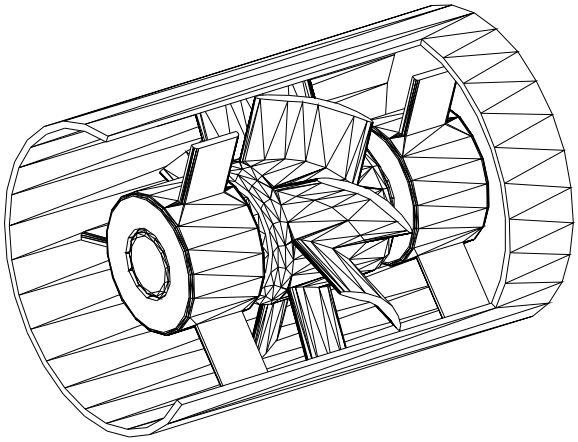
Medidores de flujo por velocidad

Los medidores de flujo por variación de velocidad se fundamentan en medir la velocidad que lleva el fluido cuando pasa por un área constante.
Existen principalmente dos tipos de medidores de flujo por velocidad los cuales difieren en la técnica utilizada para medir la velocidad, estos son: El medidor de turbina y el medidor ultrasónico.

Medidor de Turbina

Este medidor consiste de un rotor con alabes, semejante a una turbina, que se instala en el centro de la tubería y gira con una velocidad angular que es directamente proporcional al flujo.



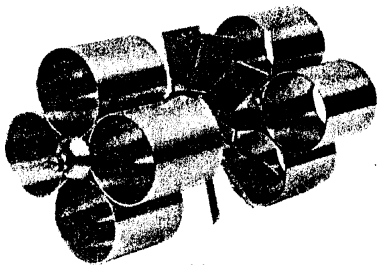
Para medir la velocidad de la turbina, sin generar ninguna fuerza resistente sobre el aspa que produzca error se utilizan principalmente convertidores electromagnéticos, existen dos tipos a saber:

1. El de Reluctancia.
   La velocidad de la turbina viene determinada por el paso de los alabes individuales a través del campo magnético creado por un imán permanente montado en la bobina captadora exterior. El paso de cada alabe varía la reluctancia del circuito magnético, esta variación cambia el flujo inducido en la bobina captadora produciéndose una corriente alterna proporcional a la velocidad de la turbina.
2. El de tipo inductivo.
   El rotor lleva incorporado un imán permanente y el campo magnético giratorio que se origina induce una corriente alterna en la bobina captadora exterior

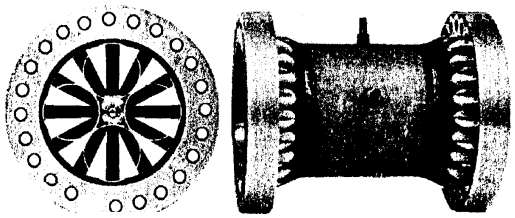
Con el uso de ambos convertidores la velocidad del flujo será proporcional a la frecuencia generada que es del orden de los 250 a 1200 ciclos por segundo para velocidades máximas.
Características del medidor de turbina

- La turbina esta limitada por la viscosidad del fluido, debido al cambio que se produce en el perfil de velocidad del líquido a través de la tubería cuando aumenta la viscosidad. En las paredes el fluido se mueve mas lentamente que en el centro, de modo que, las puntas de los alabes no pueden girar a mayor velocidad. En general, para viscosidades mayores de 3 a 5 cS se reduce considerablemente el intervalo de medición del instrumento.
- La exactitud es elevada, del orden de ± 0.3 %. El valor óptimo se consigue cuando la dirección del flujo sigue la dirección de la tubería, para ello se debe instalar el instrumento en una tubería recta 15 diámetros aguas arriba y 6 diámetros aguas abajo.
- Un medidor de turbina se puede utilizar para medir flujo de gases y líquidos limpios o filtrados.
- El instrumento debe instalarse de tal modo que no se vacíe cuando cesa el flujo ya que el choque de líquido a alta velocidad contra el medidor vacío lo puede dañar seriamente.

La figura siguiente muestra un medidor de turbina real.



Rotor y direccionadores de flujo



Vista exterior

Medidor Ultrasónico

Los medidores de flujo ultrasónicos miden la velocidad del flujo por la diferencia de velocidad del sonido al propagarse ésta en el sentido del flujo y en sentido contrario.
Los componentes básicos de un medidor ultrasónico de flujo son:

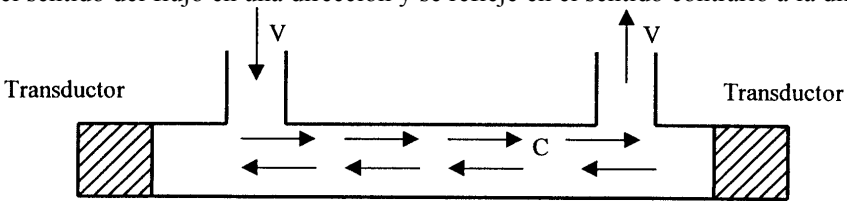
- La unidad sensora compuesta por uno o más transductores piezoeléctricos tanto para la emisión como para la recepción de las ondas ultrasónicas.
- La unidad electrónica, la cual realiza funciones de acondicionamiento de señales y calibración del instrumento.
- El herraje, constituido por varias piezas metálicas que sirven para fijar los transductores a la tubería y la

Existen principalmente dos tipos de medidores de flujo ultrasónicos:

- El medidor por tiempo de transito
- El medidor basado en el efecto Doppler.

Medidor ultrasónico de tiempo de tránsito

En este tipo de medidor se introduce una onda sónica en la trayectoria del fluido de tal forma que dicha onda viaje alternativamente en el sentido del flujo en una dirección y se refleje en el sentido contrario a la dirección del flujo.



La diferencia de tiempo de ir y venir de la onda es proporcional a la rata de flujo, debido a que la onda de sonido es frenada cuando viaja contra el flujo y acelerada cuando viaja en la dirección de éste.
Dicho de otra forma, la frecuencia de los pulsos sónicos viajando aguas abajo es mayor que la frecuencia de pulsos sónicos viajando aguas arriba, la diferencia entre las dos frecuencias es función directa de la velocidad del flujo y es independiente de la velocidad del sonido.
Lsa ecuaciones que definen este proceso son:

$$F_d = \frac{C+V}{L}; \quad F_u = \frac{C-V}{L}$$

Donde:

F_d = frecuencia de la onda viajando aguas abajo
F_u = frecuencia de la onda viajando aguas arriba
C = velocidad del sonido
L = distancia que recorre la onda desde un transductor al otro

Restando las dos expresiones anteriores se obtiene:

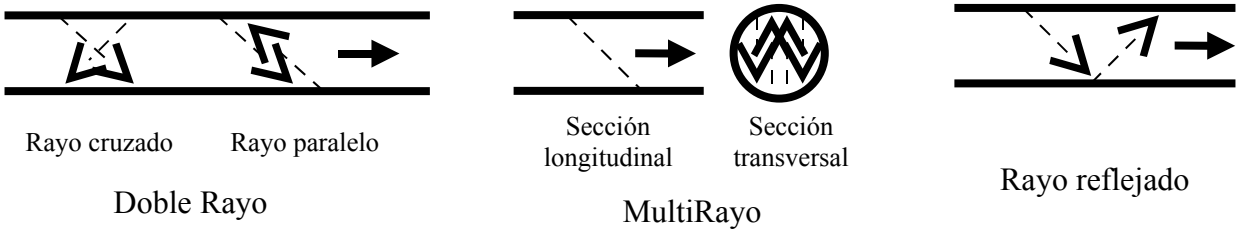
$$V = \frac{(F_d - F_u)L}{2}$$

Se observa entonces que la velocidad es directamente proporcional a la diferencia de frecuencias ya que la velocidad del sonido se cancela.

Nota: Es posible enviar un pulso sónico de un transductor a otro y obtener la velocidad del fluido en función del tiempo de transito, Δt, pero en este caso se llega a una expresión cuadrática de la velocidad del fluido (V), en función de la velocidad del sonido (C), con términos que contienen a C al cuadrado. En consecuencia, los medidores los medidores de flujo ultrasónicos utilizan un esquema de frecuencia continua mejor que una diferencia de tiempo con compensación por temperatura.
Para medir las frecuencias con que viajan las ondas de sonido en el fluido se utiliza un contador regresivo de frecuencia. Este es un dispositivo electrónico que cuenta la frecuencia de los pulsos de onda sónica que viajan aguas arriba en un lapso de tiempo y la frecuencia de los pulsos que viajan aguas abajo en un lapso de tiempo similar y luego efectúa la diferencia entre las dos frecuencias.

Tipos de medidores de flujo ultrasónicos por tiempo de transito:

- Medidor de transmisión axial: El flujo va paralelo a las ondas ultrasónicas, tal como en la figura presentada anteriormente.
- Medidor de doble rayo: Este puede ser de rayos cruzados o de rayos paralelos.
- Medidor de multirayo: Se utilizan varios transductores alineados con la circunferencia de la tubería
- Medidor de rayo reflejado: Se utilizan dos transductores. Uno, actúa como un emisor enviando un rayo hacia la pared de la tubería donde se refleja y se dirige hacia el otro transductor, el cual actúa como receptor.



De acuerdo a su instalación en la tubería del cristal del transductor piezoeléctrico, existen dos tipos de transductores:

- Transductor embebido, estos se instalan en la tubería y a ras de ella en contacto con el fluido, por lo cual son mojados por el fluido.
- Transductor grapado, montado por fuera de la tubería, y por lo cual la onda ultrasónica atraviesa la pared de éste.

