

Información Importante

La Universidad Santo Tomás, informa que el(los) autor(es) ha(n) autorizado a usuarios internos y externos de la institución a consultar el contenido de este documento a través del catálogo en línea, página web y Repositorio Institucional del CRAI-USTA, así como en las redes sociales y demás sitios web de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.

Se permite la consulta a los usuarios interesados en el contenido de este documento, para todos los usos que tengan **finalidad académica**, siempre y cuando mediante la correspondiente cita bibliográfica se le dé crédito al trabajo de grado y a su autor, nunca para usos comerciales.

De conformidad con lo establecido en el Artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, la Universidad Santo Tomás informa que “los derechos morales sobre documento son propiedad de los autores, los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.”

Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación, CRAI-USTA
Universidad Santo Tomás, Bucaramanga

Medidores de flujo para bancos de pruebas de laboratorios

Hader Yobany Cabrera Guarín

Monografía para optar el título de ingeniero mecatrónico

Director

Deisy Paez

Ing. Electrónica

Universidad Santo Tomás, Bucaramanga

División de ingenierías

Ingeniería mecatrónica

2021

Contenido

	Pág.
Introducción	7
1. Medidores De Flujo Para Bancos De Pruebas De Laboratorios.....	8
2. Marco teórico.....	8
3. Medidores De Flujo Volumétricos.....	10
3.1 Medidores de carga variable o presión diferencial.....	10
3.1.1 Tubo de Venturi.....	10
3.1.2 Boquilla de flujo	11
3.1.3 Placas de orificio	12
3.1.4 Tubos de flujo	14
3.2 Medidores de área variable	14
3.2.1 Rotámetro	14
3.3 Medidores de velocidad	15
3.3.1 Medidor de flujo de vórtice	15
3.3.2. Medidores de flujo de turbina.....	16
3.3.3 Medidor de flujo ultrasónico	17
3.4 Medidores de tensión inducida.....	19
3.4.1 Medidor de flujo magnético	19
4. Medidores de caudal	19
4.1 Fuerza de Coriolis	19
4.2 Térmico	20
Referencias.....	22

Resumen

En la presente monografía se estudia la medición de la variable flujo en cualquier tipo de líquido, además se dan ejemplos de las diferentes clases de medidores a nivel comercial con el fin de que los estudiantes de la universidad Santo Tomas se familiaricen un poco con estos instrumentos de medición.

Palabras Clave: Flujo, caudal, líquidos, fluxómetro, tubos, transmisor.

Abstract

In this monograph, the measurement of the flow variable in any type of liquid is studied, in addition, examples of the different classes of meters at a commercial level are given in order for the students of the Santo Tomas University to become a little familiar with these instruments. measurement.

Keywords: Flow, liquids, flushometer, tubes, transmitter.

Glosario

Transmisores: El propósito del transmisor es convertir la salida de un sensor en una señal lo suficientemente intensa como para que se pueda transmitir a un controlador o a cualquier otro dispositivo receptor.

Calibración: Ciertos tipos de medidores de flujo requieren calibrarse. Algunos fabricantes proporcionan la calibración en forma de grafica o tabla de resultados reales versus la lectura del indicador. Algunos están equipados para la lectura directa, con escalas calibradas en las unidades de flujo que se desea. Si se requiere que la calibración lo haga el usuario del instrumento, podría usarse otro medidor de precisión como estándar con el que se compare la lectura del dispositivo de prueba.

Líquidos: Si un líquido se almacena en un contenedor, tiende a adoptar la forma de este, y cubre el fondo y las paredes laterales. La superficie, en contacto con la atmosfera, mantiene un nivel uniforme.

Introducción

El trabajo de grado “medidores de flujo para bancos de prueba de laboratorios”, tiene como objetivo general realizar una investigación de los tipos de medidores de flujo que se manejan actualmente en el mercado.

En esta investigación se detallada la clasificación de los tipos de medidores de caudal de acuerdo al principio que implementan. Para cada tipo de medidor se dará una definición, explicación del principio que utilizan, características principales, ventajas que tienen sobre otros medidores, aplicaciones principales para cada tipo y algunos ejemplos de elementos primarios para cada caudalímetro.

