

*Colegio Salesiano de Concepción  
Escuela Industrial " San José "  
Departamento de Electrónica*

# **MEDICIÓN DE CAUDAL**

Preparado por: Cristhian Beltrán Provoste

En la mayor parte de las operaciones realizadas en los procesos industriales y en las efectuadas en laboratorio y en plantas piloto es muy importante la medición de los caudales de líquidos o de gases.

Existen varios métodos para medir el caudal según sea el tipo de caudal volumétrico o másico deseado. Entre los transductores más importantes figuran los siguientes:

### **Medidores volumétricos**

- ***De presión diferencial***
  - Placa orificio
  - Tobera
  - Tubo Venturi
  - Tubo Pitot
  - Tubo Annubar
- ***De área variable***
  - Rotámetro
- ***De velocidad***
  - Vertedero con flotador en canales abiertos
  - Caudalímetro de Turbina
  - Caudalímetro ultrasónicas
- ***De Fuerza***
  - Placa de impacto
- ***De tensión inducida***
  - Caudalímetro magnético
- ***De desplazamiento positivo***
  - Caudalímetro de disco oscilante
  - Caudalímetro de pistón oscilante
  - Caudalímetro de pistón alternativo
  - Caudalímetro rotativo
  - Caudalímetro de paredes deformables
- ***De torbellino***
  - Medidor de frecuencia de termistancia, o condensador o ultrasonidos
- ***Oscilante***
  - Válvula oscilante

### **Medidores de caudal másico**

- ***Térmico***
  - Diferencia de temperaturas en dos sondas de resistencia
- ***Fuerza de Coriolis***
  - Tubo en vibración

### Medidores volumétricos

Los medidores volumétricos determinan el caudal en volumen del fluido, bien sea directamente (desplazamiento), bien indirectamente por deducción (presión diferencial, área variable, velocidad, fuerza, tensión inducida, torbellino).

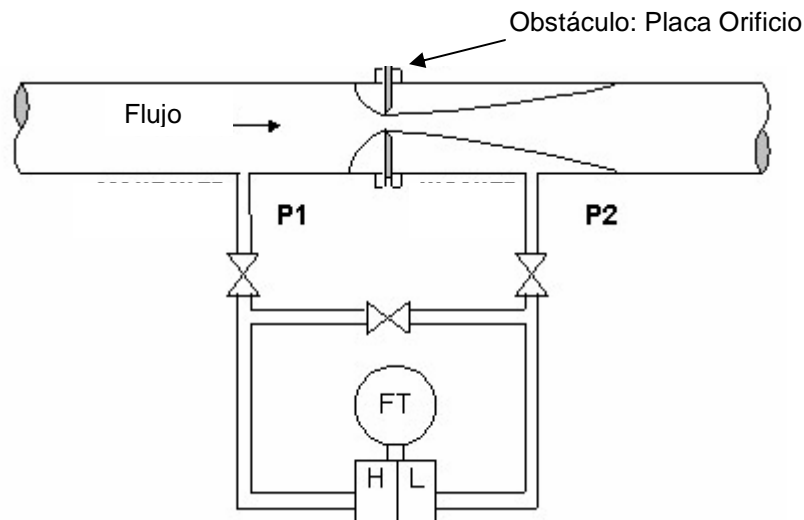
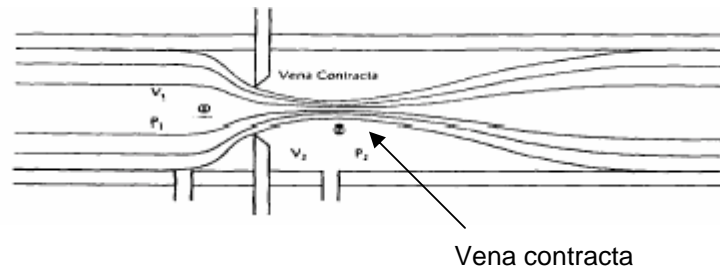
Hay que señalar que la medida del caudal volumétrico en la industria se efectúa principalmente con elementos que dan lugar a una presión diferencial al paso del fluido. Entre estos elementos se encuentran la placa-orificio, la tobera y el tubo Venturi.

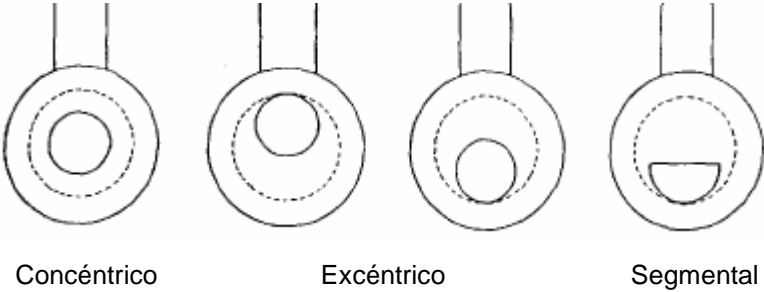
### Instrumentos de presión diferencial

**Placa Orificio;** consiste en una placa perforada instalada en la tubería. Dos tomas conectadas en la parte posterior de la placa, captan la presión diferencial la cual es proporcional al cuadrado del caudal.

El orificio de la placa puede ser concéntrico, excéntrico o segmental, con un pequeño orificio de purga o venteo para los pequeños arrastres sólidos o gases que pueda llevar el fluido. Las dos últimas placas permiten medir caudales de fluidos que contengan una cantidad pequeña de sólidos. La precisión obtenida con la placa es del orden del 1 al 2%.

