI 2552	VAPI 2555	DIFERENCIA
81	18,0547476	15,55	2,50474765	121	20,0274828	14,11	5,91748279
82	18,1241821	21,93	-3,80581789	122	20,0498732	24,72	-4,67012678
83	18,280641	18,71	-0,42935901	123	20,0714896	16,43	3,64148963
84	18,2597608	14,69	3,56976078	124	20,1894243	22,38	-2,19057574
85	18,3257899	13,57	4,75578985	125	20,1124013	20,27	-0,15759867
86	18,3906924	20,53	-2,13930756	126	20,1318211	17,85	2,28182108
87	18,4545966	20,66	-2,20540335	127	20,1503437	20,4	-0,24965628
88	18,5172585	19,62	-1,10274154	128	20,1680935	19,42	0,74809345
89	18,5788057	18,01	0,56880573	129	20,1850705	18,61	1,57507047
90	18,6393662	17,32	1,31936622	130	20,201275	18,69	1,51127497
91	18,6986956	17,26	1,43869555	131	20,2167071	18,59	1,62670713
92	18,7569213	23,04	-4,28307874	132	20,2314911	18,52	1,71149111
93	18,8140468	17,12	1,69404676	133	20,2453791	19,57	0,67537907
94	18,8700754	16,77	2,10007536	134	20,2584952	20,89	-0,63150482
95	18,9250103	16,68	2,24501029	135	20,2708396	39,62	-19,3491604
96	18,9788547	16,87	2,10885467	136	20,2824124	27,29	-7,00758764
97	19,0316115	21,87	-2,8383885	137	20,2933377	18,88	1,4133377
98	19,0832837	17,96	1,12328374	138	20,3033677	20,35	-0,04663231
99	19,1338742	19,56	-0,42612577	139	20,3126265	19,92	0,39262646
100	19,1835097	20,13	-0,94649029	140	20,3211141	20,07	0,25111409
101	19,2319449	18,47	0,76194487	141	20,3289547	20,31	0,01895468
102	19,2793063	18,14	1,13930629	142	20,3359003	20,22	0,11590031
103	19,3255965	23,1	-3,77440353	143	20,3420751	19,3	1,04207505
104	19,3708179	18,75	0,62081786	144	20,347479	19,51	0,83747898
105	19,4150968	19,36	0,05509679	145	21,0064339	20,25	0,75643394
106	19,5981767	19,26	0,33817673	146	21,0059193	20,46	0,54591931
107	19,6322133	19,62	0,0122133	147	21,0043754	18,18	2,82437539
108	19,665471	18,65	1,01547101	148	21,0018021	17,96	3,04180212
109	19,6979503	15,72	3,97795026	149	20,9981994	23,2	-2,20180061
110	19,7297754	20,99	-1,26022457	150	20,993567	20,06	0,93356704
111	19,7606989	20,2	-0,43930109	151	20,9879049	22,14	-1,15209513
112	19,790845	19,94	-0,14915495	152	20,9813366	21,11	-0,12866337
113	19,8202142	15,26	4,5602142	153	20,973614	17,37	3,60361403
114	19,8488067	17,41	2,43880671	154	20,9648607	19,78	1,18486075
115	19,8766229	26,89	-7,01337709	155	20,9550764	20,05	0,90507638
116	19,9037871	17,36	2,54378712	156	20,9443845	19,97	0,97438452
117	19,9300516	18,78	1,15005164	157	20,9325367	20,49	0,44253669
118	19,9555408	25,1	-5,14445922	158	20,9197804	19,94	0,97978037
119	19,9802548	20,56	-0,57974516	159	20,905867	19,82	1,08586698
120	20,0041941	16,06	3,94419409	160	20,8910439	19,85	1,04104393