La idea de este documento es que los estudiantes de ingeniería mecánica o carreras a fines usen este documento a modo de manual o información antes de manipular cualquier tipo de caudalímetro disponible en los laboratorios de la universidad.

1. Medidores De Flujo Para Bancos De Pruebas De Laboratorios

2. Marco Teórico

Líquidos o gases: Los fluidos pueden ser líquidos o gases. Si un líquido se almacena en un contenedor, tiende a adoptar la forma de este, y cubre el fondo y las paredes laterales. La superficie, en contacto con la atmosfera, mantiene un nivel uniforme. Si se mantiene un gas a presión en un recipiente cerrado, tiende a expandirse y llenarlo por completo. Si el contenedor se abriera, el gas tendería a expandirse aún más y a escapar de él [1].

Medición de caudal: Hoy en día la medición de caudal en vapores, gases y líquidos es una de las actividades más importantes en el campo de la instrumentación. En la operación de una planta, sin la medida de esta variable el balance de materia, el control de calidad y la operación misma de un proceso continuo serían casi imposibles de realizar. La manera en la que la razón de flujo se cuantifica depende del tipo de fluido (sólido, líquido o gaseoso), del valor del producto que es medido, la exactitud requerida y el tipo de proceso.

Transmisores: El propósito del transmisor es convertir la salida de un sensor en una señal lo suficientemente intensa como para que se pueda transmitir a un controlador o a cualquier otro dispositivo receptor.

Dicha señal varia su valor solamente como una función predeterminada de la variable de un proceso; esta es captada por el transmisor a través del elemento primario y transmitida a distancia. Existen varios tipos de señales de transmisión neumáticas, electrónicas, hidráulicas y telemétricas. La más empleada en la industria son las dos primeras; las señales hidráulicas se utilizan ocasionalmente cuando se necesita una gran potencia y las señales eléctricas se emplean cuando hay una distancia de varios kilómetros entre el transmisor y el receptor. Los transmisores

neumáticos generan una señal neumática lineal de 3 a 15 psig o de 0.2 a 1 bar, para el campo de medida de 0 a 100% de la variable.

Los transmisores electrónicos generan varios tipos de señales: 4-20, 1-5, 10-50 mA, etc.; la más usada es la de 4-20 Ma. En general, la mayoría de los transmisores se pueden dividir en dos tipos: de balance de fuerzas y de movimiento-balance, los cuales son los más comunes y se utilizan extensamente en la industria. El sensor puede estar o no integrado al transmisor.

Calibración: Ciertos tipos de medidores de flujo requieren calibrarse. Algunos fabricantes proporcionan la calibración en forma de grafica o tabla de resultados reales versus la lectura del indicador. Algunos están equipados para la lectura directa, con escalas calibradas en las unidades de flujo que se desea. Si se requiere que la calibración lo haga el usuario del instrumento, podría usarse otro medidor de precisión como estándar con el que se compare la lectura del dispositivo de prueba.

Clasificación de los medidores: Medidores volumétricos; presión diferencial (Tubo Venturi, Boquilla de flujo, placas de orificio y tubos de flujo), área variable (Rotámetro), velocidad (Vórtice, turbina y ultrasónico) y tensión inducida (Magnético). Medidores de caudal: Fuerza Coriolis y térmico.