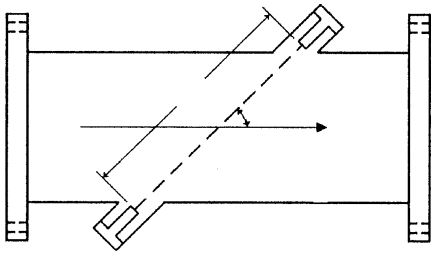
Ventajas relativas entre los transductores grapados y embebidos:

- En los transductores grapados son más fáciles de montar ya que no es necesario perforar la tubería mientras que en los transductores embebidos si.
- La medición de flujo con transductores embebidos es mas exacta que con transductores grapados.
  La razón es la siguiente: En el arreglo de transductor embebido se escoge (generalmente) un ángulo de transmisión de 45°, para utilizar la amplitud del vector velocidad a lo largo de la trayectoria del sonido. El vector de flujo a lo largo de la trayectoria del sonido es cos45° del vector de la velocidad del flujo. Para el arreglo de transductores grapados, el ángulo de transmisión es considerablemente menor que para los transductores embebidos cuando la pared de la tubería es de acero. Por ejemplo, un ángulo de transmisión puede ser de 60 a 75° dependiendo del ángulo de refracción de la onda sónica entre el acero y el líquido. El cos75° es 0.259 en comparación con el coseno de 45° que vale 0.707 del ángulo de transmisión. Por lo tanto, la amplitud del vector velocidad a lo largo de la trayectoria de velocidad es mayor para los transductores embebidos y la medición de flujo será más exacta.

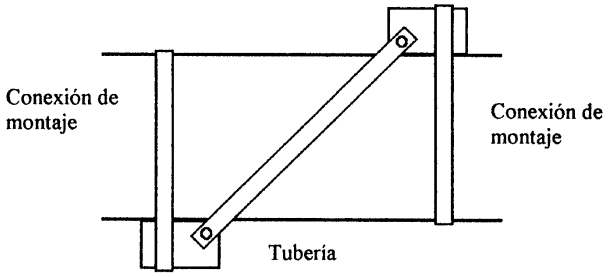
Los medidores normalmente consisten de una caja con los componentes electrónicos, los transductores y una sección de tubería. Las opciones de diseño son:

- Un carrete con los transductores integrados. El fabricante monta los transductores sobre un carrete con bridas. Usualmente la unidad es calibrada por el fabricante con las especificaciones del cliente. Con esto el carrete se constituye en una parte de la tubería y no es fácil adaptarlo a otro sistema existente.
- Transductores montados externamente a la tubería. Este diseño permite remover los transductores sin necesidad de interrumpir el flujo y puede ser calibrado por el fabricante una vez que el usuario defina el diámetro de la tubería, el espesor de la pared de la tubería, el tipo de fluido, el porcentaje de concentración de sólidos y la temperatura del fluido.

- Los transductores y el resto de los componentes vienen en partes separadas y el usuario los instala en la tubería. Este puede taladrar orificios en la tubería e introducir los transductores, los cuales montará con su base y transductores bien sea soldados o por cualquier otro medio apropiado.



Transductor embebido y montado sobre carrete



Transductor montado exteriormente

Consideraciones de aplicación de los medidores por tiempo de transito:

- El carrete o sección de tubería debe estar siempre llena de líquido.
- Se debe obtener del fabricante la distancia mínima para codos, tees, válvulas, bombas y todo accesorio instalado cerca del medidor. Típicamente se requieren de 10 a 20 diámetros aguas arriba y 5 diámetros aguas abajo.
- El líquido debe estar relativamente libre de sólidos y burbujas de aire. Las burbujas en la corriente de flujo parecen causar más atenuación a la señal acústica que los sólidos. El medidor puede tolerar un pequeño porcentaje de sólidos pero solo una fracción muy pequeña de burbujas.
- Dependiendo del fluido del proceso, se debe seleccionar el material apropiado para el transductor a fin de evitar daños por acción química. También se deben considerar las limitaciones por temperatura del proceso.

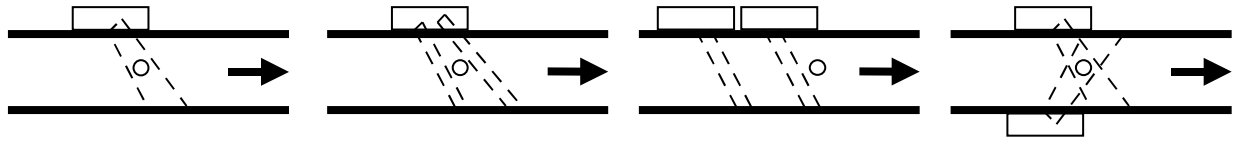
Características de los medidores de flujo por tiempo de transito

- Exactitud: La exactitud usualmente se expresa como un porcentaje del flujo. Típicamente, ésta es de 1 a 2.5% del flujo dependiendo del fabricante, la velocidad y el tamaño de tubería.
  A fin de mejorar la exactitud para tamaños grandes de tubería, algunos fabricantes ofrecen medidores con dos, cuatro o mas pares de transductores dispuestos en multiples trayectorias acusticas.
- Repetibilidad: Usualmente se expresa como un porcentaje del flujo, típicamente ésta es mejor de 0.5 % dependiendo del rango de velocidad y del fabricante.
- Salida: La salida es usualmente en corriente de 4 a 20 mA. En forma opcional se puede obtener en voltaje, tren de pulsos u otro tipo de salida digital, dependiendo del fabricante.
- Dirección del flujo: Estos medidores son bidireccionales, es decir, pueden medir el flujo en las dos direcciones

Medidor ultrasónico de efecto Doppler

El principio de este medidor es el siguiente:
Cuando un haz ultrasónico se proyecta en un líquido homogéneo, parte de su energía acústica regresa de nuevo al transductor. Dado que el fluido esta en movimiento relativo al transductor fijo, la transmisión de la onda sónica que se mueve por el fluido es recibida por el transductor a una frecuencia diferente de la que fue enviada. Esta diferencia de frecuencia se conoce como frecuencia de corrimiento Doppler y la diferencia entre la frecuencia enviada y la recibida es directamente proporcional a la rata de flujo.

La configuración del medidor de flujo por efecto Doppler más común es la grapada a la tubería, como se muestra en la figura. La principal ventaja de este tipo de configuración es que los transductores se pueden instalar o remover sin causar disturbios en el proceso. Se puede utilizar un solo receptor/transductor o un receptor dual en el mismo lado de la tubería o en lados opuestos.



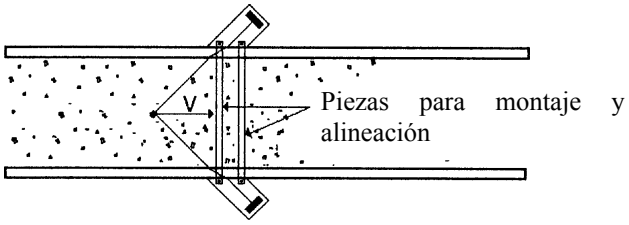
Transductor simple | Transductor dual | Transductores duales separados | Transductor duales separados en lados opuestos

Diferencias básicas entre el medidor por Efecto Doppler y el medidor por tiempo de transito

- En un medidor de flujo por efecto Doppler tipo grapado, el transductor transmite una onda ultrasónica continua a través de la pared de la tubería y dentro del fluido, en contraste con el medidor por tiempo de transito en el cual se transmiten pulsos discretos aguas arriba y aguas abajo en una secuencia de tiempo.
- El ángulo de transmisión, para el caso de los medidores por efecto Doppler es menos crítico que el ángulo de transmisión para el caso de los medidores por tiempo de transito.
- Para que el medidor opere bien requiere suficientes partículas o burbujas para reflejar las señales hacia el sensor. La mínima cantidad de partículas debe ser de 0.005% a 0.1% del volumen dependiendo del fluido y del tipo de partículas presentes.

Diseño de los medidores por Efecto Doppler

- Diseño de un transductor: Tanto el cristal emisor como el de recepción están contenidos en un solo transductor el cual se monta exterior a la tubería. Aquí la alineación de los cristales es controlada por el fabricante.
- Diseño de transductores duales: El cristal del emisor y el cristal del receptor se montan separadamente, exterior a la tubería. Aquí la alineación se mantiene por un ensamblaje entre los transductores, tal como se muestra en la figura.



Consideraciones de aplicación de los medidores por Efecto Doppler

A fin de obtener una indicación apropiada del flujo volumétrico, se deben cumplir los siguientes requisitos:

- La tubería debe estar siempre llena. Si embargo, un Doppler puede indicar la velocidad en una tubería parcialmente llena siempre y cuando el transductor este montado por debajo del líquido en la tubería
- Típicamente se requieren de 10 a 20 diámetros aguas arriba y de 5 diámetros aguas abajo para líquidos relativamente limpios, pero esto podría cambiar dependiendo de la concentración de sólidos.
- Un medidor de flujo tipo Doppler requiere de burbujas o partículas en la corriente de flujo para reflejar la energía ultrasónica. Muchos fabricantes especifican el límite más bajo de la concentración y el tamaño mínimo de los sólidos y burbujas en el líquido para poder realizar una operación precisa.
- El flujo debe ser suficientemente rápido para mantener los sólidos en suspensión, típicamente 6 pies/seg (1.8 m/seg) mínimo para sólidos y 2.5 pies/seg (0.75 m/seg) para burbujas pequeñas.
- En tuberías horizontales, el mejor lugar para localizar el transductor alrededor de la tubería no es especificado siempre para todas las aplicaciones. El usuario deberá confiar en las pruebas hechas por el fabricante.
- Dado que la energía no necesita atravesar la tubería completa, el Doppler con un solo transductor puede trabajar con gran variación y altos niveles de concentración de sólidos. En el Doppler con dos transductores, la energía ultrasónica debe atravesar la tubería, luego pueden ocurrir algunos efectos sobre el medidor debidos a grandes variaciones y alto nivel de concentración de sólidos.
- El Doppler funciona independientemente del material de la tubería siempre que ésta sea sónicamente conductiva.

