

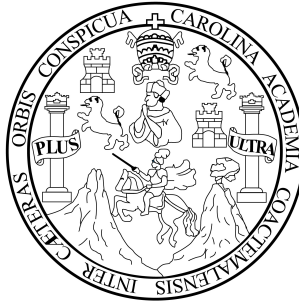
Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica

CALIBRACIÓN DE MEDIDORES VOLUMÉTRICOS SMITH DE DOBLE CUBIERTA Y DESPLAZAMIENTO POSITIVO PARA COMBUSTIBLES

Mauricio José Meza Corado
Asesorado por Ing. Esdras Feliciano Miranda Orozco

Guatemala, noviembre de 2005

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**CALIBRACIÓN DE MEDIDORES VOLUMÉTRICOS SMITH DE
DOBLE CUBIERTA Y DESPLAZAMIENTO POSITIVO PARA
COMBUSTIBLES**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

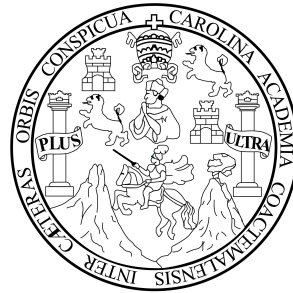
MAURICIO JOSÉ MEZA CORADO
ASESORADO POR ING. ESDRAS FELICIANO MIRANDA OROZCO

AL CONFERIRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2005

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
VOCAL I	
VOCAL II	Lic. Amahán Sánchez Álvarez
VOCAL III	Ing. Julio David Garcia Celada
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Elisa Yasminda Vides Leiva
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Carlos Humberto Figueroa Vásquez
EXAMINADOR	Ing. Pablo Rodolfo Zúñiga Ramírez
EXAMINADOR	Ing. Erick René Guerrero Silva
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

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 graduación titulado:

CALIBRACIÓN DE MEDIDORES VOLUMÉTRICOS SMITH DE DOBLE CUBIERTA Y DESPLAZAMIENTO POSITIVO PARA COMBUSTIBLES,

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica con fecha 11 de abril de 2005

MAURICIO JOSE MEZA CORADO

AGRADECIMIENTOS

Mi agradecimiento principal es para Diosito que fue mi guía y fortaleza para poder concluir mi carrera.

Muy, especialmente, agradecido a mi Papá porque sin él no hubiera podido culminar mi carrera y este trabajo de graduación, gracias por enseñarme todas las cosas que sabes y mi más grande deseo es llegar a ser como tú.

A mi Mamá porque siempre estás pendiente de mi y por tus consejos.

También agradezco al Ing. Esdras Miranda por asesorar mi trabajo de graduación demostrando capacidad, profesionalismo y lo más importante su amistad.

A todo el claustro de catedráticos de la Escuela de Ingeniería Mecánica que estuvieron pendientes en el logro alcanzado en este momento.

ACTO QUE DEDICO

A:

A MI DIOSITO LINDO

Fortaleza de toda mi vida,

LA VIRGEN MARÍA

Siempre a mi lado.

A MIS PADRES

Julio Meza: Por su sacrificio de seguir adelante siempre y por brindarme sus conocimientos que sólo un Padre puede enseñar a su hijo. Gracias por enseñarme lo que sé y por este trabajo.

Kasta de Meza: Por siempre tener un consejo para iniciar nuevos retos y su amor maternal.

A MIS HERMANOS

Karla, Julio y Kasta

A MIS SOBRINAS

Valeria, Mariana y Michelle de María

A MI CUÑADO

Michael Diouk -Q.E.P.D.-, estoy seguro que estás orgulloso de mi en este momento.

A MIS CATEDRATICOS

Por el apoyo desinteresado brindado durante mi carrera.

A LA COMUNIDAD V.A.C.

Su amistad incondicional y su apoyo espiritual.

A LUIS ALVAREZ

Por su amistad y conocimientos brindados cuando los necesitaba.

DARWIN RIVAS

Por su ayuda e información para laborar este trabajo.

AMIGOS Y COMPAÑEROS

Ricardo, Manuel, Mariano, Lis, Luis, Mónica, Byron, Henry, Edwin, Gaby, James.

Y A USTED

Especialmente.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	III
LISTA DE SÍMBOLOS	V
GLOSARIO	VII
RESUMEN	XI
OBJETIVOS	XIII
INTRODUCCIÓN	XV
1 ANTECEDENTES DE LOS COMBUSTIBLES	
1.1 Combustible	1
1.2 Procesos de refinación	3
1.3 Selección de tipos de combustibles	5
1.4 Normas, unidades y características usadas en relación a los combustibles.	6
2 GENERALIDADES DEL MEDIDOR SMITH	
2.1 Aplicaciones de los medidores	13
2.2 Tipos de medidores Smith	14
2.3 Diseño y construcción	15
2.4 Cubierta externa	16
2.5 Elemento interno de medición	16
2.6 Mecanismo contador	18

3	MEDIDORES SMITH	
3.1	Información general de los medidores Smith	21
3.1.1	Identificación del modelo	21
3.1.2	Descripción interna del medidor	22
3.2	Procedimiento para desarmar el medidor	23
3.2.1	Desarme del medidor	23
3.2.2	Precauciones al desarmar	24
3.3	Procedimiento para el armado del medidor	24
3.3.1	Armado del medidor	24
3.3.2	Precauciones al armar	25
4	MÉTODO PARA CALIBRAR MEDIDORES SMITH	
4.1	Calibración de medidores	26
4.1.1	Herramientas y equipo para la calibración	26
4.1.2	Precauciones para la calibración	29
4.1.3	Datos para la calibración	29
4.1.4	Normas y unidades para calibrar	31
4.1.5	Ejemplos de calibración	35
	CONCLUSIONES	75
	RECOMENDACIONES	77
	BIBLIOGRAFÍA	79

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Esquema del proceso de refinación	2
2.	Medidor Smith doble cubierta y desplazamiento positivo	13
3.	Corte transversal de un medidor	14
4.	Mecanismo interno	17
5.	Tren de engranaje	18
6.	Placa de identificación del medidor	21
7.	Principio de operación de los medidores	22
8.	Probador volumétrico comúnmente llamado Seraphin	26
9.	Termómetro	27
10.	Conexión a tierra	27
11.	Conexión de la manguera al probador volumétrico	28
12.	Bomba	28
13.	Visor con su escala	35
14.	Registrador con su totalizador	36
15.	Medidor Smith, vista posterior	36
16.	Nivel del probador volumétrico	37
17.	Termómetro en la línea de flujo	41
18.	Ajuste del medidor	44
19.	Válvula del probador volumétrico	45

TABLAS

I.	Tabla de calibración	32
II.	Corrección de volúmenes a 60° F. API 54.8 Temp. 80° F	39
III.	Corrección de volúmenes a 60° F. API 54.8 Temp. 83° F	42
IV.	Tabla de calibración ejemplo # 1	59
V .	Tabla de calibración ejemplo # 2	73

LISTA DE SÍMBOLOS

ASTM	American Society for Testing and Materials
BTU	Unidad térmica británica
CTPV	Corrección de temperatura del probador volumétrico
GPM	Galones por minuto
TCPV	Temperatura de calibración del probador volumétrico
API	American Petroleum Institute
D.P.	Desplazamiento Positivo
PV	Probador volumétrico
°F	Grados Fahrenheit
gls.	Galones

GLOSARIO

Azufre	Es uno de los 5 principales elementos presentes en los hidrocarburos. Este es el que más problemas provoca durante una combustión.
BTU -Calor de combustión-	Tiene por objetivo principal obtener la mayor cantidad posible de calor que puede ser liberado mediante la combustión.
Calibración	Se refiere al ajuste mecánico o electrónico de los medidores, para que suministren o entreguen la cantidad de combustible que requiera el comprador.
Cetano	Es una magnitud que caracteriza el poder de ignición de un carburante para motores Diesel.
Corrida	Cantidad de galones según el probador volumétrico.
CTPV	Corrección de temperatura del probador volumétrico.

Cubierta -housing-	Estructura que cubre el mecanismo interno de cada metro.
Desplazamiento positivo	Mide directamente el flujo separándolo continuamente a un flujo exacto.
Proceso destilación	Particularmente en los motores de mediana y alta velocidad la destilación, volatilidad, es una característica importante para determinar el rendimiento en el combustible.
Diesel oil o <i>Fuel oil #2</i>	Comúnmente, llamado Diesel, es un combustible que se utiliza, generalmente, en motores terrestres, marinos, turbinas y para generación eléctrica. Este tiene ignición satisfactoria y una combustión muy buena.
Expansión térmica	Fenómeno que se provoca en los metales debido al cambio de temperatura.
Factor de corrección	Se utiliza para corregir el volumen que es causado por la expansión térmica.
<i>Fuel Oil # 6 o bunker C</i>	Comúnmente, llamado búnker, es un combustible negro, pegajoso y semifluido. Es residuo del petróleo crudo luego que son extraídos los productos livianos. Se utiliza en calderas y hornos, debido a su bajo precio.

GPM	Galones por minuto
Hidrocarburo	Cualquier combinación de los elementos carbono e hidrógeno, también cualquier derivado del petróleo.
Medidor o metro	Se utiliza para medir la transferencia precisa de volumen constante donde se requiera una cantidad precisa al despachar.
Normas	Documento o disposición realizada por comités especializados dirigida a solucionar problemas repetitivos en la ciencia, tecnología y economía.
Octano	Índice que expresa el poder antidetonante de un carburante.
Permisible	Estar dentro del rango en la diferencia de volúmenes.
Porcentaje de error	Porcentaje que indica si está dentro de lo permisible el volumen despachado por el medidor o metro.
<i>Straight Run</i>	Proceso de refinación que consiste en calentar el crudo para convertirlo en vapor mediante una torre de fraccionamiento.

Slurry Oil

Fracción pesada procedente del craqueo catalítico, un proceso para la conversión de fracciones pesadas de hidrocarburos en componentes de gasolina de alta calidad.

Terminal abastecedora

Empresa o compañía que se dedica al despacho de combustibles para venta al público.

Thermal cracking

Proceso de refinación que utiliza el residuo del proceso *Straight Run*, es parecido al proceso *Straight Run* con la diferencia que se utilizan altas temperaturas y altas presiones.

Viscosidad

Es la medida de la resistencia a fluir o la medida de la fricción interna del combustible.

RESUMEN

En el presente trabajo de graduación, se utilizará el método de calibración para medidores según las normas internacionales, este método se puede utilizar para cualquier tipo de medidor y cualquier marca, siendo la única diferencia el ajuste del calibrador. Las calibraciones de los medidores se realizan cada tres meses por requerimiento de la ley de comercialización de hidrocarburos del Ministerio de Energía y Minas, capítulo VIII artículo 37 párrafo cinco, -los equipos, surtidores o bombas de despacho, deben calibrarse cada tres meses en las terminales o plantas de suministro, y cada tres meses en las estaciones de servicio y expendios de GLP para uso automotor-, estas calibraciones son necesarias para que las terminales de combustible entreguen la cantidad requerida a los compradores. Cuando se realiza una calibración es necesario estar certificado para dicho procedimiento, también, es necesario que el probador volumétrico cuente con su debida certificación. Para que sea una calibración con el mínimo margen de error, las compañías tienen que tener todo el equipo necesario, como por ejemplo: probador volumétrico, bomba, mangueras, termómetro portátil, termómetro en la línea de flujo, suelo nivelado, y todos los requerimientos que se mostrarán más adelante.

OBJETIVOS

General

Contar con un procedimiento eficaz para la calibración de medidores volumétricos Smith de doble cubierta y desplazamiento positivo para combustibles. Este método, se puede utilizar para distintos tipos de medidores, siendo la única diferencia al momento de ajustar el medidor.

Específicos

1. Conocer los tipos de combustibles, procesos de refinación, selección de tipos de combustibles y las normas utilizadas en relación con los combustibles.
2. Describir las generalidades de los medidores Smith, conociendo sus aplicaciones y los tipos de medidores utilizados en la industria. Sabiendo identificar cada modelo y sus mecanismos internos.
3. Practicar ejemplos de calibración de medidores Smith, saber qué herramientas utilizar al momento de hacer una calibración, tener presente los problemas que puedan ocurrir mediante la calibración y saber completar una tabla de calibración.

INTRODUCCIÓN

La calibración de medidores es un requisito indispensable para poder operar conforme a la Ley de Comercialización de Hidrocarburos del Ministerio de Energía y Minas, capítulo VIII artículo 38 párrafo primero, -los propietarios de las instalaciones y del equipo o los titulares de licencias para efectuar operaciones de refinación, transformación, terminal de almacenamiento, depósito, estación de servicio y expendio de GLP para uso automotor, son los responsables de mantener debidamente calibrados los tanques estacionarios de almacenamiento y el equipo de despacho o surtidores que pertenezcan a sus instalaciones-. El procedimiento de la calibración es necesaria porque tiene como fin suministrar y entregar la cantidad de combustible que requiere el consumidor.

El medidor Smith doble cubierta y desplazamiento positivo es utilizado en las terminales abastecedoras en Guatemala. Por su diseño tiene la particularidad de tener una cubierta externa y tiene la ventaja de eliminar distorsión de la medida provocada por la diferencia de presión y la tensión de las tuberías.

La cantidad exacta de combustible entregado a los compradores es de suma importancia y, por esta razón, es necesaria la calibración de los medidores. Este procedimiento tiene como fin mantener el equipo de medición de combustibles con un mínimo porcentaje de variación, para despachar las cantidades solicitadas lo más exacto posible, al igual que mantener los porcentajes de pérdida/ganancia operacionales lo más cercano a cero.