3. Medidores De Flujo Volumétricos

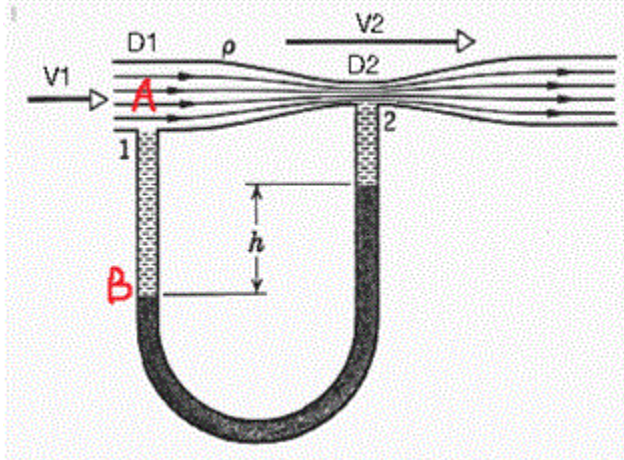
3.1 Medidores de Carga Variable o Presión Diferencial

El principio fundamental en el que se basan los medidores de carga variable es el siguiente: cuando se restringe una corriente de fluido, su presión disminuye en una cantidad que depende del flujo volumétrico a través de la restricción. Por lo tanto, la diferencia de presión entre puntos antes y después de la restricción se utiliza para indicar el flujo volumétrico.

Tipos de medidores de carga variable: Tubo de Venturi, la boquilla de flujo, el orificio y el tubo de flujo.

3.1.1 Tubo de Venturi

En la figura1 se muestra el aspecto básico del tubo Venturi. El flujo que viene de la tubería principal en la sección 1 se hace acelerar a través de una sección estrecha denominada garganta o sección 2, donde la presión del flujo disminuye. Después, el flujo se expande a través de una porción divergente (cono) que alcanza el mismo diámetro de la tubería principal. Se coloca tomas de presión en la pared del tubo de la sección 1 y de la garganta. Estas dos tomas de presión se colocan a ambos lados de un manómetro diferencial, de modo que la deflexión h sea una indicación de la diferencia de presión P_1-P_2 [2].

Figura 1. Diagrama de funcionamiento de Tubo Venturi

Tomada de Venturi [Diagrama], La web de Física, 2010, <https://forum.lawebdefisica.com/forum/el-aula/fluidos-y-medios-continuos/11679-tubo-de-venturi>.

Se emplea la ecuación de la energía y de la continuidad para obtener la relación con que se calcula el flujo volumétrico.

Aplicaciones y ventajas: La ventaja principal del tubo de Venturi es que solo pierde un 10-20% de la diferencia de presión entre la entrada y la garganta, es decir, tiene una alta recuperación de la presión a comparación de otros caudalímetros que implementan el mismo principio, también son fáciles de manipular y requieren escaso mantenimiento. Los tubos Venturi son especialmente aptos para la medición de líquidos limpios y gases (Carburador de carros y motos).

3.1.2 Boquilla de Flujo

La boquilla de flujo es una contracción gradual de la corriente de flujo seguida de una sección cilíndrica, recta y corta.

Cuando la velocidad del flujo es demasiado alta, es necesario instalar una tobera de flujo o boquilla, esto se debe a que la relación d/D es demasiado alta y las pérdidas empiezan a hacerse notorias. La instalación de este medidor requiere que la tubería donde se vaya a medir caudal, este en línea recta sin importar la orientación que esta tenga.

Aplicaciones y ventajas: Como se ha mencionado anteriormente la principal ventaja es que puede manejar fluidos a altas velocidades sin representar una pérdida de energía notable. Las aplicaciones principalmente son en medición de vapor sobrecalentado a altas presiones, turbos generadores, además tiene la ventaja de ser usada con fluidos que contiene sedimentos o sustancias solidas en suspensión.

3.1.3 Placas de Orificio

Una placa plana con un agujero de bordes afilados y un maquinado con precisión, recibe el nombre de orificio. Cuando se coloca en forma concéntrica dentro de un tubo, hace que el flujo se contraiga de modo repentino conforme se acerca al orificio, y después que se expanda al regresar a todo el diámetro del tubo. La corriente que pasa a través del orificio forma una vena contracta y la velocidad rápida del flujo origina una disminución de la presión corriente abajo del orificio. Tomas de presión que están antes y después del orificio, permiten la medición de la presión diferencial a través del instrumento [2].