Fuente: Valores calculados Tesis de Grado J. Murrieta – C. Malavé

TABLA 24

DIFERENCIA DE LOS VOLUMENES PARCIALES (API 2552 – API 2555) 3/5

h (in)	VAPI 2552	VAPI 2555	DIFERENCIA	h (in)	VAPI 2552	VAPI 2555	DIFERENCIA
161	20,8750626	19,81	1,06506256	201	18,4399997	18,94	-0,50000031
162	20,8580461	20,17	0,68804615	202	18,3820413	18,5	-0,11795867
163	20,8399939	19,7	1,13999395	203	19,0706802	18,19	0,88068019
164	19,8304834	18,31	1,52048341	204	19,0122718	18,81	0,20227182
165	19,8118205	21,4	-1,58817954	205	18,9530178	18,66	0,29301783
166	19,7921214	20,12	-0,32787863	206	18,8930419	18,51	0,38304187
167	19,7713852	19,64	0,13138521	207	18,8323435	18,48	0,35234354
168	19,749611	20,95	-1,200389	208	18,7710464	18,51	0,26104644
169	19,7269217	17,64	2,08692173	209	18,7089022	18,6	0,10890217
170	19,7030683	18,93	0,7730683	210	18,6460343	18,21	0,43603432
171	19,6781736	21,62	-1,94182642	211	18,5824425	18	0,58244246
172	19,6522364	20,33	-0,67776362	212	18,5182502	17,42	1,09825017
173	19,6252555	15,82	3,80525546	213	18,453209	18,16	0,29320901
174	19,5972295	17,34	2,25722951	214	18,3874425	18,86	-0,47255747
175	19,5682812	24,29	-4,72171883	215	18,3211983	17,93	0,39119826
176	19,538161	20,16	-0,62183898	216	18,2539798	17,87	0,38397976
177	19,5069916	20,72	-1,21300841	217	18,1861585	17,84	0,34615853
178	19,4747713	20,66	-1,18522868	218	18,1174861	18,06	0,0574861
179	19,4414986	18,56	0,88149864	219	18,04821	18,17	-0,12179004
180	19,4072959	19,58	-0,17270414	220	17,9780816	17	0,97808161
181	19,3719133	19,35	0,02191327	221	17,9072245	17,14	0,76722453
182	19,3354731	18,72	0,61547307	222	17,8356382	17,56	0,27563819
183	19,2979734	19,51	-0,21202659	223	17,763446	17,47	0,29344605
184	19,2595364	22,26	-3,00046365	224	17,6903996	17,38	0,31039955
185	19,2199119	23,57	-4,35008809	225	17,6166221	18,77	-1,15337786
186	19,179222	15,83	3,34922202	226	17,5421132	18,03	-0,48788675
187	19,1375885	15,82	3,31758854	227	17,4669963	13,44	4,02699627
188	19,0947613	19,79	-0,69523873	228	17,3910226	14,46	2,93102261
189	19,0508619	16,45	2,60086191	229	17,3143157	17,62	-0,30568434
190	19,0060121	15,81	3,1960121	230	17,2368748	17,01	0,22687479
191	18,9599614	23,72	-4,76003859	231	17,1653954	16,74	0,42539535
192	18,9128313	19,95	-1,0371687	232	17,0864847	16,53	0,5564847
193	18,8647432	18,91	-0,04525683	233	17,0002662	17,06	-0,05973383
194	18,8154463	19,64	-0,82455366	234	16,9198831	16,92	-0,00011694
195	18,765062	19,02	-0,25493798	235	16,8388867	16,09	0,74888669
196	18,7137113	19,06	-0,34628866	236	16,7570283	16,8	-0,04297167
197	18,6611433	19,23	-0,56885665	237	16,6744313	17,04	-0,36556874
198	18,607479	20,28	-1,67252101	238	16,5910947	16,46	0,13109472
199	18,5527151	18,76	-0,20728489	239	16,507142	16,58	-0,07285804
200	18,4969725	18,29	0,20697246	240	16,4223242	16,68	-0,25767581

Fuente: Valores calculados Tesis de Grado J. Murrieta – C. Malavé

TABLA 24

DIFERENCIA DE LOS VOLUMENES PARCIALES (API 2552 – API 2555) 4/5

h (in)	VAPI 2552	VAPI 2555	DIFERENCIA	h (in)	VAPI 2552	VAPI 2555	DIFERENCIA
241	16,3368886	16,21	0,12688862	281	11,61955	10,54	1,07955004
242	16,2505864	16,18	0,07058641	282	12,2020968	10,94	1,2620968
243	15,5092189	16,21	-0,70078114	283	12,0833271	11,49	0,59332708
244	15,4210713	15,99	-0,56892868	284	11,9637102	11,77	0,19371017
245	15,3321688	15,8	-0,46783124	285	11,8432426	11,64	0,20324259
246	15,2425101	15,47	-0,22748988	286	11,7217967	11,52	0,20179672
247	15,1522183	15,39	-0,23778167	287	11,5996168	11,28	0,31961681
248	15,0610443	15,29	-0,22895569	288	11,476451	11,08	0,39645096
249	14,9691109	15,23	-0,26088908	289	11,3525432	10,96	0,39254316
250	14,876417	15,02	-0,14358298	290	11,2276412	11	0,2276412
251	14,7830854	15,65	-0,86691458	291	11,1018647	10,81	0,29186474
252	14,6888669	16,41	-1,72113309	292	10,9753332	10,62	0,35533325
253	14,5938842	10,48	4,11388424	293	10,847794	10,3	0,54779403
254	14,4981362	7,65	6,84813615	294	10,7194902	10,28	0,43949018
255	14,4017453	12,02	2,38174532	295	10,5901686	10,32	0,27016861
256	14,3044624	14,63	-0,32553759	296	10,460072	10,18	0,280072
257	14,20641	14,2	0,00641003	297	10,3289468	10,08	0,24894681
258	14,1077108	13,82	0,28771077	298	10,1970353	9,93	0,26703526
259	14,0082392	15,06	-1,05176082	299	10,0640833	9,85	0,21408332
260	13,9078697	13,9	0,00786975	300	9,93033266	9,58	0,35033266
261	13,8068489	14,95	-1,14315105	301	9,7956527	9,44	0,3556527
262	13,7049272	11,59	2,1149272	302	9,65991252	9,19	0,46991252
263	13,6023509	16,75	-3,14764913	303	9,52335289	9,31	0,21335289
264	13,4988703	14,39	-0,89112971	304	9,38584222	9,46	-0,07415778
265	13,3947317	13,21	0,18473175	305	9,24724855	8,98	0,26724855
266	13,2896855	14	-0,71031454	306	9,1076875	8,71	0,3976875
267	13,1839776	17,35	-4,16602239	307	8,96727428	8,59	0,37727428
268	13,0773583	28,87	-15,7926417	308	8,82575162	8,52	0,30575162
269	12,9700736	6,21	6,76007365	309	8,68323377	8,38	0,30323377
270	12,8618736	6,22	6,64187361	310	8,53983442	8,26	0,27983442
271	12,7528802	6,21	6,54288016	311	8,39529469	8,09	0,30529469
272	12,6432152	14,13	-1,48678483	312	8,24985107	7,88	0,36985107
273	12,5326285	15,86	-3,32737155	313	8,10336739	7,85	0,25336739
274	12,4213658	12,75	-0,32863424	314	7,95570672	7,82	0,13570672
275	12,3093008	12,55	-0,24069924	315	7,85608334	7,81	0,04608334
276	12,1964311	12,61	-0,41356895	316	7,65741865	7,34	0,31741865
277	12,0826302	12,31	-0,22736984	317	7,68184911	7,29	0,39184911
278	11,9681435	12,12	-0,15185649	318	7,35474214	7,1	0,25474214
279	11,8527204	12,37	-0,51727955	319	7,201716	6,88	0,321716
280	11,7364822	13,97	-2,23351776	320	7,0475397	6,87	0,1775397

