

**CENTRO DE INGENIERÍA Y DESARROLLO INDUSTRIAL**



**POSGRADO INTERINSTITUCIONAL  
EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA**

**ESPECIALIDAD TECNÓLOGO EN MECATRÓNICA**

**REPORTE DE ESTANCIA**

**Medidor de cantidad de agua para lavadora**

**LUGAR DE ESTANCIA:**

***Mabe*** *tecnología y proyectos*  
Parque Industrial Jurica #406 Acceso B

**ALUMNO:**

**Luis Alberto Tovar Ortiz**

**ESCUELA DE PROCEDENCIA:**

**Instituto Tecnológico de San Juan del Río**



## Indice

### MABE Tecnología y proyectos

Misión

Visión

### Objetivos

### Planteamiento del problema

### Marco Teórico

Medición de flujo

Conceptos básicos de hidrodinámica

Gasto y flujo

Ecuación de continuidad

Teorema de Bernoulli

Elementos primarios

Medidores de presión diferencial

Medición de flujo por efecto coriolis

Medidores de flujo ultrasónicos

Medidores de flujo de turbina

Características de comportamiento

Medidores de caudal electromagnéticos

Ventajas

Desventajas

Opción comercial

Diseño de prototipo

Principio de funcionamiento

Medidor de cantidad de agua. Diagramas y diseños

Diagrama de flujo del programa para el medidor

Programa del medidor

Librería usada para el programa del medidor

Calibración del caudalímetro contra medidor de presión

Resultados

Conclusiones

## *MABE Tecnología y Proyectos.*

Fundada en la Ciudad de México en el año de 1946, es hoy en día la empresa líder en la producción y comercialización de artículos electrodomésticos mayores (línea blanca) así como motores y compresores.

Sus fábricas, ubicadas en México y en cuatro países latinoamericanos, avalan la dilatada confianza del consumidor en los productos de esta organización.

Además de los productos terminados, manufactura sus propios componentes plásticos y troquelados; al igual que sus compresores, transmisiones, y motores.

Desde hace más de tres décadas, ha venido refrendando su vocación exportadora, haciendo posible que sus productos lleguen a más de cuarenta países en América, Europa y Asia.

### *Misión.*

Desarrollar Productos electrodomésticos con calidad, innovación y oportunidad; que generen rentabilidad para MABE, satisfaciendo las necesidades de los clientes y usuarios.

### *Visión.*

Ser el mejor centro de tecnología y proyectos para el desarrollo de productos de línea blanca en el continente americano

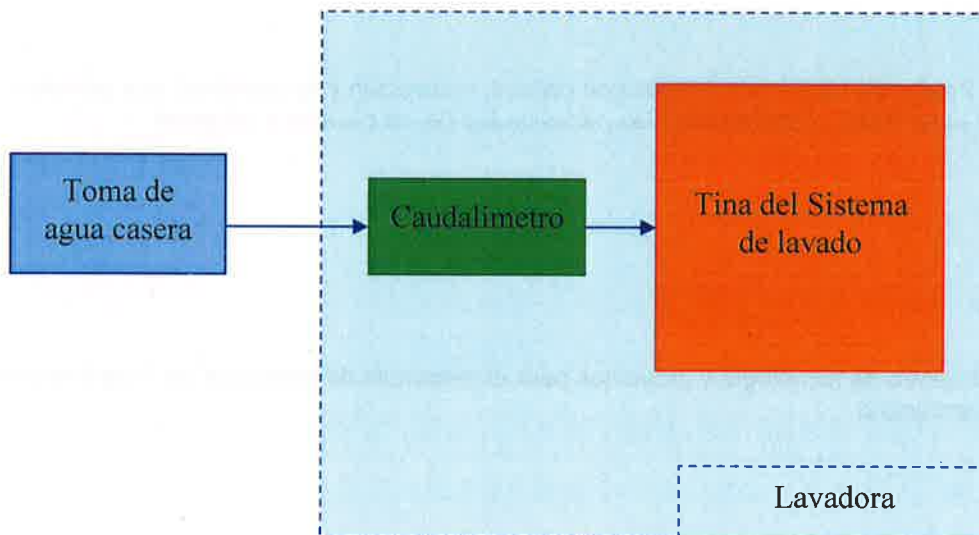
## Proyecto: Desarrollo de un medidor de caudal de agua en una lavadora.

### Objetivos.

- ⊕ Seleccionar un caudalímetro comercial para implementar en una lavadora
- ⊕ Desarrollar un circuito que permita obtener una señal utilizable por un microcontrolador
- ⊕ Desarrollar un medidor de caudal de bajo costo equivalente

### Planteamiento del problema:

Trabajaremos bajo el siguiente esquema:



Un caudalímetro de dimensiones reducidas es deseable para obtener un sistema compacto que no sea estorbo para el resto de los sistemas.

## *Marco Teórico.*

### *Medición de Flujo.*

Por definición, flujo o caudal es la cantidad de material que atraviesa la sección de un ducto en un tiempo determinado. La cantidad puede ser volumen o masa, y se hablará de flujo volumétrico o flujo másico, según sea el caso. En la industria química, los caudales de vapor suelen expresarse en términos de flujo másico y, por lo tanto, lo mediremos en kg/h, Ton/h o lb/h. Para el resto de los productos, líquidos o gaseosos, se emplea el flujo volumétrico, y las unidades empleadas son galones por minuto (gpm), barriles por día (bpd), pies cúbicos por hora (cfh), metros cúbicos por día (m<sup>3</sup>/d), metros cúbicos por hora (m<sup>3</sup>/h), sólo por nombrar algunos.

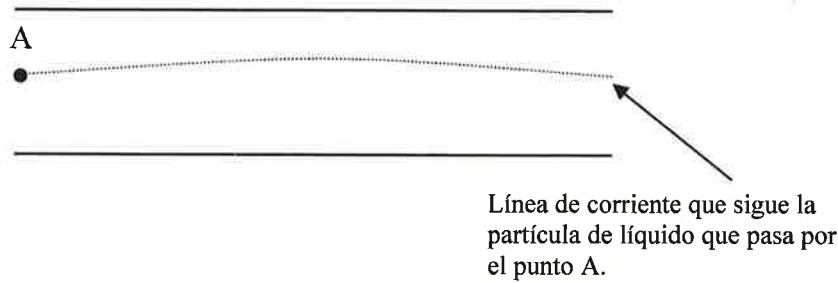
### *Conceptos básicos de Hidrodinámica.*

La hidrodinámica es la parte de la física que se encarga del estudio de los líquidos en movimiento. Para ello, considera entre otras cosas la velocidad, la presión, el flujo y el gasto del líquido.

