

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA**



**DISEÑO DE MEDIDORES DE VOLUMEN PARA DISPENSADORES DE
GASOLINERAS**

TESIS

PRESENTADA A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

ESDRAS FELICIANO MIRANDA OROZCO
AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO

Guatemala, noviembre de 1997

08
T(4/27)
0.4

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de tesis titulado:

**DISEÑO DE MEDIDORES DE VOLUMEN PARA DISPENSADORES DE
GASOLINERAS**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 10 de abril de 1997.



ESDRAS FELICIANO MIRANDA OROZCO

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

MIEMBROS DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO:	ING. HERBERT RENÉ MIRANDA BARRIOS
VOCAL PRIMERO:	ING. JACK DOUGLAS IBARRA SOLÓRZANO
VOCAL SEGUNDO:	ING. JUAN ADOLFO ECHEVERRÍA MÉNDEZ
VOCAL CUARTO:	BR. VÍCTOR MANUEL LOBOS ALDANA
VOCAL QUINTO:	BR. WARNER GUSTAVO LÓPEZ CÁCERES
SECRETARIA:	ING. GILDA MARINA CASTELLANOS BAIZA DE ILLESCAS

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO:	ING. HERBERT RENÉ MIRANDA BARRIOS
EXAMINADOR:	ING. PEDRO ENRIQUE KUBES ZACEK
EXAMINADOR:	ING. JOSE ARTURO ESTRADA MARTÍNEZ
EXAMINADOR:	ING. CARLOS SANABRIA SOLCHAGA
SECRETARIO:	ING. JOSÉ ALBERTO BOY PIEDRASANTA

Guatemala, 16 de mayo de 1997.

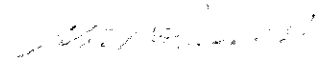
Ingeniero
Carlos Humberto Pérez
Director
Escuela de Ingeniería Mecánica
Facultad de Ingeniería
Presente.

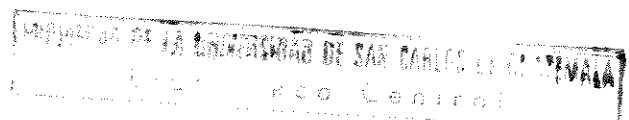
Señor Director:

Atentamente me dirijo a usted para someter a su consideración el trabajo de tesis del estudiante *Esdras Feliciano Miranda Orozco*, previo a obtener el título de Ingeniero Mecánico.

El trabajo en mención se titula: "DISEÑO DE MEDIDORES DE VOLUMEN PARA DISPENSADORES DE GASOLINERAS". He asesorado y revisado el trabajo y considero que llena satisfactoriamente los requisitos para su aprobación.

Atentamente,


Ing. Noel Prado Barragán
Colegiado No. 2901
Asesor.



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería Mecánica Industrial, Ingeniería Química, Ingeniería Mecánica Eléctrica, Escuela Técnica, Ingeniería en Sistemas Ingeniería Electrónica y Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos.
Apartado Postal 217-J-01-907, Guatemala
Ciudad Universitaria, Zona 12
Guatemala, Centroamérica

El Coordinador del Area Materiales y Complementaria de la Escuela de Ingeniería Mecánica, luego de conocer la aprobación del asesor y habiendo revisado en su totalidad el trabajo titulado Diseño de Medidores de Volumen para Dispensadores de Gasolineras del estudiante Esdras Feliciano Miranda Orozco, recomienda su autorización.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'José Arturo Estrada Martínez'.

Inq. José Arturo Estrada Martínez

Coordinador de Area

Guatemala, septiembre de 1,997

/behdei.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería Mecánica Industrial, Ingeniería Química, Ingeniería Mecánica Eléctrica, Escuela Técnica, Ingeniería en Sistemas Ingeniería Electrónica y Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos.
Apartado Postal 217-1-01-907, Guatemala
Ciudad Universitaria, Zona 12
Guatemala, Centroamérica

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, después de conocer el dictamen del asesor, con el visto bueno del Coordinador del Area de Diseño al trabajo de tesis titulado Diseño de Medidores de Volumen para Dispensadores de Gasolineras, del estudiante Esdras Feliciano Miranda Orozco, procede a la autorización del mismo.

ID Y ENSEÑANZA A TODOS

A handwritten signature in dark ink, appearing to read 'C. Pérez Rodríguez'.



Inq. Carlos Humberto Pérez Rodríguez

DIRECTOR

Guatemala, noviembre de 1,997.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA

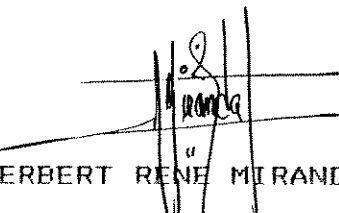


FACULTAD DE INGENIERIA

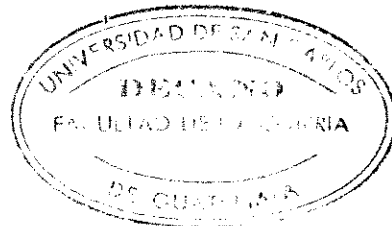
Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería Mecánica Industrial, Ingeniería Química, Ingeniería Mecánica Eléctrica, Escuela Técnica, Ingeniería en Sistemas Ingeniería Electrónica y Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos.
Apartado Postal 217-1-01-907, Guatemala
Ciudad Universitaria, Zona 12
Guatemala, Centroamérica

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, Ingeniero Carlos Humberto Pérez Rodríguez, al trabajo de tesis titulado **Diseño de Medidores de Volumen para Dispensadores de Gasolineras**, presentado por el estudiante universitario **Esdras Feliciano Miranda Orozco**, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRIMASE


ING. HERBERT RENE MIRANDA BARRIOS
D E C A N O

Guatemala, noviembre de 1,997.



DEDICATORIA

A DIOS:

Padre Eterno

A MIS PADRES:

AUGUSTO MIRANDA GODÍNEZ.

En reconocimiento a sus nobles esfuerzos; y a mi madre de quien guardo recuerdos.

A MIS HERMANOS:

EDNA REBECA, MERLIN, SILVIA, GERSON, IVAN.

Por brindarme su apoyo.

A MI FAMILIA EN GENERAL.

A LA INGENIERA CAROL THOMPSON LARIOS.

A LA FACULTAD DE INGENIERÍA.

A MIS AMIGOS Y COMPAÑEROS DE ESTUDIO.

A LA FACULTAD DE INGENIERÍA.

A LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA.

AGRADECIMIENTOS

A DIOS:

Fuente de toda sabiduría y punto de apoyo en mi vida.

AL INGENIERO NOEL PRADO BARRAGÁN:

Por su apoyo en la elaboración del presente trabajo.

AL INGENIERO RAFAEL EDUARDO BANCES.

AL INGENIERO RONALD VINICIO FUENTES.

AL INSTITUTO CENTROAMERICANO DE INVESTIGACIÓN Y TECNOLOGÍA INDUSTRIAL (ICAITI).

AL INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR (IGM).

ÍNDICE GENERAL

	Página
LISTA DE ILUSTRACIONES	I
ABREVIATURAS	II
SÍMBOLOS	III
GLOSARIO	IV
INTRODUCCIÓN	VI
1 DESCRIPCIÓN DE LOS TÉRMINOS RELACIONADOS CON LOS FLUIDOS	
1.1 Unidades relacionadas en la medición de las características de los fluidos	1
1.2 Densidad	3
1.2.1 Densidad específica	4
1.2.2 Densidad relativa	4
1.3 Peso específico	4
1.4 Volumen específico	5
1.5 Viscosidad	5
1.5.1 Viscosidad absoluta	7
1.5.2 Viscosidad cinemática	7
1.6 Presión	7
1.7 Temperatura	9

2 INSTRUMENTOS MECÁNICOS PARA MEDIR NIVELES

2.1 Instrumentos para medir niveles	11
2.2 Características de los dispositivos de medición	12
2.2.1 Regla o varilla graduada	12
2.2.2 Mirilla graduada	12
2.2.3 Sistema de flotadores para medición de niveles	13
2.2.4 Mecanismos de flotador de bola	15
2.3 Equipo para medir volúmenes grandes	16
2.3.1 Tanques horizontales	17
2.3.1.1 Espacio de medición, volumen medido	18
2.3.1.2 Valor de la escala de graduación de volumen	18
2.3.1.3 Dispositivos de medición para determinar el llenado del tanque	19
2.3.1.3 Dispositivos de sondeo con varillas de nivel	19
2.3.1.3.2 Dispositivos de sondeo con cintas de nivel	21
2.3.2 Tanques verticales	22
2.3.2.1 Dispositivos de medición para llenar tanques	24
2.4 Equipo para medir volúmenes pequeños	25

3 RECOPIACIÓN DE NORMAS PARA MEDICIÓN DE VOLÚMENES

3.1 Especificación técnica	27
3.2 Norma	27
3.3 Normas armonizadas	28
3.4 Norma obligatoria	28
3.5 Norma nacional	28

3.6 Norma internacional	29
3.7 Norma regional	29
4 PATRONES Y CALIBRACIÓN DE INSTRUMENTOS	
4.1 Tipos de patrones	30
4.1.1 Patrón primario	30
4.1.2 Patrón secundario	31
4.1.3 Patrón de trabajo	31
4.2 Calibración	31
4.3 Método de calibración de medidores de volumen	32
4.3.1 Recomendaciones preliminares	32
4.4 Funcionamiento y características de las bombas surtidoras de combustible	35
4.4.1 Funcionamiento	37
4.4.2 Tipos de surtidores y sus características	37
4.5 Características de los patrones de verificación de las bombas surtidoras de combustible	38
4.6 Método propuesto para la calibración de las bombas surtidoras de gasolina	39
4.6.1 Equipo utilizado	40
4.6.2 Procedimiento	40
4.6.3 Cuándo calibrar los medidores	42
4.7 Cálculo de incertidumbres	43
CONCLUSIONES	VII
RECOMENDACIONES	VIII
REFERENCIAS	IX
BIBLIOGRAFÍA	X

APÉNDICE

PROCEDIMIENTO PARA EL USO DE LAS TABLAS PARA
CORRECCIONES DE TEMPERATURAS EN CALIBRACIÓN DE
SERAFINES

XI

LISTA DE ILUSTRACIONES

Figura No.		Página
1	Ilustración de términos usados en medidas de presión	9
2	Esquemas de mirillas de vidrio	13
3	Diagrama del mecanismo de medición de niveles de flotador y cadena o cinta	14
4	Mecanismo de flotador de bola para medir niveles	15
5	Sección transversal de un medidor magnético de flotador	16
6	Esquema de un tanque de almacenamiento cilíndrico horizontal	17
7	Varillas de nivel y escalas	20
8	Esquema de un tanque de almacenamiento cilíndrico vertical y sus diferentes espacios	23
9	Dispositivos de medición para llenar tanques	24
10	Elementos constitutivos de las bombas surtidoras de combustible	36
11	Esquema de los probadores volumétricos (serafines)	39

ABREVIATURAS

API	American Petroleum Institute.
ASTM	American Society for Testing and Materials.
CGPM	Conferencia General de Pesas y Medidas.
COGUANOR	Comisión Guatemalteca de Normas.
ICAITI	Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial.
ISO	International Standards Organization.
NBS	National Bureau of Standards.
NIST	National Institute of Science and Technology.
OIML	Organisation Internationale de Métrologie Legale.
SI	Sistema Internacional de Unidades.

SÍMBOLOS

A	Ampere (amperios).
°C	Grados Celcius.
°F	Grados Fahrenheit.
J	Joule (julio).
K	Grados Kelvin.
kg	Kilogramo.
m	Metro.
N	Newton.
Pa	Pascal.
s	Segundo.

GLOSARIO

Bomba surtidora de combustibles	Dispositivo mecánico del tipo desplazamiento positivo donde el flujo de líquido es constante, destinado a surtir combustible en una estación de servicio o gasolinera.
Calibración	Conjunto de operaciones que establecen, en condiciones específicas, la relación entre valores indicados por un aparato o un sistema de medición, o los valores representados por una medida materializada, y los valores conocidos correspondientes a una magnitud de medida.
Densidad	Relación entre la masa y el volumen de un cuerpo.
Fluido	Sustancia que se deforma continuamente bajo la acción de fuerzas cortantes.
Magnitud (medible)	Atributo de un fenómeno, de un de un cuerpo, o de una sustancia que puede ser determinado cuantitativamente.

Metrología	Campo de conocimientos relativos a las mediciones. Abarca aspectos teóricos y prácticos cualquiera que sea el nivel de exactitud y cualquiera que sean los dominios de la ciencia y la tecnología.
Norma	Documento o disposición realizada por comités especializados dirigida a solucionar problemas repetitivos en la ciencia, tecnología y economía.
Patrón	Instrumento de medición, medida materializada, material de referencia o sistema de medición destinado a definir, realizar, conservar, o reproducir una unidad o uno o más valores de una magnitud para utilizarse como referencia.
Patrón Primario	Unidad de valor absoluto de extrema precisión; es utilizado para calibrar todos los demás instrumentos de una región o país.
Patrón secundario	Es el patrón de referencia entre el patrón primario y el utilizado para calibrar el equipo directamente en el campo de trabajo.
Serafin	Probador volumétrico de referencia para medición de volumen en combustibles líquidos.