Características de los medidores de flujo por Efecto Doppler

- Exactitud: La exactitud es del 2 al 3% de la amplitud dependiendo del tipo, la velocidad, el diámetro de la tubería y del fluido.

  El valor del flujo viene dado por:

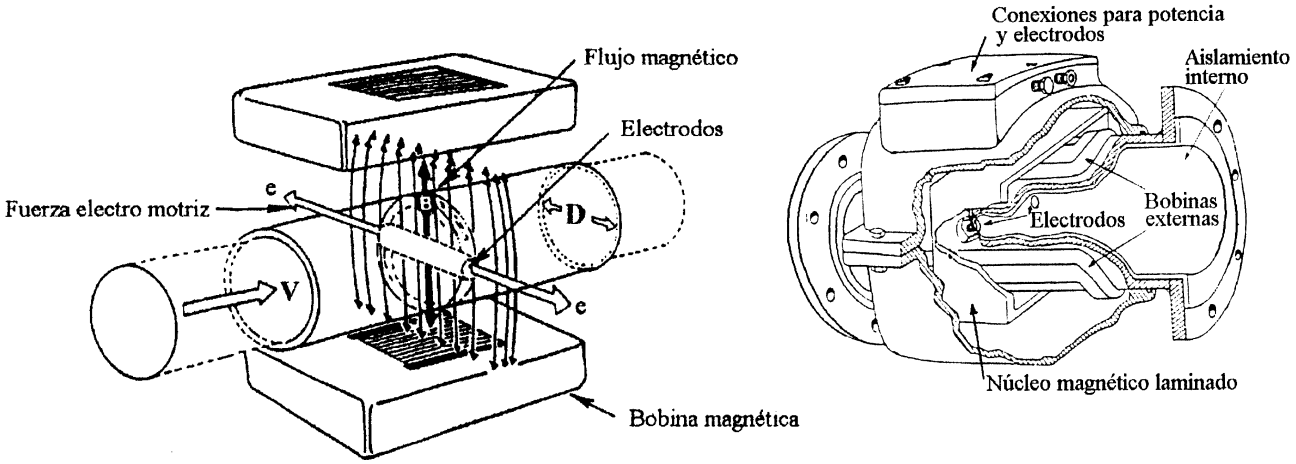
$$d(GPM) = 2.45VD^2$$

Esto implica que para minimizar el error en la indicación de flujo volumétrico, el diámetro de la tubería debe ser cuidadosamente medido, ya que la medida del flujo varía con el cuadrado de éste.

- Repetibilidad: La repetibilidad es tipicamente del orden del 1% dependiendo del tipo, la velocidad, el diámetro de la tubería y las condiciones del proceso.
- Dirección del flujo: estos son medidores bidireccionales ya que miden el flujo en una u otra dirección, pero solamente miden la magnitud del flujo y no la dirección.
- Integradores de flujo: Se dispone de integradores, en forma opcional, los cuales integran el flujo para obtener el volumen consumido.

Medidor de flujo por tensión inducida

Los medidores de flujo del tipo de tensión inducida se fundamentan en la ley de Faraday la cual establece que la tensión inducida en un conductor que se mueve perpendicularmente a un campo magnético es proporcional a la velocidad del conductor. A este medidor se le conoce con el nombre de Medidor magnético. La figura muestra un esquema del funcionamiento del medidor magnético de flujo y una configuración típica del mismo.



Un líquido eléctricamente conductor fluye en una tubería de material no magnético entre los polos de un electroimán dispuesto perpendicularmente a la dirección del flujo. La interacción entre el fluido y el campo magnético genera una fuerza electromotriz en dos electrodos ubicados a ras de la tubería, diametralmente opuestos y haciendo contacto con el fluido. Esta fuerza electromotriz es proporcional a la velocidad del fluido.

La relación entre la velocidad del fluido y la fuerza electromotriz generada viene dada por:

$$e = KBDv$$

Donde:

e = tensión generada en el conductor K = constante
B = intensidad del campo magnético
D = distancia entre los electrodos (diámetro interno de la tubería)
v = velocidad del fluido

Como se puede observar, la salida es lineal con la velocidad del fluido y no es afectada por la densidad y la viscosidad.

La corriente aplicada para generar el campo magnético en un medidor magnético de flujo puede ser:
Corriente directa constante, corriente alterna y corriente directa pulsada.

Medidor magnético de corriente directa constante

En estos medidores el campo magnético se genera por la aplicación a las bobinas de una corriente directa constante.
Este presenta el inconveniente que una corriente directa aplicada en forma constante origina un proceso de electrólisis en líquidos conductores, con lo cual se forman gases de residuo en los electrodos (polarización). Por esto, los medidores magnéticos de flujo de campo magnético constante no se usan en la medición de flujo.

Medidor magnético de corriente alterna

En estos medidores se aplica a las bobinas una corriente alterna, con lo cual se genera un campo magnético alterno.
Las bobinas y la armadura forman un magneto AC el cual produce un campo magnético alterno a través del flujo y perpendicular a su trayectoria. Por lo tanto, entre los electrodos se genera una corriente alterna debido a la interacción de la velocidad del fluido con el campo magnético alterno.
En el carrete se utiliza un forro aislador para prevenir cortocircuitos en la trayectoria conductora de la fuerza electromotriz inducida a través del fluido de un electrodo metálico al otro.
La principal ventaja de este tipo de medidor magnético es que el campo magnético alterno minimiza los efectos de polarización.
El principal inconveniente con este tipo de medidor ocurre por desviaciones de corriente que causan desvío de cero alterando la línea de base de la salida y en razón de esto se requiere llevar físicamente el fluido a cero rata de flujo para corregir la línea de base a condiciones de cero.

Factores que afectan la señal de salida:

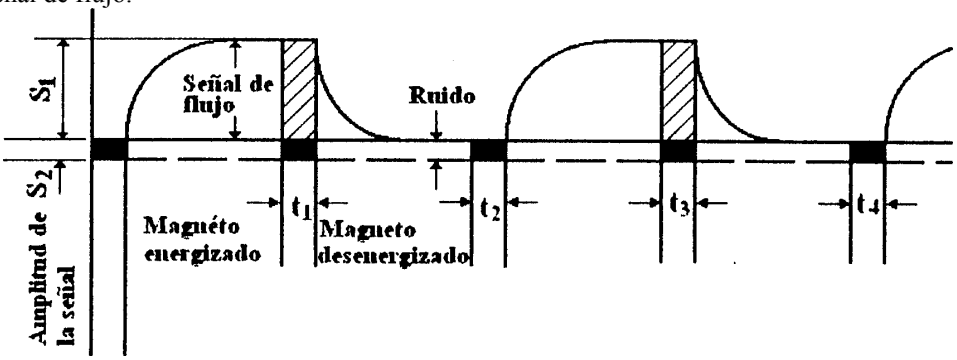
- La potencia necesaria para generar el campo magnético es suministrada usualmente por la línea de suministro local de electricidad. Normalmente estas líneas no son estrictamente controladas en amplitud, frecuencia y forma de onda, por lo que la señal de salida del medidor de flujo es afectada por variaciones en el campo magnético causadas por variaciones en la línea de potencia.
  Para resolver este problema se relaciona la señal de salida con una señal de referencia de la línea para obtener el flujo verdadero. Las dos señales de referencia que comúnmente se utilizan son: a) la corriente en la bobina magnética y b) la fuente de voltaje para la bobina.
- La relación de fase entre la señal de flujo (*e*), y la señal de referencia se altera debido a cambios en la conductividad del fluido que alteran la fase de la señal de salida.

La electrónica que procesa la señal del medidor se diseña para eliminar las desviaciones mencionadas.

Medidor magnético de tipo corriente directa pulsada

Este medidor nació como un esquema para la generación de la señal de tal forma de evitar los desvíos de la línea de base. El principio de funcionamiento es el siguiente:
Se aplica periódicamente una corriente DC directamente a la bobina, de este modo se evita que un voltaje DC residual surja sobre los electrodos y en general una acción galvánica y térmica.
En operación la señal de salida es detectada y almacenada durante el tiempo de excitación de los imanes y también cuando los imanes no están excitados. Cualquier señal de ruido que este presente en el periodo de tiempo en que los imanes no están excitados es debido a fuentes extrañas y no a señal de flujo. Por lo tanto, sustrayendo la señal de voltaje almacenada en un estado de no excitación de la señal de voltaje en el estado de excitación del imán resulta una señal proporcional al flujo.