Las aplicaciones de la hidrodinámica se encuentran en el diseño de canales, puertos, presas, casco de los barcos, hélices, turbinas y ductos en general.

Con objeto de facilitar el estudio de los líquidos en movimiento, generalmente se hacen las siguientes suposiciones:

1. Los líquidos son completamente incompresibles.
2. Se considera que no existe la viscosidad. Es decir, se supone que los líquidos son ideales, por lo que no se presentan resistencia al flujo, lo que permite desprestigiar las pérdidas de energía mecánica que produce la viscosidad de un líquido; pues como sabemos, durante el movimiento, la viscosidad genera fuerzas tangenciales entre las diferentes capas de un líquido.
3. Se considera que el flujo de los líquidos es estacionario o de régimen estable. Un flujo es estacionario, cuando la velocidad que lleva toda partícula de líquido que pasa por el mismo punto es igual. Por ejemplo en la figura tenemos la trayectoria que sigue una partícula de un líquido, esto es su línea de corriente al pasar por el punto A



La partícula de líquido que pasa por el punto A lleva una cierta velocidad, pero si cualquier partícula que pase por el punto A lo hace con la misma velocidad y sigue la misma trayectoria o línea de corriente, el flujo es estacionario o de régimen estable.

### Gasto y flujo.

**Gasto.** Cuando a través de una tubería fluye un líquido, es muy común hablar del gasto del líquido, que por definición es: la relación que hay entre el volumen de líquido que fluye por un conducto y el tiempo que tarda en fluir.

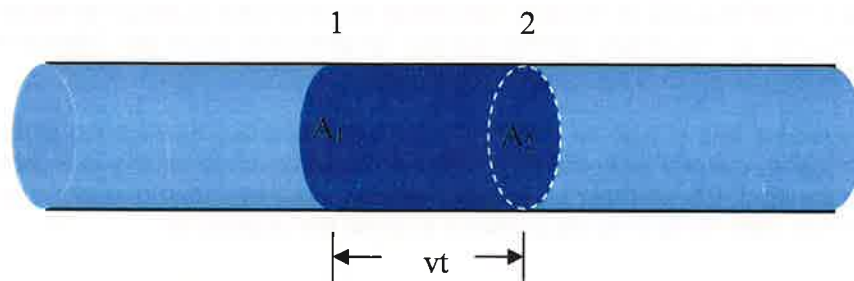
$$G = \frac{V}{t}$$

Donde: G = gasto en  $m^3/s$

V = volumen del líquido que fluye en  $m^3$

t = tiempo que tarda el líquido en fluir, en segundos.

El gasto también puede calcularse, si se conoce la velocidad que lleva el líquido y el área de sección transversal de la tubería.



El volumen de líquido que fluye por la tubería es igual a:  $V = Avt$ .

Para conocer el volumen de líquido que pasa del punto 1 al 2 de la tubería, basta multiplicar entre sí, el área, la velocidad del líquido y el tiempo que tarda en pasar por los puntos.

Y como  $G = \frac{V}{t}$

$$G = \frac{Avt}{t}$$

$$G = Av$$

Donde  $G =$  gasto, en  $\frac{m^3}{s}$   
 $A =$  área de la sección transversal del tubo, en  $m^2$   
 $v =$  velocidad del líquido, en  $\frac{m}{s}$

En el sistema CGS el gasto se mide en  $\frac{cm^3}{s}$  o bien, en unidades prácticas como litros/s

**Flujo.** Se define como la unidad de masa de líquido que fluye a través de una tubería en un segundo.

$$F = \frac{m}{t}$$

Donde:  $F =$  flujo en  $\frac{kg}{s}$   
 $m =$  masa del líquido que fluye, en Kg  
 $t =$  tiempo que tarda en fluir, en s

Como la densidad de un cuerpo es la relación entre su masa y volumen tenemos:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$m = \rho V$$

Por lo tanto el flujo será:

$$F = \frac{\rho V}{t}$$

$$\text{Y como } G = \frac{V}{t}$$

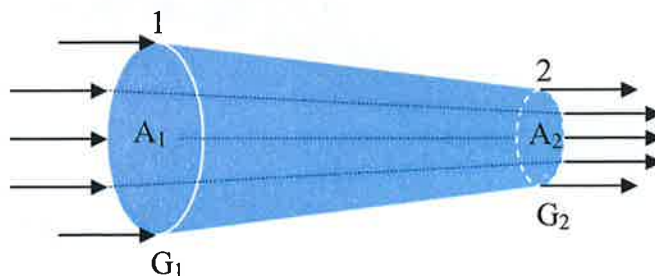
$$F = G\rho$$

Donde  $F =$  flujo en  $\frac{kg}{s}$   
 $G =$  gasto, en  $\frac{m^3}{s}$   
 $\rho =$  densidad en  $\frac{Kg}{m^3}$





## Ecuación de continuidad.



En la figura vemos una tubería que reduce considerablemente su sección transversal entre el punto 1 y el 2. Sin embargo, puesto que hemos considerado incompresibles a los líquidos, resulta evidente que la cantidad de líquido que pasa por el punto 1 es la misma que pasará por el punto 2. Para ello, donde el tubo tiene una mayor sección transversal, el líquido lleva una menor velocidad a la que adquiere al pasar al punto 2, donde, la reducción del área de la sección transversal del tubo se compensa con un aumento en la velocidad del líquido. Por tanto, el gasto en el punto 1 es igual al gasto en el punto 2.

