

Philip E. Swanson

### Resumen

El volumen de petróleo entregado por un tanquero (camión, carro tanque de ferrocarril, barcaza o buque cisterna) a un tanque de almacenamiento se mide más exactamente con un sistema de medición por contador que por el aforo de tanques. Se compara la importancia de los diferentes factores que afectan a la precisión de las mediciones volumétricas obtenidas con la medición por contador o el aforo de tanques. Los factores presentados incluyen las variaciones en las condiciones de operación (por ejemplo, temperatura, presión, viscosidad y aire arrastrado) y otros factores esenciales de precisión (es decir, autoverificación, resolución de volumen, precisión de la medición lineal, y correcciones a las dimensiones del tanque).

### Introducción

Se reconoce que aforar buques y barcasas **no** es tan preciso como medir por contador y aforar tanques en tierra; y aforar tanques en tierra no es tan exacto como medir por contador. Recientemente la Aduana de los EE.UU. actualizó "19 CFR Parte 151" que se relaciona con la importación del petróleo y derivados del petróleo. Las siguientes notas se tomaron del Registro Federal, Volumen 45, No. 106, del viernes, 30 de Mayo de 1980, y comentan sobre el tema:

"La Aduana está de acuerdo que la disminución de nivel del tanque de los buques no es el método más exacto para medir la cantidad descargada."

"El valor obtenido de la medición en tierra (con medidores de desplazamiento positivo, medidores de turbina y aforo de tanques en tierra, que han sido aprobados por la Aduana) constituirá la cantidad bruta descargada y normalmente será la base para calcular la cantidad neta descargada."

"La experiencia ha demostrado que los medidores aprobados por la Aduana generalmente son de igual o mayor precisión que el aforo como método de medición."

"Sin embargo, si las mediciones en tierra son inadecuadas o no están disponibles, entonces la Aduana utilizará la disminución de nivel del tanque de los buques para establecer la cantidad bruta que se ha descargado."

Este boletín explica porque los sistemas de medición por contador son más exactos que los de aforo de tanques para medir el volumen de petróleo que ha sido transferido desde un tanquero (camión, carro

tanque, barcaza, o buque cisterna) hacia un tanque de almacenamiento.

Consideramos que el término "Sistema de Medición por Contador" que utilizamos aquí consta de los siguientes componentes:

1. Medidor(es) de Desplazamiento Positivo (P.D.) o de Turbina.
2. Eliminador(es) de Aire.
3. Filtro(s).
4. Probador.
5. Dispositivos para Medir la Temperatura y Presión.

Se considera que el término "Sistema de Aforo de Tanques" que utilizamos aquí consta de los siguientes componentes:

1. Tanque de Almacenamiento o Tanquero.
2. Dispositivo de Detección del Nivel de Líquido - Automático o manual.
3. Tabla de Aforo - Calculada en base a las mediciones lineales del tanque y con compensación para:
  - a. Correcciones a las medidas circunferenciales.
  - b. Cambio de volumen del tanque debido a la columna de líquido (presión).
  - c. Cambio de volumen del tanque debido a la temperatura del mismo.
  - d. Inclinación desde la posición vertical.
  - e. Obra muerta.
  - f. Techos flotantes o de volumen variable (donde sea pertinente).
  - g. Fondos de tanque irregulares o inestables (pandeo).

Al analizar la exactitud de estas dos técnicas de medición volumétrica, trataremos los siguientes factores que podrían influenciar la precisión de la medición:

1. Variaciones en las condiciones de Operación - Temperatura, Presión, Viscosidad y Aire Arrastrado.
2. Condiciones Inherentes a la Precisión - Autoverificación, Tolerancia del Indicador de Volumen, Precisión de la Medición Lineal y las Correcciones Dimensionales del Tanque (Inclinación, obra muerta, techos flotantes o de volumen variable y fondos de tanque irregulares o inestables).

### Variaciones en las Condiciones de Operación

#### 1. Variaciones de Temperatura

Medición por contador - La expansión térmica de la mayoría de los derivados del petróleo es grande,

del orden del 0.04-0.07% por °F. Por eso, este factor es importante y vuelve necesario hacer mediciones precisas de temperatura. El sistema de medición tendrá una sonda de temperatura en la tubería cerca del medidor para integrar o compensar continuamente la lectura del medidor por las variaciones de temperatura.