Fuente: Valores calculados Tesis de Grado J. Murrieta – C. Malavé

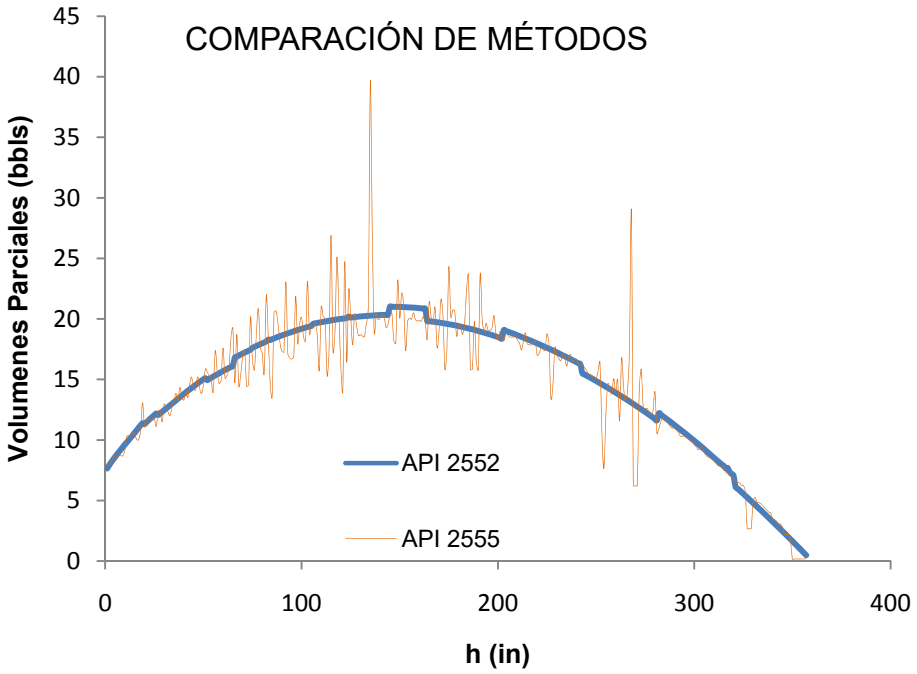
TABLA 24

DIFERENCIA DE LOS VOLUMENES PARCIALES (API 2552 – API 2555) 5/5

h (in)	VAPI 2552	VAPI 2555	DIFERENCIA	h (in)	VAPI 2552	VAPI 2555	DIFERENCIA
321	6,12761122	6,55	-0,42238878	340	3,24051855	3,4	-0,15948145
322	5,98139778	6,49	-0,50860222	341	3,0824538	3,4	-0,3175462
323	5,83442362	6,46	-0,62557638	342	2,92352368	3,28	-0,35647632
324	5,68681317	6,24	-0,55318683	343	2,76410272	3,05	-0,28589728
325	5,53856689	6,23	-0,69143311	344	2,60406985	3,05	-0,44593015
326	5,38980929	5,76	-0,37019071	345	2,44330447	2,78	-0,33669553
327	5,24029288	2,67	2,57029288	346	2,28205855	2,19	0,09205855
328	5,09026624	2,68	2,41026624	347	2,12008883	2,2	-0,07991117
329	4,93948199	2,68	2,25948199	348	1,95764895	2,2	-0,24235105
330	4,78818879	4,87	-0,08181121	349	1,79474582	1,75	0,04474582
331	4,63613937	5,25	-0,61386063	350	1,63113998	0,16	1,47113998
332	4,4835825	4,86	-0,3764175	351	1,46696622	0,16	1,30696622
333	4,33039506	4,81	-0,47960494	352	1,30223854	0,16	1,14223854
334	4,17657796	4,73	-0,55342204	353	1,13697563	0,16	0,97697563
335	4,02200824	4,55	-0,52799176	354	0,97120349	0,16	0,81120349
336	3,86693504	4,34	-0,47306496	355	0,80496009	0,16	0,64496009
337	3,71123559	4,22	-0,50876441	356	0,63830503	0,16	0,47830503
338	3,5549113	4,02	-0,4650887	357	0,47146613	0,17	0,30146613
339	3,39808771	3,98	-0,58191229				

Fuente: Valores calculados Tesis de Grado J. Murrieta – C. Malavé

En la Figura 5.1 se muestra cómo se comportan los volúmenes de acuerdo a la altura, se observa que en ambos métodos las curvas presentan variaciones en los volúmenes, a la altura de aproximadamente de 70 pulgadas a 180 pulgadas es donde la curva no se mantiene constante en comparación de los demás tramos, lo mismo ocurre en el tramo de 260 - 280 pulgadas de altura.