$$G_1 = G_2 = \text{constante}$$

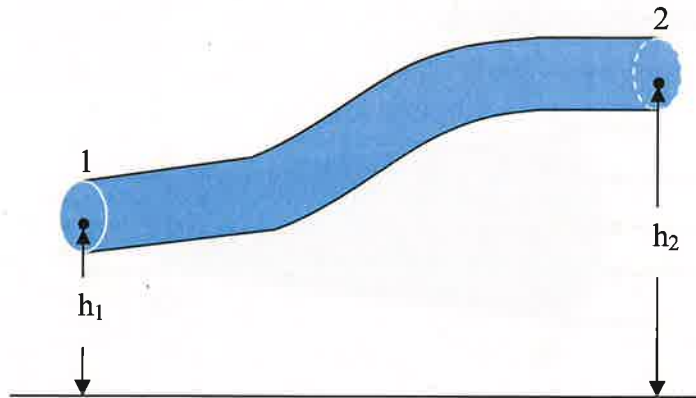
$$A_1 v_1 = A_2 v_2 \quad \text{Ecuación de continuidad}$$

## Teorema de Bernoulli

El físico suizo Daniel Bernoulli (1700 – 1782), estudio el comportamiento de los líquidos y encontró que: la presión de un líquido que fluye por una tubería es baja si su velocidad es alta y por lo contrario, es alta si su velocidad es baja. Por tanto, la ley de la conservación de la energía también se cumple cuando los líquidos están en movimiento.

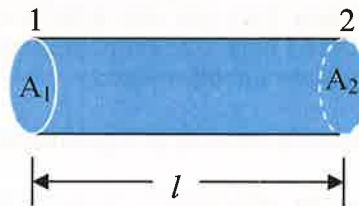
Con base en sus estudios, Bernoulli, enunció el siguiente teorema que lleva su nombre:

“En un líquido ideal, cuyo flujo es estacionario, la suma de las energías, cinética, potencial y de presión que tiene el líquido en un punto es igual a la suma de estas energías en otro punto cualquiera”.



El líquido posee tanto en el punto 1 como en el 2 tres clases de energía que son:

- a) Energía cinética, debido a la velocidad y a la masa del líquido:  $E_c = \frac{1}{2}mv^2$
- b) Energía potencial, debido a la altura del líquido, respecto a un punto de referencia:  
 $E_p = mgh$
- c) Energía de presión, originada por la presión que unas moléculas de líquido ejercen sobre otras; por lo que, el trabajo que se realiza para el desplazamiento de las moléculas es igual a la energía de presión.



La energía de presión es igual al trabajo que se realiza para que las moléculas del líquido, se desplacen del punto 1 al 2, una distancia  $l$ ; como consecuencia de la fuerza debida a la presión entre una molécula y otra

Puesto que la energía de presión es igual al trabajo realizado, tenemos:

$$E_{presion} = T = Fl$$

Como  $P = \frac{F}{A}$   $F = PA$

$$E_{presion} = PA l$$

Puesto que el área de la sección transversal del tubo por la distancia  $l$  que recorre el líquido nos da el volumen de este que pasa del punto 1 al 2, tenemos:

$$V = Al$$

$$E_{presion} = PV$$

$$\text{Como } \rho = \frac{m}{V} \quad V = \frac{m}{\rho}$$

$$E_{presion} = P \frac{m}{\rho}$$

Donde:  $E_{presion}$  = energía de presión, en Joules

$P$  = presión en  $\frac{N}{m^2}$

$m$  = masa del líquido en Kg.

$\rho$  = densidad del líquido en  $\frac{Kg}{m^3}$

Así, de acuerdo con el teorema de Bernoulli, la suma de las energías, cinética, potencial y de presión en el punto 1 es igual a la suma de estas energías en el punto 2

$$E_{c1} + E_{p1} + E_{presion1} = E_{c2} + E_{p2} + E_{presion2}$$

$$\frac{1}{2}mv_1^2 + mgh_1 + \frac{P_1m}{\rho_1} = \frac{1}{2}mv_2^2 + mgh_2 + \frac{P_2m}{\rho_2}$$

Dividiendo la ecuación anterior entre la masa se obtiene la ecuación que corresponde al teorema de Bernoulli, para expresar la energía por unidad de masa:

$$\frac{v_1^2}{2} + gh_1 + \frac{P_1}{\rho_1} = \frac{v_2^2}{2} + gh_2 + \frac{P_2}{\rho_2}$$

No obstante que el teorema de Bernoulli parte de la consideración de que el líquido es ideal (por lo que se desprecian las pérdidas de energía causadas por la viscosidad que posee todo líquido en movimiento), su ecuación permite resolver con facilidad muchos problemas sin incurrir en errores graves, por despreciar esas pérdidas de energía, pues resultan insignificantes comparadas con las otras energías.

## Elementos Primarios.

De acuerdo a ISA, el elemento primario es aquel que convierte la energía de la variable medida en alguna forma apta para la medición. Para flujo, los elementos primarios más usados son los que se derivan del **teorema de Bernoulli**, que establece que cuando un fluido de densidad  $\rho$  pasa de un tramo de diámetro  $D$  a un tramo de diámetro  $d$ , el flujo queda expresado por:

$$Q = \frac{\pi d^2}{4} \sqrt{\frac{2(P_1 - P_2)}{\rho(1 - \beta^4)}}$$

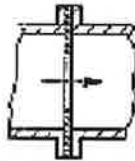
En donde  $\beta = d/D$ , y  $P_1$  y  $P_2$  son las presiones estáticas en los tramos correspondientes.

En otras palabras, el caudal de un fluido al pasar de una sección a otra es **proporcional a la raíz cuadrada de la diferencia entre las presiones estáticas** en cada tramo. Por lo tanto, bastará con introducir un elemento de menor diámetro en una cañería y medir la presión diferencial para obtener una cantidad relacionada con el flujo.

Los elementos basados en Bernoulli son la clase más importante de medidores de flujo, estos incluyen; plato orificio, orificio de restricción y tubos Venturi.