**Aforo de Tanques** - Como el efecto de las variaciones de temperatura del líquido sobre su volumen es grande, se requieren mediciones exactas de la temperatura del líquido del tanque. Hay muchas variables que afectan la precisión de las mediciones de temperatura de los líquidos de los tanques: (1) el tamaño de la sonda (de punto o de columna), (2) la cantidad de sondas (una o más), (3) la(s) ubicación(es) de la(s) sonda(s), (4) la variación en la temperatura del líquido (vertical, radial y/o circunferencial), (5) la temperatura ambiente y (6) el volumen de la tubería entre el tanquero de entrega y el tanque. Con referencia al (6), mientras más grande el volumen de la tubería, mayor será su importancia porque este volumen es parte del "tanque" y cualquier diferencia de temperatura del líquido en la tubería entre el comienzo y el final de la entrega generalmente pasa desapercibida y por eso no se toma en cuenta.

**Resumen** - Este factor es significativo y las técnicas precisas de medición de la temperatura del líquido son necesarias. Al medir por contador, todo el líquido entregado pasa por la sonda de temperatura, en cambio con el aforo, la sonda de temperatura mide solamente una muestra muy pequeña de lo entregado. La fidelidad con que esa muestra pequeña represente al total de lo entregado es crítica.

## 2. Variaciones de Presión

**Medición por contador** - La compresibilidad de la mayoría de los derivados del petróleo es insignificante, alrededor del 0.0004 - 0.0006%/psi (0.04 - 0.06 por 100 psi). Por eso las mediciones de presión no son críticas ni tampoco son significativas sus fluctuaciones. Fácilmente se puede estimar la compresibilidad del líquido al calcular el volumen neto.

**Aforo de Tanques** - Como la única presión del líquido es la producida por la carga hidrostática, las presiones de líquido en los tanques son insignificantes. Por eso, la compresibilidad del líquido en los tanques es insignificante (menos del 0.01%).

**Resumen** - En la medición por contador es fácil tomar en cuenta este factor, y en el aforo de tanques se lo puede pasar por alto.

## 3. Variaciones de Viscosidad

**Medición por contador** - Un cambio de viscosidad puede cambiar la lectura de un medidor, pero al calibrarlo con el producto que está siendo entregado, esta posible variación se elimina.

**Aforo de Tanques** - Los efectos de la viscosidad sobre el aforo dependen de la "adherencia" a las paredes del tanque. Los errores típicos debido a la adherencia son los siguientes:

Diámetro del Tanque (Pies)	Por Ciento de Error por Variación de Espesores		
	1/16"	1/8"	1/2"
50	0.04%	0.08%	0.33%
100	0.02%	0.04%	0.17%
200	0.01%	0.02%	0.08%

**Resumen** - El efecto de este factor sobre la precisión de la medición por contador se elimina calibrando el medidor con el mismo producto. Con el aforo, la adherencia o acumulación en la pared del tanque puede ser un problema y deberá resolverse por medio de la limpieza periódica del tanque. Adicionalmente, se debe notar que la adherencia puede variar (aumentar así como disminuir) a medida que pase el tiempo. Como resultado pueden ocurrir errores importantes que normalmente no son detectables.

## 4. Aire Arrastrado

**Medición por Contador** - Cualquier eliminador de aire que valga la pena debe poder acumular y desfogar las burbujas grandes de aire. El aire arrastrado en la forma de burbujas pequeñas es otro caso. Si bien el medidor medirá el aire así como el líquido, existe la posibilidad de que se disuelvan en el producto si están presentes en el sistema cantidades pequeñas de aire (0-5% aire libre), y por lo tanto no ocuparán ningún volumen en el momento en que pasen por el medidor. Los derivados del petróleo pueden disolver grandes cantidades de aire. La cantidad que se puede disolver se incrementa al aumentar la presión y reducir la temperatura. Como el aire se comprime bajo la presión del sistema, ocupando menos volumen, el error de medición debido a la medición del aire no desfogado o disuelto usualmente es insignificante comparado con el volumen total del flujo.

**Aforo de Tanques** - Las burbujas grandes de aire no deben causar ningún error porque normalmente subirán rápidamente a la superficie en el tanque y no afectarán a la medición del nivel. Pero si el aire se introduce al final en la entrega, durante las operaciones finales de transferencia y la burbuja no llega al tanque sino que se atrapa en la tubería, puede causar un error de medición importante. Usualmente las burbujas pequeñas de aire arrastrado estarán disueltas en el producto. Sin embargo, como la cantidad de aire que se puede disolver a presión alta es mayor que para presión baja, existe la posibilidad real que parte del aire disuelto salga de la solución en la forma de burbujas pequeñas, una vez que se reduzca la presión a la del ambiente del tanque. En los aceites más pesados como el aceite combustible #6, estas burbujas pequeñas usualmente quedan en el líquido hasta después del aforo del tanque, produciendo un error de medición.