Se observa que cuando se esté realizando una calibración tenemos que tener en cuenta muchos factores, especialmente los de la temperatura. En los ejemplos citados, se verificará que cuando se procede a llenar el probador volumétrico y queda, exactamente, la cantidad a que está calibrado el probador volumétrico, no quiere decir que el medidor esté, correctamente, calibrado, hay que hacer varias corridas y verificar el porcentaje de error.

1. ANTECEDENTES DE LOS COMBUSTIBLES

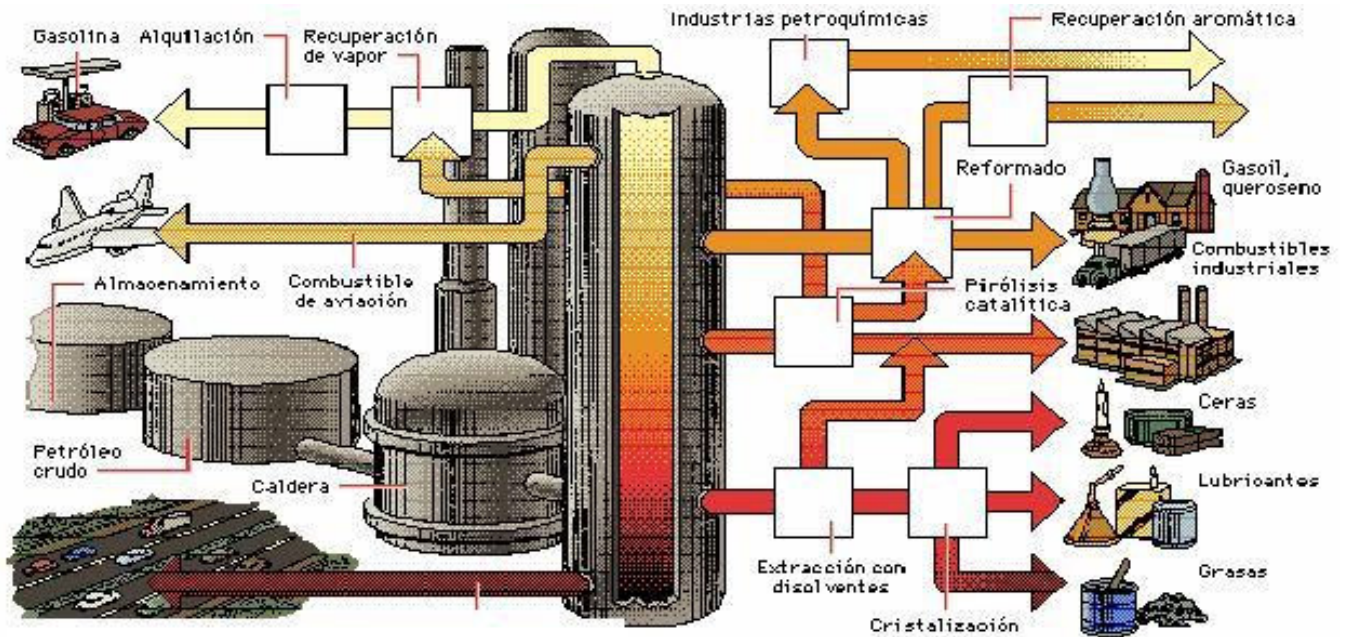
1.1 Combustible

El combustible es toda aquella sustancia que sea capaz de arder, por lo tanto se debe de poder combinar con el oxígeno de manera rápida. Por otra parte, el combustible industrial es toda aquella sustancia capaz de arder, siempre que en esa reacción no sea necesario realizar un proceso complicado y caro. Estos combustibles se caracterizan por ser mezclas o combinaciones de pocos elementos en general. La mayor parte de un combustible industrial lo constituyen los elementos combustibles, es decir, carbono, hidrógeno y azufre. El resto son considerados impurezas. Las impurezas siempre originan problemas tecnológicos, y por lo tanto económicos.

El petróleo es una mezcla en la que coexisten en fases sólida, líquida y gas, compuestos denominados hidrocarburos, constituidos por átomos de carbono e hidrogeno y pequeñas proporciones de heterocompuestos con presencia de nitrógeno, azufre, oxígeno y algunos metales, ocurriendo en forma natural en depósitos de roca sedimentaria. Su color varía entre ámbar y negro. La palabra petróleo significa aceite de piedra.

La vida sin el petróleo no podría ser como la conocemos, del crudo obtenemos gasolina y Diesel para nuestros autos y autobuses, combustible para barcos y aviones. Lo usamos para generar electricidad, obtener energía calorífica para fábricas, hospitales y oficinas y diversos lubricantes para maquinaria y vehículos.

Figura 1. Esquema del proceso de refinación



Los compuestos del carbono e hidrógeno son complejos pero son principalmente parafínicos, naftalénicos y aromáticos. La química se divide en dos ramas, la inorgánica y la orgánica. La química inorgánica maneja los metales y no metales, y la química orgánica es la encargada de los compuestos del carbón. Los compuestos orgánicos tienen la propiedad que cuando son calentados se pueden convertir en vapor o se descomponen en productos volátiles en presencia del aire.

Cualquier derivado del petróleo, ya sea gasolina, Diesel, lubricantes o residuales, está esencialmente formado por dos elementos, carbono e hidrogeno. Cualquier combinación de estos se llama hidrocarburo. Existen muchos tipos de hidrocarburos que se encuentran en el petróleo, pero la mayoría están clasificados en cuatro grandes grupos: parafínicos, aromáticos, nafténicos y olefínicos.

1.2 Procesos de refinación

En un principio los equipos utilizados para refinar petróleo crudo eran muy primitivos y simples. Este era un recipiente que contenía el crudo y donde se calentaba con un tubo por donde salían los vapores hacia un área de menor temperatura donde se convertía en líquido nuevamente. Con el paso de los años, el conocimiento y la experiencia ha mejorado y el número de derivados se ha incrementado.

Muchos productos derivados como gasolina, keroseno, lubricantes reciben tratamientos adicionales para remover las impurezas y propiedades no deseadas, pero los *Fuel Oil* no reciben tratamientos. Los métodos modernos de refinación como *Straight Run* y *Cracking* básicamente producen aceites. Inicialmente todos los aceites eran *Straight Run*, pero en la actualidad la mayoría son *Cracked*.

El proceso *Straight Run* es la primera etapa en el proceso de refinación, que consiste en calentar el crudo para convertirlo en vapor. Estos vapores son condensados y convertidos en líquidos, pero el equipo de refinación está construido para ir condensando el líquido en la torre de fraccionamiento. Esta es una torre cilíndrica que varía en tamaño, pero es de aproximadamente de 4 a 6 pies (1.22 m a 1.83m) de diámetro interno y de 80 a 100 pies (24.38 m a 30.48 m) de alto.

Dentro de esta torre hay platos o bandejas que van permitiendo que el vapor suba a diferentes alturas y los productos obtenidos van almacenándose en tanques. El material más liviano se condensa arriba y el más pesado abajo.

El proceso *Thermal Cracking* es el residuo del proceso *Straight Run*, usualmente es el crudo pesado residual. El método al principio es igual al proceso *Straight Run*, con la diferencia que se usan altas temperaturas y altas presiones. Es debido a estas altas temperaturas que el proceso es llamado *Thermal Cracking*. Este proceso puede dividirse en dos tipos: fase líquida y fase vapor.

En la fase líquida el *Cracking* ocurre cuando el crudo está líquido. En la fase vapor el *Cracking* ocurre cuando el crudo está completamente vaporizado. Las temperaturas son ligeramente más altas, pero las presiones son menores. Los productos que se obtienen normalmente por este proceso son gasolina, *Fuel Oil* # 2 y *Fuel Oil* residuales #5 y #6.

El proceso *Cracking* catalítico ocurre igual que en el proceso térmico, pero se obtiene por un método diferente. El material para este proceso es también un residuo del *Straight Run*, pero productos del proceso térmico especialmente el destilado #2 que es usado varias veces. Al igual que el proceso anterior, el crudo es inicialmente calentado y puede ser vaporizado o mantenido en estado líquido o introducido a un reactor. Este reactor contiene los catalizadores. Estos catalizadores pueden mezclarse con el crudo o en forma pelotas o bolas a través del cual pasa el crudo. Después que el *Cracking* es terminado los productos pasan a la torre de fraccionamiento y de allí a los tanques de almacenamiento. Productos obtenidos por este método son gasolina, *Fuel Oil* #2 y *Slurry Oil*.

1.3 Selección de tipos de combustibles

El *Fuel Oil* #6, también llamado bunker C o residuo. Es negro, pegajoso y semifluido, estas características se debe a su alta viscosidad y en algunos casos por su punto de escurrimiento. Este producto es el residuo del petróleo crudo luego que son extraídos los productos livianos como las gasolinas, nafta, *Diesel Oil* y kerosén.

Este combustible es el que se utiliza en las calderas y hornos de las industrias principalmente, debido a su precio ya que es el más económico en el mercado. El uso del combustible residual en muchos casos depende de los precios. Generalmente el *Fuel Oil* # 6 debe ser mezclado con un diluyente de menor viscosidad para ser utilizado en los diferentes tipos de máquinas, aunque en la actualidad toda la maquinaria que utiliza este combustible se ha diseñado para utilizar un amplio rango de viscosidades. Es posible encontrar equipos que necesitan algunas características especiales, por lo tanto debemos mezclar productos hasta cumplir con los requerimientos del cliente, pero estas mezclas puede alterar el precio ya que se utilizan productos más livianos de mayor costo.

Generalmente los ingenieros de las plantas confrontan el problema de decidir que grado de combustible utilizar que sea económico y práctico. Existe un diferencial en el precio de los diferentes grados, escoger el de menor precio económicamente es rentable. En la selección del grado de combustible mencionaremos algunos factores que pueden ser útiles.

Volumen del combustible. Para grandes cantidades consumidas es más económico utilizar grados pesados ya que no tienen mayor BTU y menor precio. Con muy bajo consumo los livianos son los más indicados especialmente si el consumo es de galones por día.

Los grados pesados. Es una gran fuente de energía y suministrará una operación segura y económica. Un factor que se puede mencionar es que estos grados necesitan calentarse antes de quemarlos, así como un mejor mantenimiento en los equipos. Con grados pesados los depósitos de combustible debe tener suficiente calefacción para suministrar un flujo constante hacia los quemadores.

Las altas viscosidades necesitan más precalentamiento en los quemadores para asegurar una adecuada atomización. Los productos pesados necesitan tuberías aisladas, aquí se debe tomar en cuenta la longitud de las tuberías. El tamaño adecuado, el tipo y la ubicación de las bombas para transferir el combustible deben tomarse en cuenta. En algunas instalaciones el aire y vapor son necesarios para calentar y atomizar el producto requerido.

1.4 Normas, unidades y características usadas en relación a los combustibles

Gravedad API (*API gravity*): Es importante entender que el término "*Gravity*" es un término utilizado en la industria del petróleo y no se debe confundir con "*Specific Gravity*" (Gravedad Específica). La unidad de peso para los líquidos es la densidad, este análisis nos da el peso del producto. A mayor gravedad API el producto es más liviano, a mayor densidad el producto es más pesado.

Viscosidad. La viscosidad es la medida de la resistencia a fluir o la medida de la fricción interna del combustible. La viscosidad puede ayudar a la combustión pero también puede causar problemas a los motores. Existen diferentes maneras de expresar la viscosidad de un producto, como por ejemplo: *Saybolt Viscosity* (SUS), *Redwood* (SEG), pero en nuestra región la más utilizada es la cinemática (centistokes). Existe una relación entre una y otra, se puede convertir a las diferentes unidades utilizando el método descrito en la norma ASTM D 2161.

Usualmente si la gravedad API es baja, la viscosidad es alta, pero esto no es siempre verdadero. Un gran número de factores puede afectar esta relación como son los métodos de refinamiento, el tipo de crudo y si el combustible fue una mezcla. La viscosidad cambia con la temperatura. A mayor temperatura, menor viscosidad. Generalmente la viscosidad se reporta a 50 °C, pero dependiendo de las especificaciones del fabricante del equipo puede requerirse a otras temperaturas.

Agua y sedimento. Uno de los grandes problemas en los combustibles es el contenido de agua y sedimento, algunos problemas por esta contaminación son: combustión inestable, llama no uniforme, regreso de la llama, bloqueo completo de los quemadores y filtros, pérdidas de calor (BTU), desgastes en la boquilla y en las partes mecánicas.

Flash Point. Como los combustibles pesados se precalientan, se producen vapores que a ciertas temperaturas en presencia de una llama puede incendiarse, esta temperatura se llama *Flash Point* o punto de ignición. Es importante determinar esta temperatura para poder controlar el almacenamiento y el transporte del combustible.

Además de su importancia en el precalentamiento antes de que entre a los quemadores para evitar encendidos antes del sistema de combustión.

Pour point: Esta prueba no es primordial a las temperaturas de nuestra región, pero si la mencionamos debido a que es considerada una de las pruebas básicas para productos pesados. Esta prueba determina la temperatura mínima a la cual el producto deja de fluir, es decir es el punto de escurrimiento del combustible.