INTRODUCCIÓN

Existe, en la actualidad, la necesidad de patrones de verificación en la medición de combustibles expendidos por las gasolineras. Además, de parte de los organismos gubernamentales encargados de la fiscalización de que los productos hidrocarburos líquidos sean despachados a los consumidores con la seguridad de que la cantidad entregada se encuentre en términos razonables al pago efectuado, como parte de la protección a los mismos consumidores. Recientemente, se han llevado a cabo mediciones en las gasolineras sin que hasta el momento existan normas nacionales para la verificación en el expendio de los combustibles.

Debido a la exigencia, cada vez mayor, en la medición y control en el despacho de los combustibles donde se requiere siempre exactitud y precisión, se hace necesario proponer un procedimiento mediante el cual se pueda verificar la medición exacta de los productos despachados en una estación de expendio de combustibles; para tener referencia estable y un método que sea fácil de manejar. El objetivo del presente trabajo es presentar en una forma ordenada cada uno de los pasos del método propuesto para la calibración de las bombas surtidoras, tomando en cuenta el diseño de los medidores volumétricos llamados "serafines" para el control del volumen despachado en las gasolineras.

El presente trabajo incluye desde las propiedades fundamentales de los fluidos, unidades relacionadas en la medición, instrumentos para medición de grandes y pequeños volúmenes y se concluye con la propuesta para la calibración de las bombas surtidoras.

CAPÍTULO 1

1 DESCRIPCIÓN DE LOS TÉRMINOS RELACIONADOS CON LOS FLUIDOS

La materia se encuentra básicamente en dos estados: sólido o fluido; esto es desde el punto de la mecánica de los fluidos. La diferencia entre ambos está dada por la respuesta a la aplicación de esfuerzos cortantes o tangenciales. Un fluido no resiste esfuerzos cortantes, un sólido si resiste a dichos esfuerzos mediante una deformación estática. Un fluido se deforma constantemente bajo la acción de esfuerzos cortantes.

Conviene conocer las unidades con las cuales se realizan las mediciones de las características de los fluidos, antes de entrar a conocer el concepto de dichas características.

1.1. Unidades relacionadas en la medición de las características fundamentales de fluidos

En la actualidad se usan en el área centroamericana, gran cantidad de unidades basadas en los sistemas inglés, métrico y español, así como unidades de origen local, que han creado una gran confusión en la tecnología, la ciencia y las relaciones comerciales, los asuntos legales, etc. Problemas similares en mayor o menor grado, se han presentado en otros países y regiones del mundo por lo que ha sido necesario adoptar a nivel mundial un único sistema de unidades para todas las actividades de quehacer humano; dicho sistema es el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Debido a tales problemas, la Conferencia General de Pesas y Medidas (CGPM), modificó y actualizó el Sistema Métrico para complementarlo, dando como resultado el llamado Sistema Internacional de Unidades.

Dicho sistema ha demostrado ser mucho más racional que otros sistemas, tanto en trabajos científicos como técnicos, y actualmente, se ha oficializado su uso legal en más de 20 países, incluyendo algunos de los centroamericanos. Además, se tiende a su implantación en todo el mundo, lo que indudablemente redundará en una mejor comprensión entre los pueblos.

El sistema consta de solamente siete unidades fundamentales, dos complementarias, con las que se pueden derivar todas las unidades que normalmente se utilizan en la actualidad en la ciencia y la tecnología.

A continuación se presentan las unidades fundamentales, complementarias, así como algunas unidades derivadas, objeto de estudio en el presente trabajo; referidas de la Norma Centroamericana ICAITI 4010, para el uso del Sistema Internacional de Unidades (SI):

Unidades fundamentales

MAGNITUD	NOMBRE DE LA UNIDAD	SÍMBOLO
Longitud	metro	m
masa	kilogramo	kg
tiempo	segundo	s
corriente eléctrica	ampere (amperio)	A
temperatura termodinámica	kelvin	k
intensidad luminosa	candela	cd
cantidad de sustancia	mol	mol

Unidades complementarias

MAGNITUD	NOMBRE DE LA UNIDAD	SÍMBOLO
ángulo plano	radián	rad
ángulo sólido	estereoradián	sr

Algunas unidades derivadas

MAGNITUD	NOMBRE DE LA UNIDAD	SÍMBOLO	EXPRESIÓN EN TÉRMINO DE OTRAS UNIDADES
densidad absoluta	kilogramo por metro cúbico	kg/m ³	
fuerza	newton	N	m.kg/s ²
presión	pascal	Pa	N/m ²
trabajo (energía, cantidad de calor)	joule(julio)	J	N.m
viscosidad cinemática	metro cuadrado por segundo	m ² /s	
viscosidad dinámica	pascal segundo	Pa.s	
volumen	metro cúbico	m ³	
volumen específico	metro cúbico por kilogramo	m ³ /kg	

Las características fundamentales de los fluidos se pueden resumir en las siguientes: densidad, peso específico, volumen específico, viscosidad.

1.2 Densidad

Se le llama así a la relación que existe entre la masa de un cuerpo y el volumen que este ocupa, sin importar el estado en que se encuentre.

La densidad de un cuerpo puede darse como densidad específica o como densidad relativa.

1.2.1 Densidad específica: cuando la densidad viene dada en unidades de masa y volumen, se define de la siguiente manera:

$$\rho = m/v \quad (\text{Ecuación 1})$$

donde

ρ = densidad específica

m = masa

v = volumen

1.2.2. Densidad Relativa: La relación entre la densidad de una sustancia y la del agua en condiciones estándar, es adimensional, y generalmente se representa así:

$$S = \rho_s/\rho_a \quad (\text{Ecuación 2})$$

donde

ρ_s = densidad de la sustancia

ρ_a = densidad del agua

Si $S > 1$ se dice que la sustancia es más pesada que el agua, cuando $S = 1$ se trata del agua en condiciones normales o estándar, y si $S < 1$ la sustancia es menos pesada que el agua.

1.3 Peso específico

El peso por unidad de volumen de un fluido se define como su peso específico y se representa por el símbolo γ . El peso específico al igual que la

densidad cambia con la presión y la temperatura a la que se encuentra sometida la sustancia; pero a diferencia de la densidad el peso específico cambia con el lugar, ya que se ve afectado por la aceleración de la gravedad, por lo cual puede representarse de la siguiente manera

$$\gamma = W/v = mg/v \text{ (Ecuación 3)}$$

donde:

γ = peso específico

W = peso de la sustancia

m = masa de la sustancia

g = aceleración de la gravedad

v = volumen ocupado por la sustancia

1.4 Volumen específico

Al recíproco de la densidad se le define volumen específico, es decir, la relación entre el volumen ocupado por una sustancia y su masa respectiva, representado por V_s , así que:

$$V_s = 1/\rho_s \text{ (Ecuación 4)}$$

1.5 Viscosidad

La viscosidad es aquella propiedad de un fluido por medio de la cual ofrece resistencia al esfuerzo de corte. Esta es una característica propia de los

fluidos ya que al hacer fluir un líquido sobre una superficie, éste la humedece y la capa humectante se adhiere a dicha superficie, permaneciendo estacionaria, pero, la capa que se encuentra sobre la humectante se mueve con lentitud y conforme aumentan la distancia de las capas de fluido a la capa humectante se mueve con mayor rapidez.

Si se cumple lo anterior, se puede deducir una función para expresar dicha condición. Suponiendo que la capa superior tiene una velocidad V , la cual es mayor a la de la capa inferior y la altura de profundidad es h entonces existe una rapidez de flujo dada por V/h , la cual se mantiene constante mientras los parámetros se mantengan inalterables.

Si se toma como elemento representativo a un cubo de fluido, el esfuerzo cortante está en función de la fuerza y el área del cubo paralelo a la fuerza (F/A).

Como el esfuerzo es proporcional a la velocidad de un fluido en condiciones similares, se necesita de una constante de proporcionalidad para lograr una igualdad; a dicha constante se le denomina coeficiente de viscosidad, por lo que es esfuerzo esta dado por:

$$\tau = \mu F/A = V/h \quad (\text{Ecuación 5})$$

De donde:

- τ = Esfuerzo cortante.
- μ = Coeficiente de viscosidad.
- V = velocidad.
- F = Fuerza cortante.
- A = Área paralela a la fuerza.
- h = profundidad

Para referirse al coeficiente de viscosidad, debe indicarse la temperatura, ya que en los fluidos ésta lo afecta de la siguiente manera: en los líquidos la viscosidad disminuye al aumentar la temperatura, mientras que en los gases viscosidad aumenta al aumentar la temperatura. La viscosidad puede representarse como viscosidad absoluta y viscosidad cinemática.

1.5.1. Viscosidad absoluta

También es conocida como viscosidad dinámica. Estos nombres son los que se le dan a μ para diferenciarlo de la viscosidad cinemática.

1.5.2. viscosidad cinemática

Es la relación de la viscosidad y la densidad del fluido ρ_s , la viscosidad cinemática entonces se representa por

$$v = \mu/\rho_s \text{ (Ecuación 6)}$$

Propiedades como la densidad son una función de la presión y de la temperatura, por lo que conviene conocer el concepto de cada uno de estos términos.

1.6 Presión

La presión promedio se calcula al dividir la fuerza normal de un área plana entre dicha área; la presión es una cantidad escalar ya que es una propiedad de un fluido en un punto. La presión que actúa en un punto de un fluido en reposo es la misma en todas las direcciones.

La presión atmosférica estándar (normal) a nivel del mar es de 1.033 kg/cm² y también se puede definir como la presión que puede soportar una columna de mercurio de 760 mm. (29.9 plg.) de longitud, si la densidad del mercurio es de 13.5951 g/cm³; 14.7 psia (libras por plg. cuadradas absolutas), donde la aceleración de la gravedad es un valor estándar.

La presión disminuye con la altura a partir del nivel del mar. La magnitud de la presión se expresa relacionada con un nivel de referencia. Los dos niveles de referencia más comunes son el cero absoluto y la presión atmosférica local. Si la presión se expresa como la diferencia entre éste valor y el cero absoluto, se llama presión absoluta; cuando se expresa como la diferencia entre su valor y la presión atmosférica local, se llama presión manométrica. Si la presión es negativa se le denomina presión de vacío.

Las mediciones de la presión pueden ser desde valores muy bajos que se consideran un vacío, hasta miles de toneladas por unidad de área.

Las presiones pueden ser expresadas en forma adecuada y correcta en cualquiera de las siguientes unidades:

- | | |
|---------------------------------------|--------------------------|
| -. milímetros de mercurio | (mm Hg) |
| -. kilogramos por centímetro cuadrado | (kg/cm ²) |
| -. libras por pulgada cuadrada | (lb/plg ²) |
| -. pulgadas de mercurio | (plg. Hg) |
| -. pulgadas de agua | (plg. H ₂ O) |
| -. micrones | (10 ⁻³ mm Hg) |
| -. torrs | (1 mm Hg) |

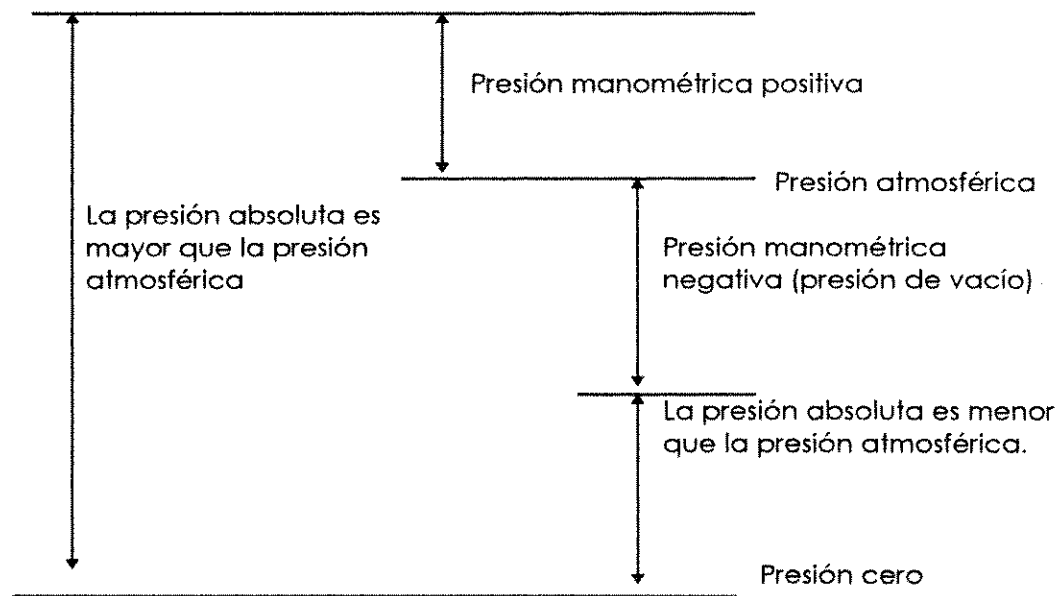


Figura 1. Ilustración de los términos usados en las medidas de presión.

