ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA

Revista Tecnológica ESPOL, Vol. xx, N. xx, pp-pp, (Agosto, 2009)

Comparación de los Resultados de los Volúmenes Encontrados a partir de los Métodos: Calibración Liquida API 2555 y Calibración por Medidas API 2552 para un Tanque Esferoidal de La Refinería La Libertad

Atilio Javier Murrieta Reasco [1], Carlos Alfredo Malavé Carrera[2], Ricardo Gallegos O. [3]
Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra[1] [2] [3]
Escuela Superior Politécnica del Litoral[1] [2] [3]
Km 30.5 Vía Perimetral contiguo a la Cdla. Santa Cecilia, 09-01-5863, Guayaquil, Ecuador
javiermurr@gmail.com[1], carlos_malave1@hotmail.com[2]
Director de Tesis. Escuela Superior Politécnica del Litoral[3], Ingeniero en Petróleos, Universidad del Zulia-Venezuela 1973. Msc. en Ingeniería de Petróleos, University of Wyoming-USA 1979. MBA, Tulane University-USA 2000. Master en Administración de Empresas, ESPAE-ESPOL 2001. Profesor de ESPOL desde 1973 [3], rgallegos@hotmail.com[3]

Resumen

Este trabajo desarrolla básicamente la comparación de los resultados de la aplicación de dos métodos de calibración de tanques de almacenamiento de hidrocarburos. Los métodos aplicados son los descritos en las normas: API 2555 también llamado calibración líquida y el API 2552 denominado calibración por medidas para esferas y esferoides. La comparación se realizó a un tanque del tipo esferoidal ubicado en la Refinería de La Libertad de la provincia de Santa Elena, se realizó la calibración del tanque por uno de los métodos es decir por el API 2552, donde se obtuvo la tabla de aforo por dicho método y luego se comparó con la tabla de aforo realizada por una empresa que usó el otro método el API 2555. Con dichas tablas de aforo se determinó cuál es la variación de los volúmenes parciales y acumulados en el tanque. Las secciones del tanque esferoidal donde se distorsionan los volúmenes parciales, estos influyen al volumen total del tanque dando valores erróneos que ocasionan pérdidas económicas a los interesados.

Palabras Claves: calibración, tanque esferoidal, calibración líquida, tabla de aforo, volumen parcial y acumulado

Abstract

This work presents in the first section the procedure for the measurement and calibration of a smooth spheroidal tank using API Standard 2552 - ASTM D 1408-65 and the Liquid Calibration or API Standard 2555 - ASTM D 1406. We developed the gage table using the API Standard 2552 and the other gage table obtained for a company of calibration of tanks using Liquid Calibration. Calculations were made for a tank of Refinería La Libertad.
The final section we concluded that the precision of results are usually of various factors, which affect the tank capacity table. Also presented is an analysis of the comparison with results from two gages tables. Comparison of the curves shows the difference of partial and total volumes of the tank.

Key Works: calibration, spheroidal, Liquid Calibration, gage table, partial volume, total volume

1. 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 re-calibración, 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. [9]

2. Métodos de calibración

Los dos métodos con los que se va a realizar el análisis para determinar las diferencias de volúmenes, son el método API 2555 y el método API 2552.

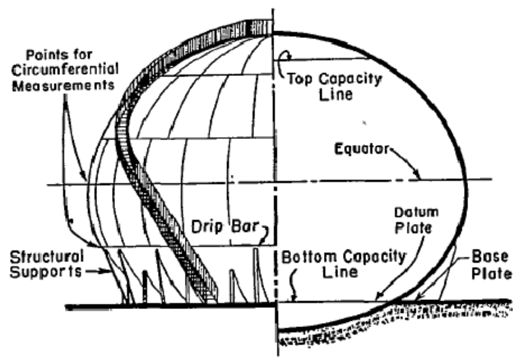
Mediante el API 2555 podemos calibrar cualquier tipo de tanque o parte de este, además a tanques de forma irregular, se puede realizar la calibración de dos formas:

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

b) 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. Los incrementos de llenado o vaciado deberían ser medidos por medio de una cinta y plomada o por la lectura del medidor. [1]

La Calibración por Medidas API 2552, este método aplica a esferas y esferoides y a tanques de forma regular, 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. 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 (Figura 2). El proceso a seguir para efectos de la comparación entre métodos se muestra en la Figura 1. [2]

Figura 1. Proceso para comparación



Fuente: API MPMS 2.2 A

Figura 2. Tanque esferoidal

3. Equipos utilizados

Los equipos utilizados en la calibración de tanques por el método API 2555 son: el suministro de agua, registrar los datos y equipos de medición para la línea de aforo y temperatura. Para el método API 2552 son: los descritos a continuación: cintas para la medición de las circunferencias, cintas para la medición de altura, medidor de espesor por ultrasonido, estación o teodolito, entre otros. 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]

4. Datos 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. Se obtuvo los diámetros del tanque, accesorios del tanque, la tabla de aforo como resultado de la calibración líquida.