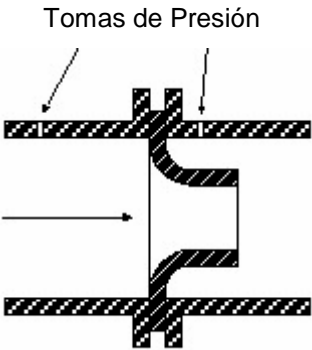
Contracción de la vena del fluido debido a un elemento estrangulador



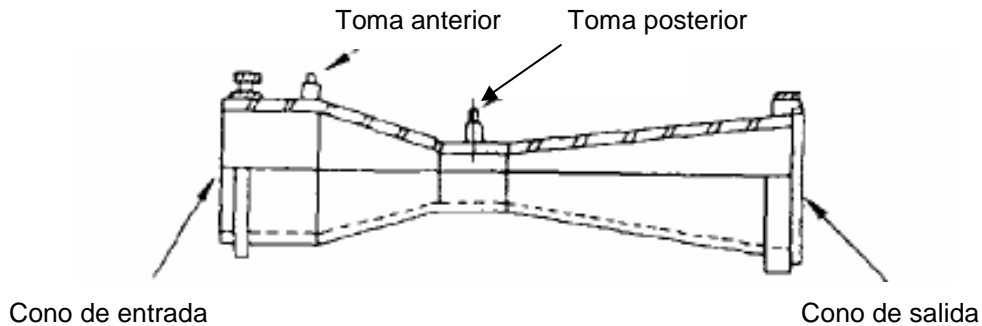


Tipo	Aplicación
A	Gases o líquidos limpios. Pequeños orificios de drenaje o venteo para eliminar pequeñas cantidades de líquidos o gas
B	Líquidos con considerables cantidades de gas
C	Gases con considerable cantidad de líquido condensado. Líquidos con arrastre de sólidos
D	Líquidos con posible sedimentación de sólidos.

**Tobera;** está situada en la tubería con dos tomas, una anterior y otra en el centro de la sección más pequeña. La tobera permite caudales 60% superiores a los de la placa-orificio en las mismas condiciones de servicio. Su pérdida de carga es de 30 a 80% de la presión diferencial. Puede emplearse para fluidos que arrastren sólidos en pequeña cantidad, si bien, si estos sólidos son abrasivos, pueden afectar la precisión del instrumento. El costo de la tobera es de 8 a 16 veces el de una placa-orificio y su precisión es del orden del 0,95 a 1,5%.



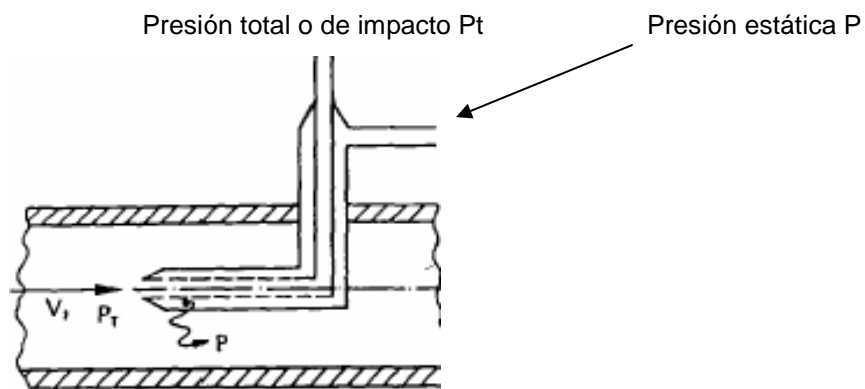
**Tubo Venturi;** permite la medición de caudales 60% superiores a los de la placa-orificio en las mismas condiciones de servicio y con una pérdida de carga de sólo 10 a 20% de la presión diferencial. Posee una gran precisión y permite el paso de fluidos con un porcentaje relativamente grande de sólidos, si bien, los sólidos abrasivos influyen en su forma afectando la exactitud de la medida. El costo del Tubo Venturi es elevado, del orden de 20 veces el de una placa-orificio y su precisión es del orden de 0,75%.



**Tubo Pitot;** mide la diferencia entre la presión total y la presión estática, o sea, la presión dinámica, la cual es proporcional al cuadrado de la velocidad.

El tubo Pitot es sensible a las variaciones en la distribución de velocidades en la sección de la tubería, de aquí que en su empleo es esencial que el flujo sea laminar disponiéndolo en un tramo recto de tubería. La máxima exactitud en la medida se consigue efectuando varias medidas en puntos determinados y promediando las raíces cuadradas de las velocidades medidas.

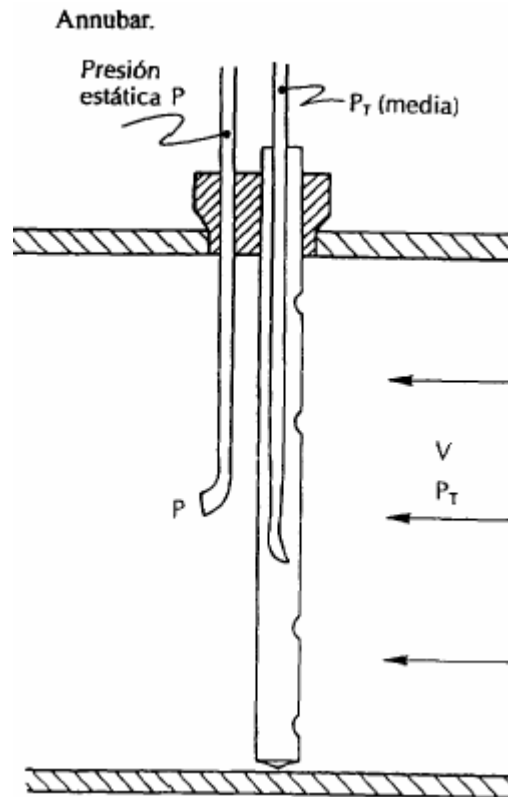
Su presión es baja, del orden del 1,5 al 4%, y se emplea normalmente para la medición de grandes caudales de fluidos limpios con una baja pérdida de carga.