La figura muestra una representación esquemática del muestreo de esta señal. Como se ve en el esquema, la medida no es tomada en el periodo de tiempo de la excitación magnética de la bobina hasta que el nivel de la señal es estable y de valor constante. Después de que la bobina es desenergizada y se obtiene una señal estable, las dos señales son restadas y la salida es la señal de flujo.



t = muestreo de tiempo de la señal (magnéto energizado)
t_z = muestreo de tiempo de la señal (magneto desenergizado)

Ventajas del medidor tipo CD pulsado sobre el tipo CA

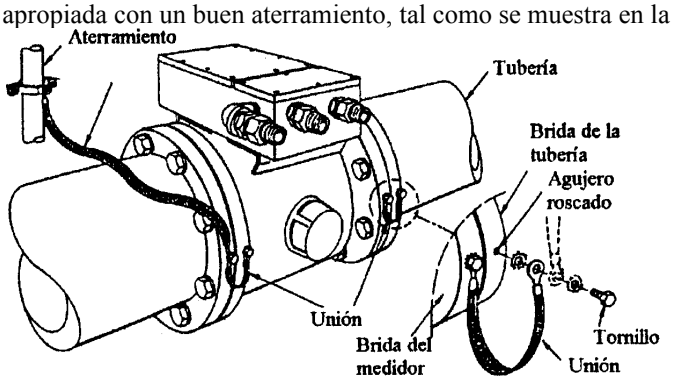
- Las desviaciones de señal son efectivamente ignoradas y resulta una línea de base o de referencia estable, con lo cual el cero es estable
- El medidor CD pulsado requiere menos potencia

Características de los medidores magnéticos de flujo

- Exactitud. Si los componente primarios y secundarios del medidor se calibran como una unidad, se logra una exactitud del sistema tan buena como ± 0.5% del flujo.
  Si el campo magnético a través del tubo es uniforme, se puede medir la velocidad del fluido. Consecuentemente si existen cambios en el perfil de velocidad debido a otros patrones de flujo, la medición de velocidad neta no es afectada si el perfil de velocidad a través de la tubería es simétrico. Un perfil de velocidad no simétrico puede afectar la exactitud y causar errores en la medición.
- El medidor se debe usar en tuberías llenas de líquido para asegurar precisión en la medición debido a que éste genera un voltaje que es proporcional al promedio de la velocidad del fluido.
- Los cambios en la densidad y viscosidad no afectan la exactitud, puesto que el medidor no es sensible a las mismas.
- Característica conductora del fluido. Este medidor mide el flujo de fluidos electricamente conductores; sin embargo, el umbral de la conductividad para muchos medidores, disponibles comercialmente, es muy baja.
- Dirección del flujo. El medidor puede medir el flujo en ambas direcciones.
- Tipos de flujo donde se utilizan. Por no ofrecer obstrucción, este medidor es utilizado en flujos tipo "slurry". Son aplicables a aquellos fluidos que presentan problemas de manejo, tales como ácidos corrosivos, pulpa de papel, detergentes, pulpa de tomate, cerveza, etc.

La instalación del medidor debe cumplir:

- La señal generada por estos medidores de flujo es de unos pocos milivoltios por lo que se requiere una instalación eléctrica apropiada con un buen aterramiento, tal como se muestra en la figura



- La instalación del medidor debe tener 5 diámetros de tramo recto de tubería aguas arriba y 3 diámetros aguas abajo.
- El medidor se puede instalar en tuberías horizontales, verticales o inclinadas. Lo esencial es mantener los electrodos en un plano horizontal para asegurar un contacto interrumpido con el fluido
- En sistemas alimentados por la gravedad, el medidor se debe mantener completamente lleno; por lo tanto este debe ser instalado en un punto bajo del sistema o preferiblemente, en una línea donde el fluido fluya verticalmente.

Ventajas:

- No obstruye el flujo en la línea y por lo tanto las pérdidas de presión son mínimas, lo cual minimiza los costos de bombeo.
- No posee partes móviles lo que facilita el mantenimiento.
- Los requerimientos de potencia son bajos, particularmente con el tipo CD pulsado (15 a 20 vatios).
- Estos medidores son apropiados para medición de flujo de ácido, base, agua y soluciones acuosas dado que el material del forro no solo es un buen aislante eléctrico sino que también es resistente a la corrosión. El líquido solo esta en contacto con la pequeña cantidad de metal de los electrodos. Los materiales de electrodos más comunes son acero inoxidable, alloy 20, hastelloys, niquel, monel, titanio, tantalum, tungsteno y platino.

- Estos medidores son capaces de medir flujos muy bajos, con tamaño de tubería de hasta 1/8" de diámetro. También son apropiados para altas ratas de flujo, con tamaños de tubería tan grandes como 120"
- Se pueden utilizar bidireccionalmente

Desventajas:

- Trabajan solo con fluidos conductores. No miden flujo de sustancias puras, incluyendo algunos hidrocarburos y todos los gases.
- Son relativamente pesados, especialmente en tamaños grandes
- Se requiere un cuidado especial en la instalación eléctrica
- Son afectados por el campo magnético generado por motores y otros equipos.
- Para el chequeo periódico del cero en un medidor tipo CA, se requieren válvulas de bloqueo en cada lado de éste a fin de llevar el flujo a cero y mantener el medidor completamente lleno.

Medición de flujo por desplazamiento positivo

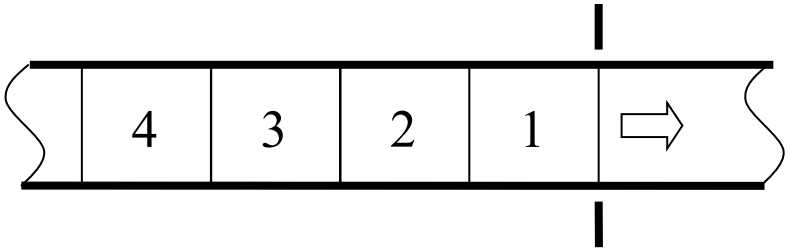
Introducción

Los medidores de flujo por desplazamiento positivo miden el flujo contando o integrando volúmenes separados de líquido; es decir, toman una cantidad definida de flujo, la cual conducen a través de sus elementos hacia el exterior, luego procede con otra cantidad similar y así sucesivamente. Como el volumen de la cantidad de flujo es constante, contando el número de veces que el medidor transporta la cantidad definida se puede obtener la cantidad de líquido que pasa por el medidor por unidad de tiempo.

El flujo se determina midiendo la rotación del eje del instrumento luego, esta se transmite a un contador o a un transmisor de pulsos.

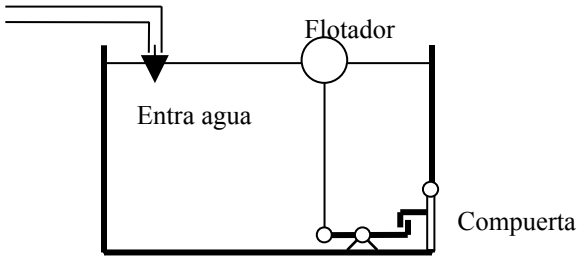
En estos instrumentos las partes mecánicas del instrumento se mueven aprovechando la energía del fluido lo cual da lugar a una pérdida de carga.

Los tipos de medidores de flujo por desplazamiento positivo más conocidos son: medidor volumétrico, medidor de disco oscilante, medidor reciprocante o de pistón alternativo y los medidores rotativos.



Medidor Volumétrico

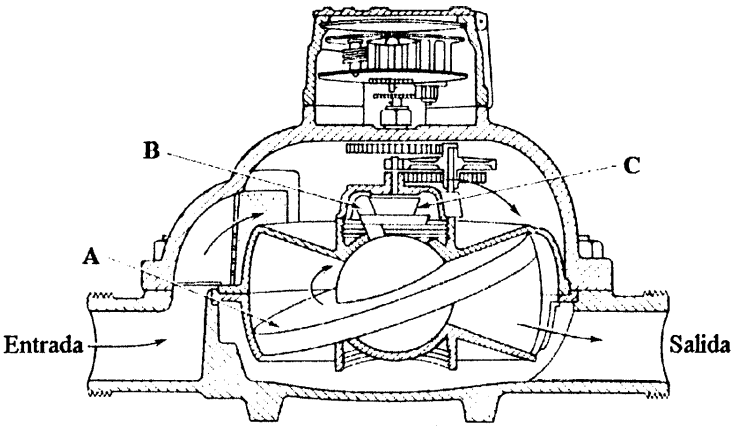
Este consta de un recipiente que se llena con el fluido hasta un cierto límite y después se vacía. Como el recipiente es de volumen conocido, basta contar el número de veces que éste se llena en un tiempo determinado.



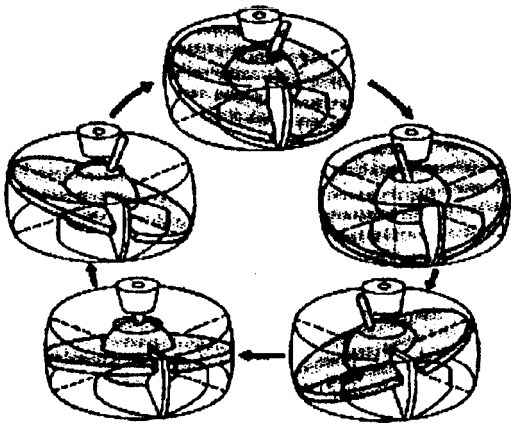
Medidor de disco oscilante

Este instrumento dispone de una cámara circular con un disco plano móvil dotado de una ranura en la que esta intercalada una placa fija tal como se muestra en la figura. Esta placa separa la entrada de la salida de este modo la cámara estará siempre dividida en dos compartimientos que forman los volúmenes a medir.

En un medidor de disco oscilante, el movimiento del disco A esta controlado por el eje B conforme se mueve alrededor de la leva C. Esta leva mantiene la cara inferior del disco en contacto con la base de la cámara de medición a un lado y mantiene la cara superior del mismo en contacto con la parte superior de la cámara de medición en el lado opuesto.



Corte de un medidor de flujo de disco oscilante



Cuando pasa el fluido el disco efectúa un movimiento parecido al de un trompo caído, de modo que cada punto exterior de la circunferencia del disco sube y baja alternativamente.
La forma de operar del medidor se muestra en la figura siguiente

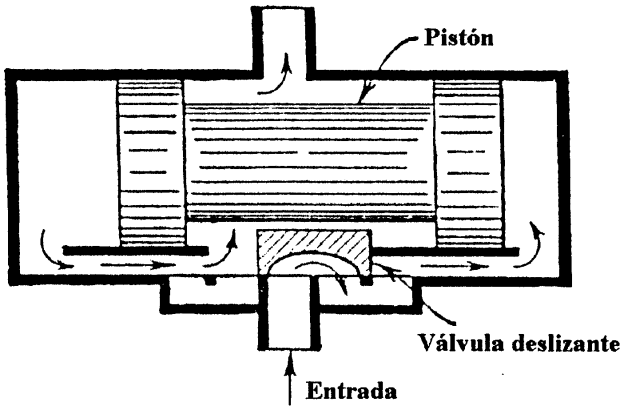
- El líquido penetra a través del puerto de entrada y llena los espacios arriba y abajo del disco.
- Al avanzar el volumen de líquido el disco se mueve en un movimiento oscilante hasta que el líquido descarga por el puerto de salida.
- El movimiento del eje B produce un giro en el eje de la leva, luego un regulador de engranajes transmite el movimiento del eje conducido hacia un indicador.