Fuente: Datos interpretados Tesis de Grado J. Murrieta – C. Malavé
FIGURA 5.1. GRAFICO DE VOLÚMENES PARCIALES VERSUS ALTURA

5.2. Diferencias en Volúmenes Acumulados

La tabla 25 muestra la diferencia entre los volúmenes acumulados por los dos métodos de calibración.

Observamos que las diferencias disminuyen en comparación con los volúmenes parciales, esto es debido que en la calibración API 2555 existen volúmenes altos y luego bajan drásticamente mientras que en la calibración por el método del API 2552 los valores se mantienen sin tanta variación en cada sección.

TABLA 25

COMPARACIÓN DE VOLUMENES ACUMULADOS (API 2552-API 2555) 1/5

h (in)	VAPI 2552	VAPI 2555	% Diferencia	h (in)	VAPI 2552	VAPI 2555	% Diferencia
1	141,003035	141,32	0,2242889	41	592,822617	589,43	-0,57557583
2	148,904549	149,31	0,27155011	42	606,879514	602,93	-0,65505342
3	157,047605	157,45	0,25557023	43	621,063847	617,52	-0,57388369
4	165,423096	165,89	0,28145422	44	635,373747	632,7	-0,42259324
5	174,022483	174,61	0,33647367	45	649,807107	646,92	-0,44628505
6	182,838336	183,15	0,17016878	46	664,361578	661,04	-0,50247761
7	191,863924	191,82	-0,02289868	47	679,03433	676,25	-0,41173086
8	201,093104	200,51	-0,29081047	48	693,822032	690,58	-0,46946506
9	210,520224	209,2	-0,631082	49	708,721337	704,41	-0,61204943
10	220,140299	218,34	-0,82453904	50	723,728019	718,98	-0,66038266
11	229,94821	228,66	-0,56337358	51	738,836837	734,84	-0,54390568
12	239,939648	238,99	-0,39735903	52	753,789587	750,45	-0,44501129
13	250,110082	249,33	-0,31287124	53	768,839698	765,67	-0,41397705
14	260,493674	259,97	-0,20143645	54	783,986167	780,53	-0,44279747
15	271,102602	270,45	-0,2413022	55	799,227506	794,52	-0,59249682
16	281,896935	280,47	-0,50876568	56	814,562482	811,87	-0,33163959
17	292,903883	290,49	-0,83096946	57	829,989874	827,63	-0,28513636
18	304,114415	301,23	-0,95754588	58	845,508466	842,29	-0,38210906
19	315,501096	314,3	-0,38214967	59	861,117053	857,2	-0,45695906
20	326,822089	325,39	-0,44011457	60	876,814683	874,79	-0,23144792
21	338,294633	337,02	-0,37820702	61	892,599918	889,89	-0,30452282
22	349,915902	348,91	-0,28829836	62	908,471574	905,22	-0,35920262
23	361,683163	360,42	-0,3504696	63	924,428474	921,12	-0,35917947
24	373,593772	372,23	-0,3663789	64	940,469448	939,5	-0,10318768
25	385,645169	384	-0,42842944	65	956,593582	958,68	0,21763449
26	397,834867	395,11	-0,68964769	66	973,400775	973,39	-0,00110694
27	409,909624	407,53	-0,58391386	67	990,294757	992,1	0,18196184
28	422,117599	419,93	-0,52094371	68	1007,27431	1006,58	-0,06897664
29	434,457043	431,44	-0,69929597	69	1024,33821	1022	-0,22878726
30	446,926334	444,38	-0,57300827	70	1041,48525	1038,95	-0,24402052
31	459,52383	457,03	-0,54566011	71	1058,71424	1056,35	-0,2238122
32	472,247938	469,33	-0,62172423	72	1076,02398	1070,77	-0,49067295
33	485,110517	481,34	-0,78333753	73	1093,41353	1085,35	-0,74294253
34	498,106159	494,06	-0,81896114	74	1110,88145	1105,53	-0,48406235
35	511,236188	507,25	-0,78584288	75	1128,50519	1122,05	-0,5753032
36	524,500692	521,1	-0,65259867	76	1146,2053	1137,84	-0,73519118
37	537,899423	534,34	-0,6661345	77	1163,98061	1156,67	-0,63203975
38	551,432063	548,67	-0,50341063	78	1181,82997	1177,5	-0,36772567
39	565,09754	562,2	-0,51539314	79	1199,75221	1195,14	-0,38591353
40	578,894809	575,49	-0,59163644	80	1217,74617	1212,28	-0,45090012