El ensamble de orificio de flujo integral incluye lo siguiente: Tomas de presión colocadas con exactitud a ambos lados de la placa, un colector que facilita el montaje de la celda que produce el diferencial (d/p), una celda d/p y un transmisor que envía la señal a un receptor remoto, un conjunto de válvulas que permiten que el fluido se desvíe de la de la d/p para mantenimiento y

longitudes rectas de tubería dentro y fuera del orificio, para asegurar condiciones de flujo predecibles en dicho orificio.

El valor real del coeficiente de descarga C , depende de la ubicación de las tomas de presión. El valor de C también se ve afectado por variaciones pequeñas de la geometría de los bordes del orificio.

Hay curvas comunes de orificios con bordes afilaos, el valor de C es mucho menor que el del tubo Venturi o el de la boquilla de flujo, esto se debe a que el fluido es forzado a tener una contracción súbita, seguida de una expansión repentina. En ocasiones se emplea otros diseños de placas para orificio en lugar de las de estilo concéntrico. Una de ellas incluye un agujero perforado en forma excéntrica, en la que el orificio casi es tangente a la superficie interior de la tubería. Con el agujero en la parte superior, los gases que entran pasan con facilidad. Con el agujero en la parte inferior, los sólidos que ingresan continuarán su camino. También se utiliza un agujero segmentado, con el segmentado abierto en la parte inferior del tubo, si en el fluido hubiera sedimentos pesados.

Aplicaciones y desventajas: La gran ventaja de la placa de orificio en comparación con los otros elementos primarios de medición, es que debido a la pequeña cantidad de material y al tiempo relativamente corto de maquinado que se requiere en su manufactura, su costo llega a ser comparativamente bajo, aparte de que es fácilmente reproducible, fácil de instalar y desmontar y de que se consigue con ella un alto grado de exactitud. En aplicaciones en las que el caudal permanece dentro de un rango entre 4:1 y 5:1. Esto puede incluir una sala de calderas y aplicaciones en las que el vapor se suministra a muchas plantas, algunas en línea, otras fuera de línea, pero el caudal total está dentro del rango.

3.1.4 Tubos de Flujo

Los tubos de flujo son un diseño modificado para medidores de flujo de carga variable. Estos emplean aplicaciones similares a las que utilizan medidores Venturi, boquillas u orificios, pero los tubos de flujo tienen cierta pérdida menor de presión (recuperación de presión mayor).

Como se mencionó anteriormente este tipo de instrumentos son diseñados bajo situaciones específicas, si los fabricantes consideran que este diseño es el más óptimo para la situación en particular expondrá un diseño específico del mismo, recordar que la ventaja con una rápida recuperación de la presión [2].

3.2 Medidores de Área Variable

3.2.1 Rotámetro

En este tipo de medidores el fluido se mueve hacia arriba, a través de un tubo libre que tiene un medidor exacto en su interior. Se suspende un flotador en el fluido en posición proporcional al flujo volumétrico. Las fuerzas hacia arriba, debido al arrastre dinámico del fluido sobre el flotador, y la flotabilidad, balancean con exactitud el peso del flotador. La operación del rotámetro se basa en el principio de área variable: El flujo de fluido eleva el flotador en un tubo ahusado, lo que aumenta el área para el paso del fluido [2].

Cuanto mayor es el flujo, más alto se eleva el flotador. La altura del flotador es directamente proporcional al caudal. Con líquidos, el flotador se eleva por una combinación de la flotabilidad del líquido y la altura equivalente de velocidad del fluido. Con los gases, la flotabilidad es despreciable, y el flotador responde solo a la altura equivalente de velocidad.

Ventajas y aplicaciones: Los rotámetros de tubo de vidrio con protección de seguridad en general se usan en toda la industria para medir líquidos y gases. Las aplicaciones típicas son para medición de caudal de gases y aplicaciones de laboratorios. Proporcionan capacidades de flujo de alrededor de 1000 GPM, y están fabricados con conexiones de extremo de metal o plástico para satisfacer las características químicas del fluido que se está midiendo [4].