**Tubo Annubar;** es una innovación del tubo Pitot y consta de dos tubos, el de presión total y el de presión estática. El tubo que mide la presión total está situado a lo largo de un diámetro transversal de la tubería y consta de varios orificios de posición crítica determinada por computador, que cubren cada uno la presión total en un anillo de área transversal de la tubería. Estos anillos tienen áreas iguales. En tuberías de tamaño mayor que 1" se dispone en el interior del tubo otro que promedia las presiones obtenidas en los orificios.

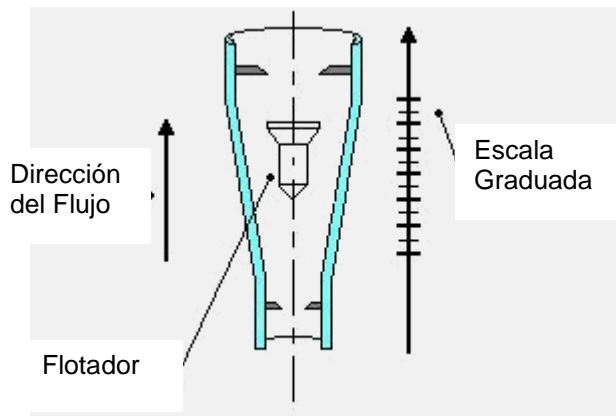
El tubo que mide la presión estática se encuentra detrás del de presión total con su orificio en el centro de la tubería y aguas abajo de la misma.

El tubo Annubar es de mayor precisión que el tubo Pitot, del orden del 1%, tiene una baja pérdida de carga y se emplea para la medida de pequeños o grandes caudales de líquidos y de gases.



### Instrumentos de área variable

**Rotámetro;** son medidores de caudal de área variable en los cuales un flotador cambia su posición dentro de un tubo, proporcionalmente al flujo del fluido.



Los tubos empleados en los rotámetros pueden ser de vidrio y metálicos. Los fabricantes los mecanizan de tal modo que queda asegurada la intercambiabilidad de los diversos tubos y flotadores a fin de obtener caudales correspondientes sin necesidad de calibrar individualmente cada Rotámetro.

Los tubos de vidrio pueden ser con nervios interiores que sirven para guiar el flotador. Los metálicos son siempre cónico lisos y precisan de extensión por no tener una lectura directa.

Los tubos tienen una conicidad que viene expresada como la relación entre el diámetro interno del tubo en la escala máxima y el diámetro de la cabeza del flotador. Esta relación varía entre 1,20 a 1,35.

Los flotadores pueden tener varios perfiles de construcción:

- Esféricos para bajos caudales y poca precisión, con una influencia considerable de la viscosidad del fluido.
- Cilíndricos con borde plano para caudales medios y elevados con una influencia media de la viscosidad del fluido.
- Cilíndrico, con borde saliente, de cara inclinada contra el flujo con menor influencia de la viscosidad que, por sus características de caudal, puede compararse a una tobera.
- Cilíndrico, con bordes salientes contra el flujo y con la mínima influencia de la viscosidad del flujo, que por su funcionamiento, puede compararse a una placa-orificio.

El material más empleado en los flotadores es el acero inoxidable 316 si bien, para satisfacer la gran variedad de requerimientos de resistencia a la corrosión que se presentan en la industria se utilizan también otros metales como el aluminio, bronce, monel, níquel, hastelloy, plomo y tantalio. Se utilizan también flotadores de plástico, si bien se prefieren los metálicos por su mayor facilidad de mecanización del borde superior.

Las escalas de los rotámetros están grabadas en una escala de latón o de aluminio montada a lo largo del tubo y situada en coincidencia con la línea de cero del tubo o bien directamente en el tubo de vidrio. La escala puede estar grabada en unidades directas del caudal (referido siempre a unas condiciones de servicio dadas) o bien en porcentaje de 10 a 100% de la escala total. En este último caso, se añade un factor de multiplicación a todas las lecturas para convertir a unidades de caudal en volumen o peso del fluido. Otra forma de graduar la escala es en mm acompañando una curva de calibración caudal-lectura en mm para determinar el caudal del fluido. La curva de calibración se emplea en rotámetros de pequeña capacidad en los cuales el caudal no es lineal dentro del intervalo del campo de medida 10 a 1.

## De Velocidad

**Vertederos;** se utilizan para medir caudales en canales abiertos y se encuentran en formas variadas. Estos provocan una diferencia de alturas del líquido en el canal entre la zona anterior del vertedero y su punto más bajo. El vertedero debe formar un ángulo recto con la dirección del caudal y el canal aguas arriba debe ser recto como mínimo en una distancia de 10 veces la anchura. La diferencia de alturas debe medirse en un punto aguas arriba lo suficientemente alejado como para no ser influido por la curva de bajada de la superficie del agua y es conveniente incluso utilizar un pozo de protección (tubería de diámetro ligeramente mayor que el flotador) para el flotador del instrumento de medida, caso de utilizar este sistema.

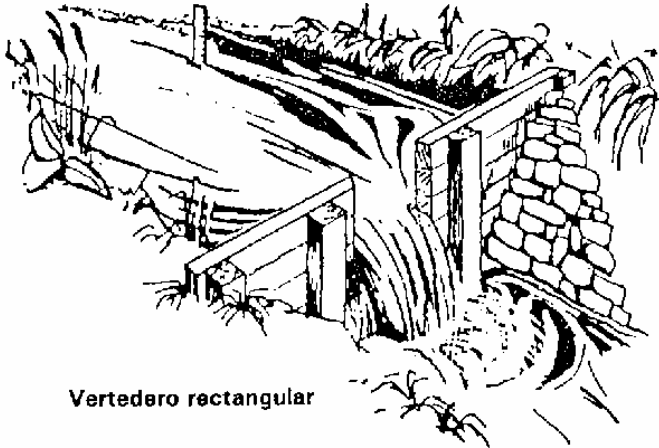
Los vertederos más utilizados son los siguientes tipos:

- Rectangular con contracción lateral, simple y fácil de construir y el más económico. Es apto para la medida de caudales de 0 - 60 m<sup>3</sup>/h a 0 – 2000 m<sup>3</sup>/h.
- Triangular o en V, que consiste en una placa con corte en V de vértice dirigido hacia abajo y con cada lado igualmente inclinado respecto a la vertical. A igualdad de tamaño, su campo de medida es más amplio que el de los otros vertederos. Es capaz de medir caudales dentro del intervalo 0 – 30 m<sup>3</sup>/h a 0 – 2300 m<sup>3</sup>/h.
- Cipolletti o trapezoidal con la ranura en forma de trapecio invertido. La pendiente de los lados del trapecio corrige las contracciones laterales del manto de agua y el caudal es por lo tanto proporcional a la altura de la cresta. Su campo de medida equivale al del vertedero rectangular.
- El vertedero Parshall o Venturi se emplea normalmente en aquellas aplicaciones en las que un vertedero normal no es siempre adecuado tal como ocurre cuando el líquido transporta sólidos o sedimentos en cantidad excesiva, o bien cuando no existe altura de presión suficiente, o bien cuando no es posible construir un tramo recto de longitud suficiente (un mínimo de 10 veces la anchura del canal). Puede utilizarse para caudales superiores a 0 – 30 m<sup>3</sup>/h.

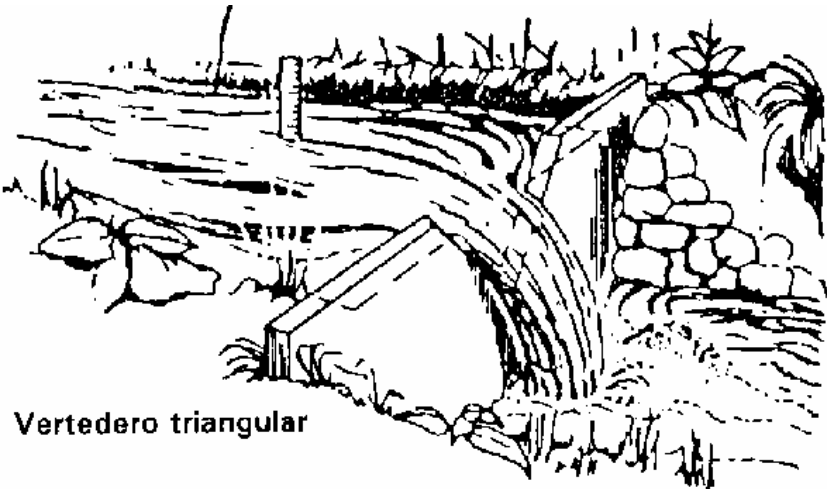


Un instrumento de flotador, o bien de burbujeo, mide la diferencia de alturas dada y puede indicar, regular y registrar directamente el caudal o bien transmitirlo a distancia con un transmisor.