Fuente: Valores calculados Tesis de Grado J. Murrieta – C. Malavé

TABLA 25

COMPARACIÓN DE VOLUMENES ACUMULADOS (API 2552-API 2555) 2/5

h (in)	VAPI 2552	VAPI 2555	% Diferencia	h (in)	VAPI 2552	VAPI 2555	% Diferencia
81	1235,81072	1227,83	-0,64998539	121	2005,20276	1983,86	-1,07581966
82	1253,94469	1249,76	-0,33483979	122	2025,26342	2008,58	-0,83060755
83	1272,32329	1268,47	-0,303775	123	2045,34569	2025,01	-1,00422688
84	1290,59298	1283,16	-0,57927113	124	2065,643	2047,39	-0,89152526
85	1308,92869	1296,73	-0,9407267	125	2085,76619	2067,66	-0,875685
86	1327,3293	1317,26	-0,76441232	126	2105,90892	2085,51	-0,97812628
87	1345,79394	1337,92	-0,58852087	127	2126,07018	2105,91	-0,95731428
88	1364,32124	1357,54	-0,4995242	128	2146,24918	2125,33	-0,98427927
89	1382,91009	1375,55	-0,53506529	129	2166,44517	2143,94	-1,04971059
90	1401,55962	1392,87	-0,62386474	130	2186,65735	2162,63	-1,11102464
91	1420,26849	1410,13	-0,71897544	131	2206,88497	2181,22	-1,17663378
92	1439,03558	1433,17	-0,40927298	132	2227,1275	2199,74	-1,24503343
93	1457,85979	1450,29	-0,52195026	133	2247,38391	2219,31	-1,26498386
94	1476,74004	1467,06	-0,65982549	134	2267,65344	2240,2	-1,22549079
95	1495,67521	1483,74	-0,80440064	135	2287,93532	2279,82	-0,3559632
96	1514,66424	1500,61	-0,93656824	136	2308,22877	2307,11	-0,0484922
97	1533,70602	1522,48	-0,73735065	137	2328,53327	2325,99	-0,10934124
98	1552,79947	1540,44	-0,80233362	138	2348,84779	2346,34	-0,1068811
99	1571,94351	1560	-0,76560963	139	2369,17158	2366,26	-0,12304567
100	1591,13731	1580,13	-0,69660799	140	2389,50385	2386,33	-0,13300149
101	1610,37955	1598,6	-0,73686656	141	2409,84409	2406,64	-0,13313554
102	1629,66915	1616,74	-0,79970478	142	2430,19128	2426,86	-0,13726698
103	1649,00504	1639,84	-0,55889816	143	2450,54464	2446,16	-0,17924569
104	1668,38615	1658,59	-0,59063092	144	2470,9034	2465,67	-0,2122506
105	1687,81166	1677,95	-0,58772062	145	2491,92124	2485,92	-0,24140927
106	1707,42025	1697,21	-0,60159031	146	2512,93857	2506,38	-0,26167495
107	1727,06288	1716,83	-0,5960334	147	2533,95435	2524,56	-0,37211839
108	1746,73877	1735,48	-0,64874082	148	2554,96756	2542,52	-0,48957578
109	1766,44713	1751,2	-0,87066774	149	2575,97717	2565,72	-0,39977744
110	1786,18745	1772,19	-0,78983906	150	2596,98214	2585,78	-0,4332211
111	1805,95869	1792,39	-0,75701649	151	2617,98146	2607,92	-0,38580392
112	1825,76007	1812,33	-0,74103904	152	2638,97433	2629,03	-0,37825077
113	1845,59083	1827,59	-0,98494887	153	2659,95947	2646,4	-0,51237425
114	1865,45017	1845	-1,1084105	154	2680,93586	2666,18	-0,55344594
115	1885,33734	1871,89	-0,71838285	155	2701,90247	2686,23	-0,58343751
116	1905,25179	1889,25	-0,84699155	156	2722,85851	2706,2	-0,61556847
117	1925,1925	1908,03	-0,89948813	157	2743,80271	2726,69	-0,6276
118	1945,15871	1933,13	-0,62224001	158	2764,73427	2746,63	-0,65914473
119	1965,14963	1953,69	-0,58656323	159	2785,65191	2766,45	-0,69409944
120	1985,16449	1969,75	-0,78256049	160	2806,55486	2786,3	-0,72694476