Características:

- Como los compartimientos independientes de la cámara de medición se llenan y vacían en forma sucesiva, el flujo de salida es suave y continuo, sin pulsaciones.
- En las figuras se puede observar que la cámara de medición y el pistón están completamente rodeados por el líquido, de manera que las variaciones de presión en la línea no deben distorsionar la cámara ni afectar la exactitud.
- La selección de un medidor de disco oscilante se basa en la velocidad del flujo, la presión en la línea y la caída de presión permisible.

Medidor de pistón reciprocante

El medidor consiste de un sistema de cilindro y pistón duales, donde los pistones están conectados por un eje central tal como se muestra en a figura. Una válvula deslizante montada sobre el eje, controla los puertos de entrada y salida de flujo y también puede operar un mecanismo contador.
Salida
En la práctica los medidores de pistón reciprocarte pueden tener dos o cuatro pistones operando sobre un brazo central de manivela el cual abre y cierra las válvulas de entrada y escape en puntos apropiados de la carrera del pistón.
Debido a la presión del fluido, el pistón se mueve en forma reciprocarte pasando el líquido alternativamente a través de cada extremo desde el puerto de entrada al puerto de salida.



Características:

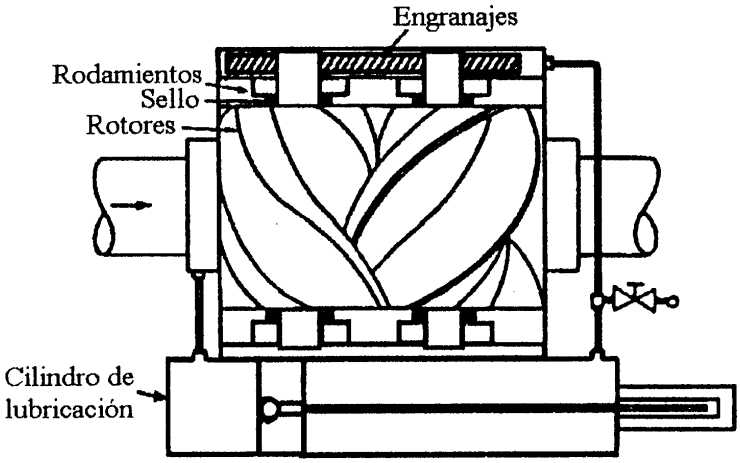
- La presión diferencial requerida para operar el motor a bajas velocidades contra su propia fricción se mantiene pequeña por selección de pistones de gran diámetro y operando en carreras cortas.
- La exactitud de un medidor de pistón puede ir de 0.2 a 0.3%.
- El efecto de la densidad y la viscosidad del fluido sobre la exactitud es despreciable.
- El medidor es apropiado para líquidos ligeros, de baja viscosidad y no corrosivos.

Medidores rotativos

Estos medidores contienen cámaras que se desplazan transportando una cantidad fija de fluido a medida que unos elementos rotan por la acción del fluido.
Se utilizan mucho en La industria petroquímica y en refinerías en la medición de crudos y gasolina con intervalos de medición que van desde unos pocos GPM de líquido limpio de baja viscosidad hasta unos 20000 GPM de crudo.
Los medidores rotativos más utilizados son los siguientes tipos: el birrotor, el de paletas, el de lóbulos y el oval.

MEDIDOR BIRROTOR

Consiste de dos rotores (semejante a engranes helicoidales dentados) sin contacto mecánico entre si que giran como únicos elementos móviles dentro de una cámara de medición, tal como se muestra en la figura



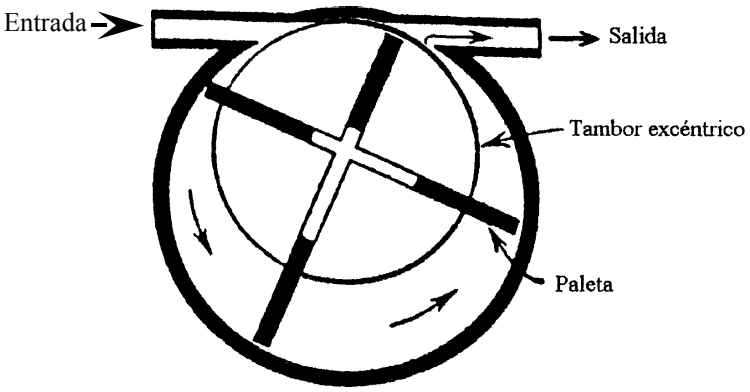
La relación de giro mutuo se mantiene gracias a un par de engranajes helicoidales contenidos en un encierro que evita el contacto con el líquido.

Características:

- Al no existir contacto mecánico entre los rotores, la vida útil es larga y el mantenimiento se simplifica.
- Pueden trabajar con bajas presiones diferenciales, de hasta 1 pulg. de agua
- Son reversibles
- Su ajuste es sencillo y de fácil calibración
- La exactitud es alrededor de ± 0.2%

MEDIDOR DE PALETAS

Este medidor posee un tambor (rotor) que gira alrededor de su propio centro el cual es excéntrico con el cuerpo del medidor, tal como se muestra en la figura.
A medida que el tambor rota las paletas son empujadas hacia fuera por resortes para formar cámaras selladas separadas. El tambor rota debido a la presión diferencial a través del medidor. La rotación del eje del tambor será proporcional al flujo.



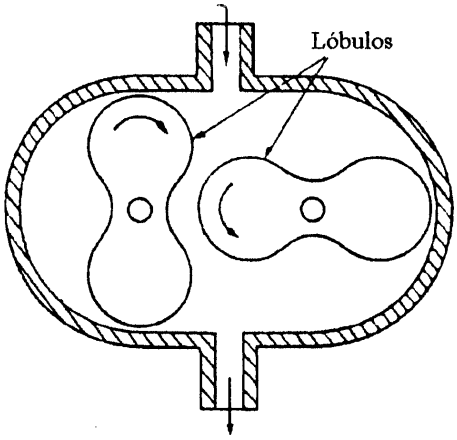
Características:

- Debido a que las holguras son casi cero, los efectos de cambios de densidad y viscosidad son despreciables y la exactitud se mantiene alrededor de 0.2 a 0.3%.
- Debido a que existe contacto mecánico entre las paletas y la carcasa del medidor, las paletas sufren permanente desgaste pero estas se van reajustando automáticamente debido a la acción del resorte.

- Prácticamente, quien sufre el mayor desgaste son las tapas laterales, las cuales se fabrican de un material de menor dureza que el de las paletas, luego, es necesario reponerlas cada cierto tiempo.

MEDIDOR DE LOBULOS

Consisten de dos lóbulos engranados entre si que giran en direcciones opuestas manteniendo una posición relativa fija y desplazando un volumen fijo de fluido líquido o gaseoso en cada revolución, tal como se muestra en la figura. Los lóbulos no hacen contacto mecánico y la precisión de sus movimientos se mantiene debido a la presencia de dos engranajes ubicados fuera del medidor.

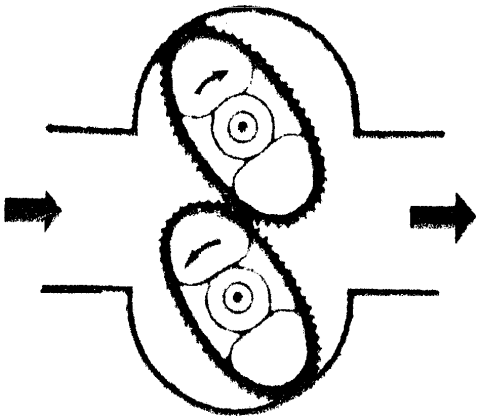


Características:

- Se fabrican en tamaños que van desde 2 o 24 GPM hasta 30 o 20000 GPM para flujo de líquidos y hasta unos 3 m^3/hr para flujo de gases
- Su exactitud es de ± 1% para flujos de 10 a 100% del intervalo de medición. Esta se desmejora para bajos flujos debido a las holguras que existen entre los lóbulos.

MEDIDOR OVAL

Los elementos de medición de este instrumento son ruedas ovaladas dentadas cómo se muestra en la figura. En forma similar al medidor de lóbulos las ruegas giran por el paso del fluido y la precisión de su movimiento se mantiene por la acción de dos engranajes ubicados en la parte trasera del instrumento.



Medidores de Flujo Másico

Los medidores de flujo másico determinan el caudal en masa de fluido que atraviesa una cierta sección de tubería.
La principal forma de medir el flujo másico es medir el flujo volumétrico y calcular el flujo másico en función de la densidad del fluido. Sin embargo existen instrumentos que miden directamente el flujo másico ya que la medida depende de una propiedad del fluido que es directamente función del flujo másico. Entre estos instrumentos están: Los medidores de flujo por efecto térmico y los medidores giroscópicos (o efecto de Coriolis).

Medidores de flujo por efecto térmico

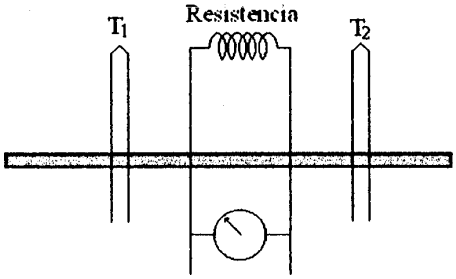
Los medidores térmicos de flujo se fundamentan en la medición del efecto que se produce en un fluido cuando dentro de éste se introduce una cantidad conocida de calor.
Los medidores térmicos de flujo se pueden clasificar en dos categorías: Medidores calorimétricos y Anemómetros.