Una consideración importante, válida para todos los elementos basados en Bernoulli (y también para otros medidores de flujo) es su sensibilidad al régimen de flujo. Puesto que suponen que el caudal es igual a la velocidad del fluido multiplicada por la sección de la cañería, la velocidad debe ser uniforme en toda la sección; en otras palabras, se aplican cuando el Número de Reynolds es alto ( $> 10000$ , por lo general). Además, se debe cuidar que estén alejados de elementos que pudieran alterar el régimen, tales como codos, válvulas (especialmente de globo), descargas de bombas, etc. Para ello, hay distintas normas y recomendaciones prácticas que fijan la longitud del tramo libre, es decir, la distancia mínima que debe existir entre un elemento de flujo y las diferentes singularidades del piping; a menudo, estas distancias se expresan como múltiplos del diámetro nominal y son más estrictas para los tramos ubicados aguas arriba que para los que están aguas abajo.

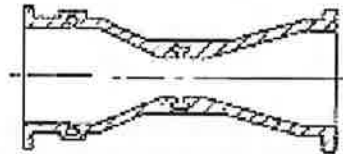
ORIFICE PLATE



FLOW NOZZLE



VENTURI



*Tipos de medidores basados en Bernoulli.*

## *Medidores de presión diferencial*

Por su fabricación sencilla, su facilidad de instalación y su precio accesible, estos dispositivos tienen un uso más extendido en la industria.

Básicamente consisten en un elemento primario, que genera la presión diferencial, y un elemento secundario, capaz de medir dicha presión y mostrarla o registrarla en un cuadrante.

La operación de estos medidores parte de la propiedad que tienen los fluidos de sufrir una caída o disminución de presión cuando, en una tubería, se les hace circular a través de una restricción. Tal caída o disminución se debe a la ley de la conservación de la energía, según la cual esta última no puede ser creada o destruida.

Para no entrar en detalles teóricos, que implican el uso de ecuaciones matemáticas, se puede simplificar diciendo que para conservar el equilibrio de energía de un fluido que circula en una tubería es necesario que la velocidad del mismo se incremente cuando la presión disminuye y viceversa. Así, cuando la corriente del fluido encuentra una restricción en su camino, la velocidad se incrementa. De esta manera, para conservar el equilibrio en la energía, la presión disminuye.

Esto se puede corroborar observando el comportamiento del agua que circula en un arroyo. Cuando el cauce del arroyo se estrecha es posible observar cómo se incrementa la velocidad del agua en dicho punto. En la línea del flujo, la presión antes de la restricción es mayor que la generada después. La diferencia entre estas presiones es lo que se denomina presión diferencial.

El elemento de medición primario más sencillo se conoce como placa de orificio. Se trata de una placa metálica circular con un orificio —por lo regular en su centro—, que se coloca en una brida montada en forma conveniente en la tubería donde circula el fluido.

El tamaño del orificio es importante, ya que determina el grado de restricción que habrá en la línea. Un orificio grande presenta una restricción baja y, en consecuencia, una presión diferencial de baja magnitud. Por otro lado, un orificio chico presenta una gran restricción y una presión diferencial elevada.

En un fluido, cuando atraviesa el orificio de una placa, la presión diferencial desarrollada entre ambos extremos del orificio siempre es proporcional a la velocidad del fluido que circula a través del mismo. Una velocidad elevada produce una diferencia de presión alta. De la misma manera, una velocidad baja produce una presión diferencial baja. Otro de los factores que influyen en la magnitud de la presión diferencial desarrollada es el diámetro del orificio. Bajo condiciones de operación equivalentes, un orificio de diámetro pequeño produce una presión diferencial elevada y uno de diámetro grande produce una presión diferencial pequeña.

En cualquier caso, la presión diferencial producida a través de una placa de orificio es de pequeña magnitud, de tal manera que para medirla se utilizan escalas graduadas en pulgadas de agua. Una presión de una pulgada de agua es aquella capaz de elevar una columna de agua a una altura de una pulgada. Los instrumentos medidores y registradores utilizados en estas aplicaciones utilizan elementos de fuelles o diafragmas calibrados en estas unidades.

La sintonización de un control de flujo es muy complicada y la estabilidad difícilmente es óptima. La magnitud de la presión diferencial desarrollada a través del orificio no sólo depende del diámetro del mismo, sino de algunas características físicas inherentes al fluido o a las condiciones de operación. Entre las primeras, las más importantes son la densidad y la viscosidad; entre las segundas, la temperatura y la presión. También se debe considerar si el fluido es un líquido, un gas o un vapor, y cada uno de ellos tiene un comportamiento muy particular.

La densidad es la relación de la masa por unidad de volumen, expresada en kilogramos/metro cúbico. El efecto de la presión sobre la densidad de los líquidos es insignificante y, en muchos casos —para efectos del cálculo del diámetro del orificio de la placa—, se considera nula. Por otro lado, el efecto de la temperatura sobre la densidad de los líquidos es muy significativo, y debe incluirse algún elemento de compensación en las ecuaciones de cálculo. En términos generales, cuando la temperatura aumenta, la densidad disminuye. En lo que se refiere a los gases, el efecto de la temperatura y la presión sobre la densidad es muy considerable.

Para calcular el diámetro del orificio de una placa es preciso resolver una serie de ecuaciones matemáticas, lo cual es un trabajo complejo y tedioso. Por fortuna, en la actualidad se cuenta con una serie de productos de software que realizan estos cálculos con rapidez y muy poca intervención del usuario. El orificio de la placa no siempre es concéntrico. En algunas ocasiones se prefiere utilizar orificios excéntricos, dependiendo de las características del fluido.

La ventaja principal de utilizar una placa de orificio para la medición de flujo es que su fabricación e instalación tienen un costo reducido. Además, el ingeniero de proceso puede modificar fácilmente el diámetro del orificio para ajustarse a otras condiciones de operación. La principal desventaja es que los fluidos que traen sedimentos o que son muy viscosos tienden a tapar o modificar el diámetro del orificio, con lo que la presión diferencial desarrollada ya no corresponde al flujo real que circula en la tubería.

El tubo venturi es otro popular dispositivo que opera bajo el principio de presión diferencial a través de una restricción. La principal ventaja es su resistencia a la contaminación por sedimentos o por el propio fluido que circula a través de él. Además, opera a un rango de velocidad de flujo más alto que la placa de orificio. La desventaja es que tiene un costo considerablemente más elevado y que sus características de operación no pueden modificarse en campo. Los proveedores de estos medidores suministran el tubo venturi con unas dimensiones y rango de operación calculados para unas condiciones de operación específicas.