Carbón de conradson: Cuando se discute sobre carbón en combustible generalmente no se llega a un acuerdo ya que actualmente se establecen cuatro tipos diferentes:

- Carbón fijo. Es el carbón de los compuestos químicos y es determinado por análisis químicos.
- Carbón libre. Es el carbón elemental que se ha desprendido o precipitado de los enlaces de los hidrocarburos por las altas temperaturas y presiones durante el proceso de refinamiento.
- Carbón formado en las boquillas de los quemadores y en las paredes. Es debido a la combustión incompleta del combustible, es carbón puro y puede ser quemado suavemente con una combustión satisfactoria.
- Carbón formado durante la prueba para determinar carbón. Cuando una muestra se quema en ausencia de aire el combustible se evapora y se deja cantidades variables de residuos carbonosos. Esto es conocido como carbón residual o el carbón contenido en el combustible.

Azufre. El azufre es uno de los cinco principales elementos presentes en los hidrocarburos. Sin embargo el azufre es el que más problema presenta durante la combustión. Comparado con el carbono (85.5% a 89%), hidrogeno (10% al 13%), Azufre (0.25% a 4%) es mucho menor pero los problemas son identificados inmediatamente en los motores.

Cenizas. La mayor parte de las cenizas que encontramos en los combustibles provienen del crudo que originalmente fueron refinados. Estas sustancias orgánicas e inorgánicas no son combustibles. Las cenizas son diferentes compuestos químicos y elementos que encontramos en el crudo. Además de que pueden obstruir la cámara de combustión, también se van al ambiente a través de la chimenea causando contaminación. Se debe mencionar que un alto contenido de cenizas puede causar problemas en las calderas especialmente en los tubos de combustión. Para reducir el contenido de cenizas en los combustibles es muy costoso, por lo que se recomienda no utilizar combustibles con alto contenido de cenizas.

Calor de combustión -BTU-. Cuando se compra combustible pesado, el objetivo principal es obtener la mayor cantidad posible de calor que puede ser liberado mediante la combustión. El método más preciso para determinar el calor de combustión es ASTM D 240 en el cual se utiliza un calorímetro, pero como este equipo es costoso se puede calcular utilizando el método ASTM D 4868. Este procedimiento utiliza la gravedad API, el contenido de azufre, la viscosidad, el agua y las cenizas para realizar el cálculo. Existen dos tipos de calor de combustible, el grueso o total también llamado *high heating value* y el *net heating value*, la diferencia es que el grueso toma en consideración todos los contaminantes que tienen el combustible -agua, cenizas y azufre- y el neto se hace limitando estos contaminantes además de la utilización del hidrógeno.

Sedimentos totales por añejamiento. En algunos casos este ensayo es solicitado ya que generalmente tienen relación con la compatibilidad de los productos. No es una prueba básica, pero cada día es más solicitada en la industria.

Metales. Estos tienen gran importancia ya que pueden ocasionar muchos problemas en los motores. Hay que destacar el Vanadio ya que un alto contenido puede causar incrustaciones en los tubos de combustión causando gran corrosión y daños irreversibles. El sodio también es importante debido a que forma sal con la consiguiente corrosión, también puede indicar la presencia de agua salada. El aluminio y el silicio también causan corrosión. El silicio puede ser indicativo de contaminación por arena lo cual es sumamente perjudicial para los equipos.

Especificaciones de calidad del *Fuel Oil* #6. Internacionalmente estas especificaciones están establecidas por ASTM en los métodos ASTM D 396 para *Fuel Oil*. Estas especificaciones son las que generalmente se utilizan para la compra venta, para reclamos y sobre todo que influyen en el precio a pagar cuando se comparan combustibles en volúmenes grandes. En algunas ocasiones el comprador y el vendedor establecen los precios según, si el producto cumple o no con todas las especificaciones o simplemente se rechaza o se acepta un producto de acuerdo a ellas.

Características del combustible *Fuel Oil* #2 -*Diesel Oil*-. Los motores Diesel tienen una variedad de usos y aplicaciones tanto en motores marinos como en motores terrestres. Recientemente también hay turbinas de gas que utilizan combustible Diesel y generalmente son utilizadas para la generación eléctrica.

Los requerimientos básicos para motores Diesel -marinos o terrestres- son una ignición satisfactoria y una combustión muy buena. Una amplia definición para combustible Diesel de uso marino o terrestre cubre muchas combinaciones posibles de volatilidad, calidad de ignición, viscosidad, gravedad, estabilidad y otras propiedades.

Varias clasificaciones son usadas en diferentes países para establecer un marco de referencia. ASTM D 975 "*Specification for Diesel Fuel Oils*" es una de las especificaciones más utilizadas mundialmente para clasificar los combustibles Diesel.

En el ASTM D 975 los grados #1-D y #2-D son destilados que generalmente se utilizan en motores de alta velocidad en equipos móviles y de media velocidad en equipos estacionarios y máquinas de combustión interna. El grado #4 es aplicable a baja y mediana velocidad, empleados en servicios donde predomina la velocidad constante. El #4-D es el más viscoso.

Pruebas que determinan la calidad del Diesel. El número de cetano es una propiedad muy importante en la operación de los motores Diesel pero no muy importante en la operación de turbinas de gas. El número de cetano es una propiedad que puede interpretarse como el octanaje en la gasolina. Con el número de cetano se identifica una parte importante de la calidad del combustible ya que se usa para relacionarlo con la ignición y con el quemado del combustible. El equipo para determinar el número de cetanos es muy costoso y generalmente lo tienen las refinerías para controlar la calidad durante la producción. El método utilizado es el ASTM D 613.

Índice de cetano. Como ya se mencionó, el número de cetano no es fácil de realizar debido al costo del equipo, por lo tanto, se ha desarrollado un método calculado para obtener el índice de cetano que nos da una idea de este parámetro tan importante. En este cálculo se utiliza el 50% de la destilación (D86) y la densidad API (ASTM D 287 – 1298). Tiene algunas restricciones como por ejemplo no se puede utilizar cuando se le aplica al Diesel aditivos para aumentar el número de cetanos.

Destilación. Particularmente en los motores de mediana y alta velocidad, la destilación (volatilidad) es una característica importante para determinar el rendimiento en el combustible. El método utilizado es el ASTM D 86. El promedio de los requerimientos de volatilidad en los motores Diesel varía con la velocidad, el tamaño del motor y el diseño, pero un Diesel con una pobre volatilidad reduce la potencia y aumenta el consumo de combustibles por una mala atomización.

Entre otras pruebas importantes para determinar la calidad de un Diesel podemos mencionar el *Flash Point* (D93A), el cual establece la temperatura a la cual al calentarse el combustible en presencia de una llama puede incendiarse.

Características básicas de las gasolinas. La gasolina automotriz y las mezclas de gasolina oxigenadas son utilizadas en los motores de combustión interna que utilizan las bujías para la chispa del encendido. El método ASTM D 4814 "Especificaciones para motores de gasolina con bujías para encendido" se define la gasolina como "una mezcla volátil de hidrocarburos líquidos" conteniendo pequeñas cantidades de aditivos.

2. GENERALIDADES DEL MEDIDOR SMITH

2.1 Aplicaciones de los medidores

Los metros o medidores de alto rendimiento de desplazamiento positivo o de tipo turbina se utilizan normalmente para medir transferencias de los derivados del petróleo. En ciertas situaciones se necesita un tipo específico de metro (medidor), pero en algunos casos, cualquier tipo es satisfactorio. Aunque los factores tales como presión, temperatura, gama del flujo, y contaminación fluida pueden influenciar el tipo de metro seleccionado, la viscosidad y el caudal se deben considerar primero. Los metros de tipo turbina se utilizan normalmente para medir los productos refinados de poca viscosidad, tales como propano, gasolina, keroseno, o gas oil.

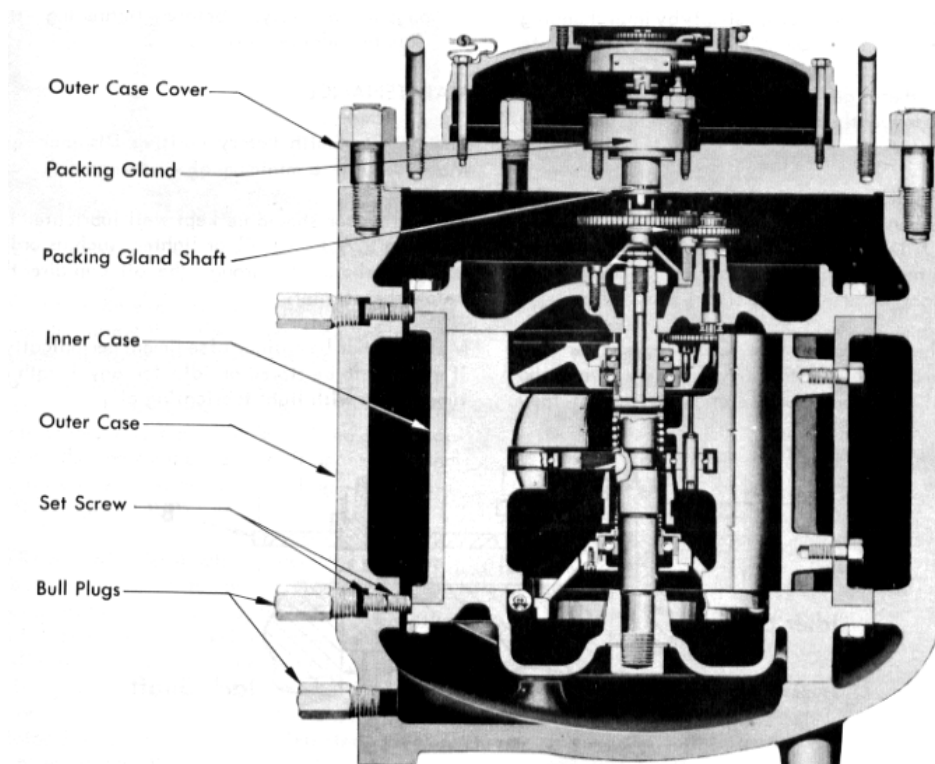
Figura 2. Medidor Smith doble cubierta y desplazamiento positivo



2.2 Tipos de medidores Smith

Los metros de tipo inferencia deducen caudal volumétrico midiendo una cierta característica dinámica de la corriente del flujo. Si existen cambios eficaces de esta área del flujo debido a la erosión, corrosión, depósitos, cavitación, obstrucciones, etc., el registro del volumen -o factor del metro- cambian aunque el caudal volumétrico sigue siendo constante. Además con esta limitación en común, cada metro de tipo inferencia de flujo tiene su propio sistema único de limitaciones de la condición de operación.

Figura 3. Corte transversal de un medidor



Fuente: A.O. Smith. Manual de medidores. Pág. 14

Los variados tipos de metros de flujo conservan en general se clasifiquen como de desplazamiento positivo o de tipo inferencia.

Desplazamiento positivo -D.P.-. Los metros miden flujo volumétrico continuamente separando o aislando un flujo en segmentos volumétricos discretos y contándolos. Los metros de la inferencia deducen la corriente volumétrica del flujo. Los metros de la turbina caen en esta última categoría. Algunos de los ejemplos más comunes de los metros de la inferencia son placas del orificio, inyectores del flujo, vénturis, etc. Otros tipos de metros deducen el caudal de la medida de: fuerza mecánica, área del flujo, fuerza electromagnética, velocidad del sonido, resonancia magnética, fricción, remolino, velocidad del impellor, etc.

2.3 Diseño y construcción

Diseño y construcción hay típicamente tres grupos de base de componentes o de sub-ensambles parciales en un metro de desplazamiento positivo:

- Cubierta externa
- Elemento interno de medición
- Mecanismo contador

2.4 Cubierta externa

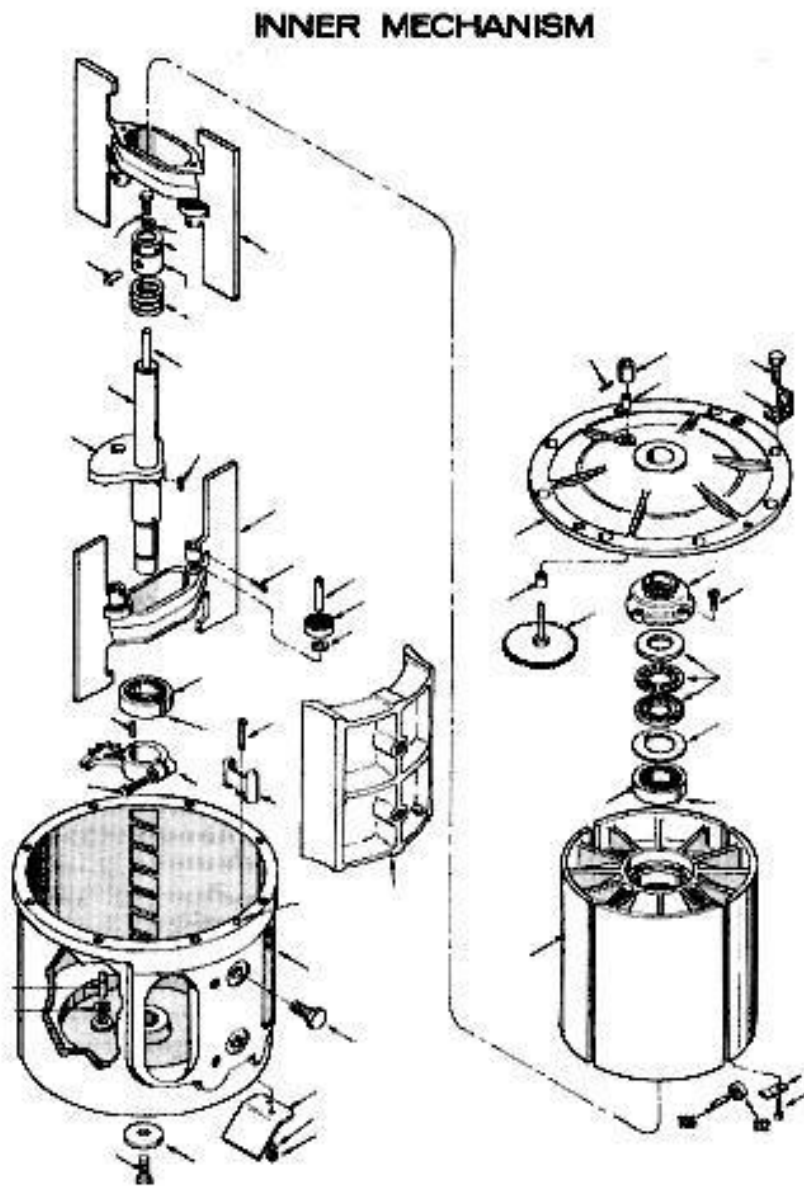
La cubierta externa es básicamente un recipiente de presión con las conexiones de entrada y salida. Los metros de D.P. se construyen comúnmente con las conexiones de la entrada y salida a partir de 1/4" hasta el 16" para las presiones a 1,440 PSI (600 libras ANSI) y a 12,500 BPH -barriles por hora-. Los materiales externos típicos de la cubierta son: acero al carbón, hierro fundido, acero dúctil de aluminio, bronce o inoxidable. Los metros pueden estar contruidos de una sola cubierta o doble. En el caso de una sola cubierta, la cubierta externa sirve en ambos como recipiente de presión como la pared externa del elemento que mide; mientras que con la construcción doble cubierta, la cubierta externa es terminantemente un recipiente de presión. Los metros pequeños de materiales con excepción del acero de carbón son normalmente de una cubierta. Los metros de construcción con doble cubierta son de acero al carbón de tamaño del 6" casi siempre. Las ventajas de la construcción de doble cubierta son: (1.) La tensión de los tubos no se transmite al elemento medidor; (2.) el elemento que mide se puede quitar fácilmente para servicio de limpieza; y (3.) la presión diferenciada a través de las paredes del elemento que miden es mínima, así eliminando la posibilidad de medir los cambios dimensionales del elemento debido a las variaciones de presión de sistema.

2.5 Elemento interno de medición

Como se menciono anteriormente, los metros de D.P. miden el flujo continuo separando o aislando una corriente del flujo en segmentos volumétricos discretos y contándolos. Algunos elementos internos de medición de los metros de D.P. se ilustran en la figura 4.

El elemento que mide también sirve como motor hidráulico, cuando la corriente fluye la energía es absorbida para producir esfuerzo de torsión necesario para superar la fricción interna y para conducir el contador y otras cargas.

Figura 4. Mecanismo interno



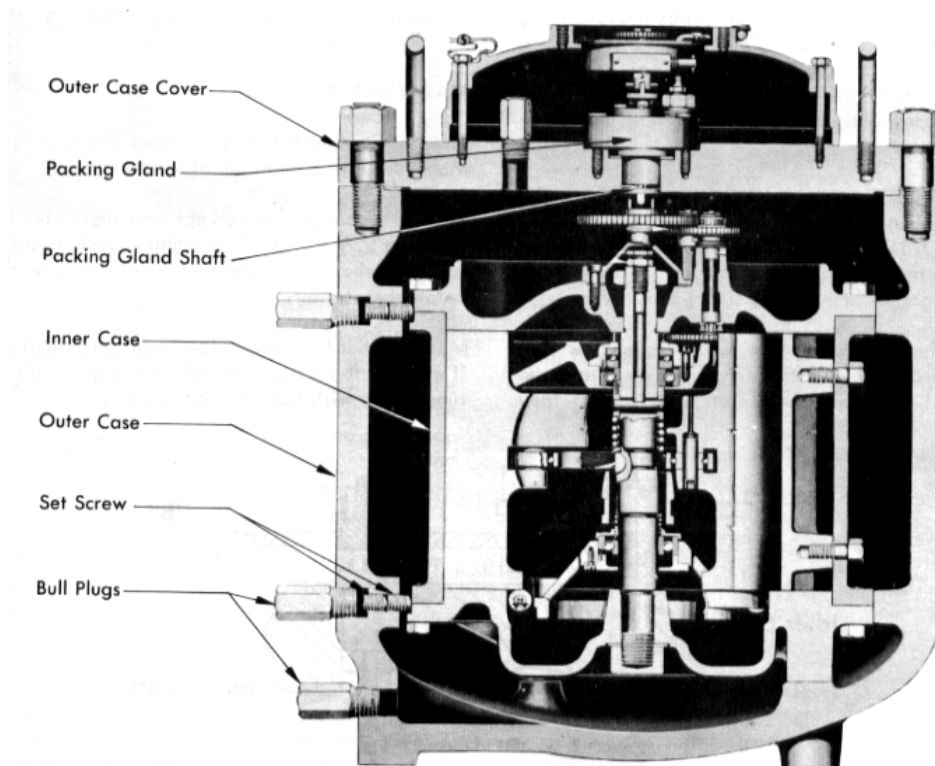
Fuente: A.O. Smith. Manual de medidores. Pág. 14

2.6 Mecanismo contador

Mecanismo contador. Un ejemplo ilustrativo se encuentra en la Figura 5, donde están las partes importantes como:

- a. Tren de engranaje,
- b. Sello rotatorio del eje, (glándula de embalaje)
- c. Calibrador, (ajustador).

Figura 5. Tren de engranaje, cubierta externa, cubierta interna, glándula de embalaje, etc.



Fuente: A.O. Smith. Manual de medidores. Pág. 14

El cociente del engranaje del tren de engranaje se elige para convertir el volumen fijo por la revolución del elemento que mide a un cierto volumen nominal conveniente por la revolución del eje de la entrada contraria. Por ejemplo, un medidor de D.P. de 4" tiene un elemento de medición de 2 gls./rev. Así un cociente del engranaje de reducción del nominal 5:2 es usado para el tren de engranaje del metro. Si se utiliza un calibrador a las cuales salida RPM puede solamente ser igual o mayor que, nunca menos que, su entrada RPM, el cociente del engranaje del tren de engranaje se debe predisponer para conducir el calibrador a una velocidad más lenta de la entrada levemente (del 1% a el 4%) que es el requerido nominal.

Sello rotatorio del eje. Se requiere un sello rotatorio del eje donde el tren de la impulsión contraria penetra al recipiente de presión del metro. Se diseña normalmente en un módulo o una glándula para el acceso fácil, puesto que es un artículo de desgaste que debe ser mantenido cuando ocurre la salida. Los metros de alta presión de Smith (275 PSI y mayores) utilizan una glándula de embalaje externamente lubricada para aislar la forma dinámica del sello del eje el producto, aumentando la vida de la glándula de embalaje. El lubricante externo -típicamente grasa de glicerina o de silicón- debe ser químicamente compatible e inmiscible con el producto que es medido. Los metros de D.P. tienen un acoplador de impulsión magnético en vez de una glándula de embalaje eliminando la necesidad del mantenimiento frecuente de un sello dinámico del eje. Los factores que afectan vida de un sello rotatorio del eje son: Fineza y dureza del eje, sello al ajuste del eje, longitud del sello, dureza del sello y resistencia de desgaste, compatibilidad del producto del sello y contaminación abrasiva del producto, -cuando el producto medido está en contacto con el sello-.

Calibrador. Un calibrador del metro es un dispositivo para ajustar en (0.05%) incrementos finos la velocidad de la salida -RPM- del tren de impulsión contraria de un metro sobre una gama de ajuste total relativamente estrecha, gama de ajuste 1.0%,. Sin un calibrador, un metro se puede engranar típicamente solamente para colocar rendimiento de procesamiento volumétrico verdadero en aproximadamente 0.5-1.0%. Esto está debido a variaciones de la fabricación en el elemento que mide y los incrementos relativamente gruesos del cociente del engranaje disponibles en un tren de engranaje normal del metro.

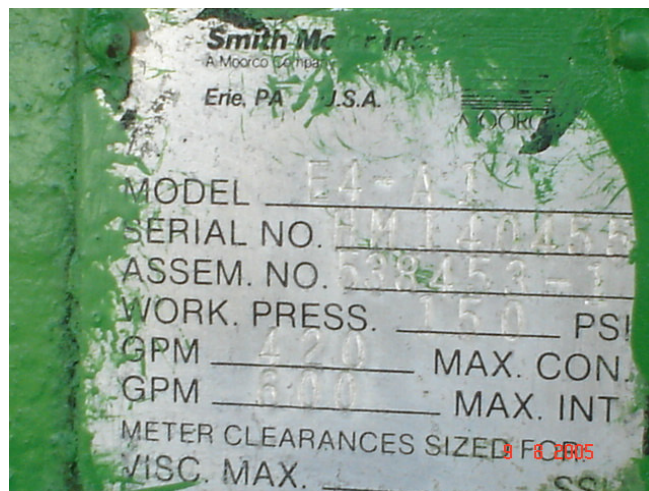
3. MEDIDORES SMITH

3.1 Información general de los medidores Smith

3.1.1 Identificación del modelo

La identificación del modelo es muy importante ya que a partir de esta, podemos iniciar los respectivos apuntes e indicaciones para la calibración. Una forma fácil de identificar el modelo es observando la placa que identifica cada medidor.

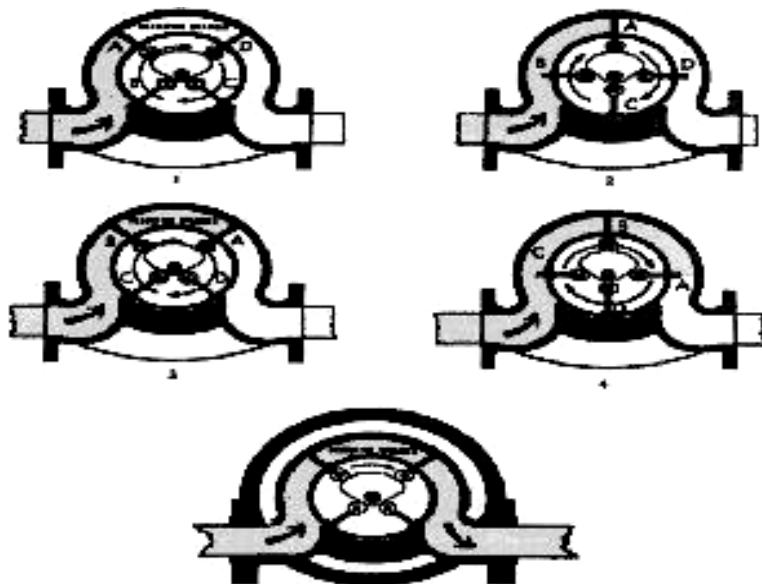
Figura 6. Placa de identificación del medidor



3.1.2 Descripción interna del medidor

Principio de operación. El metro Smith es de tipo rotatorio de desplazamiento positivo. La cubierta exactamente trabajada a máquina contiene un rotor que gira los rodamientos de bolas y lleva las espadas o paletas uniformemente espaciadas. El líquido atraviesa el metro, el rotor y las espadas giran sobre una leva fija, haciendo que las espadas se muevan hacia fuera. El movimiento sucesivo de las espadas forma un compartimiento que mide el volumen exacto entre dos de las espadas del rotor de la cubierta y de las cubiertas superiores e inferiores. Una serie continua de estos compartimientos cerrados se produce, para cada revolución del rotor. Una de las características excepcionales del principio del metro de Smith es que el flujo es literalmente imperturbado mientras que se está midiendo. La energía no se pierde ni le resta velocidad al líquido: la exactitud y la eficacia son altas.

Figura 7. Principio de operación de los medidores.



Fuente: A.O. Smith. Manual de medidores. Pág. 2

1. El líquido que no se ha medido se observa entrando al metro. El rotor y las espadas están dando vuelta a la derecha a favor de las manecillas del reloj. Las espadas A y D son completamente extendidas formando el compartimiento que mide. Las paletas B y C se contrajeron.
2. El rotor y las paletas han recorrido $1/8$ de revolución. La paleta A es completamente extendida. La paleta D se está haciendo para atrás: La paleta C se introduce completamente: La paleta B está siendo extendida.
3. Después de $1/4$ de revolución. La paleta A todavía se amplía y la paleta B ahora se mueve completamente hacia fuera. Un volumen de líquido nuevo está ahora en el compartimiento que mide.
4. A $1/8$ de revolución más adelante, el líquido medido se está moviendo hacia fuera. Un segundo compartimiento que mide está comenzando a formar entre las paletas C y B. La paleta A se está haciendo para atrás de nuevo.

3.2 Procedimiento para Desarmar el medidor

3.2.1 Desarme del medidor

El medidor solamente se desarma cuando hay variaciones de volumen que no se pueden corregir con la calibración del medidor. Pero para un simple mantenimiento solo es necesario extraer el mecanismo interno de medición y dar una limpieza a la cubierta interna que por lo general es la que siempre está más sucia. Cuando vamos a proceder a desarmar el medidor es necesario desconectar la energía eléctrica de la bomba para que no exista ningún accionamiento y provoque un derrame. Esta bomba tiene que ser etiquetada para indicar que no se debe accionar la bomba ni colocarla en estado de encendido. También necesitamos liberar la presión en las líneas de entrada y salida, esta la podemos realizar abriendo la válvula de salida.