**Resumen** - En cuanto a las burbujas grandes de aire, no deben presentar un problema para ninguno de los dos sistemas a menos que queden atrapadas en la tubería al final de la entrega en un sistema de aforo de tanques. El aire arrastrado en

la forma de burbujas pequeñas debe estar disuelto. Sin embargo, la cantidad que puede disolverse en el sistema de medición por contador es mayor debido a la presión más alta (la presión del sistema en el medidor versus la presión atmosférica en el tanque). También, cualquier aire arrastrado ocupará mucho menos volumen al pasar por el medidor a la presión del sistema de lo que ocuparía dentro del tanque a la presión atmosférica. Por ejemplo, 1,000 galones de burbujas pequeñas de aire del tanque ocuparían solamente 200 galones en un sistema de medición por contador a 60 PSIG.

## **Observaciones Inherentes a la Precisión**

### **1. Importancia de la Autocomprobación**

**Medición por Contador** - El medidor y el probador son ambos dispositivos de medición volumétrica que se comparan el uno con el otro. El factor del medidor, que representa su relación recíproca, puede variar levemente según los cambios en las condiciones de operación (es decir, viscosidad y tasa de flujo). A medida que se acumulen datos históricos, el factor del medidor llega a ser un indicador de la condición del sistema del medidor y probador. En otras palabras, frente a un conjunto dado de condiciones, se puede pronosticar el factor del medidor antes de probarlo. Por eso, si el factor del medidor se desvía de lo pronosticado, esto indica un cambio en el sistema que debe ser identificado y (si es necesario) corregido. En un sistema de medidor y probador, el medidor es el dispositivo activo de medición y el probador es la referencia permanente. El probador a su vez se calibra con el método de "water draw" con recipientes diseñados según el National Bureau of Standards.

**Aforo de Tanques** - El aforo usa un dispositivo simple de medición sin otro dispositivo (probador) para la comparación de los resultados de la medición. Los cambios o problemas grandes serán detectados simplemente por ser obvios, pero los pequeños pueden pasar desapercibidos. Al sospecharse un problema, puede ser necesario calibrar el tanque para restablecer su precisión, que es un procedimiento largo y engorroso comparado con la calibración de un medidor.

**Resumen** - Un sistema de medidor y probador se autocomprueba porque son dos dispositivos de medición que se comparan entre sí. Esto permite la detección inmediata de posibles errores. El aforo de tanques, que usa un solo dispositivo de medición, no tiene esta característica.

### **2. Tolerancia del Indicador de Volumen**

**Medición por Contador** - El registro del medidor comienza en cero (no hay ninguna tolerancia) y aumenta hasta la cantidad que se ha entregado. Utiliza un factor de medidor que se establece por medio de calibración. El volumen del medidor normalmente tiene que estar de acuerdo con el volumen del probador dentro de más o menos 0.025%

para cinco ensayos consecutivos de calibración. En otras palabras, el medidor debe medir la cantidad entregada con una precisión que esté dentro del 0.025% de su referencia, que es el probador.

**Aforo de Tanques** - Se necesitan dos lecturas para determinar el volumen de una entrega, el nivel inicial y el nivel final. Existe una tolerancia en cada lectura. Como no es el error de la lectura que varía sino la distancia entre las dos, el porcentaje (%) de error variará según el volumen entregado. Por ejemplo, una tolerancia de lectura de 1/8 de pulgada frente a un cambio de altura de 10 pies implica una tolerancia de medición vertical de más o menos el 0.2%, en cambio una tolerancia de lectura de 1/16 de pulgada para un cambio de altura de 30 pies significa una tolerancia de medición vertical de más o menos el 0.3%.

**Resumen** - La tolerancia de precisión de la lectura de volumen del medidor con respecto a su referencia, que es el probador, típicamente es mejor que el 0.025% para todas las entregas. La tolerancia de la precisión de la lectura de volumen del aforo del tanque con respecto a su referencia, las tablas de aforo, puede ser casi tan buena como la del medidor para las entregas relativamente grandes, pero será muy grande para las entregas relativamente pequeñas.

### **3. Precisión de la Medición Lineal**

**Medición por Contador** - Se establece el volumen calibrado del probador por "water draw" y no por la medición del tamaño físico del probador.

**Aforo de Tanques** - Si el tanque está zunchado la importancia de la dimensión de la circunferencia varía según el tamaño del tanque. Una variación de una pulgada en la circunferencia de un tanque de 20 pies de diámetro produce un cambio de 0.27% en el volumen, en cambio una variación de una pulgada de circunferencia para un tanque de 200 pies de diámetro resulta en un cambio de volumen del 0.027%.

**Resumen** - El volumen del probador es atribuible al NBS (Oficina Nacional de Normas de los EE.UU.) porque se lo calibra con los recipientes que han sido calibrados por la NBS. Al calcular el volumen del tanque, éste no proviene de ninguna norma sino que utiliza un estándar lineal que a su vez se utiliza para calcular el volumen. El "water draw" es reconocido como más preciso que el cálculo del volumen, porque de existir la posibilidad de utilizar cualquiera de los dos métodos, en el caso de los recipientes de prueba y los probadores, se los calibra con el "water draw" y no por medio de la medición y cálculo.