Fuente: Valores calculados Tesis de Grado J. Murrieta – C. Malavé

TABLA 25

COMPARACIÓN DE VOLUMENES ACUMULADOS (API 2552-API 2555) 3/5

h (in)	VAPI 2552	VAPI 2555	% Diferencia	h (in)	VAPI 2552	VAPI 2555	% Diferencia
161	2827,44183	2806,11	-0,76019217	201	3601,25722	3584,96	-0,45459981
162	2848,31178	2826,28	-0,77953276	202	3619,65253	3603,46	-0,44936064
163	2869,16368	2845,98	-0,81461136	203	3638,73648	3621,65	-0,47178714
164	2889,00619	2864,29	-0,86290801	204	3657,76214	3640,46	-0,47527353
165	2908,83004	2885,69	-0,8018892	205	3676,72855	3659,12	-0,4812237
166	2928,63419	2905,81	-0,78546724	206	3695,63499	3677,63	-0,48958124
167	2948,4176	2925,45	-0,78509627	207	3714,48072	3696,11	-0,49702855
168	2968,17924	2946,4	-0,7391813	208	3733,26528	3714,62	-0,50194325
169	2987,91831	2964,04	-0,80560018	209	3751,9877	3733,22	-0,50272158
170	3007,63353	2982,97	-0,82681126	210	3770,64725	3751,43	-0,51226474
171	3027,32386	3004,59	-0,7566376	211	3789,24321	3769,43	-0,52562885
172	3046,98825	3024,92	-0,72954808	212	3807,7751	3786,85	-0,55257276
173	3066,62565	3040,74	-0,85129453	213	3826,24195	3805,01	-0,55799986
174	3086,23503	3058,08	-0,92067686	214	3844,64303	3823,87	-0,54324632
175	3105,81559	3082,37	-0,76063523	215	3862,97812	3841,8	-0,55125513
176	3125,36603	3102,53	-0,73604539	216	3881,24599	3859,67	-0,55901119
177	3144,8853	3123,25	-0,69271741	217	3899,44616	3877,51	-0,56572795
178	3164,37234	3143,91	-0,65085654	218	3917,57766	3895,57	-0,56494058
179	3183,82612	3162,47	-0,67529869	219	3935,64	3913,74	-0,55956711
180	3203,24581	3182,05	-0,66610564	220	3953,63222	3930,74	-0,58238956
181	3222,63013	3201,4	-0,66315136	221	3971,55358	3947,88	-0,59965298
182	3241,978	3220,12	-0,6787946	222	3989,40335	3965,44	-0,60430505
183	3261,28837	3239,63	-0,66854469	223	4007,18106	3982,91	-0,60938008
184	3280,56043	3261,89	-0,57238088	224	4024,88572	4000,29	-0,61484842
185	3299,79287	3285,46	-0,43625156	225	4042,5166	4019,06	-0,58363403
186	3318,98462	3301,29	-0,53599098	226	4060,07298	4037,09	-0,56929558
187	3338,13485	3317,11	-0,63383044	227	4077,55436	4050,53	-0,66718072
188	3357,24226	3336,9	-0,60961558	228	4094,95976	4064,99	-0,73726533
189	3376,30577	3353,35	-0,68456237	229	4112,28846	4082,61	-0,72694824
190	3395,32456	3369,16	-0,7765899	230	4129,53972	4099,62	-0,72981692
191	3414,29729	3392,88	-0,63124218	231	4146,7262	4116,36	-0,73769534
192	3433,22289	3412,83	-0,59753615	232	4163,83376	4132,89	-0,74871967
193	3452,10053	3431,74	-0,59330055	233	4180,84853	4149,95	-0,74455197
194	3470,92887	3451,38	-0,56640748	234	4197,78293	4166,87	-0,74187401
195	3489,70683	3470,4	-0,55632874	235	4214,63644	4182,96	-0,75727342
196	3508,43356	3489,46	-0,54373926	236	4231,4081	4199,76	-0,75356936
197	3527,10773	3508,69	-0,52491748	237	4248,09717	4216,8	-0,74220186
198	3545,72823	3528,97	-0,47487585	238	4264,70289	4233,26	-0,74275841
199	3564,29396	3547,73	-0,46688901	239	4281,22479	4249,84	-0,73849351
200	3582,80408	3566,02	-0,47066696	240	4297,66187	4266,52	-0,72991274

Fuente: Valores calculados Tesis de Grado J. Murrieta – C. Malavé

TABLA 25

COMPARACIÓN DE VOLUMENES ACUMULADOS (API 2552-API 2555) 4/5

h (in)	VAPI 2552	VAPI 2555	% Diferencia	h (in)	VAPI 2552	VAPI 2555	% Diferencia
241	4314,01364	4282,73	-0,73046028	281	4863,46684	4836,09	-0,56609457
242	4330,27911	4298,91	-0,72969911	282	4875,68593	4847,03	-0,59120591
243	4345,80333	4315,12	-0,71106553	283	4887,78637	4858,52	-0,60237206
244	4361,23941	4331,11	-0,69565091	284	4899,76731	4870,29	-0,6052476
245	4376,58658	4346,91	-0,68270516	285	4911,62792	4881,93	-0,60832326
246	4391,84409	4362,38	-0,67541326	286	4923,36707	4893,45	-0,61136974
247	4407,01144	4377,77	-0,66795284	287	4934,98417	4904,73	-0,61683667
248	4422,08761	4393,06	-0,66076064	288	4946,47811	4915,81	-0,62386683
249	4437,07185	4408,29	-0,65290284	289	4957,84826	4926,77	-0,63080394
250	4451,9634	4423,31	-0,64778176	290	4969,09351	4937,77	-0,63436548
251	4466,76173	4438,96	-0,62631186	291	4980,21298	4948,58	-0,6392335
252	4481,46585	4455,37	-0,58571683	292	4991,20605	4959,2	-0,64538729
253	4496,07499	4465,85	-0,67680258	293	5002,07157	4969,5	-0,65542957
254	4510,58838	4473,5	-0,82906843	294	5012,80892	4979,78	-0,6632606
255	4525,0055	4485,52	-0,88028807	295	5023,41694	4990,1	-0,66766084
256	4539,32534	4500,15	-0,870534	296	5033,895	5000,28	-0,67226226
257	4553,54712	4514,35	-0,86827831	297	5044,24192	5010,36	-0,67623728
258	4567,67033	4528,17	-0,87232442	298	5054,45706	5020,29	-0,68057944
259	4581,6942	4543,23	-0,84662665	299	5064,53925	5030,14	-0,68386265
260	4595,61769	4557,13	-0,84455984	300	5074,48781	5039,72	-0,68987582
261	4609,44029	4572,08	-0,81713983	301	5084,30181	5049,16	-0,69599328
262	4623,16096	4583,67	-0,8615577	302	5093,98008	5058,35	-0,70438144
263	4636,77918	4600,42	-0,7903449	303	5103,52191	5067,66	-0,70766207
264	4650,29393	4614,81	-0,76891415	304	5112,92635	5077,12	-0,70524923
265	4663,70465	4628,02	-0,77105662	305	5122,1922	5086,1	-0,70962424
266	4677,01034	4642,02	-0,75377392	306	5131,31849	5094,81	-0,71658189
267	4690,21043	4659,37	-0,66190137	307	5140,30448	5103,4	-0,72313525
268	4703,30391	4688,24	-0,32131273	308	5149,14896	5111,92	-0,72827743
269	4716,29023	4694,45	-0,46523511	309	5157,85092	5120,3	-0,73337339
270	4729,16835	4700,67	-0,60626139	310	5166,4096	5128,56	-0,73801613
271	4741,93747	4706,88	-0,74481337	311	5174,82374	5136,65	-0,74316418
272	4754,59705	4721,01	-0,71143791	312	5183,09257	5144,53	-0,74958384
273	4767,14605	4736,87	-0,63915732	313	5191,21503	5152,38	-0,75372991
274	4779,58391	4749,62	-0,6308696	314	5199,18983	5160,2	-0,75558761
275	4791,90983	4762,17	-0,62450155	315	5207,11412	5168,01	-0,75665711
276	4804,123	4774,78	-0,61454133	316	5214,79088	5175,35	-0,76209102
277	4816,22237	4787,09	-0,60856109	317	5222,66741	5182,64	-0,77233624
278	4828,20737	4799,21	-0,60421141	318	5230,04174	5189,74	-0,77656571
279	4840,07696	4811,58	-0,59225782	319	5237,26317	5196,62	-0,78210785
280	4851,83031	4825,55	-0,54460746	320	5244,33055	5203,49	-0,78486848