La boquilla de flujo es otro de los dispositivos que opera bajo estos principios. La ventaja que tiene sobre el tubo venturi es una menor longitud y, por lo tanto, un costo menor. Es igualmente apropiado para aplicaciones de fluidos con un alto grado de sedimentos. Entre los dispositivos sencillos destaca el tubo Pitot, que consiste en un tubo doblado hacia la dirección donde viene el flujo. Otra variación de diseño se construye mediante un tubo recto con una perforación en el lado orientado hacia donde viene el flujo. La fuerza de impacto del fluido sobre el extremo u orificio en el tubo es una rama de la presión diferencial. La otra rama es la presión estática del fluido.

Este dispositivo se utiliza mucho cuando se tiene una tubería de gran diámetro. Aunque tiene la ventaja de su bajo costo y sencillez de fabricación, la desventaja es que sólo mide el flujo en el punto de impacto. Se ha tratado de superar esta desventaja suministrando tubos Pitot con varias perforaciones orientadas hacia donde viene el flujo. De esta manera, la presión diferencial promedio que se genera representa la velocidad de fluido con mayor precisión.

En todos los casos, la presión diferencial que producen los dispositivos anteriormente mencionados se alimenta a un aparato de medición que tiene una escala graduada en unidades de velocidad de flujo (por ejemplo, metros cúbicos por minuto). Estas señales se someten a procesos de compensación, linearización e integración.

El primero se refiere a corregir los errores de medición provocados por el efecto de la presión y temperatura, principalmente cuando se trata de mediciones de flujo de vapores o gases. El segundo corresponde a aplicar un método para extraer la raíz cuadrada a la señal de presión diferencial que permita generar una señal uniforme. En el tercero se acumula continuamente la señal que representa la presión diferencial producida por el elemento primario para cuantificar la cantidad de fluido que ha circulado en un periodo determinado.

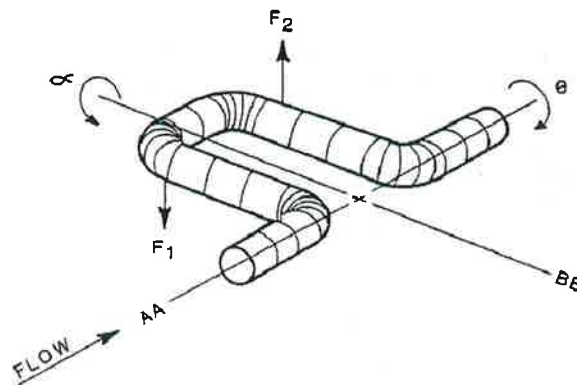
## Medición de flujo por efecto coriolis

La mayoría de los métodos tradicionales de medición de flujo determinan el *caudal volumétrico* del fluido, basados en condiciones de operación supuestamente constantes. Como la presión y la temperatura suelen variar, se puede cometer un error significativo en la medición, a menos que se introduzcan los factores de corrección necesarios, basados en las condiciones reales del proceso. Otro método más simple es el de medir directamente el caudal másico del fluido. Aunque a la fecha se han desarrollado varios métodos de medición de flujo másico, el más difundido es el basado en el llamado "efecto Coriolis".

En un medidor de efecto Coriolis, el fluido pasa a través de un tubo en forma de "U" (existen también otras formas, dependiendo del fabricante). Este tubo vibra a su frecuencia natural, excitado por un campo magnético; la vibración es similar a la de un diapasón, con una amplitud de menos que 1mm. Si hacemos circular un fluido por su interior, durante la mitad del ciclo de vibración del tubo (es decir, cuando se mueve hacia arriba) el fluido entrante empuja el tubo hacia abajo resistiéndose a la vibración, en cambio que el fluido saliente lo hace hacia arriba. Esta combinación de fuerzas causa que el tubo experimente una torsión. La figura 3.3.8. ilustra el comportamiento descrito.

Durante la segunda mitad del ciclo, cuando el tubo se mueve hacia abajo, la torsión resultante tendrá la dirección opuesta. Por consiguiente, tenemos que en cada codo del tubo se produce una oscilación de igual frecuencia (la frecuencia natural) pero desplazadas en fase. Este desplazamiento de fase es directamente proporcional a la razón de flujo másico del fluido que circula por el interior. Si se colocan sensores electromagnéticos ("pickups") en cada codo, éstos generan una señal sinusoidal cuya diferencia de fase ( $\Delta T$ ) es medida por la unidad electrónica del transmisor para transformarla finalmente en una señal 4-20mA.

La principal ventaja de los medidores por efecto Coriolis radica en la posibilidad de leer directamente flujo másico, independiente de las variaciones de presión, régimen de flujo (laminar, turbulento), densidad, viscosidad, ni por la presencia de algunas burbujas en el líquido; las variaciones de temperatura, que provocan cambios de elasticidad del tubo, son compensadas por la unidad electrónica en forma automática. Debido a que la vibración y la torsión son muy pequeñas, no sufren desgaste ni fatiga de material.



Su principal desventaja es el precio; se menciona además la limitación de tamaño (la mayoría de los fabricantes ofrecen medidores de un tamaño máximo de 4"), son sensibles a las vibraciones que le pueda transmitir la cañería, la caída de presión suele ser superior a la de otros medidores, no son apropiados para temperaturas muy altas y algunos de ellos requieren una densidad mínima. Por estas 2 últimas razones no son muy apropiados para medir vapor. Además, a diferencia de los

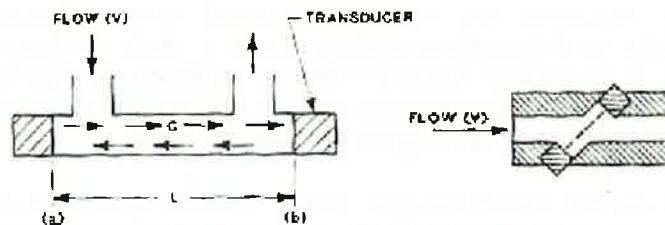
transmisores electrónicos de diafragma, los de flujo másico consumen más de 4 mA, por lo tanto no pueden emplearse en un lazo de 2 hilos, o sea, requieren alimentación externa.