Si un fluido está en movimiento de manera que una capa se mueve relativamente a otra capa adyacente, ocurren esfuerzos cortantes, entonces los esfuerzos normales ya no son iguales en un mismo punto: La presión entonces se define como un promedio de todos los esfuerzos compresivos normales en un punto.

1.7 Temperatura

El término temperatura se define de una manera indirecta. Se habla más bien de igualdad de temperaturas entre dos sustancias que la temperatura de una de ellas específicamente. La igualdad de temperaturas se establece, poniendo en contacto térmico a dos sustancias y observando los cambios de sus

propiedades físicas (longitud por ejemplo) , cuando los cambios se dejan de observar se dice que las sustancias tienen la misma temperatura.

La medición de la temperatura se hace tomando como base cuatro escalas: la Celcius, la Fahrenheit, la Kelvin y la Rankine. Las escalas ordinarias de temperaturas son la Fahrenheit y la Celcius (centígrada) y se definen mediante el uso de del punto de congelamiento y de ebullición del agua a presión atmosférica. En la escala de temperatura Celcius, el intervalo entre el punto de congelamiento y ebullición se divide en 100 intervalos iguales. Se muestra a continuación en la tabla los puntos de congelamiento y ebullición en las diferentes escalas.

ESCALA	°F	°C	K	°R
Punto de ebullición a presión atmosférica	212	100	373	672
Punto de congelamiento del agua	32	0	273	492

La relación entre las escalas de temperaturas son las siguientes:

$$^{\circ}\text{F} = 1.8(^{\circ}\text{C}) + 32.00$$

$$\text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273.15$$

$$^{\circ}\text{R} = ^{\circ}\text{F} + 459.67$$

CAPÍTULO 2

2 INSTRUMENTOS MECÁNICOS PARA MEDIR NIVELES

2.1 Instrumentos para medir niveles

El control de nivel de líquidos o materiales secos dentro de un recipiente, puede parecer sencillo, pero la medición puede resultar más o menos difícil, dependiendo del tipo de material, cuando éste sea corrosivo o abrasivo, cuando tienen que mantenerse sometidos a altas presiones, o si son radiactivos, cuando se encuentra dentro de un recipiente sellado en el que no es conveniente mantener partes móviles.

Las dificultades se presentan cuando se requiere de una gran precisión en las mediciones dentro de recipientes muy pequeños o muy grandes, receptáculos abiertos o depósitos.

Para controlar el nivel entre dos puntos que han sido previamente determinados (uno alto y otro bajo), se aplican los instrumentos para controlar y medir el nivel. Entre los instrumentos que pueden medir y mantener los niveles se encuentran los del tipo mecánico, que incluyen dispositivos visuales e indicadores.

2.2 Características de los dispositivos de medición

2.2.1 Regla o varilla graduada

El dispositivo más simple para medir un nivel es una varilla debidamente graduada en una unidad adecuada que se puede insertar en el recipiente; la parte mojada de la varilla indica la profundidad real del material que se mide. Este método puede utilizarse para medir la cantidad de gasolina en los tanques de una gasolinera. Estas mediciones son simples pero muy efectivas.

Este método no es muy práctico cuando el material sujeto a medición es tóxico o corrosivo y cuando la persona que lo aplica tiene que estar de pie sobre la abertura y mantiene las manos descubiertas mientras saca la varilla del recipiente. Este método no sirve para controlar el nivel excepto para llenar manualmente el tanque o el depósito para proporcionar el volumen requerido para la aplicación.

2.2.2 Mirilla graduada

Otro método visual sencillo es la mirilla graduada para medir el nivel de materiales líquidos no corrosivos que no manchan y no son pegajosos. Este método puede utilizarse tanto en depósitos abiertos como cerrados. En las mediciones en depósito cerrado se pueden mantener presiones más o menos altas utilizando mirillas protegidas para mayor seguridad.

La mirilla de vidrio puede encontrarse en cafeteras, calderas, tanques y otros depósitos abiertos o cerrados para los que este tipo de indicación visual es adecuado. Por lo general, hay una persona al cuidado que puede controlar manualmente el nivel de líquidos dentro de los límites escogidos para dicha aplicación. En algunos casos se utilizan

alumbrados especiales detrás de la mirilla, arreglados de tal manera que se pueden ver diferentes colores para distintos líquidos de nivel.

Se debe cuidar que el calibre de la mirilla sea lo mayor posible, ya que si es demasiado pequeño, se registra la acción capilar y el nivel indicador será más alto que el real. Los líquidos también tienen un menisco donde se adhieren al vidrio. El agua tiene una forma cóncava y el nivel debe leerse en la base. El mercurio tiene una forma convexa o de cúpula y el nivel se lee entonces en la parte superior.

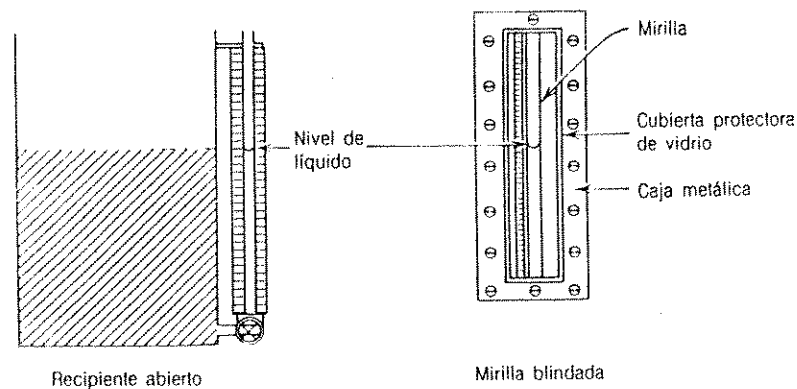


Figura 2. Esquemas de mirillas de vidrio.

La forma del depósito determina con frecuencia el tipo de instrumento requerido para efectuar la medición del nivel. Un depósito alto y angosto permite mediciones de nivel más precisas con respecto al volumen que los depósitos anchos y bajos, pues un ligero cambio de nivel en éstos últimos representa una mayor capacidad en un sistema controlado.

2.2.3 Sistema de flotadores para medición de niveles

Estos sistemas se emplean cuando se necesita una indicación o el registro de una medición del nivel, se puede emplear un sistema que contenga un flotador y una cinta o un flotador y una cadena cuando se trata de depósitos abiertos. En depósitos cerrados, al vacío o bajo presión que se deben mantener sellados, se acostumbra usar flotadores con brazo de torsión flotadores de jaula, flotadores acoplados con dispositivos hidráulicos operados con flotador.

La cinta o cadena se utiliza como conexión entre el mecanismo indicador o registrador y el flotador, la figura 3 muestra un mecanismo típico de flotador y cinta para medir el nivel. Los flotadores pueden tener cualquier forma redonda, cilíndrica, o una combinación de ambas.

El flotador se debe construir de tal manera que flote dentro del material que se va a medir. Significa que la densidad del flotador debe ser inferior a la del material que lo sostiene.

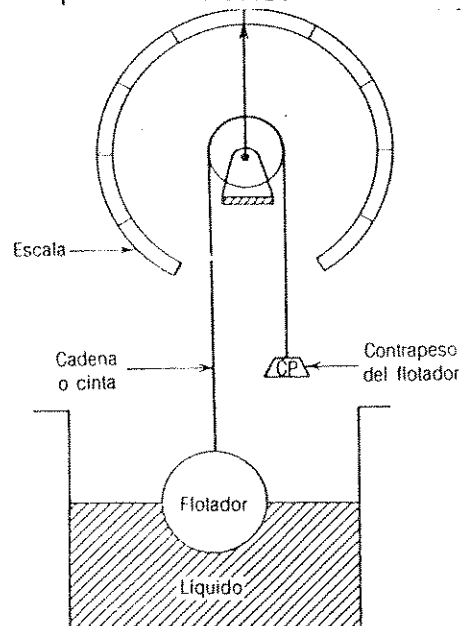


Figura 3. Diagrama del mecanismo de medición de niveles típico, de flotador y cadena o cinta.

Las únicas limitaciones de un sistema de medición de nivel con flotador y cadena o cinta son las que se presentan con la variación del nivel que va a ser medido en el depósito o la columna hidrostática particular y una decisión práctica respecto al tamaño del flotador para su aplicación.

2.2.4 Mecanismos de flotador de bola

Este tipo de mecanismos se pueden emplear en depósitos abiertos o cerrados. Sirve para medir niveles empleados normalmente cuando existe un cambio de nivel limitado y están destinados a medir únicamente niveles que están determinados por la longitud de brazo que sostiene el flotador de bola.

El mecanismo de bola se puede usar en depósitos sellados sacando el eje giratorio a través de un sello de empaque. En este tipo de aplicación, el flotador de bola debe ser capaz de soportar el vacío o la presión del depósito. La figura 4 muestra una aplicación del sistema de flotador de bola, en estos casos se prefiere este sistema ya que ofrece una mejor sensibilidad y precisión en las mediciones. La flotabilidad del flotador debe escogerse de tal manera que se hunda en el líquido de menor densidad y flote en el líquido más pesado.

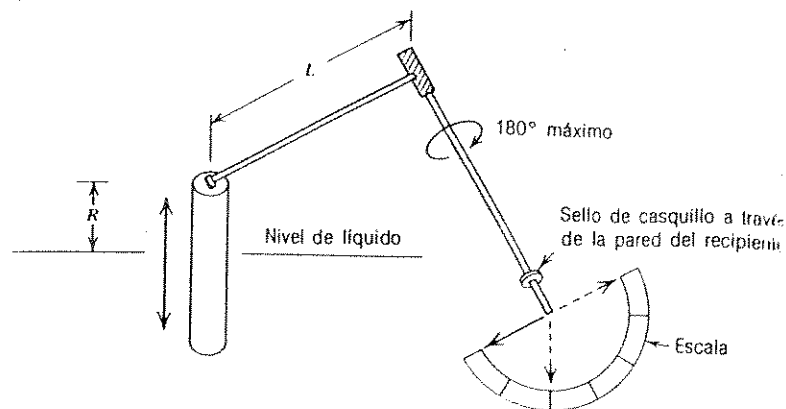


Figura 4. Mecanismo de flotador de bola para medir niveles.

Existe otro tipo de medidor magnético de flotador del cual el tipo general se muestra en la figura 5, que se puede utilizar cuando es necesario aislar el flotador del material que se mide; si se utiliza un tubo sumergible no magnético que soporte la temperatura, presión y otras condiciones de la operación. Este sistema utiliza imanes que tienen polos magnéticos opuestos, de modo que se atraen entre sí. Conforme el imán exterior asciende o desciende, el imán interior se desplaza en la misma dirección debido a la atracción de los imanes. La precisión en la medición depende de la fuerza de acoplamiento de los imanes y de la fricción del sistema.

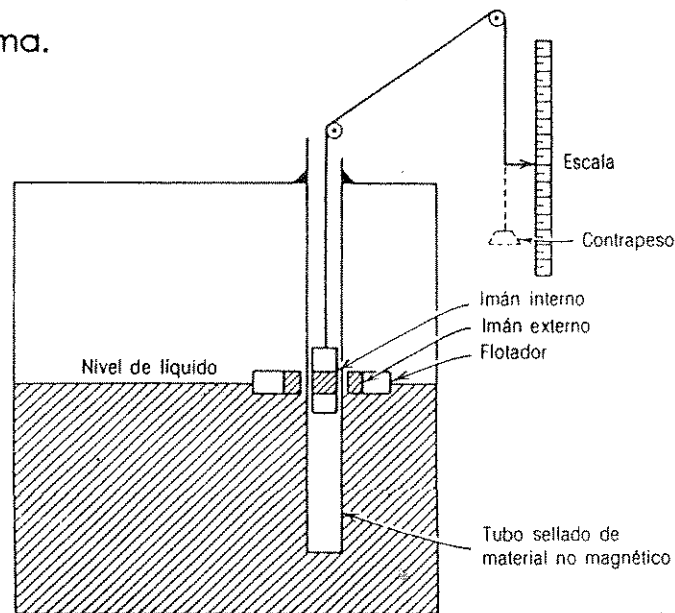


Figura 5. Sección transversal de un medidor magnético de flotador

2.3 Equipo para medir volúmenes grandes

En general se emplean tanques horizontales y verticales en formas cilíndricas circulares, compuestas de placas de acero para el manejo de grandes volúmenes, conviene citar cada tipo de tanque según su disposición (horizontal o vertical), y los elementos empleados en cada uno de ellos para medir el volumen en su interior.

2.3.1. Tanques horizontales

Su forma general es de cilindro circular horizontal. Sus cubiertas están hechas con fondos en forma de bóveda. Los tanques pueden ser subdivididos en su interior en varias cámaras; las cuales para efecto de medición pueden considerarse cada una en sí como un tanque; el volumen del tanque resultara esencialmente de la suma del volumen del cilindro y el volumen de ambos segmentos esféricos conformados por los fondos abovedados.