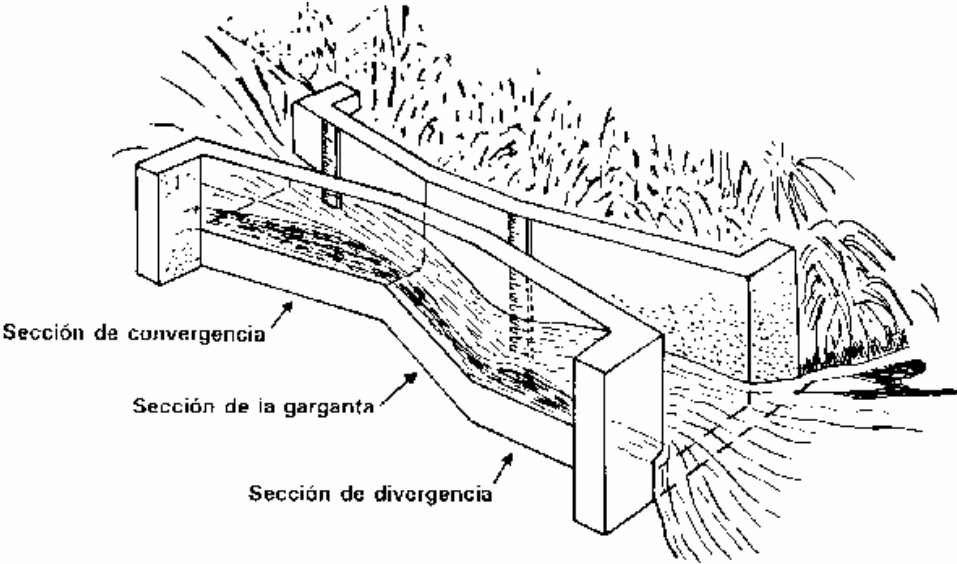




Vertedero rectangular



Vertedero triangular



Vertedero Parshall

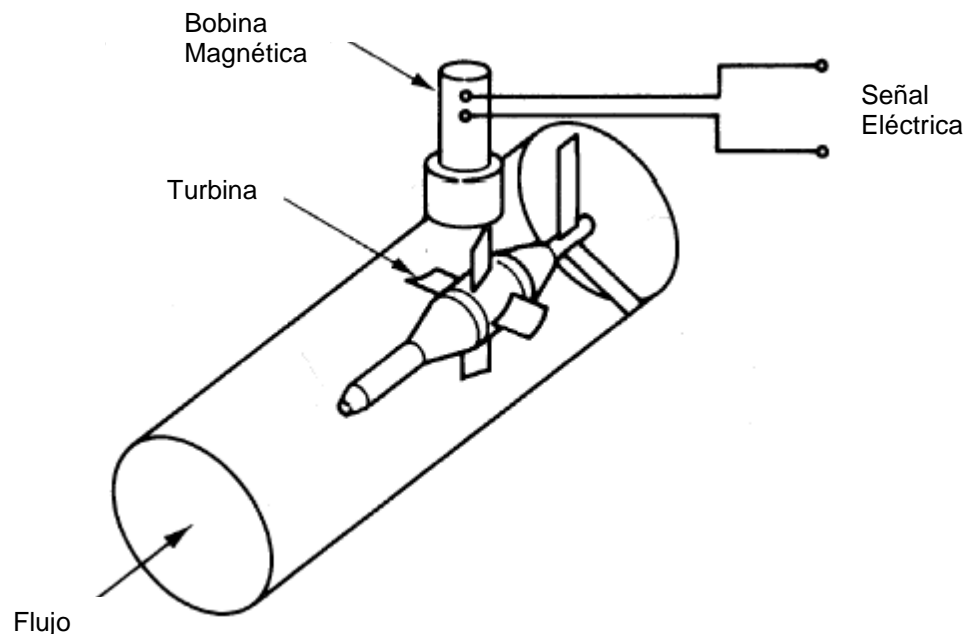
**Caudalímetro de Turbina;** consiste en un rotor que gira al paso del fluido con una velocidad directamente proporcional al caudal. La velocidad del fluido ejerce una fuerza de arrastre en el rotor; la diferencia de presiones debida al cambio de área entre el rotor y el cono posterior ejerce una fuerza igual y opuesta. De este modo el rotor está equilibrado hidrodinámicamente y gira entre los conos anterior y posterior sin necesidad de utilizar rodamientos axiales evitando así un rozamiento que necesariamente se produciría.

Existen dos tipos de convertidores para captar la velocidad de la turbina. En el de reluctancia la velocidad viene determinada por el paso de las palas individuales de la turbina a través del campo magnético creado por un imán permanente montado en una bobina captadora exterior. El paso de cada pala varía la reluctancia del circuito magnético. Esta variación cambia el flujo induciendo en la bobina captadora una corriente alterna que, por lo tanto es proporcional al giro de la turbina.

En el tubo inductivo el rotor lleva incorporado un imán permanente y el campo magnético giratorio que se origina induce una corriente alterna en una bobina captadora exterior.

En ambos casos, la frecuencia que genera el rotor de turbina es proporcional al caudal siendo del orden de 250 a 1200 ciclos por segundo para el caudal máximo. Por ejemplo, si un rotor de seis palas gira a 100 revoluciones por segundo, genera 600 impulsos por segundo. El número de impulsos por unidad de caudal es constante. La turbina está limitada por la viscosidad del fluido.

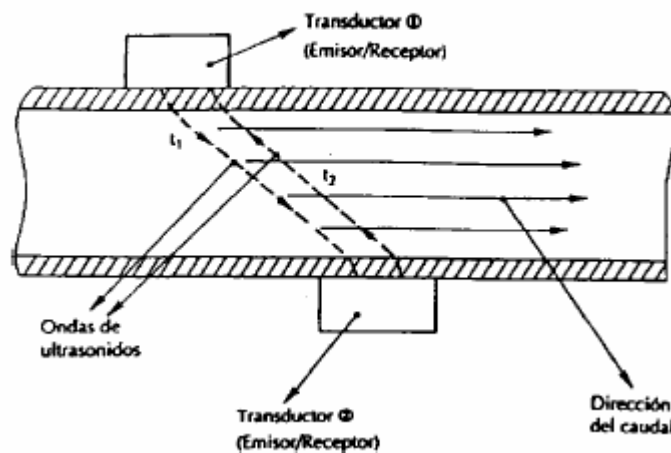
La precisión es muy elevada, del orden del 0,3%. La máxima precisión se consigue con un régimen laminar instalando el instrumento en una tubería recta de longitudes mínimas 15 diámetros aguas arriba y 6 diámetros aguas abajo. El instrumento es adecuado para medida de caudales de líquidos limpios o filtrados. Debe instalarse de tal modo que no se vacíe cuando cesa el caudal ya que el choque del agua a alta velocidad contra el medidor vacío lo dañaría seriamente. La sobrevelocidad por exceso de caudal puede ser también perjudicial para el instrumento. La frecuencia generada por el medidor de turbina se transmite a un convertidor indicador o totalizador.



**Caudalímetro Ultrasonico;** miden el caudal por diferencia de velocidades del sonido al propagarse éste en el sentido del flujo y en el sentido contrario. Los sensores están situados en una tubería de la que se conocen el área y el perfil de velocidades. Los principios de funcionamiento de estos instrumentos son variados, como:

- Desviación de haz de sonido emitido por un transmisor perpendicular a la tubería, el cual se utiliza para líquidos limpios.
- Método Doppler. Se proyectan ondas sónicas a lo largo del flujo del fluido y se mide el corrimiento de frecuencia que experimenta la señal de retorno al reflejarse el sonido en partículas contenidas en el fluido. El método viene limitado por la necesidad de la presencia de partículas, pero permite medir algunos caudales de fluidos difíciles tales como mezclas gas-líquido, fangos, etc.

### Medidor de caudal por ultrasonidos.



En todos estos sistemas, se utilizan transductores piezoeléctricos tanto para la emisión como para la recepción de las ondas ultrasónicas.

Los transductores sónicos tienen una precisión de 2% y un intervalo de medida de caudales de 20 a 1 con una escala lineal. Son adecuados en la medida de la mayor parte de líquidos, en particular en los líquidos con sólidos en suspensión con la salvedad de que las partículas o las burbujas de aire que pueda contener el líquido no deben compararse en tamaño con la longitud de la onda acústica. Son sensibles a los cambios de densidad del líquido que varían la velocidad del sonido (por ejemplo, la velocidad en el seno del agua varía 0,2% por cada grado centígrado).