Después de hechos estos pasos se procede a drenar el medidor, esto se hace abriendo la válvula de fondo del medidor. Cuando terminamos de drenar, hacemos una limpieza profunda y observamos las piezas desgastadas y procedemos a cambiarlas.

3.2.2 Precauciones al Desarmar

Cuando estamos desarmando el medidor, hay que tener en cuenta que se pierde la presión del medidor, por tal motivo es necesario hacer una prueba hidrostática cuando está armado totalmente para verificar si no queda ninguna fuga. Cuando realizamos una prueba hidrostática es necesario quitar el mecanismo interno porque debido a las altas presiones puede provocar fallas en el mecanismo. Entre el listado de herramientas que utilizamos están las siguientes:

- Maneral de 1/2"
- Copas de 3/8", 7/16", 1/2", 9/16", 5/8", 11/16", y 3/4".
- Juego de llaves de cola corona de 3/8" a 3/4".
- Destornillador de cruz y de castigadera.
- Alicata

3.3 Procedimiento para el armado del medidor

3.3.1 Armado del medidor

El armado del medidor es necesario hacerlo por separado, porque es demasiado pesado para levantarlo. Cuando colocamos la tapadera de la cubierta interna, es necesario torquear los tornillos de acuerdo a la medida del medidor, porque este puede impedir el libre movimiento del mecanismo interno.

Procedemos a colocar la tapadera del medidor, la más grande, siempre poniendo los tornillos uno opuesto al otro. Colocamos seguidamente el calibrador, registrador y el *Ticket Printer*. Estos mecanismos tienen que ir debidamente lubricados para que su ensamblaje quede sin ningún problema. Ya que todo está bien, es necesario calibrar el medidor para que todo este trabajando con el porcentaje mínimo de error. Hecho esto es necesario marchamar el medidor, el registro y el *Ticket Printer*.

3.3.2 Precauciones al armar

Si procedemos a introducir el mecanismo interior, tenemos que tener cuidado que la holgura entre las paletas y la cubierta interior estén ajustadas para que no existan errores en la medición del volumen. Cuando introducimos el mecanismo de medición, tenemos que colocarlo con la guía que se encuentra en la parte inferior del recipiente que contiene el medidor. Para saber si lo colocamos bien se puede hacer girar con algún destornillador y nunca con los dedos para evitar accidentes. Cuando ya está todo armado abrimos las válvulas que están una después de la bomba y la otra a la entrada del medidor, esto se hace para que el medidor se llene por gravedad y no trabaje en seco.

4. METODO PARA CALIBRAR MEDIDORES SMITH

4.1 Calibración de medidores

4.1.1 Herramientas y equipo para la calibración

Las herramientas en el momento de calibrar son principalmente las siguientes: se necesita un probador volumétrico que este debidamente certificado para hacer mediciones de volumen, este probador volumétrico tiene que estar debidamente nivelado para que no exista ninguna distorsión. Se necesita un termómetro para medir la temperatura del combustible dentro del probador volumétrico y dentro de la línea de conducción. Se necesita conexión a tierra del probador volumétrico. Mangueras para llenar el probador volumétrico y para conducir el producto después de cada corrida. También es necesario tener bomba para llevar el producto después de cada corrida así como también para llenar el probador volumétrico.

Figura 8. Probador volumétrico de 535 gls., llamado también Serafín.



Figura 9. Termómetro.



Figura 10. Conexión a tierra



Figura 11. Conexión de la manguera al probador volumétrico.



Figura 12. Bomba



4.1.2 Precauciones para la calibración

Como se indico anteriormente cuando calibramos se tiene que tener mucha precaución, porque donde se realiza la calibración son los *Rack* de llenado y hay movimiento de camiones con peligro de explosión. Se necesita la conexión a tierra del probador volumétrico, delimitar el área de trabajo para indicar que se está realizando una calibración, cuando se está calibrando necesitamos por lo menos tres personas, la que llena el probador volumétrico, la persona que observa el proceso de llenado del probador volumétrico, y por último otra persona que este encargada de las válvulas de cierre del probador volumétrico así como también el encendido de la bomba. Hay que tomar en cuenta que cuando se hace una calibración la persona que está calibrando tiene que saber de que tanque se está usando el combustible, porque cada tanque o en la mayoría de casos tienen un gravedad diferente de API, y esto puede afectar la calibración.

4.1.3 Datos para la calibración

Para realizar la calibración se necesitan los siguientes datos:

Medidor. Aquí se coloca escribe el tipo de combustible, por ejemplo si en una planta tienen dos medidores de Bunker y se necesita calibrar el # 1 de Bunker se coloca Bunker # 1

Producto. Se escribe que combustible se está midiendo.

Marca del medidor. Ejemplo Smith o *Liquid Control*

Modelo del medidor. Colocamos el modelo del medidor que se va a calibrar.

No. de serie del medidor. Colocamos el # de serie del medidor que se está calibrando.

No. de serie del registrador. Colocamos el # de serie del registrador. El registrador lleva el dato de los galones que se han despachado.

Lectura inicial del totalizador. Esta lectura es importante ya que cuando se calibra es importante tener el dato de cuántos galones de combustible se usaron para hacer la calibración.

Lectura final del totalizador. Esta lectura también es importante ya que la resta de la lectura final menos la lectura inicial nos da el total de galones usados para la calibración.

Volumen del probador volumétrico. Indica el volumen de calibración del probador volumétrico.

Temperatura a que fue calibrado el probador volumétrico. Como se indico anteriormente el probador volumétrico también tiene que estar calibrado y la temperatura en que fue calibrado es uno de los datos más importantes para poder hacer la calibración.

Material del probador volumétrico. En base a este se saca el factor de expansión del material.

Marchamos. La numeración de los marchamos colocados se anotan para llevar un control, cuando el metro o medidor necesita ajuste, se quita el marchamo para poder hacer el ajuste, y por esta razón se lleva el control. También se anotan los marchamos que se colocaron después de la calibración.

Gravedad API. Este dato lo proporciona la abastecedora de combustible.

4.1.4 Normas y unidades para calibrar

La norma a la que hacemos referencia es la norma API: “calibración por medio de probador volumétrico”, según, API Cáp. 4. 4/7 y 12.2.

Ésta tiene como fin mantener el equipo de medición de combustibles, metros, con un mínimo porcentaje de variación, para despachar las cantidades solicitadas lo más exacto posible. Al igual que mantener los porcentajes de pérdida/ganancia operacionales lo más cercano a cero.

Entre las generalidades de esta norma, nos debemos asegurar que el probador volumétrico este totalmente limpio y con los accesorios completos para realizar la misma: nivel, bomba en perfecto estado, conexiones a tierra, mangueras para trasegar el combustible. También la temperatura a que fue calibrado el probador volumétrico.

- Colocamos el probador volumétrico centrado y a nivel, antes de realizar cualquier maniobra.
- Procedemos a conectar a tierra el probador volumétrico.
- Antes de mojar el probador volumétrico se debe anotar en la tabla de calibración el totalizador inicial y la gravedad API.
- Mojamos el probador volumétrico para que no exista ninguna pérdida de volumen por expansión térmica.
- Esta primera corrida que se hizo se tiene que anotar en el formato de calibración porque desde ahí comienza a correr el totalizador.

Como podemos apreciar la tabla anterior, es el procedimiento a seguir para llevar a cabo una calibración.

La tabla se numeró del 1 al 36 para saber lo que significa cada casilla.

- 1- Aquí colocamos el nombre del lugar donde se encuentra la planta.
- 2- La dirección donde se encuentra la planta.
- 3- Fecha cuando se está haciendo la calibración.
- 4- Número de medidor que se está calibrando.
- 5- Producto con el que vamos a calibrar.
- 6- Volumen del probador volumétrico que estamos utilizando.
- 7- Marca del medidor.
- 8- Gravedad API -API *gravity*-. Es importante entender que el término "*gravity*" es un termino utilizado en la industria del petróleo y no se debe confundir con "*specific gravity*", gravedad especifica,. La unidad de peso para los líquidos es la densidad, este análisis nos da el peso del producto, a mayor API el producto es más liviano, a mayor densidad el producto es más pesado.
- 9- Material del que está hecho el probador volumétrico, es necesario porque en base a esto colocamos el factor de expansión térmica.
- 10- Modelo del metro.
- 11- Fecha en que fue calibrado el probador volumétrico.
- 12- Número de serie del medidor.
- 13- Número de serie del registrado del medidor.
- 14- Marchamos colocados después de la calibración.
- 15- Lectura final del totalizador.
- 16- Marchamos colocados antes de la calibración.
- 17- Lectura inicial del totalizador.
- 18- Marchamos colocados con los que quedaron.

- 19- Temperatura de calibración del probador volumétrico.
- 20- Volumen recibido del probador volumétrico.
- 21- Temperatura del fluido dentro del probador volumétrico.
- 22- Corrección de temperatura del probador volumétrico.
- 23- Corrección de temperatura del líquido, según la tabla API 6B
- 24- Factor combinado -casilla 3 por casilla 4-.
- 25- Cantidad corregida en el probador volumétrico.
- 26- Lectura final del medidor.
- 27- Lectura inicial del medidor.
- 28- Volumen indicado del medidor.
- 29- Temperatura de flujo.
- 30- Velocidad de flujo en GPM.
- 31- Corrección de temperatura en líquido.
- 32- Volumen del medidor corregido (casilla 9 x casilla 12).
- 33- Factor del medidor (casilla 6/casilla 13)
- 34- Porcentaje de error (casilla 14 – 1) x 100
- 35- Nombre de la persona que calibra.
- 36- Persona que autoriza la calibración.

4.1.5 Ejemplos de calibración

Ejemplo # 1:

En la Planta llamada "Combustibles S.A." ubicada en el Puerto de San José, Escuintla, se encuentra instalado un medidor marca Smith modelo E4-A1 con número de serie PM52815 y el registrador con número de Serie 9410582857. La capacidad máxima del medidor es 400 GPM y la Mínima es de 20 GPM. El Totalizador indica inicialmente 12586066 galones. Tiene un marchamo colocado en el medidor con numero 1038 y otro en el registrador con numero 1039. El producto que se está utilizando es gasolina superior con una gravedad API de 54.8. Los datos del probador volumétrico que se está utilizando son; Capacidad 535 galones, material: acero al carbón, temperatura a que fue calibrada el probador volumétrico: 80° Fahrenheit.

Cada línea -1 pulgada- del probador volumétrico equivale a 0.1320 galones.

El probador volumétrico está hecho de acero al carbón por lo que su expansión térmica equivale a 0.0000186.

Figura 13. Visor con su escala.

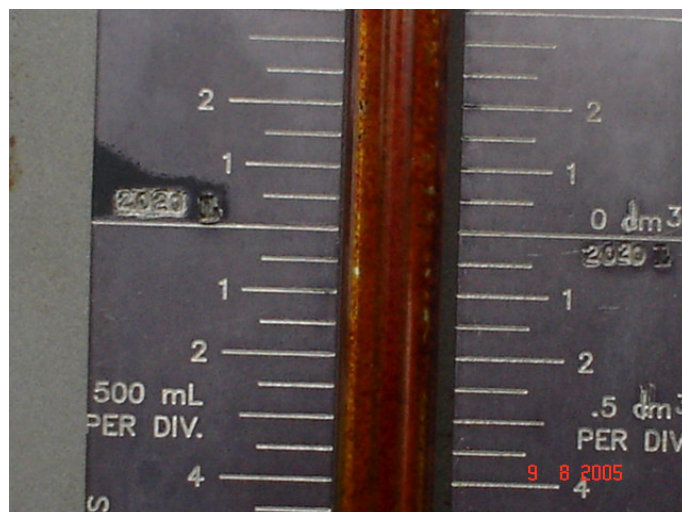


Figura 14. Registrador con su totalizador



Figura 15. Medidor Smith, vista posterior



Corrida # 1

Paso # 1

Procedemos a llenar la tabla de la parte superior con todos los datos que existen.

Paso # 2

Colocamos el probador volumétrico nivelado, centrado, y conectado a tierra. Verificamos que la bomba este en buen funcionamiento y que las mangueras con las que se va a trasegar el combustible estén en buenas condiciones. Verificamos que el depósito que se utilizará para trasegar el combustible este totalmente vacío.

El probador volumétrico tiene que estar totalmente vacío.

Procedemos a mojar el probador volumétrico con 535 galones. Corrida # 1

Lo dejamos como mínimo 5 minutos con el combustible para que no exista error por expansión térmica.

Figura 16. Nivel del probador volumétrico.



Paso # 3

Pasados los 5 minutos trasegamos el combustible desde el probador volumétrico hasta el depósito.

Corrida # 2

Paso # 4

Antes de llenar el probador volumétrico, tenemos que encender la bomba, y vamos a observar que cuando hacemos esto el registrador tiene un desajuste, por tal motivo tenemos que volver a colocar en cero el registrador para que no exista variación.

Llenamos el probador volumétrico de nuevo con 535 galones y anotamos cuantas líneas de más o de menos está el nivel del líquido indicado en el probador volumétrico. También desde el inicio de llenado se cuenta el tiempo de llenado para saber los GPM. El probador volumétrico indica que tiene arriba 5 líneas. Entonces multiplicamos $5 \times 0.1320 \text{ gls.} = 0.66 \text{ gls.}$

Colocamos en la primera casilla $535 \text{ gls.} + 0.66 \text{ gls.} = 535.66 \text{ gls.}$ Este resultado nos indica que el medidor está surtiendo 0.66 galones más.