En la parte inferior de los tanques horizontales, que en la práctica están algo inclinados, hay un volumen de relleno que no puede ser medido por sondeo, a menos que su plano horizontal superior (volumen de fondo) alcance el borde inferior del dispositivo medidor de nivel, esta parte del interior del tanque se considera como parte del depósito de fondo, el nivel de fondo debería ser elegido a una altura tal que se extienda a toda la longitud del tanque .

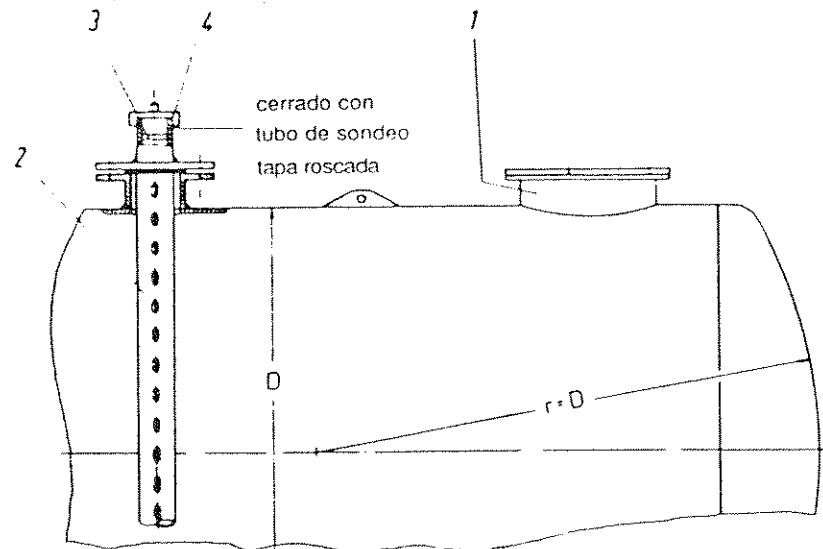


Figura 6. Representación esquemática de un tanque de almacenamiento cilíndrico horizontal. 1. orificio de carga; 2. tubo de sondeo; 3. placa de tope para sonda de nivel; 4. tapa del tubo de sondeo.

2.3.1.1. Espacio de medición, volumen medido

El espacio de medición comprende tanto el depósito de fondo no graduado, como también la sección de volumen graduada que se encuentra sobre el nivel de fondo. El límite superior del espacio de medición, dependiendo del dispositivo de medición utilizado, esta dado ya sea por la marca graduada superior del nivel o de la escala. La sección de volumen graduada y la no graduada conforman entre ambas el volumen medido del tanque de almacenamiento. Por lo general, el volumen medido debe ser fijado de tal manera que resulte menor que el volumen del tanque, por que técnicamente resulta difícil llenar completamente el tanque sin que quede aire atrapado.

2.3.1.2. Valor de la escala de graduación de volumen

El valor de la escala es el volumen correspondiente a una división de la escala de trazos; las exigencias metrológicas para el dimensionamiento de las escalas son:

- a) El valor de la escala debe corresponder a una unidad de volumen, o aun múltiplo decimal o submúltiplo decimal de la unidad, o bien al doble o al quíntuple de la misma.
- b) El valor de la escala debe ser elegido de tal manera que la separación entre las marcas a la altura de la máxima sección transversal valga entre 4mm y 10mm, estos valores son indicativos pudiendo ser los mismos ligeramente mayores o menores.

- c) El valor de la escala debe ser el mismo en todo el rango de graduación del tanque de almacenamiento.

2.3.1.3. Dispositivos de medición para la determinar el llenado del tanque

Para tubos de alimentación se han de proveer escalas que permitan una lectura confiable y sin medios auxiliares. Las escalas para tubos de alimentación son niveles metálicos provistos con una graduación representada por marcas de trazos según el volumen o longitud.

Cada tanque (o cámara del tanque) puede tener solamente una instalación de sondeo, la cual se compone de una varilla o cinta de nivel y de las partes fijas al tanque, tales como la tabuladura de sondeo, abertura de sondeo, tubo o placa de sondeo.

2.3.1.3.1. Dispositivos de sondeo con varillas de nivel

En el medio de la carcasa del tanque, en la parte superior, va dispuesta una abertura de sondeo con tubo de inmersión para la conducción de la varilla de nivel en posición vertical. Las paredes del tubo de inmersión deben estar provistas con aberturas laterales para la compensación del nivel de líquido entre el tubo de inmersión y el tanque. Las varillas son diseñadas de la siguiente manera.

- Ya sea fijas, con la superficie inferior apoyado sobre la placa de sondeo o sobre el piso del tubo de inmersión , o sobre el fondo del tanque.

- O bien suspendidas, con una pieza transversal colocada en el extremo superior de la varilla, o una placa de tope, o algo similar, apoyando solamente sobre el borde superior del tubo de sondeo.

En la figura 7 se da un ejemplo de la designación, numeración y realce de la graduación de las varillas de nivel y escalas.

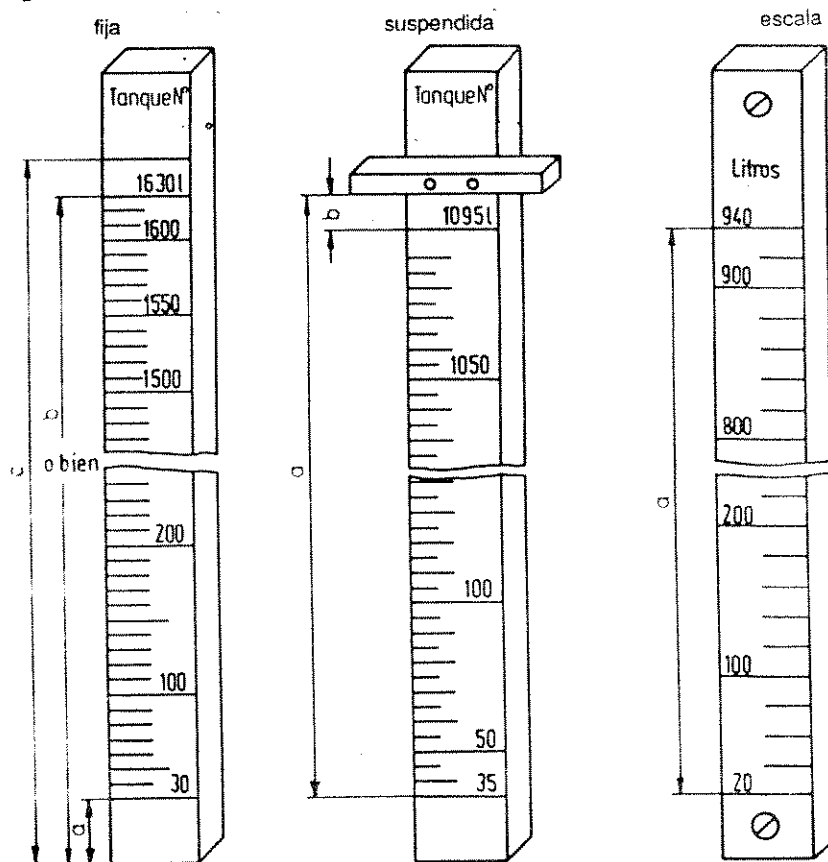


Figura 7. Varillas de nivel y escalas

Las varillas de nivel pueden estar graduadas ya sea por volumen o por longitud. Cuando la varilla de nivel es graduada en volumen, debe ser utilizada para el tanque para el cual se ha determinado su graduación.

Cuando la varilla de nivel es graduada en longitud, el valor de escala debe ser de 1mm. Una varilla de nivel de tipo suspendida,

graduada en longitud, puede ser utilizada para varios tanques cuando su extremo inferior cuelga libremente en cada tubo de sondeo considerado. La graduación en longitud ofrece ventajas como:

- Facilidad de control del volumen determinado.
- Utilización de la varilla de nivel en determinadas circunstancias para varios tanques.

La graduación en volumen es mejor desde el punto de vista metrológico y por lo tanto se prefiere dado que:

- La graduación de volumen constituye una representación mecánica por lo cual resulta posible una lectura directa.
- Los valores intermedios del volumen pueden ser determinados solamente por estimación visual sin necesidad de interpolación numérica.

2.3.1.3.2. Dispositivos de sondeo con cintas de nivel

La cinta de nivel es introducida en el tanque por arriba, a través de una abertura de sondeo, construida como una tabuladura especial. Se deben utilizar cintas adecuadas con graduación milimétrica, con contrapeso fijo para el uso como cintas de nivel en suspensión vertical.

2.3.2. Tanques verticales

Estos tipos de tanques están ampliamente diseminados en la industria y en el comercio, utilizados en varios tipos de líquidos, preferentemente en productos de la industria petrolera. Sus formas constructivas son tales que sus fondos pueden ser horizontales o inclinados, cónicos o pueden tener la forma de un segmento esférico. Además el techo puede ser fijo o flotante. El techo fijo, es generalmente, abovedado y transitable. El techo flotante se aplica sobre el producto de carga por medio de rodillos o rieles, este tipo de techos debe reducir las pérdidas por evaporación y se utiliza generalmente en el almacenamiento de productos del petróleo. Existen tanques que cuentan con techo fijo y cubierta flotante, como puede observarse en la figura 8.

Para la determinación de nivel de llenado existen dos procedimientos que se especifican a continuación.

- a) La determinación del contenido por sondeo se realiza con una varilla que se introduce en el tubo de sondeo. La cinta métrica se deja caer ya sea desde un lugar de sondeo en el tanque, hasta el fondo del tanque o hasta la placa de sondeo. El fondo del tanque debe ser plano, cuando el sondeo se realiza contra éste. En un círculo de aproximadamente 0.5m. por debajo de la abertura de sondeo no debe haber estructura interna alguna. De lo contrario se debe colocar una placa de sondeo a una altura determinada dispuesta horizontalmente. La distancia desde el plano superior de referencia o de control

puede ser variable. Debe asegurarse la posición definitiva mediante una marcación.

- b) La lectura del nivel del líquido se realiza en un cristal de observación con escala, en un tubo de nivel con escala.

Conviene tomar en cuenta el *depósito de fondo* cuando el fondo del tanque no es plano, o cuando la medición del volumen ha de ser determinado desde una altura dada a partir de la placa de sondeo. El depósito de fondo constituye la parte más baja de del espacio del tanque, y por lo general no es utilizado en la determinación de las cargas, ya que allí se depositan suciedades y agua. El depósito de fondo ser de una altura en lo posible pequeña. El nivel superior del depósito de fondo se ubica en el mismo plano con el canto superior de la placa de sondeo. Esto se aprecia en la figura 8.

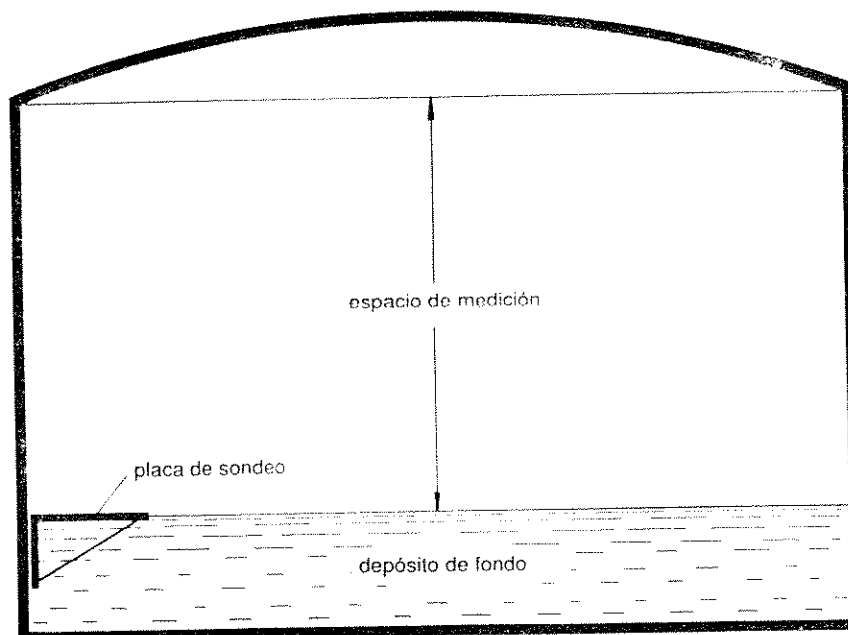


Figura 8. Esquema de un tanque de almacenamiento indicando el espacio de medición, la placa de sondeo y el depósito de fondo.

2.3.2.1. Dispositivos de medición para llenar tanques

Estos dispositivos de medición, son tales que si se emplea un contador, el tanque puede ser llenado a elección, desde arriba o desde abajo. Llenando desde arriba existe una contrapresión constante, así que en el contador no se manifiesta cambio esencial alguno en el caudal. Llenando desde abajo, el caudal puede variar ciertamente en forma muy pronunciada debiendo éste ser reajustado. Una ventaja del llenado por abajo, es que el espejo de líquido se mantiene más calmo y consecuentemente esto implica un tiempo de espera menor para efectuar el sondeo. La disposición usual se indican en la figura 9.