Medidores calorimétricos

Cuando a un flujo de fluido que circula por una tubería se le introduce una cantidad conocida de calor, éste se calienta y el aumento de temperatura depende del flujo másico. Midiendo el aumento de temperatura y el flujo de calor introducido se puede obtener el flujo másico que circula por la tubería.
Los medidores calorimétricos pueden ser de dos tipos: medidores de inserción y medidores de tubo calentado

MEDIDOR DE INSERCION

En estos medidores se colocan sensores de temperatura y una fuente de calor instalados por dentro de la tubería, tal como se muestra en la figura.



El principio de funcionamiento de un medidor de inserción simple, ilustrado por la figura, es el siguiente:

- El calor es transferido al fluido por medio de una resistencia eléctrica inmersa en el fluido
- La potencia eléctrica entregada a la resistencia es igual al calor transferido al fluido (Q) y ésta se puede medir por medio de un vatímetro.
- T_1 y T_2 son dos termopares o RTD utilizados para medir la diferencia de temperatura.
- El flujo de calor viene dado por:

$$Q = WC_P(T_2 - T_1)$$

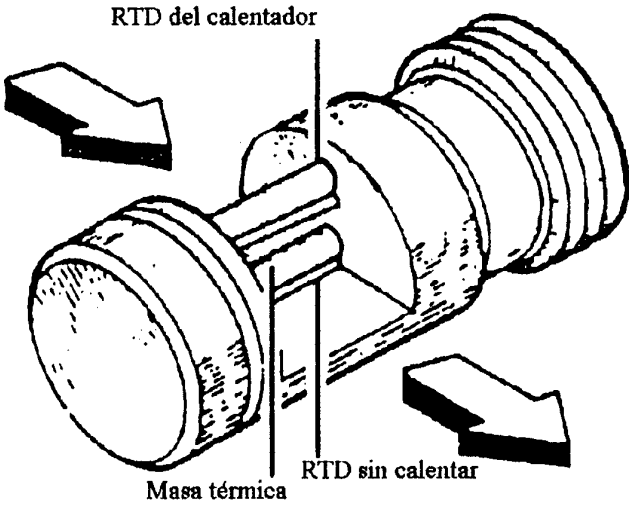
Donde:

Q = calor transferido (BTU/hr)
W = flujo másico (lbm/hr)
Cp = calor especifico del fluido a presión constante (BTU/lbm °F)
T_1 = temperatura del fluido antes de transferirle calor (°F)
T_2 = temperatura del fluido después de transferirle calor (°F)

De la ecuación anterior se obtiene:

$$W = \frac{Q}{C_P(T_2 - T_1)}$$

El calor específico se asume constante y como se conoce el valor de Q, al medir $T_2 - T_1$ se puede obtener el valor de W.



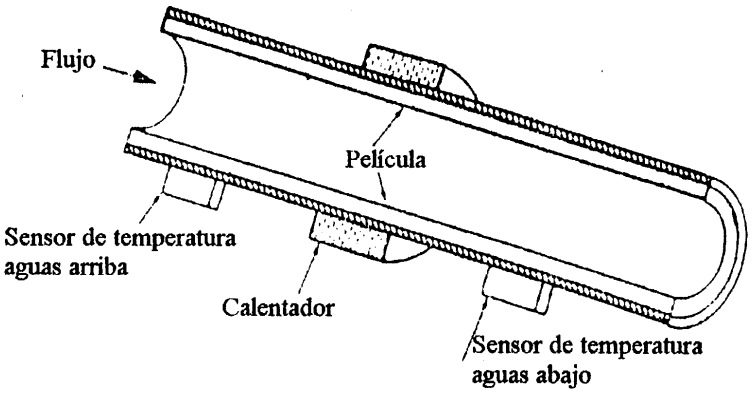
En el caso de un sensor comercial, ilustrado en la figura el principio de funcionamiento es el siguiente:

- La porción calentada consiste de dos termopozos metálicos los cuales se encuentran haciendo contacto con medidores de temperatura (RTD).
- El calor se suministra a una rata constante por medio de una resistencia localizada en uno de los termopozos.
- La elevada temperatura de la superficie metálica de dicho termopozo se mide con un RTD (sensor activo).
- La temperatura del fluido de proceso se mide por un segundo RTD (sensor de referencia) con ensamblaje idéntico al del sensor colocado muy cerca del termopozo de referencia.
- En este ensamblaje el termopozo de referencia no es energizado y éste solo sirve como masa pasiva. Esto le da al sensor de referencia las mismas características dinámicas térmicas del sensor activo.

Esta configuración asegura que cambios violentos en la temperatura afecten al sensor activo en la misma proporción que al sensor de referencia, manteniendo de esta forma la exactitud del instrumento.

MEDIDOR DE TUBO CALENTADO

Cuando un fluido fluye en una tubería (turbulento o laminar), se forma una fina capa entre el fluido y las paredes de la tubería. Esta capa se conoce como capa limite térmica.
Si se tiene un medidor como el representado en la figura.



Cuando pasa calor desde las paredes de la tubería al fluido, ésta ofrece resistencia al flujo de calor, Mientras mayor sea la rata de flujo menor es el ancho de le capa y mayor es la transferencia de calor.
Si se aísla el calentador suficientemente y si el material de la tubería es un buen conductor del calor, la transferencia de calor desde el calentador al fluido se puede expresar por:

$$Q = hA(T_p - T_f)$$

Donde:

h = coeficiente de transferencia de calor (BTU/hr pie 2 °F)
A = área de sección de tubería (piel)
T_p = temperatura de la pared de tubería (°F)
T_f= temperatura del fluido (°F)

El coeficiente de transferencia de calor (h) se puede expresar en términos de las propiedades del fluido, las dimensiones de la tubería y el flujo másico de fluido, para los casos de flujo turbulento y laminar como:
Para flujo turbulento:

$$h_T = \frac{0.023K^{0.6}C_P^{\ 0.4}W^{0.8}}{D^{1.8}\mu^{\ 0.4}}$$

Para flujo laminar:

$$h_L = \frac{1.75K^{0.67}C_P^{\ 0.33}W^{0.33}}{DL^{0.33}}$$

donde:

K = conductividad térmica del fluido (BTU/hr pie °F)
D = diámetro de la tubería (pie)
L = longitud de la tubería (pie)
μ = viscosidad absoluta del fluido (lbf/hr piel)

De estas expresiones se obtiene:
Para flujo turbulento:

$$W^{0.8} = \frac{QD^{1.8}\mu^{\ 0.4}}{0.023K^{0.6}C_P^{\ 0.4}A\left(T_P - T_f\right)}$$

Para flujo laminar:

$$W^{0.33} = \frac{QDL^{0.33}}{1.75K^{0.67}C_P^{\ 0.33}A\left(T_P - T_f\right)}$$

Donde se cumple:

a) Para un fluido dado μ, K y C_p permanecen constantes sobre un cierto rango de temperatura.
b) D y A son constantes.
c) Q se puede mantener constante.

Ubicación del sensor de temperatura:

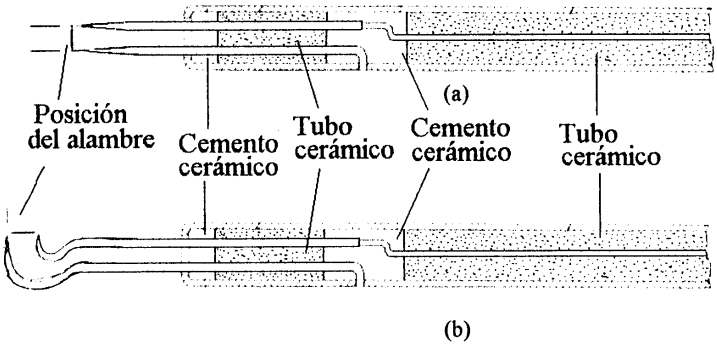
- El sensor de temperatura que se encuentra aguas arriba del calentador esta localizado lo mas cerca posible del calentador, de forma de medir la temperatura T_p
- El sensor de temperatura que se encuentra aguas abajo del calentador esta localizado donde la temperatura de la pared y la del fluido estén en equilibrio.

El flujo se puede obtener de dos formas:

- Midiendo la diferencia de temperatura (ΔT), conociendo la geometría del medidor, la capacidad térmica, la viscosidad del fluido y manteniendo constante la potencia al calentador.
- Manteniendo constante AT y midiendo la potencia al calentador.

Anemómetro de hilo caliente

En este instrumento el elemento sensor consiste de un alambre fino de corta longitud conectado por sus extremos a dos apoyos, tal como se muestra en la figura.
Y funciona según el siguiente principio: Cuando un alambre calentado eléctricamente se coloca en una corriente gaseosa, se transfiere calor desde el alambre al fluido principalmente por convección, por tanto midiendo la temperatura del alambre se tendrá entonces un medida del flujo másico del fluido.



Tipos de alambre del anemómetro: a) montado normal a la sonda, b) montado paralela a la sonda

Si se asume que toda la potencia eléctrica es transformada en calor, para una condición de equilibrio, el balance de energía se puede describir por:

$$I^2R = K_C hA\left(T_W - T_f\right)$$

Donde:

I = corriente eléctrica
R_W = resistencia del alambre
K_c = factor de conversión (potencia térmica a eléctrica)
T_W, = temperatura del alambre
T_f = temperatura del fluido
h = coeficiente de transferencia de calor por convección
A = área de transferencia de calor

Si no hay grandes variaciones en la presión y la temperatura (densidad constante), h es principalmente función de la velocidad, es decir:

$$h = C_0 + C_1\sqrt{V}$$

Donde C_0 y C_1 son constantes.