5. Calibración según el API 2552

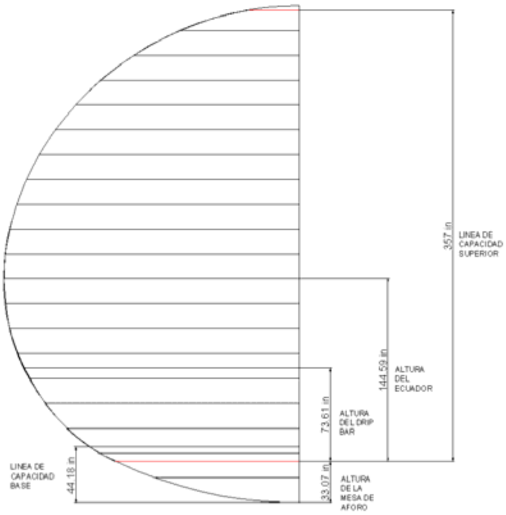
Para obtener la tabla de aforo utilizaremos la calibración por el método descrito en el API 2552. En la tabla 1 se muestra el resumen de los datos tomados en el campo.

Tabla 1. 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 3 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.



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

Figura 3. Ubicación de las líneas de capacidad del tanque 31

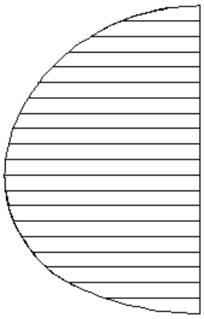
Además de las medidas de campo tomadas anteriormente, necesitamos medir en el tanque los accesorios para posteriormente calcular su volumen y realizar la corrección en la tabla de aforo con estos volúmenes. En la Tabla 2 se detallan los datos tomados en el campo a los accesorios, se describe la longitud 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 2. 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

6. Cálculos

Para calcular el radio del tanque a cada pulgada de altura, usamos la Figura 4, con la ayuda del Desarrollo de Perfil y Diámetros del Tanque 31, construimos los radios del tanque cada 500 mm, usando el programa Auto CAD 2009 como se muestra en la Figura 6.



Fuente: Datos Dibujados en Tesis de Grado J. Murrieta - C. Malavé de los Datos de PETROINDUSTRIAL

Figura 4. Radios internos medidos cada 500 milímetros de altura

En la figura 5 se ilustra los valores que intervienen para obtener los volúmenes por cada pulgada.

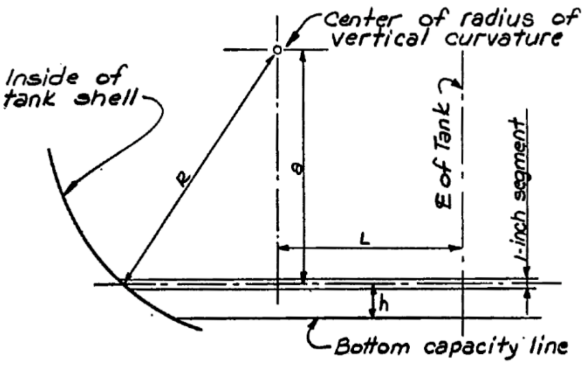
h = distancia vertical desde el centro del segmento hasta la línea de capacidad base.

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. [3]

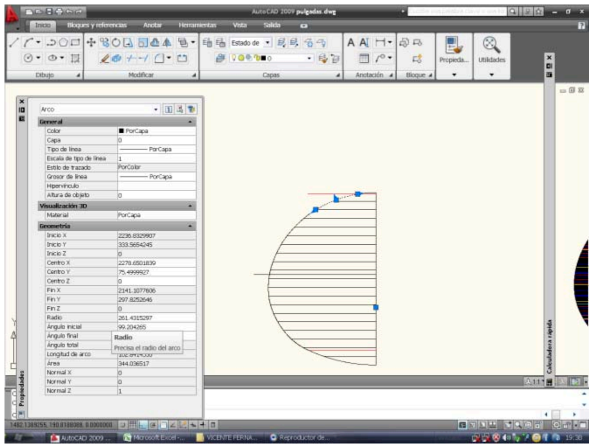
El valor de h comienza con un valor mínimo de 0.5 pulgadas, a este se le suma 1 pulgada hasta llegar al final de la sección seleccionada.