Si se usa una bomba o toma de agua para llenar el tanque, se debe proveer un separador de gases delante del contador y un indicador de gases detrás del mismo.

Para reajustar el caudal es necesario una válvula de regulación. Como el dispositivo de medición debe ser llenado totalmente al comienzo y al fin de la medición, se debe proveer para este fin grifos especiales de aireación y desaireación.

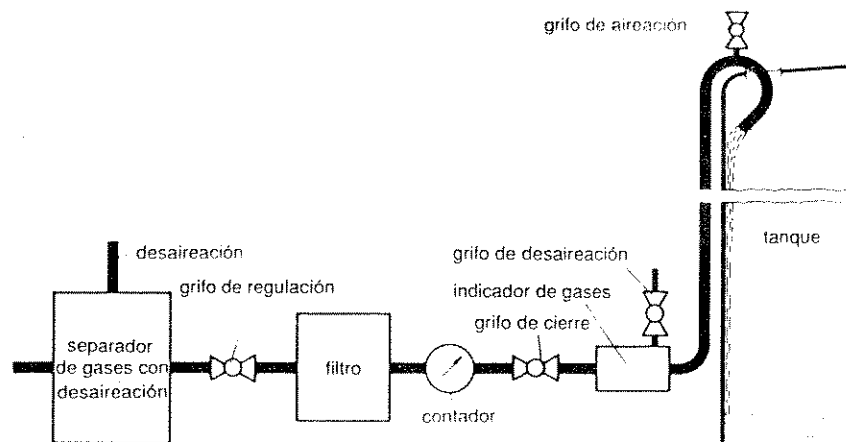


Figura 9. Dispositivos de medición para llenar tanques.

2.4 Equipo para medir volúmenes pequeños

En la práctica básicamente la medición de volúmenes pequeños se realiza por dos métodos siendo éstos el método volumétrico y el método gravimétrico; a continuación se describirán cada uno ellos, en los que se incluyen el equipo utilizado.

El método volumétrico consiste en la medición del contenido de un envase de cualquier producto líquido por medio de unidades de volumen; sin embargo, dicho método consume más tiempo, es más costoso y generalmente es menos preciso que el método gravimétrico, el cual está basado en la determinación de la masa de un volumen específico del producto y la posterior relación de la masa neta de los envases con su contenido expresado en volumen.

El método volumétrico puede ser empleado para cualquier producto líquido, sin embargo el método gravimétrico no es factible de aplicar a todos los productos líquidos sino sólo a aquellos productos en los cuales la variación de la densidad del producto entre un envase y otro es mínima. El equipo que se utiliza es el siguiente:

Balanzas: debidamente calibradas y de la clase que se indica en el siguiente cuadro. Cuando no se disponga de balanzas con la sensibilidad requerida debe emplearse el método volumétrico para la verificación del contenido.

Volumen	Unidad de medida ⁽¹⁾	clase de balanza
Hasta 3 cm ³	0.01 g	analítica
mayor de 3 cm ³ a 125 cm ³	0.1 g	
mayor de 125 cm ³ a 500 cm ³	1.0 g	De laboratorio con escala de brazos iguales o equivalentes
mayor de 500 cm ³ a 2 L	2.0 g	
mayor de 2 L a 5 L	5.0 g	
mayor de 5 L a 7 L	10.0 g	
mayor de 7 L a 15 L	15.0 g	balanza comercial
mayor de 15 L a 35 L	25.0 g	
mayor de 35 L a 70 L	50.0 g	
mayor de 70 L	100.0 g	

⁽¹⁾ unidad de medida es el incremento de masa que se selecciona para registrar errores en términos de un número pequeño.

Mátraces volumétricos debidamente calibrados, de 100; 200; 250; 500; 1,000; 2,000 y 5,000 cm³.

Probetas graduadas, debidamente calibradas, de 50 cm³ y con graduaciones de 1 cm³.

Termómetros de inmersión parcial, de -35°C a 50°C y con graduaciones a cada 1°C.

Calibre micrométrico para medir profundidad, de 0 a 225 mm.

Nivel de burbuja no menor de 25 cm de longitud.

Pipetas de precisión, debidamente calibradas y de la capacidad requerida.

Buretas de precisión, rectas, debidamente calibradas y de la capacidad requerida

CAPÍTULO 3

3. RECOPIACIÓN DE NORMAS PARA MEDICION DE VOLÚMENES

La normalización es una actividad que se realiza por comités especializados a fin de proporcionar soluciones a problemas repetitivos esencialmente dentro de las esferas de la ciencia, tecnología y economía, dirigidas a alcanzar el grado óptimo de orden dentro de un contexto dado. Generalmente, la actividad consiste en los procesos de formular, emitir e implementar normas.

A continuación se presentan los términos relacionados con la actividad de normalización y sus respectivas definiciones.

3.1 Especificación técnica

Es un documento que establece las características de un producto o un servicio tales como niveles de calidad, rendimiento, seguridad, dimensiones. Puede incluir también terminología, símbolos, métodos de ensayo, embalaje, requisitos de mercado o rotulado. Una especificación técnica puede también adoptar la forma de un código de práctica.

3.2 Norma

Es una especificación técnica u otro documento a disposición del público, elaborado con la aprobación o consenso general de todos los intereses afectados por ella, basada en resultados consolidados en la

ciencia, tecnología y experiencia, dirigida o promover beneficios para la comunidad y aprobada por un organismo reconocido a nivel nacional, regional o internacional.

Una especificación técnica que no satisface todas las condiciones dadas en su definición pueden algunas veces recibir otros nombres tales como: "recomendación", "norma de empresa", o "norma individual".

3.3 Normas armonizadas

Son normas de igual alcance que han sido aprobadas por diferentes organismos de normalización y que son ya sea técnicamente idénticas o reconocidas como técnicamente equivalentes en la práctica. La armonización de las normas se realiza con el objeto de evitar o eliminar barreras técnicas al comercio en la región del mundo donde son aplicadas.

3.4 Norma obligatoria

Es una norma cuya aplicación ha sido hecha obligatoria mediante una ley o decreto a nivel nacional o por un convenio oficial bilateral o multilateral.

3.5 Norma nacional

Es una norma adoptada como oficial por un organismo nacional de normalización. La Comisión Guatemalteca de Normas COGUANOR, es la entidad encargada de emitir normas a nivel nacional, en la actualidad ha publicado un total de 610 normas de las cuales 566 son obligatorias y 44 recomendadas.

3.6 Norma internacional

Es una norma adoptada como oficial por una organización internacional de normalización, o, en algunos casos, una especificación técnica adoptada como oficial por un organismo internacional de normalización. Internacionalmente entre los comités encargados de emitir normas están la Organisation Internationale de Métrologie Legale (Organización Internacional de Metrología Legal) OIML, International Standards Organization (Organización Internacional de Normas) ISO.

3.7 Norma regional

Es una norma adoptada como oficial por una organización regional de normas o, en algunos casos, una especificación técnica adoptada por un organismo regional de normalización. El Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial ICAITI, con la cooperación del gobierno de Alemania logra desarrollar el proyecto de metrología a nivel centroamericano, el ICAITI es el organismo encargado de emitir normas en la región de centroamerica.

CAPÍTULO 4

4 PATRONES Y CALIBRACIÓN DE INSTRUMENTOS

4.1 Tipos de patrones

El patrón es una medida materializada, aparato de medida o sistema de medida que se destina para realizar, conservar, o reproducir una unidad o uno o varios valores conocidos de una magnitud para transmitirlos por comparación a otros instrumentos. Existen diferentes clases de patrones entre los cuales se mencionan los siguientes.

4.1.1 Patrón primario

El patrón primario es una unidad de valor absoluto extremadamente precisa. Certificado por el National Institute of Science and Technology (NIST), antiguamente National Bureau of Standards (NBS), que está dentro de las tolerancias permisibles para las unidades absolutas de medición de dicho parámetro, conservadas en el NIST. Normalmente los fabricantes de instrumentos y algunos usuarios importantes de ellos son los únicos grupos que cuentan con patrones primarios. Los patrones primarios de alguna unidad sirven para calibrar todos los demás instrumentos de una región o país.

4.1.2 Patrones secundarios

El intervalo de calibración para patrones secundarios depende de la exactitud y del tipo de patrón que se mantiene. El período o el intervalo de calibración para instrumentos industriales varía desde semanas hasta años, dependiendo de la clase de servicio en los que se empleen y el tipo constructivo del instrumento, el patrón secundario es el que sirve de referencia entre el patrón primario y el patrón de trabajo.

4.1.3 Patrón de trabajo

Es el patrón que sirve para calibrar el equipo y se usa directamente en el campo de trabajo; los medidores de volumen para la calibración de bombas dispensadoras de gasolinas es un ejemplo.

4.2 Calibración

El término "CALIBRACIÓN" se puede definir como: la comparación de valores específicos de entradas y salidas de un instrumento, con un estándar de referencia.

La calibración es parte esencial de la medición y el control industrial. Un instrumento no calibrado constituye un peligro potencial y no puede ser un dispositivo de medición y control fiable.

La calibración es una operación que se debe efectuar de una forma correcta para que el producto pueda tener una calidad controlada. La calibración es la única garantía de que los instrumentos tienen una exactitud y el rango requerido para mantener en operación y en condiciones económicamente controladas los sistemas. Los instrumentos calibrados permiten que un fabricante o un procesador

produzcan sus artículos con las especificaciones de calidad que el cliente desea.

La calibración no garantiza la correcta operación del instrumento, por lo general indica si su funcionamiento puede satisfacer o no a las especificaciones de precisión y rango en las que se va a utilizar. La recalibración se lleva a cabo después de que un instrumento se ha ajustado, reparado, modificado o utilizado en forma incorrecta. Las calibraciones son la verificación del fabricante de que un instrumento es capaz de indicar, registrar o controlar las variables del sistema a los valores establecidos para una aplicación.

4.3 Métodos de calibración de medidores de volumen

Para los objetivos específicos del presente trabajo, se detallará a continuación la calibración de probadores volumétricos llamados serafines. Siendo éstos aparatos de precisión que regulan los volúmenes despachados en las gasolineras, tuberías, camiones-cisternas, es necesario determinar un sistema que nos permita asegurar la exactitud de sus volúmenes a fin de asegurar que las cantidades despachadas son exactas dentro de un límite de tolerancia aceptado.

4.3.1 Recomendaciones preliminares

1. El método al que se hace referencia aquí es el de medir probadores volumétricos (serafines) contra medidas volumétricas menores, cuya exactitud ha sido determinada previamente, por medio de agua. Se usa agua para ésta operación por ser un líquido que está afectado en mínima proporción por las variaciones de temperatura ambiente.

2. Se procurará mantener la paridad entre la temperatura del agua del serafín patrón y el serafín que se está calibrando, realizando la calibración en horas de poco calor en climas cálidos y en horas de temperatura moderada en climas fríos, pero, si hay diferencia de temperaturas entre los volúmenes medidos de ambos serafines se harán las correcciones apropiadas del volumen de agua usado, conforme la Tabla I que se encuentra en el Apéndice, donde se explica el procedimiento para sus respectivas correcciones.
3. La práctica normal es ir llenando los probadores menores a su exacta capacidad: Su punto cero en la escala y vaciar su contenido total al probador mayor hasta obtener la capacidad de volumen deseada. Es aconsejable llenar el probador o serafín menor a un poco más de su punto cero, para vaciar el exceso por medio de una llave-drenaje colocada en la parte inferior del cuello del serafín. Hasta llegar a su punto de nivel exacto. La razón es por que facilita la operación. En aquellos casos en que el serafín menor no tenga llave-drenaje para remover los excesos sobre su punto cero, se usará una jeringa adecuada.
4. Los probadores deben estar completamente limpios en su interior de objetos extraños líquidos o sólidos, y deberán nivelarse previamente a la iniciación de la operación.
5. El cuerpo del serafín, las válvulas de entrada, salida, drenaje, conexiones, deben ser totalmente herméticas.
6. Deberá haber facilidad para el abastecimiento de agua hacia los serafines a calibrarse.
7. Los probadores menores más usados son de 1, 5, 10, 25, 50 y 100 galones. Cuando no se tienen probadores patrones de 5 galones

se recomienda usar probetas graduadas y certificadas para iniciar el proceso ascendente de calibración a probadores de mayor tamaño, haciendo el cálculo de centímetros cúbicos a galones. Los probadores patrones de 5 galones son aparatos de precisión debidamente certificados.

8. Los serafines pueden tener termómetros fijos o termómetros removibles. Es preferible que los tenga fijos. En caso de usar termómetros sumergibles, deberá asegurarse que el serafín ha sido calibrado con los termómetros ya sumergidos.