3.3 Medidores de Velocidad

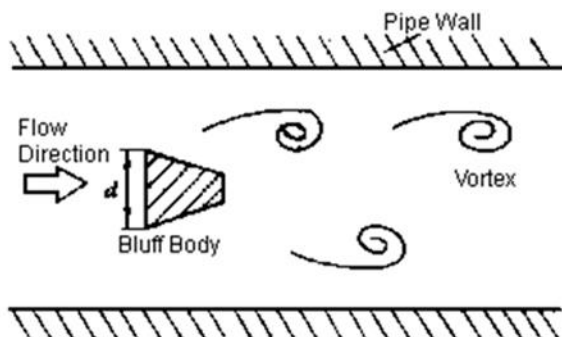
3.3.1 Medidor de Flujo de Vórtice

Se coloca un cuerpo que obstruye la corriente y hace que se formen vórtices y se aleje del cuerpo con una frecuencia que es proporcional a la velocidad del flujo (Principio Von Kármán). Un sensor en el medidor de flujo detecta los vórtices y genera una señal para el dispositivo de lectura del medidor. La forma del cuerpo obstructor, también llamado elemento de alejamiento del vórtice, varía de un fabricante a otro. Conforme el flujo se aproxima a la cara central del elemento obstructor, se bifurca en dos corrientes. El fluido cerca del cuerpo tiene velocidad baja, en relación con las líneas de corriente principales. Las diferencias de velocidades ocasionan que se formen capas de tensión que eventualmente rompen en vórtices [2].

En los medidores hay sensores que detectan las variaciones de presión alrededor de los vórtices, y generan una señal de voltaje que alterna a la misma frecuencia que la del alejamiento del vórtice. La señal de salida es una corriente de pulsos de voltaje o una señal analógica de corriente directa. Es frecuente que los sistemas estandarizados de instrumentación utilicen una señal analógica que varía de 4 a 20mA. Para la salida del pulso, los fabricantes proporcionan un

factor K del medidor de flujo, que indica los pulsos por unidad de volumen que pasa a través del medidor.

Figura 8. Esquema del funcionamiento de la generación de vórtices



Tomada de Vórtices [Diagrama], Web del profesor, 2007, http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/djean/index_archivos/INST_Flujo/medidoresflujovolumetrico/rotametroII.html

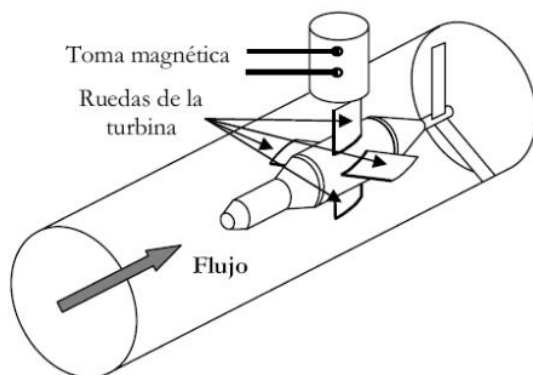
Ventajas y aplicaciones: Los caudalímetros de vórtices ofrecen muchas ventajas para la medición de caudal, entre ellas una instalación sencilla sin líneas de impulso, ausencia de piezas móviles que deban mantenerse o repararse, menos potencial de fugas y una amplia rangeabilidad de caudal. Los medidores de vórtice también ofrecen un consumo de energía muy bajo, lo que permite su uso en áreas remotas. Además, los medidores de vórtice son únicos en el sentido de que sirven para aplicaciones de líquidos, gases, vapor y ambientes corrosivos. Los caudalímetros de vórtice también pueden soportar presiones y temperaturas altas de procesos.

3.3.2. Medidores de Flujo de Turbina

El fluido hace que el rotor de la turbina gire a una velocidad que depende del flujo volumétrico. Cuando cada alabe del rotor pasa por una bobina magnética, se genera un pulso de

voltaje que entra a un medidor de frecuencia, un contador electrónico, o algún dispositivo similar cuyas lecturas se convierten a flujo volumétrico. Las tasas de flujo que puede medirse varían de algo tan bajo como 0.02L/min a varios miles de L/min.