Paso # 5

Medimos la temperatura del probador volumétrico, para medirla es necesario colocar el termómetro en la mitad del probador volumétrico y se deja 5 minutos como mínimo para tomar la temperatura.

La temperatura indicada por el termómetro es 80° F y la colocamos en la casilla

2

Paso #6

En este paso usaremos la fórmula de CTPV= ((°F-TCPV)) x 0.0000186) +1

CTPV= Corrección de temperatura del probador volumétrico.

°F= Temperatura obtenida del probador volumétrico.

TCPV= Temperatura de calibración del probador volumétrico.

0.0000186= Factor de expansión térmica para acero al aarbón

Entonces:

CTPV=((80-80) x 0.0000186) +1=1 el resultado lo colocamos en la casilla # 3.

Paso #7

Usamos el factor que nos indica la tabla 6B que es la corrección de volumen a 60° F a través de la gravedad API a 60° F.

Entonces como tenemos la temperatura del probador volumétrico que es 80° F y tenemos la gravedad API que es 54.8

Tabla II. Corrección de volúmenes a 60° F. API 54.8 Temp. 80° F

TABLE 6B. GENERALIZED PRODUCTS
VOLUME CORRECTION TO 60 F

TEMP. F	API GRAVITY AT 60 F										55.0	TEMP. F
	50.0	50.5	51.0	51.5	52.0	52.5	53.0	53.5	54.0	54.5		
75.0	0.9912	0.9910	0.9908	0.9906	0.9904	0.9903	0.9903	0.9902	0.9902	0.9902	0.9901	75.0
75.5	0.9909	0.9907	0.9905	0.9903	0.9900	0.9900	0.9900	0.9899	0.9899	0.9898	0.9898	75.5
76.0	0.9906	0.9904	0.9902	0.9899	0.9897	0.9897	0.9896	0.9896	0.9895	0.9895	0.9895	76.0
76.5	0.9903	0.9901	0.9898	0.9896	0.9894	0.9894	0.9893	0.9893	0.9892	0.9892	0.9891	76.5
77.0	0.9900	0.9896	0.9895	0.9893	0.9891	0.9890	0.9890	0.9889	0.9889	0.9888	0.9888	77.0
77.5	0.9897	0.9895	0.9892	0.9890	0.9887	0.9887	0.9887	0.9886	0.9886	0.9885	0.9885	77.5
78.0	0.9894	0.9892	0.9889	0.9887	0.9884	0.9884	0.9883	0.9883	0.9882	0.9882	0.9881	78.0
78.5	0.9891	0.9889	0.9886	0.9884	0.9881	0.9881	0.9880	0.9880	0.9879	0.9879	0.9878	78.5
79.0	0.9888	0.9886	0.9883	0.9880	0.9878	0.9877	0.9877	0.9876	0.9876	0.9875	0.9875	79.0
79.5	0.9885	0.9883	0.9880	0.9877	0.9875	0.9874	0.9874	0.9873	0.9873	0.9872	0.9871	79.5
80.0	0.9882	0.9880	0.9877	0.9874	0.9871	0.9871	0.9870	0.9870	0.9869	0.9869	0.9868	80.0
80.5	0.9879	0.9877	0.9874	0.9871	0.9868	0.9868	0.9867	0.9867	0.9866	0.9865	0.9865	80.5
81.0	0.9876	0.9874	0.9871	0.9868	0.9865	0.9864	0.9864	0.9863	0.9863	0.9862	0.9862	81.0
81.5	0.9873	0.9871	0.9868	0.9865	0.9862	0.9861	0.9861	0.9860	0.9859	0.9859	0.9858	81.5
82.0	0.9871	0.9867	0.9864	0.9861	0.9858	0.9858	0.9857	0.9857	0.9856	0.9856	0.9855	82.0

Fuente: *Petroleum Measurement Tables*. Tabla 6B. Pág. 200

Entonces el factor de corrección según la tabla es: 0.9868 y la colocamos en la casilla # 4.

Paso # 8

En la casilla # 5 colocamos el factor que es el resultado de multiplicar la casilla # 3 por la casilla # 4, entonces $1 \times 0.9868 = 0.9868$

Colocamos el resultado en la casilla # 5

Paso # 9

En la casilla # 6 colocamos el resultado de multiplicar la casilla # 1 por la casilla # 5.

$535.66 \text{ gls.} \times 0.9868 = 528.58929 \text{ gls.}$

Paso # 10

En la casilla # 7 colocamos la cantidad marcada por el medidor, si por algún motivo a la hora de llenar el probador volumétrico nos pasamos un poco aquí se coloca el total. Pero si queda exactamente 535 gls. colocamos esta cantidad.

Paso # 11

En la casilla # 8 colocamos la lectura al inicio de la primera corrida que tiene que ser cero. Esta es importante ya que cuando se coloca a cero el medidor y uno enciende la bomba para hacer la corrida, esta lectura puede variar un poco, por esta razón es necesario colocarlo. Si está exactamente en cero colocamos esta cantidad.

Paso # 12

En la casilla # 9 colocamos el resultado de restar la casilla # 7 menos la casilla # 8

535 gls. - 0 = 535 gls.

Paso # 13

En la casilla # 10 colocamos la temperatura del flujo. Esto quiere decir que las líneas de abastecimiento tienen que tener un termómetro para tener la temperatura en flujo. Si por algún motivo no se cuenta con este termómetro podemos utilizar la temperatura del probador volumétrico.

Figura 17. Termómetro en la línea de flujo.



Como la temperatura de flujo es °83 F la colocamos.

Paso # 14

En la casilla # 11 colocamos los GPM con los que se está llenando el probador volumétrico, esto nos sirve para saber en que rango de GPM se está despachando. Si los GPM se pasan de lo máximo, la calibración no sirve, porque está fuera del rango de capacidad del medidor. Este medidor despacha a 320 GPM.

Paso # 15

Usamos el factor que nos indica la tabla 6B que es la corrección de volumen a 60° F a través de la gravedad API a 60° F.

Entonces como tenemos la temperatura en línea que es 83° F y tenemos la gravedad API que es 54.8

Tabla III. Corrección de volúmenes a 60° F. API 54.8 Temp. 83° F

TABLE 6B. GENERALIZED PRODUCTS VOLUME CORRECTION TO 60 F													
TEMP. F	API GRAVITY AT 60 F										TEMP F		
	50.0	50.5	51.0	51.5	52.0	52.5	53.0	53.5	54.0	54.5		55.0	
	FACTOR FOR CORRECTING VOLUME TO 60 F												
75.0	0.9912	0.9910	0.9908	0.9906	0.9904	0.9903	0.9903	0.9902	0.9902	0.9902	0.9902	0.9901	75.0
75.5	0.9909	0.9907	0.9905	0.9903	0.9900	0.9900	0.9900	0.9900	0.9899	0.9899	0.9898	0.9898	75.5
76.0	0.9906	0.9904	0.9902	0.9899	0.9897	0.9897	0.9896	0.9896	0.9896	0.9895	0.9895	0.9895	76.0
76.5	0.9903	0.9901	0.9898	0.9896	0.9894	0.9894	0.9893	0.9893	0.9893	0.9892	0.9892	0.9891	76.5
77.0	0.9900	0.9898	0.9895	0.9893	0.9891	0.9890	0.9890	0.9889	0.9889	0.9889	0.9888	0.9888	77.0
77.5	0.9897	0.9895	0.9892	0.9890	0.9887	0.9887	0.9887	0.9886	0.9886	0.9886	0.9885	0.9885	77.5
78.0	0.9894	0.9892	0.9889	0.9887	0.9884	0.9884	0.9883	0.9883	0.9882	0.9882	0.9882	0.9881	78.0
78.5	0.9891	0.9889	0.9886	0.9884	0.9881	0.9881	0.9880	0.9880	0.9879	0.9879	0.9879	0.9878	78.5
79.0	0.9888	0.9886	0.9883	0.9880	0.9878	0.9877	0.9877	0.9876	0.9876	0.9875	0.9875	0.9875	79.0
79.5	0.9885	0.9883	0.9880	0.9877	0.9875	0.9874	0.9874	0.9873	0.9873	0.9873	0.9872	0.9871	79.5
80.0	0.9882	0.9880	0.9877	0.9874	0.9871	0.9871	0.9870	0.9870	0.9869	0.9869	0.9869	0.9868	80.0
80.5	0.9879	0.9877	0.9874	0.9871	0.9868	0.9868	0.9867	0.9867	0.9866	0.9866	0.9865	0.9865	80.5
81.0	0.9876	0.9874	0.9871	0.9868	0.9865	0.9864	0.9864	0.9863	0.9863	0.9863	0.9862	0.9862	81.0
81.5	0.9873	0.9871	0.9868	0.9865	0.9862	0.9861	0.9861	0.9860	0.9859	0.9859	0.9859	0.9858	81.5
82.0	0.9871	0.9867	0.9864	0.9861	0.9858	0.9858	0.9857	0.9857	0.9856	0.9856	0.9856	0.9855	82.0
82.5	0.9868	0.9864	0.9861	0.9858	0.9855	0.9855	0.9854	0.9853	0.9853	0.9853	0.9852	0.9852	82.5
83.0	0.9865	0.9861	0.9858	0.9855	0.9852	0.9851	0.9851	0.9850	0.9850	0.9850	0.9849	0.9848	83.0
83.5	0.9862	0.9858	0.9855	0.9852	0.9849	0.9848	0.9848	0.9847	0.9846	0.9846	0.9846	0.9845	83.5
84.0	0.9859	0.9855	0.9852	0.9849	0.9846	0.9845	0.9844	0.9844	0.9843	0.9843	0.9842	0.9842	84.0
84.5	0.9856	0.9852	0.9849	0.9846	0.9842	0.9842	0.9841	0.9840	0.9840	0.9840	0.9839	0.9838	84.5

Fuente: *Petroleum Measurement Tables*. Tabla 6B. Pág. 200

Entonces el factor de corrección según la tabla es: 0.9848 y la colocamos en la casilla # 12.

Paso # 16

En la casilla # 13 colocamos el volumen corregido del medidor multiplicando la casilla 9 x casilla 12

Volumen corregido = 535 gls. x 0.9848 = 526.8680 gls.

Paso # 17

En esta colocamos el factor del medidor que se obtiene mediante la división de la casilla 6 con la casilla 13

Factor del medidor = 528.58929 gls. / 526.8680 gls. = 1.003267

Paso # 18

En esta casilla colocamos el porcentaje de error con la fórmula:

(casilla 14 -1) x 100

Porcentaje de Error = (1.00327-1) x 100 = 0.32670

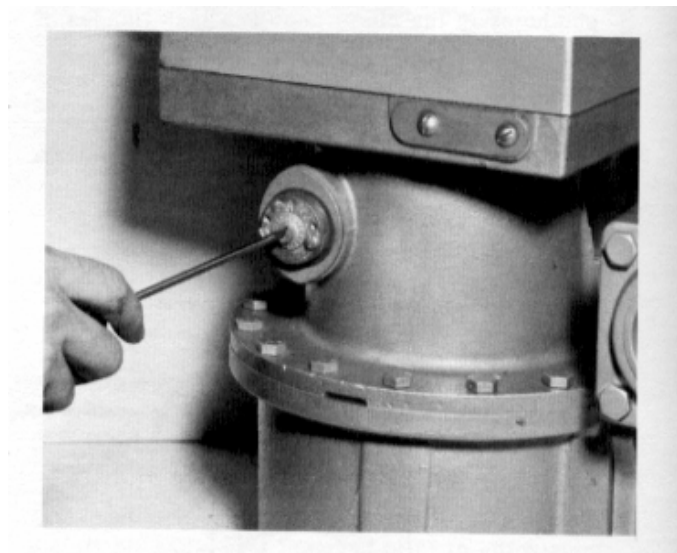
Este factor es el que nos indica el porcentaje de más o de menos que está dando el medidor.

Lo permisible es 0.10 % +/-, para que quede lo mas cercano a cero lo podemos reducir a la mitad que es el 0.05 % +/-.

Entonces podemos observar que el medidor está fuera de lo permisible por lo cual procedemos a ajustar el medidor.

El ajuste del medidor se lleva a cabo según la figura que se muestra a continuación:

Figura 18. Ajuste del medidor



Fuente: A.O. Smith. Manual de medidores. Pág. 16

Calibración del medidor. La calibración del metro o medidor se puede hacer por medio del indicador que se encuentra quitando la cubierta de acceso de la calibración (figura anterior) del calibrador, situado inmediatamente debajo del registro. La cantidad de producto entregada a través del metro aumenta cuando el indicador de calibración se da vuelta en una dirección a la derecha y

disminuye si el indicador se da vuelta en una dirección a la izquierda. El indicador se gradúa para proporcionar incrementos del ajuste aproximadamente 1/20 del 1%. (4 onzas en 50 galones o 6 pulgadas cúbicas en 50 galones a cada muesca.)

El medidor tiene un incremento bastante grande por lo cual retiramos la cubierta mostrada en la figura, y procedemos a ajustar el calibrador con un destornillador de castigadera y le bajamos 5 líneas a la izquierda.

Corrida # 3

Después que ajustamos el calibrador, procedemos a vaciar el probador volumétrico con la bomba y colocamos el producto en el depósito a utilizar.

Después de vaciar el probador volumétrico, cerramos la llave del probador volumétrico para que no exista ninguna salida. Encendemos la bomba y después colocamos en cero el registrador. Ya hechas estos pasos, procedemos a llenar de nuevo el probador volumétrico.

Figura 19. Válvula del probador volumétrico.