### **4. Correcciones Dimensionales del Tanque** - Inclinación del tanque, obra muerta, techos flotantes o de volumen variable, fondos de tanque irregulares o inestables.

En el caso de la medición por contador éstos no se aplican.

**Aforo de Tanques** - Todos éstos son factores que hay que medir, calcular su volumen y luego utilizar para ajustar las tablas de aforo.

Resumen - Los comentarios de la sección anterior se aplican aquí también.

## **Conclusión**

No cabe duda que tanto la medición por contador como el aforo de tanques pueden ser muy precisos, muy imprecisos o cualquier valor intermedio. Sin embargo, luego de considerar todos los factores que afectan a la precisión, se escogería la medición por contador en vez de aforo de tanques como el sistema más preciso para medir el volumen de petróleo entregado desde un tanquero (es decir, un camión, carro tanque, barcaza o buque) hacia un tanque de almacenamiento.

De todas las inexactitudes causadas por las variaciones en las condiciones de operación, la más común es el error causado por la determinación imprecisa de la temperatura del líquido. El sistema de medición por contador controla la temperatura del producto durante toda la entrega, en cambio con el sistema de aforo de tanques se mide la temperatura de una muestra solamente, que puede o no ser representativa del volumen que se ha entregado.

Las observaciones inherentes a la precisión también favorecen al sistema de medición por contador. Este sistema, con sus dos elementos activos e independientes de medición (el medidor y el probador), es un sistema de medición volumétrica autoverificador. El medidor mide el volumen entregado y el probador verifica periódicamente la precisión del medidor. El sistema de aforo de tanques tiene un solo elemento activo de medición, el indicador de nivel, y por eso no se autoverifica. Por eso, si se presenta un desacuerdo con el aforo del tanque, no existe ninguna referencia (es decir, un probador independiente) para resolver el dilema, como lo tiene el sistema de medición por contador.

Con el contador, la relación entre éste y el probador es conocida y se calibra el probador con los recipientes que vienen de la Oficina Nacional de Normas (NBS). El indicador de nivel tiene sus propios errores y tolerancias, y el tanque mismo se calibra por medición lineal y cálculo, que no viene directamente de las normas de medición de la NBS. En otras palabras, el volumen calibrado del tanque no puede definirse hasta el mismo nivel de precisión que los probadores que se calibran con "water draw".

Por lo tanto, desde el punto de vista de la obtención del mayor grado de precisión volumétrica de medición, se escoge el sistema de medición por contador con su probador en vez del aforo de tanques.

## **Certificación**

El autor presentó esta disertación originalmente en la Conferencia Nacional de Operación de la Asociación Independiente de Terminales de Líquido (ILTA) y Feria Comercial de Houston, Texas, en Junio de 1982.

The specifications contained herein are subject to change without notice and any user of said specifications should verify from the manufacturer that the specifications are currently in effect. Otherwise, the manufacturer assumes no responsibility for the use of specifications which may have been changed and are no longer in effect.

---

**Headquarters:**

6677 North Gessner Road, Suite 315, Houston, TX 77040 USA, Phone: 713/510-6970, Fax: 713/510-6972

**Locations:**

**Erie, PA USA** Phone 814/898-5000, Fax 814/899-8927

**Corpus Christi, TX USA** Phone 361/289-3400, Fax 361/289-1115

**Stephenville, TX USA** Phone 254/968-2181, Fax 254/977-1627

**Longmont, CO USA** Phone 303/702-7400, Fax 303/702-1608

**Los Angeles, CA USA** Phone 661/296-7711, Fax 661/296-5166

**Eunice, LA USA** Phone 337/550-7133, Fax 337/550-7134

**Thetford, England** Phone (44) 1842-82-2900, Fax (44) 1842-76-5402

**Slough, England** Phone (44) 1753-57-1515, Fax (44) 1753-52-9966

**Ellerbek, Germany** Phone (49) 4101-3040, Fax (49) 4101-304133

**Kongsberg, Norway** Phone (47) 32/286-700, Fax (47) 32/289-590

**Barcelona, Spain** Phone (34) 93/201-0989, Fax (34) 93/201-0576

**Moscow, Russia** Phone (7) 095/564-8705, Fax (7) 095/926-5066

**Singapore** Phone (65) 869-0605, Fax (65) 861-2401

**Beijing, China** Phone (86) 10/6500-2251, Fax (86) 10/6512-6857

**Chennai, India** Phone (91) 44/496-0455, Fax (91) 44/496-0114

**San Juan, Puerto Rico** Phone 787/274-3760, Fax 787/274-1020

**Visit our website at [www.smithmeter.com](http://www.smithmeter.com)**