Para el efecto de obtener temperaturas representativas, se debe usar el siguiente número de termómetros:

- a). Probadores de 1 a 10 galones, un termómetro en la parte media del probador.
 - b). Probadores de 10 a 500 galones: 2 termómetros, uno en cada promedio de la mitad superior e inferior del probador.
 - c) probadores de 500 galones: 3 termómetros, uno en el tercio superior, uno en la mitad y el último en el tercio inferior.
9. Los termómetros que se usen deben ser de especificación ASTM y estar en graduados en divisiones de 1 °F.
 10. Cuando hay más de un termómetro en un serafín, la temperatura a usarse será el promedio de los termómetros.

4.4 Funcionamiento y características de las bombas surtidoras de combustible

En términos generales un surtidor de carburante está integrado por los siguientes elementos o dispositivos.

1. Depósito subterráneo, que contiene el carburante a suministrar.
2. Cabina metálica, en cuyo interior se alojan los diversos implementos que componen el surtidor propiamente dicho.
3. Tubería de admisión, para conducir el líquido del depósito a la cabina (más exactamente, a la bomba).
4. Bomba rotativa, accionada por motor eléctrico, para la aspiración e impulsión del carburante.
5. Filtro colocado a la entrada de la bomba, para liberar al carburante de las impurezas que pueda contener, a fin de que llegue limpio al medidor.
6. Motor eléctrico, acoplado a la bomba por medio de la correa de transmisión.
7. Tubería de impulsión del carburante, ubicada a la salida de la bomba.
8. Eliminador de aire purgador, cuyo objeto es privar al carburante del aire, vapores o gases que pueda llevar incorporados en su seno; (también se le denomina separador o eliminador de gases).
9. Medidor o sea, el dispositivo mecánico en el cual tiene lugar el proceso de la medición del carburante que pasa por él.
10. Recuperador del carburante, constituido por una curva destinada a recoger y devolver a la bomba las pequeñas cantidades de carburante que puedan ir mezcladas con el aire y vapores que han de eliminarse.
11. Tubería de retorno del carburante recuperado.
12. Computador, por lo general del tipo ciclométrico o cifras saltantes,

cuyo objeto es indicar en el correspondiente cuadrante de lecturas el volumen del carburante suministrado, así como el importe del suministro y el precio unitario.

13. Conmutador, en los surtidores del tipo "mezclador", para seleccionar la mezcla deseada o solicitada por el cliente.
14. Dispositivo de "regreso al cero", después de ultimada una operación de suministro.
15. Manguera flexible, para la distribución del carburante.
16. Grifo de salida del carburante, en forma de pistolete, con su correspondiente válvula.
17. Tubo de escape o salida del aire y vapores o gases a la atmósfera.

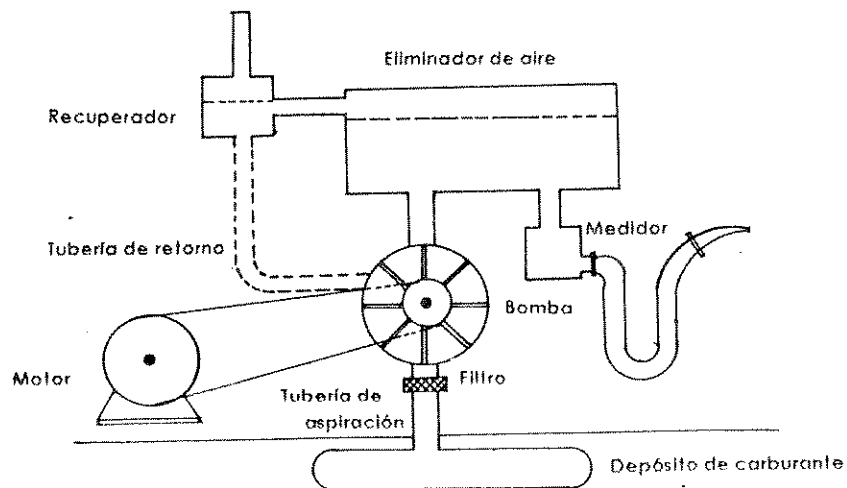


Figura 10. Simple esquema convencional para dar una idea del surtidor de carburantes

4.4.1. Funcionamiento

Al poner en marcha el motor, éste acciona la bomba, la cual aspira al carburante contenido en el depósito o lo impulsa hacia el eliminador de gases: En éste se separa el aire y los gases o vapores, pasando el carburante limpio al medidor, los gases o vapores pasan al recipiente de recuperación pues llevan posiblemente todavía algún remanente de líquido, este último retorna a la bomba para ser nuevamente empleado, mientras que el aire y los gases, libres de líquidos, salen a la atmósfera por el correspondiente conducto. Del medidor, a través de la manguera y su grifo, sale el carburante para su distribución, quedando registrado en el computador la cantidad de producto servido y el importe del suministro efectuado.

4.4.2. Tipos de surtidor y sus características

Los surtidores de carburantes pueden ser "sencillos" o "dobles", según contengan uno o dos medidores en su interior; además pueden ser de diferentes modelos de fabricación; pudiendo ser del tipo llamado mezclador, porque, de acuerdo a su nombre y misión, sirven para suministrar mezclas de carburantes en proporciones diversas. Cualquiera que sea el tipo, modelo o clase del aparato, todos ellos deben llevar en un lugar visible y con claridad una placa de identificación de las características siguientes: marca de fábrica, tipo o modelo, serie, unidad de graduación, caudal máximo y caudal mínimo.

4.5 Características de los patrones de verificación de las bombas surtidoras de combustible

Las características constructivas de los probadores volumétricos se presentan en este punto. Las paredes del serafín deben ser de acero resistente a la corrosión, suficientemente pesado y reforzado en los pequeños, para evitar deformaciones volumétricas que afectan su exactitud. Para los tamaños menores de 10 galones para abajo se recomienda lámina de 1/8 y para los de 500 galones y 750 galones de 5/32. Para los de 100 galones es recomendable lámina de 3/16. Las partes soldadas no deben tener agujeros en las soldaduras para evitar las inexactitudes volumétricas por capilaridad. Los serafines pequeños generalmente están reforzados con cinchos metálicos para darles más consistencia.

El fondo de los serafines de mayor volumen, está diseñado con desnivel suficiente encontrado exactamente en el centro para permitir un fácil y total vaciado del producto contenido en su interior. La parte superior es semejante a un embudo invertido, formando un cuello para permitir la libre ventilación del aire y del vapor a fin de evitar la formación de bolsas o burbujas de aire por la presión del flujo. El fondo de los serafines menores es cóncavo.

El cuello superior lleva una escala metálica graduada en pulgadas cúbicas con un punto cero en el centro. Esta escala está sostenida con dos barritas metálicas que pueden moverse con un mecanismo de tornillo y fijarse con tornillos perforados que permiten sellos de seguridad y control para su fijación. En la parte central de la escala hay un tubo de

vidrio que tiene comunicación con el serafín para permitir visualizar el nivel del producto en su interior y referirlo a la escala metálica graduada, que se ha indicado. Algunos serafines tienen en la parte superior del cuello una cúpula para evitar derrames por oleaje o espuma.

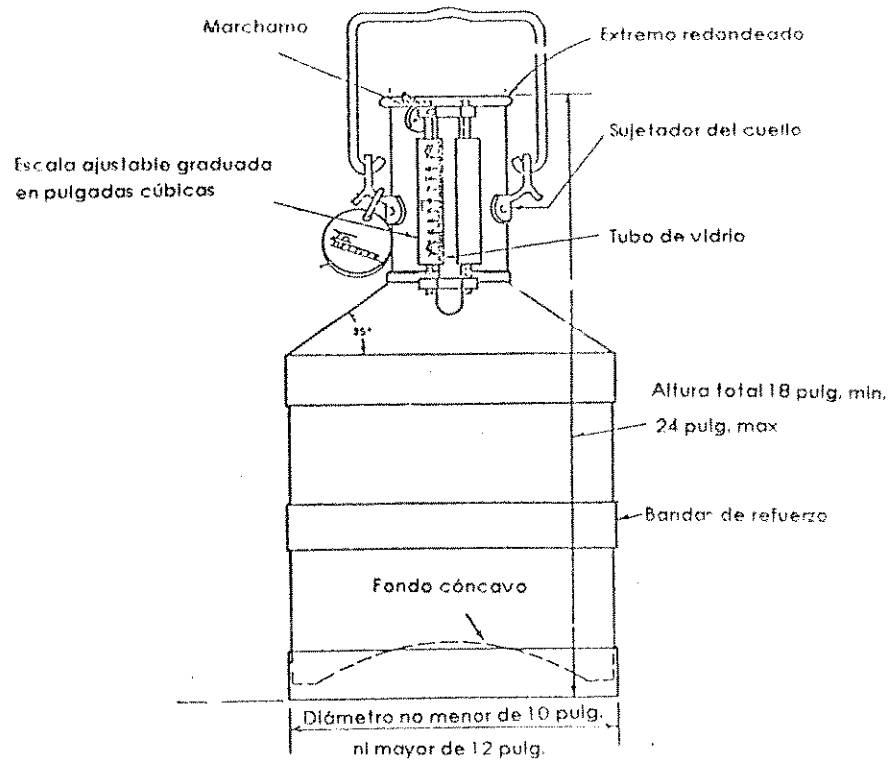


Figura 11. Esquema de un medidor volumétrico.

Siendo un instrumento de precisión, requiere un trato cuidadoso para evitar deformaciones en la estructura de su tanque por golpes o abolladuras y cuando hay que hacer algunas modificaciones en el

mismo como agregados, reducciones, cambios de válvulas, etc. deberá recalibrarse de inmediato.

4.6 Método propuesto para la calibración de las bombas surtidoras de gasolina

Los medidores que se utilizan en el área de los dispensadores de combustibles son de desplazamiento positivo. son aquellos en los que el flujo del líquido es constante y aislado en segmentos de un volumen conocido y son contados conforme se desplazan. Su total acumulado está continua e instantáneamente indicado en las unidades de cantidades líquidas por el registrador del medidor.

El objetivo principal es mantener los medidores de las gasolineras regulado para que entreguen los productos dentro de un margen de exactitud y se eliminen entregas incorrectas.

4.6.1. Equipo utilizado

- 1.- Serafín o tanque probador volumétrico, debidamente calibrado, cuyo volumen sea por lo menos $1\frac{1}{2}$ vez el flujo máximo de entrega del medidor en un minuto de operación, trabajando en condiciones normales. Se recomienda usar unida al brazo llenador, una lona por medio de un elástico y cubriendo totalmente la boca del serafín para reducir la fuga de vapores por la presión del flujo y evitar que la persona que realiza la operación respire vapores nocivos.
- 2.- Una probeta graduada y certificada.
- 3.- Termómetros fijos con divisiones de un grado Fahrenheit.

4.6.2. Procedimiento

El medidor debe calibrarse en su instalación normal, al flujo de operación de diseño (operando al máximo y mínimo de galones por minuto), en condiciones normales de trabajo, es decir, como se hacen normalmente las operaciones de llenado de camiones-cisternas o barriles usando el líquido que se va a controlar.

Si no es posible calibrar un medidor con el líquido que va a medir cuando esté en servicio real, deberá hacerse con otro que tenga una gravedad API y viscosidad muy parecida. Cuando el medidor vaya a usarse con dos o más productos en su operación normal, deberá probarse con cada líquido, entendiéndose que para su exactitud, estos no deben tener gran diferencia en cuanto a gravedad API y viscosidad.

Siendo la exactitud de un medidor básica para el control de las pérdidas de un plantel, es necesario tener el mayor cuidado en la operación, tomando en cuenta factores como efectos de temperatura, hermeticidad del sistema, flujos de bombeo, corrosión y nivelación del probador, bolsas de aire o burbujas, lecturas y despachos correctos, programas de recalibración, registros de los mismos.

Antes de iniciar la calibración o recalibración de un medidor, es necesario llenar el serafín que servirá de término de comparación a fin de que humedezcan las paredes y no haya diferencia por humedad. Además, con ello se logrará evitar que el producto contenido en la línea de alimentación del medidor que se calibra, sea afectado por la temperatura si la línea está expuesta a la temperatura solar. Se

observará también que el brazo llenador no contenga producto, y si hay algunas fallas de instalación.

Si un medidor, durante su calibración no está obedeciendo a los ajustes mecánicos hechos en la pieza acoplada al mismo para su regulación, o si se hacen cuatro ciclos de pruebas sin haber hecho ajustes y muestran una desviación anormal, deberán revisarse todos los pasos de la operación de prueba para determinar la causa de tal discrepancia anormal. Si no se encuentra la causa de esta anomalía en el procedimiento empleado, deberá buscarse en el medidor y el registrador y, de encontrarse defectos mecánicos se procederá a reparar y a calibrar el medidor antes de ponerlo nuevamente en servicio.

En todas las pruebas de medidores, el error posible de observación al tomar las lecturas antes y después de cada prueba y al determinar el volumen entregado al serafín no debe ser mayor de 0.01% del volumen usado en la prueba si fuere posible. Para el caso del serafín de 750 galones éste error no deberá exceder el 0.075 galones, o sea, 17.325 pulgadas cúbicas.