Ya lleno el probador volumétrico verificamos a cuánto quedó el nivel del líquido en el visor o mirilla.

El probador volumétrico indica que quedó 1 línea de menos, entonces procedemos a hacer los cálculos requeridos como sigue:

$$535 \text{ gls.} - (0.1320 * 1) = 534.8680 \text{ gls.}$$

Paso # 5

Medimos la temperatura del probador volumétrico, para medirla es necesario colocar el termómetro en la mitad del probador volumétrico y se deja 5 minutos como mínimo para tomar la temperatura.

La temperatura indicada por el termómetro es 80° F y la colocamos en la casilla # 2

Paso #6

Entonces:

$CTPV = ((80 - 80) \times 0.0000186) + 1 = 1.0000$ este resultado lo colocamos en la casilla # 3.

Paso #7

Usamos el factor que nos indica la tabla 6B que es la corrección de volumen a 60° F a través de la gravedad API a 60° F.

Como tenemos la temperatura del probador volumétrico que es 80° F y tenemos la gravedad API que es 54.8

Entonces el factor de corrección según la tabla es: 0.98680 y la colocamos en la casilla # 4.

Paso # 8

En la casilla # 5 colocamos el factor que es el resultado de multiplicar la casilla # 3 por la casilla # 4, entonces $1.0000 \times 0.98680 = 0.98680$

Colocamos el resultado en la casilla # 5

Paso # 9

En la casilla # 6 colocamos el resultado de multiplicar la casilla # 1 por la casilla # 5.

$534.8680 \text{ gls.} \times 0.98680 = 527.80774 \text{ gls.}$

Paso # 10

En la casilla # 7 colocamos la cantidad marcada por el medidor, si por algún motivo a la hora de llenar el probador volumétrico nos pasamos un poco aquí se coloca el total. Pero si queda exactamente 535 gls. colocamos esta cantidad.

Paso # 11

En la casilla # 8 colocamos la lectura al inicio de la primera corrida que tiene que ser cero. Si está exactamente en cero colocamos la cantidad.

Paso # 12

En la casilla # 9 colocamos el resultado de restar la casilla # 7 menos la casilla # 8

535 gls.- 0=535 gls.

Paso # 13

En la casilla # 10 colocamos la temperatura del flujo. Si por algún motivo no se cuenta con este termómetro podemos utilizar la temperatura del probador volumétrico.

Como tenemos la temperatura de la línea de flujo utilizamos 81° F.

Paso # 14

En la casilla # 11 colocamos los GPM con los que se está llenando el probador volumétrico. Este medidor despacha a 320 GPM.

Paso # 15

Usamos el factor que nos indica la tabla 6B que es la corrección de volumen a 60° F a través de la gravedad API a 60° F.

Entonces como tenemos la temperatura en línea que es 81° F y tenemos la gravedad API que es 54.8

Entonces el factor de corrección según la tabla es: 0.98620 y la colocamos en la casilla # 12.

Paso # 16

En la casilla # 13 colocamos el volumen corregido del medidor multiplicando la casilla 9 x casilla 12

$$\text{Volumen corregido} = 535 \text{ gls.} \times 0.98620 = 527.61700 \text{ gls.}$$

Paso # 17

En esta colocamos el factor del medidor que se obtiene mediante la división de la casilla 6 con la casilla 13

$$\text{Factor del medidor} = 527.80774 \text{ gls.} / 527.61700 \text{ gls.} = 1.0003615$$

Paso # 18

En esta casilla colocamos el porcentaje de error con la fórmula:

$$(\text{casilla 14} - 1) \times 100$$

$$\text{Porcentaje de Error} = (1.0003615 - 1) \times 100 = 0.03615 \%$$

Este factor es el que nos indica el porcentaje de más o de menos que está dando el medidor.

Observamos que el porcentaje de error ya está dentro de lo permisible y procedemos a hacer la siguiente corrida para comprobar.

Corrida # 4

Procedemos a vaciar el probador volumétrico con la bomba y colocamos el producto en el depósito a utilizar.

Después de vaciar el probador volumétrico, cerramos la llave del probador volumétrico para que no exista ninguna salida. Encendemos la bomba y después colocamos en cero el registrador. Ya hechas estos pasos, procedemos a llenar de nuevo el probador volumétrico.

Ya lleno el probador volumétrico verificamos a cuánto quedó el nivel del líquido en el visor o mirilla.

El probador volumétrico indica que quedó en la línea cero, entonces procedemos a hacer los cálculos requeridos como sigue:

$$535 \text{ gls.} + (0.1320 * 0) = 535.00 \text{ gls.}$$

Paso # 5

Medimos la temperatura del probador volumétrico. La temperatura indicada por el termómetro es 81° F y la colocamos en la casilla # 2

Paso #6

En este paso usaremos la fórmula de $CTPV = ((^{\circ} F - TCPV) \times 0.0000186) + 1$

CTPV= Corrección de temperatura del probador volumétrico.

°F= Temperatura obtenida del probador volumétrico.

TCPV= Temperatura de calibración del probador volumétrico.

0.0000186= Factor de expansión térmica para acero al carbón

Entonces:

$CTPV = ((81-80) \times 0.0000186) + 1 = 1.00002$ este resultado lo colocamos en la casilla # 3.

Paso #7

Usamos el factor que nos indica la tabla 6B que es la corrección de volumen a 60° F a través de la gravedad API a 60° F.

Entonces la temperatura del probador volumétrico que es 81° F y la gravedad API que es 54.8

Entonces el factor de corrección según la tabla es: 0.98620 y la colocamos en la casilla # 4.

Paso # 8

En la casilla # 5 colocamos el factor que es el resultado de multiplicar la casilla # 3 por la casilla # 4, entonces $1.00002 \times 0.98620 = 0.98622$

Colocamos el resultado en la casilla # 5

Paso # 9

En la casilla # 6 colocamos el resultado de multiplicar la casilla # 1 por la casilla # 5.

$535 \text{ gls.} \times 0.98622 = 527.62681 \text{ gls.}$

Paso # 10

En la casilla # 7 colocamos la cantidad marcada por el medidor que es 535 gls.

Paso # 11

En la casilla # 8 colocamos la lectura al inicio de la primera corrida que tiene que ser cero. Si está exactamente en cero colocamos esta cantidad.

Paso # 12

En la casilla # 9 colocamos el resultado de restar la casilla # 7 menos la casilla # 8

535 gls.- 0=535 gls.

Paso # 13

En la casilla # 10 colocamos la temperatura del flujo.

Como tenemos la temperatura de la línea de flujo utilizamos 81° F.

Paso # 14

En la casilla # 11 colocamos los GPM con los que se está llenando el probador volumétrico, esto nos sirve para saber en que rango de GPM se está despachando. Este medidor despacha a 320 GPM.

Paso # 15

Usamos el factor que nos indica la tabla 6B que es la corrección de volumen a 60° F a través de la gravedad API a 60° F.

Entonces como tenemos la temperatura en línea que es 81° F y tenemos la gravedad API que es 54.8

Entonces el factor de corrección según la tabla es: 0.98620 y la colocamos en la casilla # 12.

Paso # 16

En la casilla # 13 colocamos el volumen corregido del medidor multiplicando la casilla 9 x casilla 12

$$\text{Volumen corregido} = 535 \text{ gls.} \times 0.98620 = 527.617 \text{ gls.}$$

Paso # 17

En la casilla # 14 colocamos el factor del medidor que se obtiene mediante la división de la casilla 6 con la casilla 13

$$\text{Factor del medidor} = 527.62681 \text{ gls.} / 527.617 \text{ gls.} = 1.00002$$

Paso # 18

En la casilla 15 colocamos el porcentaje de error con la fórmula:
(casilla 14 -1) x 100

$$\text{Porcentaje de Error} = (1.00002-1) \times 100 = 0.00186$$

Este factor es el que nos indica el porcentaje de más o de menos que está dando el medidor.

Entonces podemos observar que el medidor está dentro de lo permisible. Procedemos a hacer la ultima corrida al 20% de la capacidad del medidor a 80 GPM.

Corrida # 5.

Procedemos a llenar de nuevo el probador volumétrico.

Ya lleno el probador volumétrico verificamos a cuánto quedó el nivel del líquido en el visor o mirilla.

El probador volumétrico indica que quedó en -1, entonces procedemos a hacer los cálculos requeridos como sigue:

$$535 \text{ gls.} - (0.1320 * 1) = 534.8680 \text{ gls.}$$

Esto no quiere decir que este dentro de lo permisible si hablamos de porcentaje, se tiene que hacer los cálculos necesarios para que quede dentro de lo permisible.

Paso # 5

La temperatura indicada por el termómetro es 79° F y la colocamos en la casilla # 2

Paso #6

Entonces:

$CTPV = ((79-80) \times 0.0000186) + 1 = 0.99998$ este resultado lo colocamos en la casilla # 3.

Paso #7

Usamos el factor que nos indica la tabla 6B que es la corrección de volumen a 60° F a través de la gravedad API a 60° F.

Como tenemos la temperatura del probador volumétrico que es 79° F y tenemos la gravedad API que es 54.8

Entonces el factor de corrección según la tabla es: 0.98750 y la colocamos en la casilla # 4.

Paso # 8

En la casilla # 5 colocamos el factor que es el resultado de multiplicar la casilla # 3 por la casilla # 4, entonces $0.99998 \times 0.98750 = 0.98748$

Colocamos el resultado en la casilla # 5

Paso # 9

En la casilla # 6 colocamos el resultado de multiplicar la casilla # 1 por la casilla # 5.

$534.868 \text{ gls.} \times 0.98748 = 528.17145 \text{ gls.}$

Paso # 10

Colocamos la cantidad marcada por el medidor, si por algún motivo a la hora de llenar el probador volumétrico nos pasamos un poco aquí se coloca el total. Pero si queda exactamente 535 gls. colocamos esta cantidad.

Paso # 11

En la casilla # 8 colocamos la lectura al inicio de la primera corrida que tiene que ser cero. Si está exactamente en cero colocamos la cantidad.

Paso # 12

En la casilla # 9 colocamos el resultado de restar la casilla # 7 menos la casilla # 8

$$535 \text{ gls.} - 0 = 535 \text{ gls.}$$

Paso # 13

En la casilla # 10 colocamos la temperatura del flujo.

Como tenemos la temperatura de la línea de flujo utilizamos 80° F.

Paso # 14

En la casilla # 11 colocamos los GPM con los que se está llenando el probador volumétrico, aquí son 80 GPM porque estamos despachando al 20%.

Paso # 15

Usamos el factor que nos indica la tabla 6B que es la corrección de volumen a 60° F a través de la gravedad API a 60° F.

Entonces como tenemos la temperatura en línea que es 80° F y tenemos la gravedad API que es 54.8

Entonces el factor de corrección según la tabla es: 0.98680 y la colocamos en la casilla # 12.

Paso # 16

En la casilla # 13 colocamos el volumen corregido del medidor multiplicando la casilla 9 x casilla 12

Volumen corregido = 535 gls. x 0.98680 = 527.938 gls.

Paso # 17

En la casilla #14 colocamos el factor del medidor que se obtiene mediante la división de la casilla 6 con la casilla 13

Factor del medidor = 528.17233 gls. / 527.938 gls. = 1.00044

Paso # 18

En la casilla #15 colocamos el porcentaje de error con la fórmula:

(casilla 14 -1) x 100

Porcentaje de Error = $(1.00044-1) \times 100 = 0.04439$

Podemos observar que el medidor está dentro de lo permisible, y corroboramos que esté dentro de lo permisible.

Aquí podemos dar por terminada la calibración.

Ejemplo # 2

En la Planta llamada Combustibles S.A. ubicada en el Puerto de San José, Escuintla, se encuentra instalado un medidor maraca Smith modelo E4-A1 con número de serie PM52825 y el registrador con número de Serie 8610582957. La capacidad máxima del medidor es 400 GPM y la Mínima es de 20 GPM. El totalizador indica inicialmente 5274077 galones. Tiene un marchamo colocado en el medidor con numero 1240 y otro en el registrador con numero 1241. El producto que se está utilizando es Diesel con una gravedad API de 33.7. Los datos del probador volumétrico que se está utilizando son; Capacidad 535 galones, material: acero al carbón, temperatura a que fue calibrada el probador volumétrico: 80° Fahrenheit.

Cada línea (1 pulgada) del probador volumétrico equivale a 0.1320 galones.

Este medidor no cuenta con termómetro en la línea.

Corrida # 1

Paso # 1

Procedemos a llenar la tabla de la parte superior con todos los datos que existen.

Paso # 2

Corrida # 1

Llenamos el probador volumétrico.

Lo dejamos como mínimo 5 minutos con el combustible para que no exista error por expansión térmica.

Paso # 3

Pasados los 5 minutos trasegamos el combustible desde el probador volumétrico hasta el depósito.

Corrida # 2

Paso # 4

El probador volumétrico indica que tiene abajo 2.5 líneas. Entonces multiplicamos $2.5 \times 0.1320 \text{ gls.} = 0.33 \text{ gls.}$

Colocamos en la primera casilla $535 \text{ gls.} - 0.33 \text{ gls.} = 534.67 \text{ gls.}$. Este resultado nos indica que el medidor está surtiendo 0.33 galones menos, pero este valor no quiere decir que está fuera de lo permisible, se hacen los cálculos correspondientes para que verificar si está dentro o fuera de lo permisible.

Paso # 5

Medimos la temperatura del probador. La temperatura indicada por el termómetro es 85° F y la colocamos en la casilla # 2

Paso #6

En este paso usaremos la fórmula de CTPV= $((^\circ\text{F}-\text{TCPV})) \times 0.0000186) +1$

CTPV= Corrección de temperatura del probador volumétrico.