## Medidores de Flujo Ultrasónicos

Existen dos grandes clasificaciones de medidores de flujo ultrasónicos, en la cual caen un gran número de variaciones. Un tipo depende generalmente del tiempo de paso de una señal acústica entre dos puntos fijos; el otro se sustenta en el efecto Doppler entre un punto fijo y otro que se mueve. El principio del tiempo de paso es ilustrado en dos de sus variaciones más posibles en la figura siguiente. Si un pulso es lanzado en el punto "a" cada vez que se recibe otro en el punto "b" y un pulso es lanzado en el punto "b" cada vez que se recibe otro en el punto "a", la diferencia en la frecuencia de envío tiene la siguiente relación.

$$\Delta f = \frac{2V}{L}$$

Donde V es la velocidad del flujo y L la distancia entre los dos emisores-receptores.



Medidores ultrasónicos por el principio del tiempo de paso

Debido a que la medición del tiempo de paso depende del éxito, en la travesía por el fluido, del pulso acústico, partículas y burbujas pueden interferir con la operación. Esto generalmente limita este tipo de medidores a líquidos limpios.

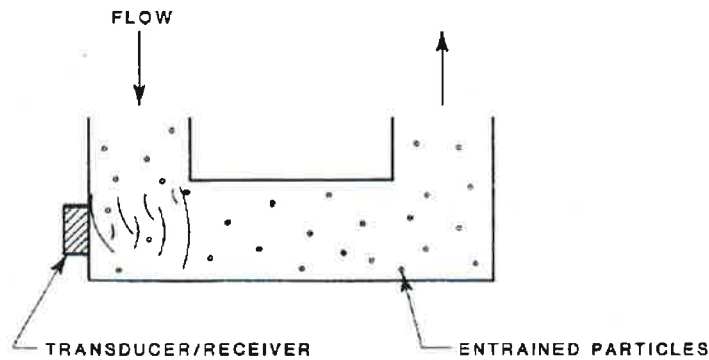
Los medidores del tipo Doppler, en contraste con los anteriores, dependen de la existencia de partículas sólidas o burbujas que sirvan como reflectores acústicos. El principio puede ser descrito con la ayuda de la figura que sigue. Una onda acústica de frecuencia  $f_t$  es transmitida hacia la corriente de flujo. La onda es reflectada en varias direcciones a medida que se encuentra con un campo de partículas dispersas. Algunas de las ondas reflectadas son direccionadas hacia el receptor, llegando con una frecuencia  $f_r$ .

La frecuencia recibida difiere de la frecuencia transmitida debido al efecto Doppler.

$$\Delta f \cong f_t V$$

Donde V es la velocidad de la partícula donde se reflectó la onda. Se podría asumir que las partículas se están moviendo a la misma velocidad que el fluido, pero el fluido sin embargo tiene un perfil de velocidad no-uniforme. Por lo tanto, la señal reflectada es un espectro de frecuencias que representa la velocidad del campo de partículas dispersas.

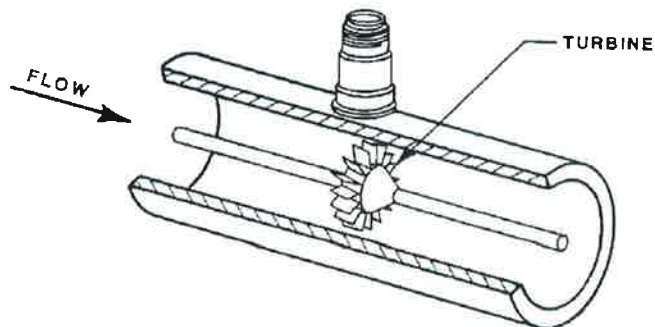




Las ventajas de los medidores ultrasónicos incluyen su construcción abierta, no obstructiva al flujo, al igual que los medidores de flujos magnéticos pero aplicables a líquidos conductores y no-conductores y a un menor costo. Su diseño no-invasivo, ofrece una obvia ventaja con fluidos corrosivos o químicamente activos y llegan a ser económicamente atractivos en tamaños de cañerías grandes.

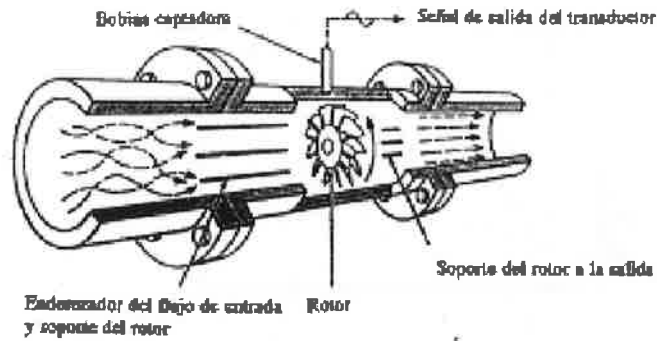
## Medidores de Flujo de Turbina

El principio general de los medidores de turbina se muestra en la figura 3. Una turbina de múltiples aspas es sostenida en un eje paralelo y concéntrico a la corriente de flujo. La turbina debe girar libremente y presentar el mínimo arrastre rotacional dentro del rango normal de operación. Los medidores de turbina son a menudo utilizados en aplicaciones de control de inventario y transferencia, en las cuales su alta exactitud y amplio rango lo hacen muy beneficioso.

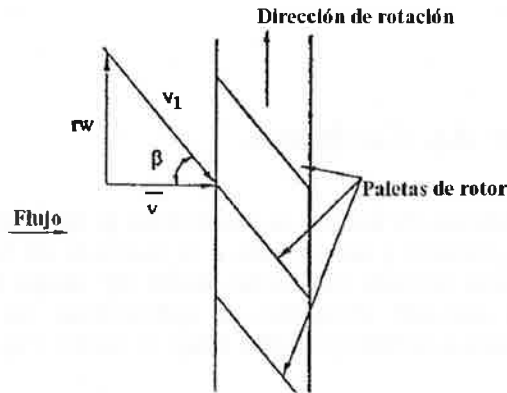


Principio el medidor de flujo de turbina

Los medidores para gas y para líquido funcionan bajo el mismo principio. La figura muestra la sección transversal de un medidor de turbina típico para líquidos.