La toma correcta de temperatura determinada por la profundidad de inmersión del termómetro en el líquido observado y su exacta lectura es también muy importante por las correcciones de volúmenes a que da origen y que explicaremos adelante.

El nivel de líquido dentro del tubo de vidrio que sirve de calibrador en el cuello del serafín debe determinarse por la parte más baja del menisco cuando se trata de líquidos transparentes y por la parte más alta del menisco cuando se observan líquidos opacos.

Tomar muy en cuenta que los intervalos entre cada ciclo de prueba de calibración deben ser lo más corto posible para evitar mayores variaciones de temperatura.

En algunos tipos de serafines abiertos suele usarse un rociador durante el vaciado del mismo para saturar el aire que entra al probador con el valor del hidrocarburo a fin de reducir la evaporación del producto que se esta calibrando en la prueba subsiguiente.

4.6.3 ¿Cuándo calibrar los medidores?

1. Cuando hayan pasado por el medidor 3 millones de galones o cada seis meses; según lo que ocurra primero. No es una norma rígida, pero es la más recomendable para esta área.
2. Cuando se reparen y antes de ser puestos en servicio nuevamente.
3. Cuando substituyen a otro que necesite reparación.
4. Cuando se le cambie a medir otro producto de diferente viscosidad.
5. Cuando se sospeche de su calibración por sobrepasar los sellos de calibración de los camiones-cisterna, por derrames al llenar barriles por rebalse, por cambio de una bomba de mayor capacidad, por pérdidas anormales, por sellos rotos constantemente y sin motivo justificado.

4.7 CÁLCULO DE LAS INCERTIDUMBRES

Para la determinación de la incertidumbre de medición existen varios documentos y normas que dan instrucciones detalladas, estas normas se refieren a calibración de patrones de un nivel de exactitud alto, para laboratorios regionales y acreditados de metrología.

Sin embargo, para aplicar estas normas a nivel industrial, las personas encargadas de determinar las incertidumbres de mediciones, encuentran a menudo bastantes dificultades en este campo.

Para una gran parte de las mediciones en esta industria, sin embargo, no es necesario entrar con tanta profundidad a la evaluación de incertidumbres. Basta con seguir a unas reglas sencillas, las cuales se resumen en seguida:

1. Para mediciones sencillas se recomienda utilizar la incertidumbre especificada por el fabricante del instrumento como incertidumbre total de la medición. También en este sentido se pueden utilizar como incertidumbre total de la medición, los límites de errores permitidos para instrumentos para los cuales se indica una clase de exactitud, tales como manómetros, medidores de energía, etc.
2. Lo mismo del punto anterior confirma, en otras palabras en la norma ISO 10012-1: 1992 Quality assurance requirements for measuring equipment (Calidad de certeza requerida para la medición de equipo): "Si se ha demostrado mediante calibración, que el equipo de medición está funcionando correctamente (dentro de sus especificaciones), se acostumbra asumir, que los errores producidos mientras que se utiliza el equipo no sobrepasan los límites de error especificados".

A esto hay que agregarle las siguientes notas:

- a) Esto se asume de ser cierto hasta la próxima calibración del equipo.
- b) Esto a veces no es cierto, cuando se utiliza el equipo en un ambiente industrial más severo que el ambiente controlado durante la calibración.

Por lo tanto, puede ser conveniente, compensar este efecto mediante la reducción de los límites para la aceptación del producto. El tamaño de la reducción depende de las condiciones particulares y es asunto de un examen basado en la experiencia.

- c) Muchas veces los límites permitidos (o garantizados) de error de un instrumento son bastante amplios que la incertidumbre del instrumento. Por lo tanto, trabajando con los límites permitidos a veces resulta en ventajas económicas.
3. Al calibrar un patrón o instrumento desconocido contra un patrón de referencia en niveles inferiores de la jerarquía de medición, la incertidumbre puede tener tan sólo dos componentes:
- Una sola incertidumbre estándar obtenida mediante la desviación estándar combinada, experimental, la cual caracteriza el proceso de calibración
 - Una sola incertidumbre estándar obtenida del certificado de calibración del patrón de referencia.

Mientras los numerales 1 y 2, se refieren a la incertidumbre de mediciones industriales, el numeral 3, se aplica a la incertidumbre al calibrar internamente instrumentos de medición en empresas.

CONCLUSIONES

1. Durante la investigación y recopilación de información fue posible observar la necesidad de procedimientos y especificaciones de patrones de calibración para las bombas surtidoras de combustibles; la información disponible es escasa y hasta el momento no existe en Guatemala una norma específica dictada por organismos normalizadores tales como ICAITI o COGUANOR que tengan equivalencia con una norma internacional para calibración de las bombas dispensadoras de combustibles, además, existe desacuerdo entre los entes verificadores y las empresas que prestan los servicios de calibración tales como el Ministerio de Energía y Minas, Gremial de Gasolineras y contratistas.
2. Mediante una calibración adecuada de las bombas dipensadoras de combustibles se asegura,el despacho de cantidades exactas de los productos dentro de un límite de tolerancia aceptado; esto se logra al seguir un procedimiento adecuado en la medición de volúmenes; tomando en cuenta que la temperatura es uno de los factores importantes durante todo el procedimiento de la calibración, se deben considerar sus diferentes cambios haciendo uso de las tablas y del procedimiento descrito en el Apéndice, consiguiendo de esta manera realizar una entrega adecuada a la demanda del consumidor final.
3. Según el estudio realizado se verifica que las normas de la OIML son las más reconocidas a nivel internacional y abarcan todos los aspectos de la metrología legal.

RECOMENDACIONES

1. Utilizar la información contenida en el presente trabajo incluyendo los patrones y procedimientos descritos para obtener resultados aceptables en el control del volumen de los combustibles; así como los servicios de entidades especializadas y actualizadas en servicios de metrología como el ICAITI, para realizar acuerdos entre los participantes de la verificación y la calibración de las bombas dispensadoras de combustible.
2. Para los fabricantes de medidores de volumen que trabajan a nivel nacional, se recomienda el diseño de patrones que se presentan en el capítulo 4 donde se detallan las características constructivas para patrones volumétricos; y para los verificadores en la calibración de las bombas surtidoras de combustibles el control de la temperatura durante todo el procedimiento se recomienda como uno de los factores más importantes.
3. Que puedan utilizarse las normas de la OIML en los aspectos que se refieren a calibración ya que son reconocidas internacionalmente en los diferentes campos de la ciencia y la tecnología.

REFERENCIAS

1. ICAITI, Norma centroamericana para el uso del sistema internacional de unidades (Guatemala: ICAITI 4010, 1985), p. 3-7
2. ICAITI, Catálogo de normas centroamericanas (Guatemala: ICAITI, 1989), P. 5-9
3. ISO, Guide to the expression of uncertainty in measurement (Second edition, 1,993)
4. ISO, International vocabulary of basic and general terms in metrology (1993)
5. Edwin Sarceño Zapeta, Medidores de nivel en líquidos y sólidos (Universidad de San Carlos de Guatemala: Tesis de Ingeniería Mecánica, 1994), P. 15-29

BIBLIOGRAFÍA

1. Streeter, Victor y Benjamin, Wylie. Mecánica de los fluidos. México: McGraw-Hill, 1988.
2. Soisson, Harold. Instrumentación Industrial. México: Limusa, 1983.
3. Bönke, Konrad. Reglamento de prueba del PTB. Tanques de almacenamiento en forma de cilindros verticales. Alemania: 1988.
4. Bönke, Konrad y Rasche, Siegfried. Reglamento de prueba del PTB. Tanques de almacenamiento en forma de cilindros horizontales. Alemania: 1988.

APÉNDICE

PROCEDIMIENTO PARA EL USO DE LAS TABLAS PARA CORRECCIONES DE TEMPERATURAS EN CALIBRACIÓN DE SERAFINES

La primera tabla se utiliza cuando la temperatura del serafín menor o patrón es más baja que la temperatura del serafín mayor (que se está calibrando). Esta última temperatura será el promedio indicado por los termómetros una vez terminado de llenar a su capacidad. La segunda tabla se utiliza en el caso inverso, o sea cuando la temperatura del serafín patrón es más alta que la temperatura del serafín que se calibra.

Puede verse la primera columna del lado izquierdo donde se busca la temperatura que registra el serafín mayor después de haber sido llenado a su capacidad. Teniendo la temperatura de cada prueba del serafín menor se determina cuántos grados es la diferencia entre ésta última y la del serafín mayor. Horizontalmente, están anotados los números de 1 a 10 para encontrar en la columna respectiva marcada con el número de diferencia de grados el coeficiente de corrección; desplazándose horizontalmente la temperatura observada en el probador mayor hasta encontrarse con la columna vertical del número que indica la variación de grados.

Un ejemplo aclarará más, el uso correcto de estas tablas:

Si se calibra un serafín de 15 galones con un serafín patrón de 5 galones. La temperatura del serafín de 15 galones al llenarlo a su capacidad es de

56 °F (13.33°C) . Las temperaturas observadas las tres veces que se utilizó el serafín de 5 galones son:

No.	VOLUMEN (galones)	TEMP. (°F)	TEMP. (°F)	DIFERENCIA TEMP. CONTRA SERAFÍN MAYOR. (°F)
1	5.00	53	11.67	3
2	5.00	54	12.22	2
3	5.00	55	12.78	1

Se usa la primera parte de la Tabla I por que la temperatura del serafín patrón es menor que la del serafín que se calibra y así se busca en la primera línea la temperatura 56. Se busca ahora en las columnas centrales de la tabla el número correspondiente a la diferencia de grados de temperatura entre el serafín mayor y menor. Para el primer volumen es de 3 grados y se baja verticalmente en la columna del 3 hasta encontrar la columna del 56 que corrida horizontalmente se encuentra con el coeficiente de corrección el cual se multiplica por 5.00 galones nos da las siguientes cantidades corregidas de:

para el 1er. volumen el coeficiente	1.00019	5.00095 galones.
Para el 2o. volumen el coeficiente	1.00012	5.00060 galones
Para el 3o. volumen el coeficiente	1.00006	<u>5.00030 galones</u>
TOTAL:	15.00185 galones

Esta prueba da 15.00185 galones medidos en el serafín de 15 galones. Para determinar su máxima exactitud, se reduce 0.00185 galones a pulgadas cúbicas, multiplicando por 231 y da 0.42735 pulgadas cúbicas

del volumen contenido en el serafín de 15 galones y éste último nivel se coloca el punto cero de la escala.

La última columna del lado derecho es igual a la primera del lado izquierdo o sea que sirve para encontrar la temperatura del agua en el serafín mayor que se calibra. En el caso de ser mayor la temperatura en el serafín menor, se usa la segunda parte de la tabla en la misma forma que se usa para el ejemplo propuesto.

Temperature in Measure Lower than in Prover by Degrees Fahrenheit
(Multiply Measured Volume by Correction Factor to Give Volume at Prover Temperature)