Fuente: API MPMS 2.2 A

Figura 5. Calculo 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 6.



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

Figura 6. Secciones de tanque seleccionado

En la Tabla 3, 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 3. Valores por sección para calcular radios interiores

No 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 4 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.

Para calcular los radios en el interior del tanque seguimos el siguiente esquema (Figura 6):

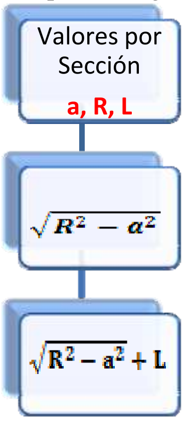


Figura 6. Procedimiento para calcular los radios interiores

En la siguiente tabla se resumen los cálculos realizado para la construcción de la tabla de aforo.

Tabla 4. Resumen de los Cálculos

RESUMEN DE CALCULOS		
Radio interno en el ecuador =	20.58447	ft
Radio interno en el Ecuador (planos) =	20.57742	ft
Factor para los radio de ajuste en la parte superior del tanque =	1.00034	
Espesor horizontal de la plancha =	0,03620	ft
Radio interno en la barra de goteo =	19.08459	ft
Radio interno en la barra de goteo (planos) =	19.12080	ft
Factor para los radio de ajuste en la parte inferior del tanque =	0.9981062	

Se realizará el ajuste de los radios externos por medio de los factores tanto en la parte superior como en la inferior del tanque.

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) = (   ) (1),

=

VOLUMEN (Cilindro) =

Figura 7. Procedimiento para la corrección de los radios interiores

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, de acuerdo al procedimiento de la Figura 7. A continuación se calcula individualmente los volúmenes.

Posteriormente, se determina el volumen total de los accesorios internos del tanque, según se muestra en la Tabla 5.

Para 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.

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

Tabla 5. 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	24,016	0,0467	452,9	12,008	0	1
VOLUMEN TOTAL ACCESORIOS:			0,5549916	5388,268			

Corrección del Volumen = K (ts - 60)

Donde,

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

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

ts = 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

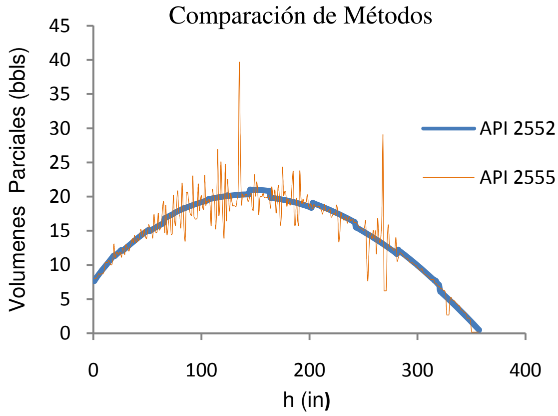
7. Comparación

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.

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.

En la Figura 8 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.

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 con poca variación en cada sección.



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

Figura 8. Gráfico comparativo de volúmenes parciales versus altura

La figura 9 muestra como varían los volúmenes acumulados en el tanque, se aprecia 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.

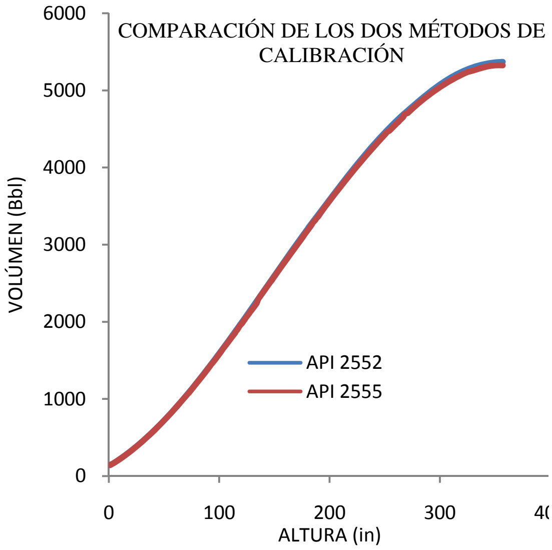


Figura 9. Comparación de los dos métodos de calibración

8. 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 8, 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 8 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.

9. Referencias

[1] API STANDARD 2555 – ASTM d 1406–65, METHOD FOR LIQUID CALIBRATION OF TANKS, September 1966, Reaffirmed August 1987.
[2] API Standard 2552 – ASTM Designation: D 1408–65, reaffirmed February 2006.
[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] http://www.monografias.com/trabajos22/calibracion/calibracion.shtml

ING. RICARDO GALLEGOS
DIRECTOR DE TESIS
DECANO FICT