Fuente: Valores calculados Tesis de Grado J. Murrieta – C. Malavé

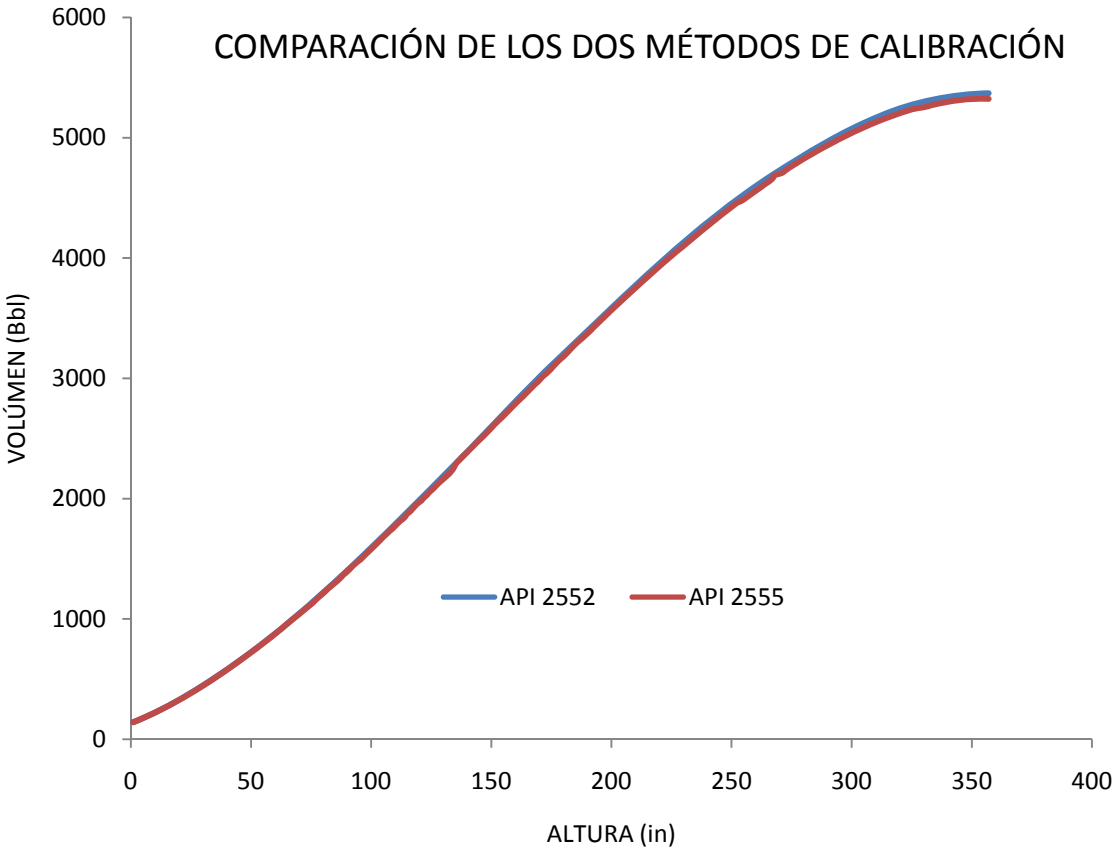
TABLA 25

COMPARACIÓN DE VOLUMENES ACUMULADOS (API 2552-API 2555) 5/5

h (in)	VAPI 2552	VAPI 2555	% Diferencia	h (in)	VAPI 2552	VAPI 2555	% Diferencia
321	5250,478	5210,04	-0,77615535	340	5338,77687	5298,28	-0,76433997
322	5256,47937	5216,53	-0,7658226	341	5341,88103	5301,68	-0,75826956
323	5262,33375	5222,99	-0,75328027	342	5344,82625	5304,96	-0,7514901
324	5268,04053	5229,23	-0,74218442	343	5347,61218	5308,01	-0,7460833
325	5273,59906	5235,46	-0,72847584	344	5350,23819	5311,06	-0,73767184
326	5279,00896	5241,22	-0,72099547	345	5352,70345	5313,84	-0,73136275
327	5284,26934	5243,89	-0,77002644	346	5355,00758	5316,03	-0,73320837
328	5289,37982	5246,57	-0,81595819	347	5357,14974	5318,23	-0,7318175
329	5294,33951	5249,25	-0,85897055	348	5359,12958	5320,43	-0,72737697
330	5299,14804	5254,12	-0,85700434	349	5360,94677	5322,18	-0,72840025
331	5303,80451	5259,37	-0,84486378	350	5362,60048	5322,34	-0,75644323
332	5308,30855	5264,23	-0,83732197	351	5364,09014	5322,5	-0,78140233
333	5312,65953	5269,04	-0,82784594	352	5365,41519	5322,66	-0,80326741
334	5316,85682	5273,77	-0,81700225	353	5366,57511	5322,82	-0,82202872
335	5320,89954	5278,32	-0,80668727	354	5367,56938	5322,98	-0,83767695
336	5324,7873	5282,66	-0,79746383	355	5368,39752	5323,14	-0,85020354
337	5328,51949	5286,88	-0,78760052	356	5369,05914	5323,3	-0,85960103
338	5332,09549	5290,9	-0,77861017	357	5369,55417	5323,47	**-0,86567911**
339	5335,5149	5294,88	-0,76743763				

Fuente: Valores calculados Tesis de Grado J. Murrieta – C. Malavé

La figura 5.2 muestra como varían los volúmenes acumulados en el tanque, se puede apreciar que el volumen tiene un comportamiento casi similar, excepto en algunos sitios donde se incrementa el porcentaje de diferencia entre estas dos tablas de calibración. Esto provoca una variación al volumen final del tanque, en la tabla realizada en esta tesis se tiene algunos barriles adicionales que en la otra tabla de calibración.



Fuente: Datos interpretados Tesis de Grado J. Murrieta – C. Malavé
FIGURA 5.2 COMPARACION DE LOS DOS METODOS DE CALIBRACION.

CAPÍTULO 6

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

- Los métodos estudiados son importantes para la elaboración de la tabla de aforo de este tanque en particular, sin embargo en la comparación, el margen de error relativo es de 0.86%, que representa una diferencia estimada de 35 barriles en el aforo del tanque.

- Las dos tablas de aforo realizadas por los estándares API 2552 y API 2555 tienen una tendencia similar, existen sectores del tanque en el cual los datos tienen una diferencia en relación a la otra norma, debido a que en la norma API 2552 se considera que

el tanque es ideal y que no presenta deformaciones, pero en este caso no se pudo apreciar la presencia de alguna deformación.