Consta de una longitud de tubería en el centro de la cual hay un rotor de paletas múltiple, montado sobre cojinetes, para que pueda girar con facilidad, y soportado aguas arriba y aguas abajo por un dispositivo de centrado tipo cruceta que, habitualmente, incorpora un enderezador de la vena fluida. La energía cinética del fluido circulando hace girar el rotor con una velocidad angular que, en el margen lineal del medidor, es proporcional a la velocidad media axial del fluido y, por tanto, al caudal volumétrico.



Sección transversal de un medidor de turbina para líquidos.

Una teoría sencilla sobre el funcionamiento de los medidores de turbina puede comprenderse mediante la figura, que muestra un diagrama simplificado de la velocidad para una paleta de un medidor ideal.

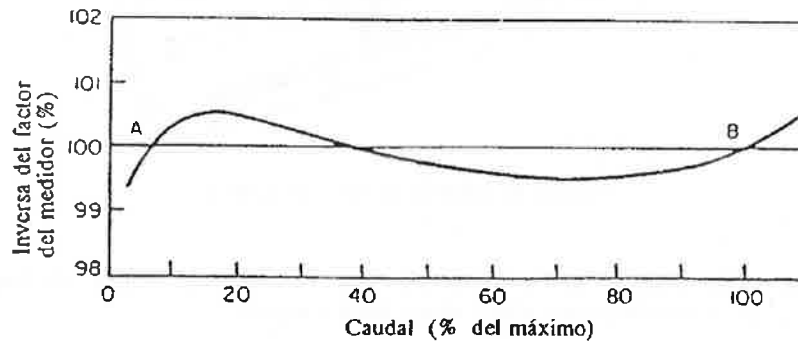


Diagrama simplificado de la velocidad para un medidor de turbina ideal.

Los medidores de turbina para gas o líquido difieren fundamentalmente en el diseño del rotor.

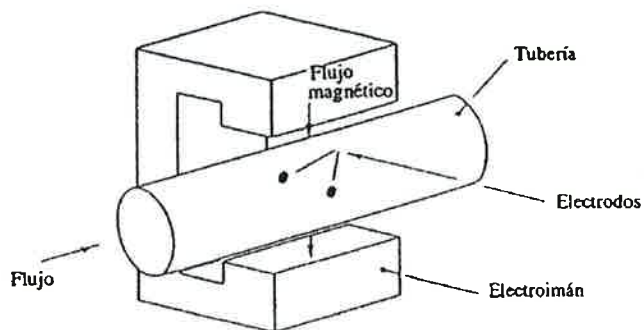
Una salida mediante impulsos eléctricos se produce cuando se detecta el paso de cada paleta alrededor de uno o más sensores situados en el campo del medidor. El punto más débil en un medidor de turbina para líquidos son los cojinetes, ya que tienen que soportar el peso del rotor.

### *Características de comportamiento*

Para predecir la característica de comportamiento de un medidor de turbina es necesario que sea calibrado, de modo que la relación entre el número de impulsos emitidos y el volumen de fluido que ha pasado pueda determinarse experimentalmente. Esto da como resultado una curva de calibración. Se puede estimar que en el margen entre dos puntos, el medidor de turbina tiene una salida lineal y el volumen de líquido que pasa a través del medidor es casi proporcional al número de impulsos recibidos, dejando de ser preciso para caudales inferiores al primer punto y superiores al segundo.

### *Medidores de caudal electromagnéticos*

El medidor de caudal electromagnético utiliza el mismo principio básico que el electro-generador, es decir, cuando un conductor se mueve a través de un campo magnético se genera una fuerza electromotriz en el conductor, siendo su magnitud directamente proporcional a la velocidad media del conductor en movimiento. Si el conductor es una sección de un líquido conductor circulando por un tubo aislado eléctricamente, a través de un campo magnético y se montan los electrodos diametralmente opuestos en la pared de la tubería, tal como se muestra en la figura, la fuerza electromotriz generada a través de los electrodos es directamente proporcional a la velocidad media del fluido.



*Elementos de un medidor electromagnético.*

Es importante señalar que la diferencia de potencial entre los electrodos es del orden de milivoltios, por lo que dicha señal tiene que ser amplificada mediante un dispositivo secundario denominado convertidor, que proporciona una señal de salida en miliamperios, en voltios o en impulsos.

Puesto que los electrodos tienen que hacer un contacto con el fluido, su material tiene que ser compatible con las propiedades químicas del fluido que circula. Entre los materiales más utilizados se pueden citar los siguientes: acero inoxidable no magnético, platino/iridio, monel, hasteloy, titanio, y circonio para líquidos particularmente agresivos.

*Entre las ventajas más fundamentales se pueden señalar las siguientes:*

No presentan obstrucciones al flujo, por lo que son adecuados para la medida de todo tipo de suspensiones, barros, melazas, etc.

No dan lugar a pérdidas de carga, por lo que son adecuados para su instalación en grandes tuberías de suministro de agua, donde es esencial que la pérdida de carga sea pequeña.

Se fabrican en una gama de tamaños superior a la de cualquier otro tipo de medidor.

No son prácticamente afectados por variaciones en la densidad, viscosidad, presión temperatura y, dentro de ciertos límites, conductividad eléctrica.

No son seriamente afectados por perturbaciones del flujo aguas arriba del medidor.

La señal de salida es, habitualmente, lineal.