Figura 2. Diagrama de funcionamiento de medidor de flujo de turbina



Tomada de documento sobre instrumentación industrial (A.C.Sole, 2006).

Ventajas y aplicaciones: Una ventaja importante del medidor de flujo de turbina es que cada pulso eléctrico también es proporcional a un pequeño volumen incremental de flujo. Los medidores de turbina líquida sirven a una variedad de aplicaciones de hidrocarburos, incluyendo medición de cheques o mezcla/procesamiento por lotes. Los medidores de flujo se instalan a menudo para la medición durante la producción de petróleo crudo, el control de inventario de granja/almacenamiento de tanques, la producción flotante, el almacenamiento y la descarga (FPSO), así como la carga y descarga de productos refinados.

3.3.3 Medidor de Flujo Ultrasónico

Se adjunta un generador ultrasónico al exterior del tubo y se transmite una señal de alta frecuencia a través de la pared y de la corriente de flujo, por lo común con un ángulo agudo

respecto del eje de la tubería. El tiempo que toma a la señal atravesar la tubería depende de la velocidad del fluido que circula por él. Algunos medidores que hay comercialmente utilizan detectores en el lado opuesto del transmisor, mientras que otros emplean reflectores que devuelven la señal a un receptor construido en el trasmisor [2].

Para los transmisores, reflectores y receptores de la señal se emplea una variedad de orientaciones. La mayoría usará dos conjuntos para reducir la sensibilidad del medidor al perfil de velocidad de la corriente de flujo del fluido. Los medidores del tiempo de tránsito funcionan mejor con fluidos limpios, porque las partículas contenidas en los fluidos sucios afectan las lecturas de tiempo y la fuerza de la señal que llega a los detectores.

Un segundo tipo de instrumento, llamado medidor de tipo Doppler, tiene como preferencia para fluidos sucios, como el fango y otros, que inhiben la transmisión de la señal ultrasónica. La onda de presión ultrasónica no atraviesa por completo la pared opuesta de la tubería. En vez de ellos, se refleja en las partículas que hay en el fluido y regresa al receptor.

Ventajas y aplicaciones: Como los medidores no son invasivos en lo absoluto, la pérdida de presión se debe solo a la fricción que hay en la tubería, el medidor no contribuye con pérdidas adicionales. Los medidores de flujo ultrasónicos también son ideales para aplicaciones en las que se requiere una baja caída de presión, compatibilidad química y bajo mantenimiento. Los cambios en la composición del líquido no afectan a los medidores de flujo ultrasónicos cuando se determina el caudal volumétrico real, lo cual los hace aptos para medir el gas natural rico o pobre, así como los hidrocarburos líquidos. Además, son muy recomendados en monitoreo de energía/Aire acondicionado y calefacción (HVAC), Tratamiento de agua, entrega de aguas grises o de desagüe, agua producida, generación de energía, procesamiento de bebidas y alimentos.

3.4 Medidores de Tensión Inducida

3.4.1 Medidor de Flujo Magnético

Una de las ventajas del medidor de flujo magnético, es el flujo sin ninguna obstrucción. El fluido debe tener cierta conductividad, ya que el medidor opera con el siguiente principio: cuando un conductor móvil atraviesa un campo magnético, se induce un voltaje. Los componentes principales del medidor de flujo magnético incluyen un tubo alineado con un material no conductor, dos bobinas electromagnéticas y dos electrodos montados y separados 180° de la pared del tubo. Los electrodos detectan el voltaje que se genera en el fluido. Como el voltaje generado es directamente proporcional a la velocidad del fluido, un flujo volumétrico mayor genera un voltaje más elevado [2].

Ventajas y aplicaciones: Una característica importante de este tipo de medidor es que su salida es independiente por completo de la temperatura, la viscosidad, la gravedad específica y la turbulencia. Los medidores de flujo magnéticos en general no funcionan con hidrocarburos, agua destilada y muchas soluciones no acuosas. Los medidores de flujo magnéticos también son ideales para aplicaciones en las que se requiere una baja caída de presión y bajo mantenimiento.