- Las diferencias más relevantes en volúmenes acumulados están a una altura superior a las 300 pulgadas, de acuerdo a la comparación de la Figura 5.2, debido a las diferencias en los volúmenes parciales desde la mesa de aforo hasta la línea de capacidad tope.

- Las diferencias en volúmenes parciales están ubicadas a partir de los 80 a las 180 pulgadas de altura.

- Los volúmenes parciales determinados por la calibración líquida existente para este tanque de la Refinería de La Libertad, presentan distorsiones a las alturas aproximadas de 130 y 280 pulgadas, lo cual representa una variación aproximada de 20 y 15 barriles respectivamente según se puede apreciar en la figura 5.1 lo que genera un valor de volumen acumulado de 35 barriles de diferencia solo en estos puntos.

- Las tablas de aforo pueden variar significativamente un método con otro.

- La comparación de estas dos calibraciones es importante porque se puede apreciar las tendencias y los posibles errores en una calibración con respecto a la otra.

Recomendaciones

- Para tener una mayor precisión en la elaboración de los radios internos se puede tomar medidas de diámetros de perfil en dos puntos perpendiculares en cada altura y luego obtener un promedio.
- Realizar las medidas de perfil en intervalos de alturas menores, como por ejemplo cada 25 centímetros (o cada 10 pulgadas) para obtener resultados con mayor precisión, en nuestro caso trabajamos cada 50 centímetros de intervalos de altura.
- Tomar muestras de espesores por cada plancha y obtener un promedio para los cálculos de los radios internos.
- Se recomienda continuar con el estudio de diseño de tanques API para almacenamiento de hidrocarburos, siguiendo las descripciones utilizadas en la norma API 650 A.

BIBLIOGRAFÍA

1. API STANDARD 2552 – ASTM DESIGNATION: D 1408–65, Reaffirmed February 2006.
2. API STANDARD 2555 – ASTM D 1406–65 , METHOD FOR LIQUID CALIBRATION OF TANKS, September 1966, Reaffirmed August 1987.
3. API MPMS 2.2A, Manual of Petroleum Management Standard Chapter 2-Tank Calibration, Section 2A-Measurement and Calibration of Upright Cylindrical Tanks by the Manual Tank Strapping Method, Edition 2002.
4. LESTER CHARLES UREN, Ingeniería de Producción de Petróleo, Primera Edición en Español - Junio de 1965.
5. ASTM Designation: D1408 – 58 T, Tentative Methods for Calibrating Spherical and Spheroidal Tanks, Issued, 1956; Revised, 1958.
6. Cox, A. W., Calibración de Tanques, The Science of Petroelum", Vol. I, Pags. 711-716, Oxford University Press, New York, 1938.

7. API, Manual de Estándares de Medición de Petróleo, Capítulo 1-Vocabulario, Coordinación de Mediciones, Traducción al Español de la Segunda Edición en Ingles de julio de 1994.
8. AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE, Tank Calibration 13.2990, Petroleum Measurement Series, 1984.
9. SGS, Oil, Gas & Chemicals, Calibración de Estanques, Folleto Informativo.