### De fuerza

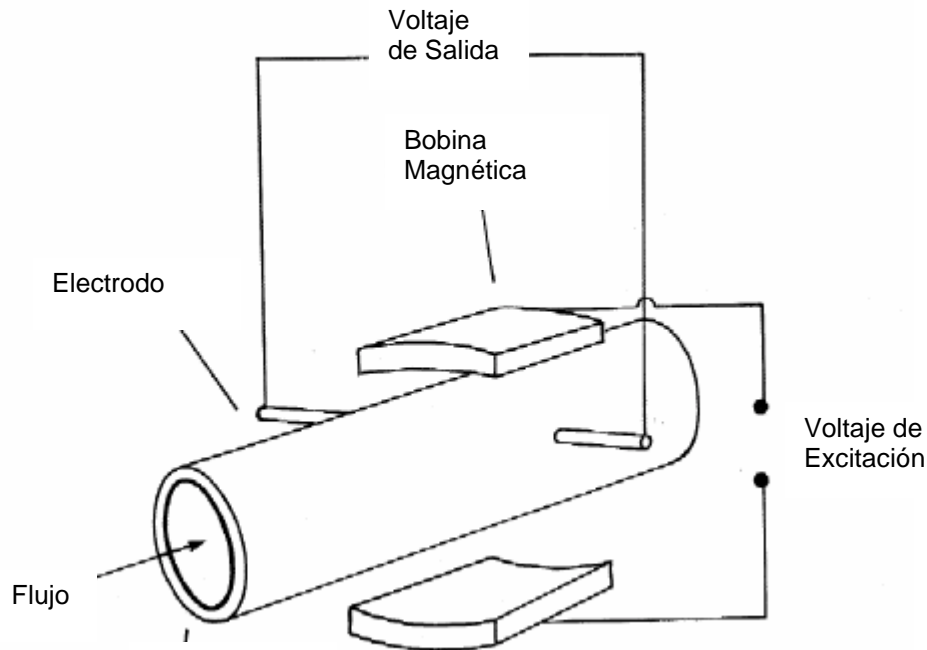
**Placa de impacto;** consiste en una placa instalada directamente en el centro de la tubería y sometida al empuje del fluido.

La fuerza originada es proporcional a la energía cinética del fluido y depende del área anular entre las paredes de la tubería y la placa. La placa está conectada a un transductor eléctrico de galgas extensométricas. Las galgas forman parte de un puente de Wheatstone de tal modo que la variación de resistencia es una función del caudal. El caudal es proporcional a la raíz cuadrada de la fuerza de impacto del fluido sobre la placa y por lo tanto, a la raíz cuadrada de la señal transmitida.

La precisión en la medida es de 1%. El instrumento permite el paso de fluidos con pequeñas cantidades de sólidos en suspensión y puede medir caudales que van de un mínimo de 0,3 l/min hasta 40.000 l/min.

### De tensión inducida

**Caudalimetro magnético;** el principio de funcionamiento se basa en la Ley de inducción electromagnética de Faraday. Un campo magnético perpendicular al caudal de medición crea una excitación en dos bobinas ubicadas paralelamente por fuera de la cañería. Al pasar el flujo por el campo magnético creado por las bobinas, se induce una f.e.m. la cual es proporcional a la velocidad del flujo y por consiguiente al caudal.



En el caudalimetro magnético el conductor es el líquido y la f.e.m. es la señal generada, esta señal es captada por dos electrodos rasantes con la superficie interior del tubo y diametralmente opuestos.

La conductividad del fluido es la única característica propia del líquido que puede limitar el empleo del caudalimetro magnético. El sistema electrónico utilizado en el elemento y en el receptor permite medir caudales de líquidos que tengan una conductividad superior a 3 micromhos/cm. No obstante, en casos especiales puede trabajarse con valores menores, añadiendo al circuito de medida un preamplificador adicional (acondicionador de señal), alcanzándose una conductividad mínima de 3 micromhos/cm. Con electrodos planos, sin contacto con el líquido, aislados dentro de las capas del material del revestimiento y acoplados capacitivamente con el proceso, es posible medir caudales de líquidos con conductividades tan bajas como 0,05 micromhos/cm.

Características de los caudalímetros magnéticos:

- Se utilizan para cualquier fluido que sea conductor
- Se utiliza para fluidos espesos y contaminados
- Su medición es lineal
- No necesita restricciones en la línea
- No tiene partes móviles

- No se necesitan cañerías rectas aguas arriba o aguas abajo
- No se necesita un límite de presión en la línea
- El rango de medición se puede cambiar en el transmisor acoplado al caudalímetro
- Mide caudal en ambos sentidos
- Mide diferentes tipos de líquidos sin necesidad de volver a calibrar para cada caso
- Se puede montar casi en cualquier posición
- El costo de instalación es relativamente bajo
- Es resistente a la corrosión

### De desplazamiento positivo

Los caudalímetros de desplazamiento positivo miden el caudal en volumen contando o integrando volúmenes separados del líquido. Las partes mecánicas del instrumento se mueven aprovechando la energía del fluido y dan lugar a una pérdida de carga. La presión depende de los huelgos entre las partes móviles y las fijas y aumenta con la calidad de la mecanización y con el tamaño del instrumento.

Existen cuatro tipos básicos de caudalímetros de desplazamiento positivo:

- Disco oscilante
- Pistón oscilante
- Pistón alternativo
- Rotativos
- De paredes deformables

**Caudalímetro de pistón oscilante;** el instrumento dispone de una cámara circular con un disco plano móvil dotado de una ranura en la que está intercalada una placa fija. Esta placa separa la entrada de la salida e impide el giro del disco durante el paso del fluido. La cara baja del disco está siempre en contacto con la parte inferior de la cámara en el lado opuesto. De este modo la cámara está dividida en compartimentos separados de volumen conocido.