$^\circ\text{F}$ = Temperatura obtenida del probador volumétrico.

TCPV= Temperatura de calibración del probador volumétrico.

0.0000186= Factor de expansión Térmica para Acero al Carbón

Entonces:

$CTPV = ((85-80) \times 0.0000186) + 1 = 1.000093$ este resultado lo colocamos en la casilla # 3.

Paso #7

Usamos el factor que nos indica la tabla 6B que es la corrección de volumen a 60° F a través de la gravedad API a 60° F.

Como tenemos la temperatura del probador volumétrico que es 85° F y tenemos la gravedad API que es 33.7

Entonces el factor de corrección según la tabla es: 0.9885 y la colocamos en la casilla # 4.

Paso # 8

En la casilla # 5 colocamos el factor que es el resultado de multiplicar la casilla # 3 por la casilla # 4, entonces $1.000093 \times 0.9885 = 0.98859$

Colocamos el resultado en la casilla # 5

Paso # 9

En la casilla # 6 colocamos el resultado de multiplicar la casilla # 1 por la casilla # 5.

$$534.67 \text{ gls.} \times 0.98859 = 528.57 \text{ gls.}$$

Paso # 10

En la casilla # 7 colocamos la cantidad marcada por el medidor que son 535 gls.

Paso # 11

En la casilla # 8 colocamos la lectura al inicio de la primera corrida que tiene que ser cero. Si está exactamente en cero colocamos la cantidad.

Paso # 12

En la casilla # 9 colocamos el resultado de restar la casilla # 7 menos la casilla # 8

$$535 \text{ gls.} - 0 = 535 \text{ gls.}$$

Paso # 13

En la casilla # 10 colocamos la temperatura del flujo. Si por algún motivo no se cuenta con este termómetro podemos utilizar la temperatura del probador volumétrico.

Como no la tenemos utilizamos 85° F

Paso # 14

En la casilla # 11 colocamos los GPM con los que se está llenando el probador volumétrico. Este medidor despacha a 300 GPM.

Paso # 15

Usamos el factor que nos indica la tabla 6B que es la corrección de volumen a 60° F a través de la gravedad API a 60° F.

Entonces como no tenemos la temperatura en línea utilizamos 85° que es la temperatura del probador volumétrico. y tenemos la gravedad API que es 33.7

Entonces el factor de corrección según la tabla es: 0.9885 y la colocamos en la casilla # 12.

Paso # 16

En la casilla # 13 colocamos el volumen corregido del medidor multiplicando la casilla 9 x casilla 12

Volumen corregido = 535 gls. x 0.9885 = 528.85 gls.

Paso # 17

En está colocamos el factor del medidor que se obtiene mediante la división de la casilla 6 con la casilla 13

Factor del medidor = 528.57 gls. / 528.85 gls. = 0.99947

Paso # 18

En esta casilla colocamos el porcentaje de error con la fórmula:

$(\text{casilla } 14 - 1) \times 100$

Porcentaje de Error = $(0.99947 - 1) \times 100 = -0.05297$

Entonces podemos observar que el medidor está fuera de lo permisible por lo cual procedemos a ajustar el medidor.

El ajuste del medidor se lleva a cabo según la figura que se muestra a continuación

El medidor está fuera del rango, pero falta poco para que llegue dentro de lo permisible, entonces procedemos a ajustar el medidor dándole 2 líneas a la derecha.

Corrida # 3

Paso # 4

Antes de llenar el probador volumétrico, tenemos que encender la bomba, y vamos a observar que cuando hacemos esto el registrador tiene un desajuste, por tal motivo tenemos que volver a colocar en cero el registrador para que no exista variación.

El probador volumétrico indica que tiene abajo 1 línea. Entonces multiplicamos $1 \times 0.1320 \text{ gls.} = 0.1320 \text{ gls.}$

Colocamos en la primera casilla $535 \text{ gls.} - 0.1320 \text{ gls.} = 534.87 \text{ gls.}$ Este resultado nos indica que el medidor está surtiendo 0.1320 galones menos.

Paso # 5

Medimos la temperatura del probador volumétrico. La temperatura indicada por el termómetro es 84° F y la colocamos en la casilla # 2

Paso #6

Entonces:

$CTPV = ((84-80) \times 0.0000186) + 1 = 1.0000744$ este resultado lo colocamos en la casilla # 3.

Paso #7

Usamos el factor que nos indica la tabla 6B que es la corrección de volumen a 60° F a través de la gravedad API a 60° F.

Entonces como tenemos la temperatura del probador volumétrico que es 84° F y tenemos la gravedad API que es 33.7

El factor de corrección según la tabla es: 0.9890 y la colocamos en la casilla # 4.

Paso # 8

En la casilla # 5 colocamos el factor que es el resultado de multiplicar la casilla # 3 por la casilla # 4, entonces $1.0000744 \times 0.9890 = 0.98907$

Colocamos el resultado en la casilla # 5

Paso # 9

En la casilla # 6 colocamos el resultado de multiplicar la casilla # 1 por la casilla # 5.

$$534.87 \text{ gls.} \times 0.98907 = 529.02 \text{ gls.}$$

Paso # 10

En la casilla # 7 colocamos la cantidad marcada por el medidor. Si queda exactamente 535 gls. colocamos esta cantidad.

Paso # 11

En la casilla # 8 colocamos la lectura al inicio de la primera corrida que tiene que ser cero. Si está exactamente en cero colocamos la cantidad.

Paso # 12

En la casilla # 9 colocamos el resultado de restar la casilla # 7 menos la casilla # 8

$$535 \text{ gls.} - 0 = 535 \text{ gls.}$$

Paso # 13

En la casilla # 10 colocamos la temperatura del flujo.
Como no la tenemos utilizamos 84° F

Paso # 14

En la casilla # 11 colocamos los GPM con los que se está llenando el probador volumétrico. Este medidor despacha a 300 GPM.

Paso # 15

Usamos el factor que nos indica la tabla 6B que es la corrección de volumen a 60° F a través de la gravedad API a 60° F.

Entonces como no tenemos la temperatura en línea utilizamos 84° que es la temperatura del probador volumétrico. y tenemos la gravedad API que es 33.7

El factor de corrección según la tabla es: 0.9890 y la colocamos en la casilla # 12.

Paso # 16

En la casilla # 13 colocamos el volumen corregido del medidor multiplicando la casilla 9 x casilla 12

Volumen corregido = 535 gls. x 0.9890 = 529.12 gls.

Paso # 17

En la casilla # 14 colocamos el factor del medidor que se obtiene mediante la división de la casilla 6 con la casilla 13

Factor del medidor = 529.02 gls. / 529.12 gls. = 0.99981

Paso # 18

En esta casilla colocamos el porcentaje de error con la fórmula:

$(\text{casilla } 14 - 1) \times 100$

Porcentaje de Error = $(0.99981 - 1) \times 100 = -0.0189$

La calibración está dentro de lo permisible y procedemos a hacer la última corrida al

20%.

Corrida # 4

Paso # 4

Llenamos el probador volumétrico de nuevo con 535 galones y anotamos cuántas líneas más o cuántas líneas menos está el nivel del líquido indicado en el probador volumétrico. El probador volumétrico indica que tiene abajo 1 línea. Entonces multiplicamos $1 \times 0.1320 \text{ gls.} = 0.33 \text{ gls.}$

Colocamos en la primera casilla $535 \text{ gls.} - 0.1320 \text{ gls.} = 534.87 \text{ gls.}$ Este resultado nos indica que el medidor está surtiendo 0.33 galones menos.

Paso # 5

Medimos la temperatura del probador volumétrico. La temperatura indicada por el termómetro es 83° F y la colocamos en la casilla # 2

Paso #6

Entonces:

$CTPV = ((83-80) \times 0.0000186) + 1 = 1.000056$ este resultado lo colocamos en la casilla # 3.

Paso #7

Usamos el factor que nos indica la tabla 6B que es la corrección de volumen a 60° F a través de la gravedad API a 60° F.

Entonces como tenemos la temperatura del probador volumétrico que es 83° F y tenemos la gravedad API que es 33.7

El factor de corrección según la tabla es: 0.9895 y la colocamos en la casilla # 4.

Paso # 8

En la casilla # 5 colocamos el factor que es el resultado de multiplicar la casilla # 3 por la casilla # 4, entonces $1.000056 \times 0.9855 = 0.98955$

Colocamos el resultado en la casilla # 5

Paso # 9

En la casilla # 6 colocamos el resultado de multiplicar la casilla # 1 por la casilla # 5.

$534.87 \text{ gls.} \times 0.98955 = 529.28 \text{ gls.}$

Paso # 10

En la casilla # 7 colocamos la cantidad marcada por el medidor. Si queda exactamente 535 gls. colocamos esta cantidad.

Paso # 11

En la casilla # 8 colocamos la lectura al inicio de la primera corrida que tiene que ser cero. Si está exactamente en cero colocamos esta cantidad.

Paso # 12

En la casilla # 9 colocamos el resultado de restar la casilla # 7 menos la casilla # 8

535 gls. - 0 = 535 gls.

Paso # 13

En la casilla # 10 colocamos la temperatura del flujo.

Como no la tenemos utilizamos 83° F

Paso # 14

En la casilla # 11 colocamos los GPM con los que se está llenando el probador volumétrico. Este medidor despacha a 60 GPM porque está al 20% de su capacidad.

Paso # 15

Usamos el factor que nos indica la tabla 6B que es la corrección de volumen a 60° F a través de la gravedad API a 60° F.

Entonces como no tenemos la temperatura en línea utilizamos 83° que es la temperatura del probador volumétrico. y tenemos la gravedad API que es 33.7 El factor de corrección de la tabla es: 0.9895, la colocamos en la casilla # 12.

Paso # 16

En la casilla # 13 colocamos el volumen corregido del medidor multiplicando la casilla 9 x casilla 12

Volumen corregido = 535 gls. x 0.9895 = 529.38 gls.

Paso # 17

En esta colocamos el factor del medidor que se obtiene mediante la división de la casilla 6 con la casilla 13

Factor del medidor = 529.28 gls. / 529.38 gls. = 0.99981

Paso # 18

En esta casilla colocamos el porcentaje de error con la fórmula:

(casilla 14 -1) x 100

Porcentaje de Error = (0.99981-1) x 100 = -0.0189

Cuando realizamos una corrida al 20% el porcentaje de error sube al +/- 0.15%, entonces estamos en lo correcto y procedemos a terminar la calibración.

CONCLUSIONES

- 1- La calibración de los metros o medidores es sumamente necesaria para que las compañías abastecedoras estén dentro del reglamento de la Ley de Comercialización de Hidrocarburos. Estas calibraciones son necesarias para la compañía abastecedora y el consumidor con la finalidad de protegerse ambos.

- 2- El probador volumétrico también llamado Seraphin, por su marca, es necesario tenerlo calibrado y certificado para que no exista ningún error en el momento de hacer la calibración. Por tal razón, es un accesorio indispensable para realizar dicha calibración de medidores o metros.

- 3- Todos los Medidores Smith de Desplazamiento Positivo tienen el mismo principio de operación, entonces, el método de calibración que se mencionó, anteriormente, puede ser utilizado para cualquier tipo de medidor y cualquier marca, la única diferencia radica en el momento de hacer el ajuste en el calibrador.

- 4- Cuando procedemos a completar la tabla de calibración y observamos al momento de la primera corrida queda exactamente 535 gls., según los ejemplos anteriores, el probador volumétrico, no siempre indica que es el volumen exacto, porque intervienen los factores de expansión térmica y corrección de volumen, por lo cual hay que hacer todos los cálculos necesarios para tomar una decisión.

RECOMENDACIONES

- La información se obtuvo según las normas API Capítulo 4. 4-7 y 12.2, por tal motivo es reconocida internacionalmente para realizar calibraciones. Dicho procedimiento explicado, anteriormente, puede realizarse a cualquier tipo de medidor. La diferencia que tiene con los medidores actuales es que el procedimiento de ajuste se hace digitalmente.
- En el momento de hacer una calibración el probador volumétrico tiene que estar debidamente nivelado y, también, tiene que estar calibrado por una empresa certificada. Es necesario antes de realizar una calibración, mojar el probador volumétrico para que no exista diferencia por expansión térmica. Esta expansión afecta mucho siempre que hay diferencia de temperatura.
- Cuando se realice alguna calibración o esté en funcionamiento el medidor, no se debe colocar en cero el registrador porque puede afectar su funcionamiento.
- Es recomendable utilizar metros de doble cubierta para que no exista ningún error en el medidor por causa de la tensión de las tuberías. Esta doble cubierta evita el contacto directo con la cámara que mide el volumen dado por cada medidor.

- Las compañías abastecedoras tienen que tener un termómetro en línea para medir la temperatura, así como en el probador volumétrico. Si por alguna circunstancia no estuviera el termómetro en la línea, se puede utilizar la temperatura del líquido dentro del probador volumétrico, pero no sería exacta la calibración.

BIBLIOGRAFÍA

- Streeter, Victor y Benjamín Wilie. **Mecánica de Fluidos**. Novena Edición. México: McGraw-Hill, 2000
- **Ley de Comercialización de Hidrocarburos**, Decreto número 109-97 y su reglamento. Acuerdo Gubernativo 522-99.
- Miranda Orozco, Esdras Feliciano. **Diseño de medidores de volumen para Dispensadores de Gasolineras**.