4. Medidores de Caudal

4.1 Fuerza de Coriolis

El fluido ingresa al medidor de flujo desde el tubo del proceso y se dirige por una trayectoria continua del mismo tamaño que dirige el fluido primero a través de un lazo, luego a un cuerpo central, después a un segundo lazo y por último hacia fuera, por el tubo de salida. Dos

impulsores electromagnéticos hacen puente con ambos lazos en los extremos opuestos, equidistantes del centro. El movimiento vibratorio que se genera mueve los dos lazos paralelos en forma alternada, uno en dirección del otro y después los aleja. El fluido en los tubos sigue en forma simultánea la trayectoria de los lazos, y se mueve de manera perpendicular a ella, debido a la acción de los impulsores. Se produce una aceleración de Coriolis que es proporcional a la masa de fluido que pasa por los tubos. Los sensores que están montados cerca de los impulsores detectan la fuerza de Coriolis y transmiten una señal que se relaciona con el flujo masico verdadero que pasa a través del medidor. Se reporta una exactitud de 0.2% del flujo indicado, o bien 0.02% de la capacidad de la escala completa, que es aún mayor.

Ventajas y aplicaciones: Los caudalímetros Coriolis se usan en una amplia variedad de aplicaciones críticas y exigentes, en industrias como la del petróleo y el gas, agua y aguas residuales, energía, productos químicos, alimentos y bebidas, y ciencias de la vida. Algunas aplicaciones comunes para los caudalímetros Coriolis son: Aplicaciones con caudal bajo a alto, transferencia de custodia fiscal, aplicaciones desafiantes con líquidos, gas y lodos.

4.2 Térmico

Otra manera de medidor de flujo de masa emplea una técnica térmica, que permite que se inserten en el flujo dos sondas, llamadas detectores de temperatura por resistencia (RTDs). Una sonda mide la temperatura de la corriente, como referencia, y circuitos electrónicos (una forma puente de Wheatstone) ajustan en forma continua la energía de esta sonda para mantener la diferencia de temperatura establecida. Un flujo masico alrededor de la sonda ocasiona que se disipe más calor de la sonda caliente, lo que requiere energía mayor. Por tanto, existe una relación predecible entre el flujo masico y la entrada de potencia a las sondas. Un sistema de procesamiento

de señales en el control hace lineal el voltaje de salida con respecto al flujo masico. Estos dispositivos miden el flujo masico de muchas clases de gases, como el aire, gas natural, propano, dióxido de carbono, helio, hidrogeno, nitrógeno y oxígeno.

Ventajas y aplicaciones: Siempre que se requieran una rangeabilidad elevada o unas pérdidas de carga mínimas en las aplicaciones de medición de gas en cualquier industria, el caudalímetro másico por dispersión térmica constituye una alternativa efectiva con respecto a las técnicas de medición tradicionales ya sea para el control de procesos, monitorización de consumo y abastecimiento, detección de fugas o monitorización de redes de distribución. Son muy usados para medición directa de gases industriales, aire comprimido y fluidos acuosos.

Referencias

- [1] S. Vera, «diseño de un medidor, transmisor y controlador de flujo en base a turbina,» Mayo 2008. [En línea]. Available: <http://produccion-uc.bc.uc.edu.ve/documentos/trabajos/23002ADC.pdf>.
- [2] R. L. Mott, Mecánica de fluidos, Mexico: Pearson Educacion, 2006.
- [3] LLC dba vBulletin, « Ecuación de bernoulli, fluido [diagrama],» Abril 2010. [En línea]. Available: <https://forum.lawebdefisica.com/forum/el-aula/fluidos-y-medios-continuos/11679-tubo-de-venturi>.
- [4] Universidad de los Andes, «Medidores flujo volumetrico,» Enero 2007. [En línea]. Recuperado el 03 de enero de 2021: http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/djean/index_archivos/INST_Flujo/medidoresflujo volumetrico/rotametroII.html