Temperature of Water in Prover (Degrees Fahrenheit)	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	Temperature of Water in Prover (Degrees Fahrenheit)
35											35
36							0.99989	0.99993	0.99996	0.99998	36
37						0.99988	0.99992	0.99995	0.99997	0.99999	37
38					0.99987	0.99991	0.99994	0.99996	0.99997	0.99999	38
39				0.99987	0.99991	0.99994	0.99996	0.99997	0.99998	0.99999	39
40		0.99983	0.99987	0.99991	0.99994	0.99996	0.99997	0.99998	0.99999	1.00000	40
41	0.99984	0.99987	0.99992	0.99995	0.99996	0.99998	0.99999	1.00000	1.00000	1.00000	41
42	0.99988	0.99993	0.99996	0.99997	0.99999	1.00000	1.00001	1.00001	1.00001	1.00000	42
43	0.99994	0.99997	0.99999	1.00000	1.00002	1.00002	1.00003	1.00003	1.00002	1.00001	43
44	0.99999	1.00001	1.00002	1.00003	1.00004	1.00005	1.00004	1.00004	1.00003	1.00001	44
45	1.00003	1.00005	1.00006	1.00007	1.00007	1.00007	1.00006	1.00005	1.00004	1.00002	45
46	1.00008	1.00009	1.00010	1.00010	1.00010	1.00009	1.00008	1.00007	1.00005	1.00002	46
47	1.00012	1.00013	1.00013	1.00013	1.00012	1.00011	1.00010	1.00008	1.00005	1.00002	47
48	1.00017	1.00017	1.00017	1.00016	1.00015	1.00014	1.00012	1.00009	1.00006	1.00003	48
49	1.00021	1.00021	1.00021	1.00020	1.00018	1.00016	1.00014	1.00011	1.00008	1.00004	49
50	1.00026	1.00025	1.00024	1.00023	1.00021	1.00018	1.00015	1.00012	1.00008	1.00004	50
51	1.00030	1.00029	1.00028	1.00026	1.00023	1.00020	1.00017	1.00014	1.00009	1.00005	51
52	1.00035	1.00034	1.00032	1.00030	1.00027	1.00024	1.00020	1.00015	1.00011	1.00006	52
53	1.00040	1.00038	1.00036	1.00033	1.00030	1.00026	1.00021	1.00017	1.00012	1.00005	53
54	1.00045	1.00042	1.00039	1.00036	1.00033	1.00028	1.00024	1.00018	1.00012	1.00006	54
55	1.00048	1.00045	1.00042	1.00039	1.00034	1.00030	1.00024	1.00018	1.00012	1.00006	55
56	1.00052	1.00049	1.00045	1.00041	1.00036	1.00031	1.00025	1.00019	1.00012	1.00006	56
57	1.00057	1.00053	1.00048	1.00044	1.00039	1.00033	1.00027	1.00020	1.00014	1.00007	57
58	1.00060	1.00056	1.00051	1.00046	1.00040	1.00034	1.00027	1.00021	1.00015	1.00007	58
59	1.00064	1.00060	1.00054	1.00048	1.00042	1.00036	1.00030	1.00023	1.00015	1.00008	59
60	1.00069	1.00063	1.00057	1.00051	1.00045	1.00039	1.00032	1.00024	1.00017	1.00009	60
61	1.00073	1.00067	1.00061	1.00054	1.00048	1.00041	1.00033	1.00026	1.00018	1.00008	61
62	1.00076	1.00070	1.00063	1.00057	1.00050	1.00042	1.00035	1.00027	1.00018	1.00009	62
63	1.00079	1.00073	1.00067	1.00060	1.00052	1.00045	1.00036	1.00027	1.00018	1.00009	63
64	1.00083	1.00076	1.00070	1.00062	1.00055	1.00046	1.00037	1.00028	1.00019	1.00009	64
65	1.00087	1.00080	1.00073	1.00065	1.00057	1.00048	1.00039	1.00030	1.00020	1.00010	65
66	1.00091	1.00084	1.00076	1.00068	1.00059	1.00050	1.00041	1.00031	1.00021	1.00011	66
67	1.00095	1.00087	1.00079	1.00070	1.00061	1.00052	1.00042	1.00032	1.00021	1.00010	67
68	1.00098	1.00090	1.00081	1.00072	1.00063	1.00053	1.00043	1.00033	1.00021	1.00011	68
69	1.00101	1.00092	1.00083	1.00074	1.00064	1.00054	1.00043	1.00032	1.00021	1.00010	69
70	1.00105	1.00096	1.00087	1.00077	1.00067	1.00056	1.00045	1.00034	1.00023	1.00012	70
71	1.00108	1.00099	1.00089	1.00079	1.00069	1.00057	1.00047	1.00035	1.00025	1.00012	71
72	1.00112	1.00102	1.00092	1.00082	1.00071	1.00060	1.00049	1.00038	1.00025	1.00013	72
73	1.00115	1.00105	1.00095	1.00084	1.00073	1.00062	1.00051	1.00038	1.00026	1.00012	73
74	1.00118	1.00108	1.00097	1.00086	1.00075	1.00064	1.00051	1.00039	1.00025	1.00012	74
75	1.00121	1.00110	1.00099	1.00088	1.00077	1.00064	1.00052	1.00038	1.00025	1.00012	75
76	1.00124	1.00113	1.00102	1.00091	1.00078	1.00066	1.00053	1.00040	1.00027	1.00014	76
77	1.00128	1.00117	1.00106	1.00093	1.00081	1.00068	1.00055	1.00042	1.00029	1.00015	77
78	1.00131	1.00120	1.00107	1.00095	1.00082	1.00069	1.00056	1.00043	1.00029	1.00014	78
79	1.00135	1.00122	1.00110	1.00097	1.00084	1.00071	1.00058	1.00044	1.00029	1.00015	79
80	1.00137	1.00125	1.00112	1.00099	1.00086	1.00073	1.00059	1.00044	1.00029	1.00014	80
81	1.00140	1.00127	1.00114	1.00101	1.00088	1.00074	1.00059	1.00045	1.00029	1.00015	81
82	1.00142	1.00129	1.00116	1.00103	1.00089	1.00074	1.00060	1.00045	1.00030	1.00015	82
83	1.00145	1.00132	1.00119	1.00105	1.00090	1.00076	1.00061	1.00046	1.00031	1.00016	83
84	1.00148	1.00135	1.00121	1.00106	1.00092	1.00077	1.00062	1.00047	1.00032	1.00016	84
85	1.00152	1.00138	1.00123	1.00109	1.00094	1.00079	1.00064	1.00049	1.00033	1.00016	85
86	1.00156	1.00141	1.00127	1.00112	1.00097	1.00082	1.00067	1.00051	1.00035	1.00018	86
87	1.00157	1.00143	1.00128	1.00113	1.00098	1.00083	1.00067	1.00051	1.00034	1.00016	87
88	1.00161	1.00146	1.00131	1.00116	1.00101	1.00085	1.00069	1.00052	1.00034	1.00017	88
89	1.00163	1.00148	1.00133	1.00118	1.00102	1.00086	1.00069	1.00051	1.00035	1.00017	89
90	1.00166	1.00151	1.00136	1.00120	1.00104	1.00087	1.00069	1.00053	1.00035	1.00018	90

TABLE I (Continued)

Temperature in Measure Higher than in Prover by Degrees Fahrenheit
(Multiply Measured Volume by Correction Factor to Give Volume at Prover Temperature)

Temperature of Water in Prover (Degrees Fahrenheit)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Temperature of Water in Prover (Degrees Fahrenheit)
35	1.00001	1.00002	1.00003	1.00003	1.00003	1.00003	1.00002	1.00000	0.99998	0.99996	35
36	1.00001	1.00002	1.00002	1.00002	1.00001	1.00000	0.99999	0.99997	0.99994	0.99991	36
37	1.00000	1.00001	1.00001	1.00000	0.99999	0.99997	0.99996	0.99993	0.99990	0.99987	37
38	1.00000	1.00000	0.99999	0.99998	0.99997	0.99995	0.99992	0.99989	0.99986	0.99982	38
39	0.99999	0.99999	0.99998	0.99996	0.99994	0.99992	0.99989	0.99986	0.99982	0.99978	39
40	0.99999	0.99998	0.99996	0.99995	0.99992	0.99989	0.99986	0.99982	0.99978	0.99973	40
41	0.99999	0.99997	0.99995	0.99993	0.99990	0.99987	0.99983	0.99978	0.99974	0.99969	41
42	0.99998	0.99996	0.99994	0.99991	0.99988	0.99985	0.99981	0.99976	0.99970	0.99964	42
43	0.99998	0.99995	0.99992	0.99989	0.99985	0.99981	0.99976	0.99971	0.99965	0.99959	43
44	0.99997	0.99994	0.99991	0.99987	0.99983	0.99978	0.99973	0.99967	0.99961	0.99954	44
45	0.99997	0.99994	0.99990	0.99985	0.99981	0.99976	0.99970	0.99964	0.99957	0.99950	45
46	0.99997	0.99993	0.99988	0.99984	0.99979	0.99973	0.99967	0.99960	0.99954	0.99947	46
47	0.99996	0.99991	0.99987	0.99982	0.99977	0.99971	0.99965	0.99958	0.99951	0.99944	47
48	0.99995	0.99991	0.99985	0.99979	0.99973	0.99967	0.99961	0.99954	0.99946	0.99939	48
49	0.99995	0.99990	0.99984	0.99978	0.99971	0.99965	0.99958	0.99951	0.99943	0.99935	49
50	0.99994	0.99988	0.99982	0.99976	0.99970	0.99963	0.99955	0.99948	0.99940	0.99931	50
51	0.99994	0.99988	0.99981	0.99975	0.99968	0.99961	0.99953	0.99945	0.99936	0.99927	51
52	0.99993	0.99987	0.99981	0.99974	0.99966	0.99959	0.99951	0.99942	0.99933	0.99924	52
53	0.99993	0.99987	0.99980	0.99972	0.99965	0.99957	0.99948	0.99939	0.99930	0.99920	53
54	0.99993	0.99987	0.99979	0.99972	0.99963	0.99954	0.99945	0.99936	0.99927	0.99917	54
55	0.99993	0.99985	0.99978	0.99969	0.99960	0.99951	0.99942	0.99933	0.99923	0.99912	55
56	0.99992	0.99984	0.99976	0.99967	0.99957	0.99947	0.99937	0.99927	0.99915	0.99903	56
57	0.99992	0.99984	0.99975	0.99966	0.99957	0.99947	0.99937	0.99927	0.99915	0.99900	57
58	0.99991	0.99982	0.99973	0.99964	0.99954	0.99945	0.99934	0.99923	0.99912	0.99901	58
59	0.99990	0.99981	0.99972	0.99963	0.99953	0.99942	0.99931	0.99920	0.99909	0.99899	59
60	0.99990	0.99981	0.99972	0.99962	0.99951	0.99940	0.99929	0.99918	0.99908	0.99895	60
61	0.99990	0.99981	0.99971	0.99960	0.99949	0.99938	0.99927	0.99917	0.99904	0.99892	61
62	0.99990	0.99980	0.99969	0.99958	0.99947	0.99936	0.99926	0.99913	0.99901	0.99887	62
63	0.99990	0.99979	0.99968	0.99957	0.99946	0.99935	0.99923	0.99911	0.99897	0.99884	63
64	0.99989	0.99978	0.99967	0.99956	0.99945	0.99932	0.99920	0.99907	0.99894	0.99881	64
65	0.99988	0.99978	0.99966	0.99955	0.99943	0.99931	0.99917	0.99904	0.99892	0.99879	65
66	0.99989	0.99978	0.99967	0.99954	0.99942	0.99928	0.99916	0.99903	0.99890	0.99876	66
67	0.99988	0.99978	0.99965	0.99953	0.99939	0.99926	0.99913	0.99900	0.99886	0.99871	67
68	0.99989	0.99976	0.99964	0.99950	0.99937	0.99925	0.99912	0.99897	0.99882	0.99868	68
69	0.99987	0.99975	0.99961	0.99948	0.99935	0.99922	0.99908	0.99893	0.99879	0.99864	69
70	0.99987	0.99974	0.99961	0.99948	0.99935	0.99921	0.99906	0.99892	0.99877	0.99862	70
71	0.99986	0.99973	0.99960	0.99947	0.99933	0.99918	0.99904	0.99889	0.99874	0.99859	71
72	0.99987	0.99974	0.99961	0.99946	0.99931	0.99917	0.99902	0.99887	0.99872	0.99857	72
73	0.99987	0.99974	0.99959	0.99944	0.99930	0.99915	0.99900	0.99885	0.99870	0.99854	73
74	0.99987	0.99972	0.99957	0.99943	0.99928	0.99913	0.99898	0.99883	0.99867	0.99851	74
75	0.99985	0.99970	0.99956	0.99941	0.99926	0.99911	0.99896	0.99880	0.99864	0.99847	75
76	0.99984	0.99970	0.99955	0.99940	0.99925	0.99910	0.99894	0.99878	0.99861	0.99843	76
77	0.99985	0.99970	0.99955	0.99940	0.99925	0.99909	0.99893	0.99876	0.99858	0.99842	77
78	0.99984	0.99970	0.99954	0.99939	0.99923	0.99907	0.99890	0.99872	0.99853	0.99838	78
79	0.99985	0.99970	0.99954	0.99938	0.99922	0.99905	0.99887	0.99871	0.99851	0.99833	79
80	0.99984	0.99969	0.99953	0.99937	0.99920	0.99902	0.99886	0.99868	0.99851	0.99833	80
81	0.99984	0.99968	0.99952	0.99935	0.99917	0.99901	0.99883	0.99866	0.99848	0.99830	81
82	0.99983	0.99967	0.99950	0.99932	0.99916	0.99898	0.99881	0.99863	0.99845	0.99826	82
83	0.99983	0.99967	0.99948	0.99932	0.99914	0.99897	0.99879	0.99861	0.99842	0.99824	83
84	0.99983	0.99964	0.99948	0.99930	0.99913	0.99895	0.99877	0.99858	0.99840	0.99821	84
85	0.99981	0.99965	0.99947	0.99930	0.99912	0.99894	0.99875	0.99857	0.99838	0.99818	85
86	0.99983	0.99965	0.99948	0.99930	0.99912	0.99893	0.99875	0.99856	0.99836	0.99816	86
87	0.99982	0.99964	0.99946	0.99928	0.99909	0.99891	0.99872	0.99852	0.99832	0.99814	87
88	0.99982	0.99964	0.99946	0.99927	0.99909	0.99890	0.99870	0.99850	0.99832	0.99812	88
89	0.99981	0.99963	0.99944	0.99926	0.99907	0.99887	0.99867	0.99847	0.99829	0.99808	89
90	0.99981	0.99962	0.99944	0.99925	0.99905	0.99885	0.99867	0.99847	0.99826	0.99805	90

Table I is based on data from Smithsonian Institution tables for relative density and volume of water.