Los anemómetros de hilo caliente son hechos de dos formas básicas: De corriente constante y de temperatura constante

Anemómetros de corriente constante

La resistencia del alambre fino transporta una corriente constante. El alambre llega a una temperatura de equilibrio cuando el calor generado por éste es balanceado por la pérdida de calor por convección desde su superficie.
Como el coeficiente de transferencia de calor es función de la velocidad del flujo, la temperatura de equilibrio del alambre es una medida de la velocidad. La temperatura del alambre se puede medir en términos de su resistencia eléctrica.

Anemómetros de temperatura constante

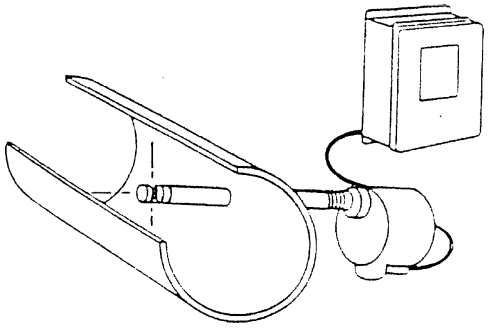
En la forma de temperatura constante, la corriente a través del alambre es ajustada para mantener la temperatura del alambre constante (lo cual se determina por su resistencia). La corriente requerida para lograr esto es entonces una medida de la velocidad del flujo.

Características de los medidores térmicos

1. Miden flujo másico directamente por lo que su salida no depende de las variaciones de parámetros críticos tales como: presión, temperatura, viscosidad o densidad.
2. Se pueden utilizar para medir flujo en un rango de 0.12 a 12 lts/min y con un rango de velocidad de 0.08 a 61 m/seg
3. Poseen una repetibilidad de ± 1 % de la escala completa

Normas de Instalación

1. En el caso de los instrumento tipo cuerpo completo se requiere un tramo recto mínimo aguas arriba de 10 m y no requiere tramo recto aguas abajo.
2. En algunos instrumentos de los del tipo de inserción la cabeza del sensor no debe tocar la pared opuesta de la tubería.
3. La calibración del instrumento es sensible a la orientación de los sensores con respecto a la dirección del flujo. Los instrumentos del tipo de inserción tienen requerimientos en la orientación las cuales varían con el diseño. Una orientación típica para este caso se muestra en la figura.



Aplicaciones de los Medidores Térmicos

1. En algunas aplicaciones tales como: ventiladores, compresores, etc, la caída de presión causada por turbinas o medidores de presión diferencial pueden originar pérdidas de potencia significativas. En este caso los medidores térmicos de flujo son adecuados debido a que producen una caída de presión en el flujo muy pequeña
2. Debido sus características de capacidad de medir flujos muy bajos y facilidad de mantenimiento son utilizados en aplicaciones de medición de flujo en gases de mechurrios.
3. Se utiliza en aplicaciones de detección de fugas de gases, dada su capacidad de medir bajos flujos.
4. Se pueden emplear en cualquier aplicación que requiera de medición de flujo másico, como por ejemplo, medición de gas combustible.

Ventajas y desventajas de los medidores térmicos

Ventajas:

- Poseen una alta exactitud en la medición por ser su salida independiente de cambios de presión, temperatura, densidad, etc.
- Por medir flujo másico no hay necesidad de instalar instrumentación adicional para las correcciones por variación de presión y temperatura, necesarias en los instrumentos de medición de flujo volumétrico.
- Son inmunes a ruidos y vibraciones.
- Son adecuados para la medición de flujos muy bajos. Pueden medir flujo de gases a velocidades tan bajas como 0.001 pie/seg.
- Debido a su simplicidad son muy confiables en comparación con otros instrumentos electrónicos.
- Son de bajo costo en comparación con otros tipos de instrumentos de medición de flujo másico.

Desventajas:

- Su uso esta limitado a la medición de flujo de aire y gases, aunque algunos diseños se pueden usar para líquidos.
- Son afectados por recubrimientos (en los de inserción).
- Algunos diseños son frágiles.
- En el caso de los instrumentos de tubo calentado el fluido debe ser limpio, ya que la forma como se diseñan los hace sensibles a las partículas de fluido. Para este tipo de aplicaciones se debe pensar en la posibilidad de instalar el tipo de inserción.

Medición de flujo giroscópico o de efecto de Coriolis

Introducción

Los medidores de flujo por efecto Coriolis operan por aplicación de la segunda ley de Newton:

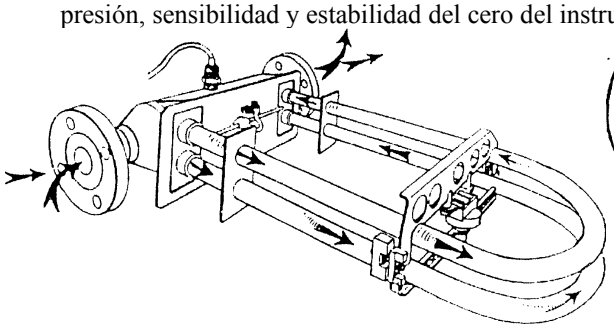
Fuerza = masa x aceleración

El fluido a ser medido se hace pasar a través de un lazo, el cual es forzado a vibrar a su frecuencia natural con lo cual se produce un momento sobre el tubo debido a la fuerza de Coriolis, que es producto de la rotación de la tierra y a partir de esto se puede medir el flujo másico.

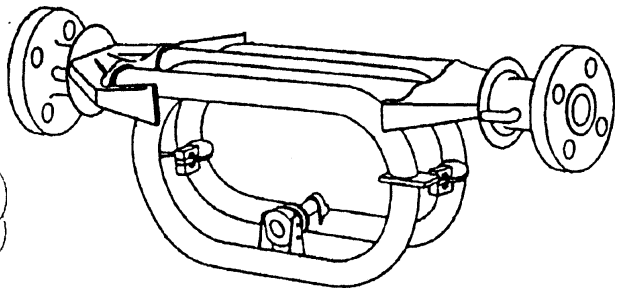
Descripción del medidor de flujo por efecto de Coriolis

Estos medidores constan básicamente de:

- Un lazo compuesto por uno o dos tubos sensores en forma de U, O, etc. La forma del lazo determina la caída de presión, sensibilidad y estabilidad del cero del instrumento.



Doble lazo en forma de **U**

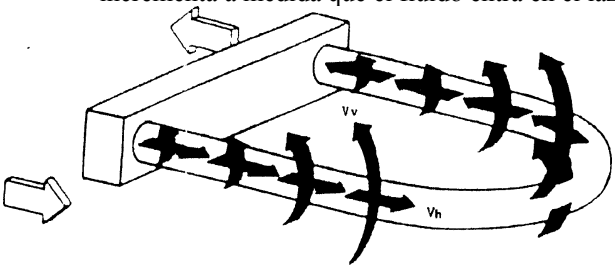


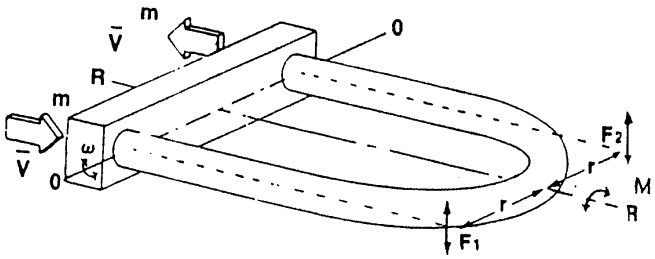
Doble lazo en forma de **O**

- Una carcaza de acero inoxidable sellada herméticamente donde se encuentra el lazo
- La unidad electrónica

Principio de operación del medidor de Coriolis de un tubo con el lazo en forma de U:

- El lazo es obligado a vibrar a su frecuencia natural por medio de una bobina electromagnética que lo mueve hacia arriba y hacia abajo creando una velocidad angular alrededor del eje de la base.
- A medida que el fluido se mueve a través del lazo es forzado a formar un momento vertical, el cual se incrementa a medida que el fluido entra en el lazo y decrece a medida que sale del mismo.





- Durante el medio ciclo de vibraciones cuando el lazo se mueve hacia arriba, el fluido que entra al lazo opone resistencia empujando el tubo hacia abajo. Recíprocamente, el fluido que sale del lazo se resiste disminuyendo su momento vertical y empujando hacia arriba contra el tubo.
- Esta combinación de fuerzas resistivas hace que se produzca un momento en el lazo. A esto se le conoce como Efecto Coriolis.
- Durante el otro medio ciclo de vibración, cuando el lazo se mueve hacia abajo, el momento resultante será en la dirección opuesta.
- La magnitud del momento del tubo sensor es directamente proporcional al flujo másico a través de éste.
- En cada lado del lazo se colocan sensores electromagnéticos para medir la velocidad del tubo en esos dos puntos. Cualquier diferencia entre esas dos señales de velocidad es causada por el torcimiento del lazo. Los sensores envían esta información a la unidad electrónica donde es procesada y convertida en una señal de flujo másico.

En los instrumentos de doble tubo, los dos tubos vibran y se tuercen desfasados 180° y el momento combinado determina la rata de flujo másico. El desplazamiento exacto de 180° de un lazo con respecto al otro hace al instrumento inmune a las vibraciones de la tubería.

Relaciones matemáticas en el medidor de flujo por efecto de Coriolis

La relación para calcular el flujo en la tubería a partir de la medida de velocidad del lazo se puede obtener como sigue.