Cuando pasa el fluido, el disco toma un movimiento parecido al de un trompo caído de modo que cada punto de su circunferencia exterior sube y baja alternativamente estableciendo contacto con las paredes de la cámara desde su parte inferior. Este movimiento de balanceo se transmite mediante el eje del disco e un tren de engranajes. El par disponible es pequeño, lo que pone un límite en la utilización de accesorios mecánicos. Empleado originalmente en aplicaciones domésticas para agua, se utiliza industrialmente en la medición de caudales de agua fría, agua caliente, aceites y líquidos alimenticios. La precisión es de 1 – 2 %. El caudal máximo es de 600 l/min y se fabrica para pequeños tamaños de tubería.

**Caudalímetro de pistón oscilante;** se compone de una cámara de medida cilíndrica con una placa divisora que separa los orificios de entrada y salida. La única parte móvil es un pistón cilíndrico que oscila suavemente en un movimiento circular entre las dos caras planas de la cámara, y que está provisto de una ranura que desliza en la placa divisora fija que hace de guía del movimiento oscilante. El eje del pistón al girar, transmite su movimiento a un tren de engranajes y a un contador. El par disponible es elevado de modo que el instrumento puede accionar los accesorios mecánicos que sean necesarios.

La precisión normal es de 1 % pudiéndose llegar a 0,2 % con pistón metálico y 0,5 % con pistón sintético, dentro de un margen de caudal de 5 : 1.

Se fabrican para tamaños de tubería hasta 2" con caudales máximos de 600 l/min.

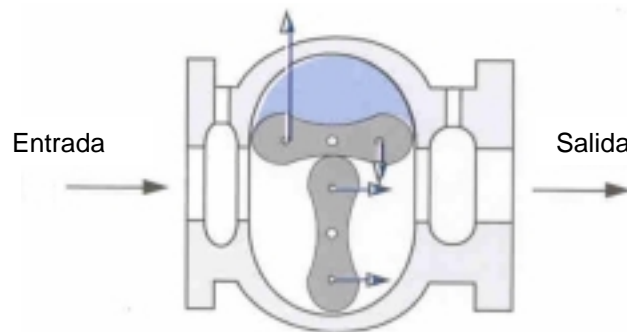
Se aplican en la medición de caudales de agua y de líquidos viscosos o corrosivos.

**Caudalímetro de pistón alternativo;** es el más antiguo de los medidores de desplazamiento positivo. El instrumento se fabrica en muchas formas: de varios pistones, pistones de doble acción, válvulas rotativas, válvulas deslizantes horizontales. Estos instrumentos se han empleado mucho en la industria petroquímica y pueden alcanzar una precisión del orden de 0,2 %.

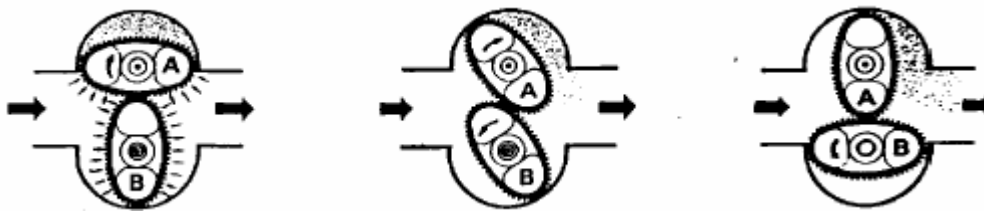
Su capacidad es pequeña comparada con los tamaños de otros medidores. Su costo inicial es alto, dan una pérdida de carga alta y son difíciles de reparar.

**Caudalímetro rotativo;** este instrumento tiene válvulas rotativas que giran excéntricamente rozando con las paredes de una cámara circular y transportan el líquido en forma incremental de la entrada a la salida. Se emplean mucho en la industria petroquímica para la medida de crudos y de gasolina con intervalos de medida que van de unos pocos l/min de líquidos limpios de baja viscosidad hasta 64.000 l/min de crudos viscosos.

Hay varios tipos de medidores rotativos, siendo los más empleados, los cicloidales, los de dos rotores (birrotor) y los ovales.



**Caudalímetro Cicloidal**



**Caudalímetro Oval**

**Caudalímetro de paredes deformables;** también llamado de membrana o de fuelle, está formado por una envoltura a presión con orificios de entrada y salida que contiene el grupo medidor formado por cuatro cámaras de medición.

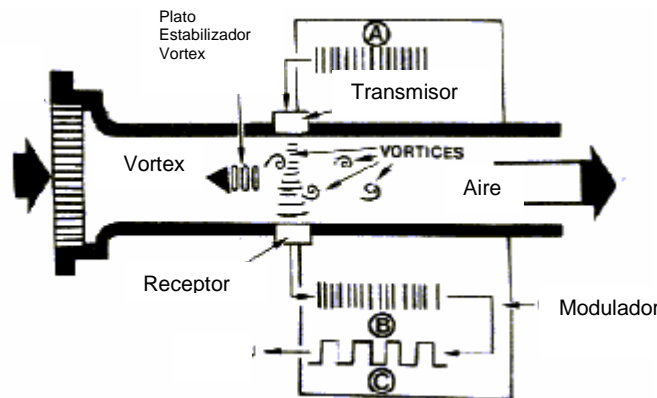
**Caudalimetro de Torbellino y Vórtex;** el medidor de caudal por torbellino se basa en la determinación de la frecuencia del torbellino producido por una hélice estática situada dentro de la tubería por donde pasa el fluido (líquido o gas). La frecuencia del torbellino es proporcional a la velocidad del fluido.

La detección de la frecuencia se logra con sensores de presión de cristales piezoeléctricos que detectan los picos de presión en el lado contrario del torbellino, o con una termistancia de muy baja inercia térmica que sigue los efectos de refrigeración del torbellino generado en el gas, o bien mediante un condensador de capacidad variable, función de la deformación de un diafragma (placa) ante las ondas de presión del torbellino o bien mediante la aplicación de un haz de ultrasonidos perpendicularmente al torbellino, midiendo el tiempo de tránsito del haz desde el transmisor al receptor.

Los transductores de torbellino son adecuados en la medida de caudales de gases y de líquidos y su intervalo de medida entre el valor máximo y el mínimo es de 50 a 1. Deben instalarse en tubería recta con longitudes mínimas de 10 diámetros aguas arriba y de 5 diámetros aguas abajo. El medidor debe instalarse perfectamente alineado con la tubería para asegurar la formación correcta de torbellinos.

La precisión del instrumento es de 0,2 % del caudal instantáneo, por lo cual el error en tanto por ciento de la escala se hace mayor cuanto más bajo es el caudal.

Los instrumentos de vórtex son parecidos al de torbellino, excepto que están basados en el efecto Von Karman donde un cuerpo en forma de cono genera alternativamente vórtices (áreas de baja presión e inestabilidad) desfasados en  $180^\circ$ , cuya frecuencia es directamente proporcional a la velocidad, y por lo tanto, al caudal. La precisión es de 1 %.



**Caudalimetro oscilante;** consiste en un pequeño orificio situado en el cuerpo del medidor, que genera una presión diferencial y provoca el paso del fluido por el área de medida. Ésta contiene una válvula oscilante que perturba la circulación del fluido. A medida que este flujo turbulento pasa a través de la abertura se crea una zona de baja presión detrás de la válvula, con lo que ésta oscila a una frecuencia directamente proporcional al caudal. Un transductor de impulsos capta las oscilaciones de la válvula e indica el caudal.

El caudalimetro oscilante es adecuado en la medida de caudales de fluidos con partículas en suspensión, y en las mezclas de líquidos y gases provocadas por vaporizaciones imprevistas del líquido al bajar la presión. Su precisión es del orden del 0,5 %.

**Medidores de caudal masa**

Si bien en la industria se utilizan normalmente medidores volumétricos de caudal, con el caudal determinado en las condiciones de servicio, o bien compensado según la presión, la temperatura o la densidad tal como se ha estudiado anteriormente, en ocasiones interesa aprovechar características medibles de la masa. En este caso existen dos tipos básicos, los instrumentos térmicos y los de Coriolis.

**Caudalímetro térmico;** se basan comúnmente en dos principios físicos:

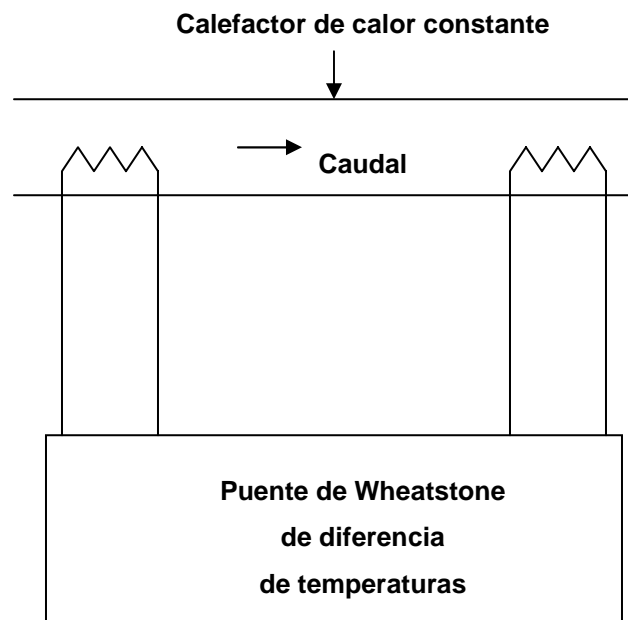
- a) La elevación de temperatura del fluido en su paso por un cuerpo caliente, y
- b) La pérdida de calor experimentada por un cuerpo caliente inmerso en el fluido.

De los dos principios, el más utilizado industrialmente es el primero debiendo señalar que el primer instrumento de esta clase fue proyectado por Thomas en 1911 para medir el caudal masa de gas en una tobera. Por este motivo estos aparatos reciben también el nombre de medidores de caudal Thomas.

El caudalímetro térmico consta de una fuente eléctrica de alimentación de precisión que proporciona un calor constante al punto medio del tubo por el cual circula el caudal. En puntos equidistantes de la fuente de calor se encuentran sondas de resistencia para medir la temperatura. Cuando el fluido está en reposo, la temperatura es idéntica en las dos sondas. Cuando el fluido circula, transporta una cantidad de calor hacia el segundo elemento, y se presenta una diferencia de temperaturas que va aumentando progresivamente entre las dos sondas a medida que aumenta el caudal. Esta diferencia es proporcional a la masa que circula a través del tubo.

El sistema está conectado a un puente de Wheatstone que determina la diferencia de temperaturas y la amplifica con una señal de salida de 0-5 Vcc en 1000 ohmios de impedancia. Esta señal puede ser utilizada en registradores, indicadores digitales y controladores que pueden estar situados hasta 300 m del instrumento.

La precisión es de 1 % y se utiliza para caudales bajos de gas que van según los modelos de 0-10 cm<sup>3</sup>/min.





**Caudalímetro de Coriolis;** se basa en la generación de la fuerza de Coriolis, la cual es producida por la inversión de las velocidades lineales del fluido mediante la desviación de un lazo en forma de omega ( $\Omega$ ) en estado de vibración controlada (a la frecuencia de resonancia para reducir la energía requerida). La vibración del tubo, perpendicular al sentido de desplazamiento del fluido, crea una fuerza de aceleración en la tubería de entrada del fluido y una fuerza de desaceleración en la salida, con lo que se genera un par cuyo sentido va variando de acuerdo con la vibración y con el ángulo de torsión del tubo, que es directamente proporcional a la masa instantánea de fluido circulante.