Cuando el fluido fluye en el lazo es forzado a tomar la velocidad vertical creciente (V_V) en el momento que entra al lazo y decreciente cuando sale del mismo, por lo cual aparece la aceleración de Coriolis. La velocidad (V_V) es perpendicular a la velocidad del fluido V_h.
La aceleración de Coriolis esta dada por:

$$a_c = 2V_h\omega$$

donde:

a_c= aceleración de Coriolis
V_h = velocidad del fluido a lo largo del tubo
ω = velocidad angular (movimiento del tubo)

Por la segunda ley de Newton queda:

$$F_c = 2mV_h\omega$$

Donde:

F_c = fuerza de Coriolis
m = masa de fluido

Para determinar el flujo másico se requiere determinar el momento creado en el lazo por la fuerza de Coriolis actuando sobre el mismo, que son F_1 y F_2 actuando en direcciones opuestas sobre el lazo.
El lazo vibra alrededor del eje O-O debido a la acción de la bobina electromagnética y las fuerzas de Coriolis crean un momento oscilatorio (M) alrededor del eje R-R. Este momento viene dado por:

$$M = F_1r_1 + F_2r_2$$

Como $F_1 = F_2 = F_c$ y $r_1 = r_2 = r$ entonces $M = 2Fr$
Combinando las expresiones anteriores se obtiene:

$$M = 4mV_hr\omega$$

La velocidad V_h se define como la longitud por unidad de tiempo:

$$V_h = \frac{L}{\Delta t}$$

donde:

L = longitud del lazo.
Δt = tiempo en que tarda el lazo en pasar dos veces consecutivas por el punto neutro.

La rata de flujo másico (Q) se define como la masa que pasa por un punto dado por unidad de tiempo.

$$Q = \frac{m}{\Delta t}$$

Luego con las dos ecuaciones tenemos que $V_hm = QL$
Sustituyendo en la ecuación del momento obtenemos:

$$M = 4rQL\omega$$

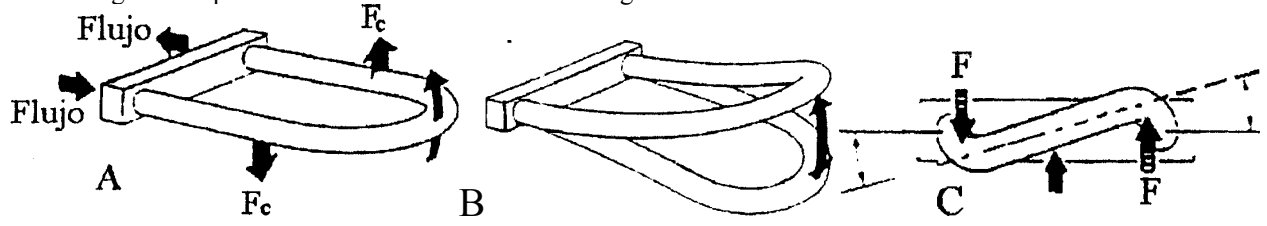
El desplazamiento angular (θ) debido al momento (M) es contrarrestado por la rigidez del tubo sensor.
En general, para cualquier resorte de torsión se cumple:

$$T = K_r\theta$$

Debido a que $T = M$, se obtiene:

$$Q = \frac{K_r\theta}{4rL\omega}$$

Las vibraciones introducidas al lazo por la bobina electromagnética y el momento generado como respuesta al efecto Coriolis originan desplazamientos como se muestra en la figura.



La rata de flujo másico se puede inferir midiendo el desplazamiento angular (θ), para lo cual se deberán utilizar sensores en cada extremo del lazo. Esta medición se hace sensando el tiempo en el que cada sensor detecta el punto medio de su lado respectivo.
La diferencia de tiempo a flujo cero es nula. A medida que el flujo se incrementa, la diferencia de tiempo entre las señales (Δt) también se incrementa. La velocidad del tubo en el punto medio de su recorrido (V_V) se relaciona con (θ) según la siguiente relación trigonométrica:

$$\sin\theta = \frac{V_V(\Delta t/2)}{r}$$

Si (θ) es pequeño éste se aproxima a sin(θ). También, para pequeñas rotaciones V_V es el producto de ω por el largo del tubo (L), luego:

$$\theta = \sin(\theta) = L\omega\,\Delta t/2r$$

Combinando las expresiones anteriores se obtiene:

$$Q = \frac{K_r L\omega\,\Delta t}{8r^2 L\omega} = \frac{K_r \Delta t}{8r^2}$$

De esta última expresión se deduce que el flujo másico es directamente proporcional a las dimensiones físicas del medidor, a la rigidez del tubo y a Δt, y es independiente de la frecuencia de vibración.
La medición de Δt provee una forma directa de medir el flujo másico.

Características generales de los medidores de flujo por efecto Coriolis

1. Miden el flujo másico directamente por lo que su salida no depende de las variaciones de parámetros críticos tales como: presión, temperatura, viscosidad, velocidad o densidad.
2. No poseen sensores intrusivos con partes móviles en la dirección del flujo ni requiere tubería especial para su instalación.
3. Las partes expuestas al flujo se construyen de diversos materiales tales como acero inoxidable 316 y hastelloy C
4. La instalación en línea puede tener cualquier orientación y sin requerimientos de tramos rectos de tubería.
5. Pueden medir flujo en ambas direcciones.
6. Se encuentran disponibles en una variedad de diámetros que pueden llegar hasta 6 pulg. cubriendo rangos de flujo desde 0 a 2 lb/min hasta 0 a 25000 lb/min
7. Poseen una exactitud de ±0.2% a escala completa. Algunos fabricantes dan exactitudes de ±0.1 % con una repetibilidad de ± 0.05%.
8. Pueden medir simultáneamente densidad con una exactitud de ± 0.0005%
9. Pueden medir flujo de fluidos no newtonianos.

Normas de instalación

1. La instalación del instrumento no depende del perfil de velocidad, por lo que no son necesarios tramos rectos ni antes ni después del instrumento. Si se colocan varios instrumentos en serie, éstos deben separarse 15 diámetros como mínimo.
2. No hay limitación en cuanto a la orientación del lazo; sin embargo, se recomienda orientarlo de forma tal que las burbujas de los gases o sedimentos no se acumulen en la región de medición del instrumento. Generalmente se instala el lazo por debajo de la tubería para líquidos y por encima para gases.
3. El diámetro del instrumento debe ser igual o menor que el diámetro de la tubería. No es recomendable instalar el instrumento con un diámetro mayor.
4. Se recomienda el uso de sensores de Hastelloy C para el caso de fluidos corrosivos.
5. Se recomienda la instalación de una válvula de bloqueo de cierre hermético lo mas cerca posible del instrumento (aguas abajo), para la calibración del cero.

Aplicaciones

1. Se pueden utilizar en la medición de flujo de líquidos a alta temperatura, líquidos viscosos y líquidos no conductores. También se pueden utilizar en gases corrosivos, a altas temperaturas y/o presiones.
2. Es adecuado para la medición de flujo pulsante, así como para la medición de flujo de dos fases; aunque en esta última aplicación se debe estudiar con sumo cuidado su utilización.

3. Debido a su capacidad de medir flujos no newtonianos, se utiliza mucho en la industria de alimentos.

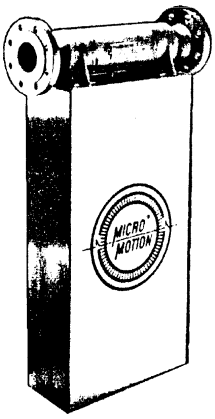
Ventajas y desventajas del medidor de Coriolis

Ventajas:

- Por no poseer partes móviles son de fácil mantenimiento y su exactitud no es afectada por la erosión, corrosión o recubrimiento del sensor.
- Son fáciles de instalar y de purgar.
- Poseen una alta exactitud en la medición.

Desventajas:

- Su utilización en la medición de flujo de gases es limitada.
- Su utilización es limitada en aplicaciones de medición de flujo en tuberías de diámetros superiores a 6 pulg. debido al tamaño de los sensores.
- Son costosos, por lo que no se recomienda para aplicaciones sencillas en las cuales no se requiera de exactitud y en las que se pueda utilizar satisfactoriamente otro medidor.
- Las constantes vibraciones pueden originar fallas en la soldadura del lazo.



Ejemplo de medidor de flujo por Efecto Coriolis

Guía para la selección técnica de medidores de flujo

APLICACIONES

	Líquido limpio	Líquido sucio	Líquido viscoso	Fluido corrosivo	Flujo tipo slurry	Gases limpios	Gases sucios	Vapor
Placa de orificio	☻					☻		☻
Tobera	☻	□		□		☻	□	□
Venturi	☻	□		□	□	☻	□	□
Rotámetro	☻	□	□	□		☻		□
Turbina	☻		□	□		☻		☻
Tiempo de transito	☻		□	☻				
Doppler	□	☻	□	☻	☻			
Desplazamiento positivo	☻	□	☻	□		☻		
Magnético	☻	☻	☻	☻	☻			
Coriolis	☻	☻	☻	□	☻	□	□	□
Térmico	□			□	□	☻	□	

☻ : Recomendado □: Aplicación limitada

CARACTERISTICAS

	Tamaños disponibles	Exactitud óptima	Limitación por Reynolds	Pérdida de presión	Costo relativo	Diámetros aguas arriba	Instalación	Mantenimiento
Placa de orificio	> 1”	0.75%	> 30.000	H	L	10-30D	M-H	M-H
Tobera	> 2”	1-0.5%	> 75.000	H	M	10-30D	M	L
Venturi	> 2”	1%	> 75.000	L	H	5-10D	M	L
Rotámetro	≤ 3”	2%	N	M	L	N	L	L
Turbina	> 0.25”	0.5%	≤ 2 cSt	H	M	10-20D	L	M-H
Tiempo de transito	> 0.5 %	2-5%	N	L	M	5-20D	L	L
Doppler	> 0.5”	2-5%	N	L	M	5-20D	L	L
Desplazamiento Positivo	< 12”	1%	≤ 8000 cSt	H	H	N	H	H
Magnético	> 1”	0.5%	N	L	H	5D	H	M
Coriolis	< 6”	0.25%	N	M	H	N	H	L-M
Térmico	> 2”	1-0.5%	> 0.001 pie/seg	M	M	10 m	M	M

N: Ninguno L: bajo M: medio H: alto