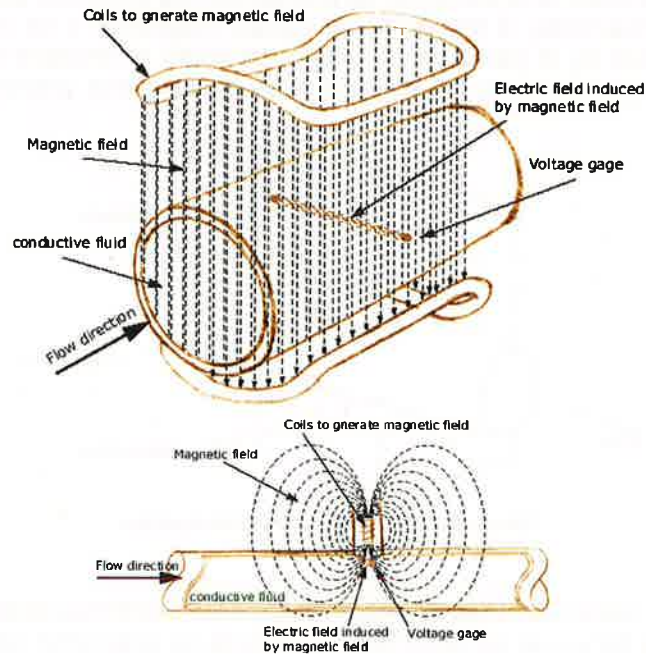
Pueden utilizarse para la medida del caudal en cualquiera de las dos direcciones.

*Entre las desventajas se pueden destacar las siguientes:*

El líquido cuyo caudal se mide tiene que tener una razonable conductividad eléctrica.

Para fines industriales el límite práctico es del orden de 10ohm/cm. Esto significa que los líquidos acuosos pueden manejarse adecuadamente, lo que no ocurre con líquidos orgánicos.

La energía disipada por las bobinas da lugar al calentamiento local del tubo del medidor.



$$E = -N \frac{d(BA)}{dt} = -N \frac{d\Phi}{dt}$$

$$E = -NB \frac{dA}{dt} = -NB \frac{dl}{dt} D = -NBVD$$

$$V = \frac{E}{K}$$

## Opción comercial seleccionada:

 <p>M-Zert Zertifiziertes GM-System für alle industriellen Fluide</p>	<p><b>Medidor de Caudal con Paleta Rotatoria para Bajo Volumen</b> para Líquidos</p>		<p>Medir • Monitorear • Analizar</p>
--	--	---	--



Modelo: ADI-K...

- Rango de medicón: 0.025-0.5 a 1-25 L/min de agua
- Linearidad:  $\pm 1\%$
- $p_{max}$  10 bar;  $t_{max}$  70°C
- Rango de viscosidad: baja viscosidad
- Conexión: macho G 1/2, conector para manguera
- Material: PP
- Salida: pulsos
- Precio Razonable
- Sin magnetos o partes mecánicas
- Medio: luz infraroja transmitibilidad

Modelo: DPL-...PKR



Las oficinas de KOBOLD existen en los siguientes países:

**ARGENTINA, AUSTRIA, BELGICA, BRASIL, CANADA, CHINA, FRANCIA, ALEMANIA, INGLATERRA, PAISES BAJOS, PERU, POLONIA, ITALIA, SUIZA, USA, VENEZUELA**

KOBOLD Messring GmbH  
Noeding 22-24  
D-65719 Hofheim/Ts  
☎ (06102) 200-0  
Fax (06102) 23305  
E-mail: info@kobold.com  
Internet: www.kobold.com

**Modelo:**  
DPL



**Aplicación**

Los nuevos medidores de caudal modelo DPL KOBOLD son idealmente adecuados para las mediciones de caudal con bajo costo. Todas las partes del medidor de caudal que están en contacto con el medio son fabricadas con materiales no-metálicos. Esto significa que el medidor es también adecuado para uso con medios extremadamente agresivos. Su diseño compacto permite que la miniturbina sea usada en equipo donde el espacio es importante.

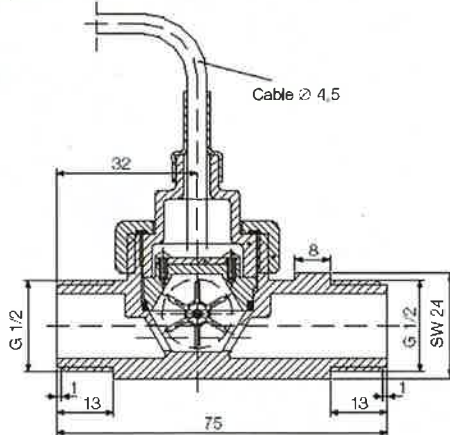
**Ejemplos de aplicación:**

La industria de la bebida, los dispositivos licenciados para uso en sistemas de distribución de bebida (SK299-001), maquinas lavadoras, vehículos, equipos de granja, máquinas de revelado en las industrias fotográfica y de tarjetas de circuitos impresos.

**Método de Operación**

El medio fluye a través de cuerpo formado especialmente para fluidos y causa que una paleta rote. Este movimiento de rotación es sentido por optoelectrónica de una manera sin-contacto, y convertido a una señal asimétrica de frecuencia. Un divisor de frecuencia con salida simétrica esta disponible de manera opcional. La frecuencia es proporcional a la velocidad de caudal. La paleta tiene un soporte de zafiro: esto asegura un alto grado de linealidad y larga vida de servicio.

**Dimensiones**



**Especificaciones técnicas**

Máx. presión de operación: 10 bar  
 Temperatura: -40 °C a +70 °C  
 Linealidad: ±1 %  
 Tipo de protección: IP 65

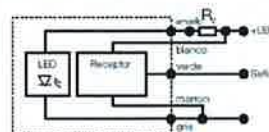
**Materiales**

Cubierta: Polipropileno  
 Paleta: Polipropileno  
 Eje/cojinete: Zafiro  
 Montura de la paleta: Polisulfona  
 Empaque: buna N  
 Opcional: Viton, EPDM

**Conexión Eléctrica**

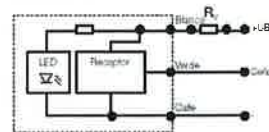
	Versión "O"	
Fuente de voltaje recep.	4.5 a 16 V	
Fuente de corriente recep.	tip. 7 mA	
Fuente de corriente	aprox. voltaje oper.	
Señal de amplitud alta	≤ 0.2 V	
Señal de amplitud baja	3.0 V máx.	
Voltaje de corte del trans.	30 mA a 50 mA	
Fuente de corr. del trans.	2.5 mW máx.	
Pérdida de poder de salida		
	Versión "K"	Versión "F"
Fuente de voltaje	Ver tabla	Ver tabla
Fuente de corriente	40 a 50 mA	40 a 50 mA
Señal de amplitud alta	aprox. volt de oper.	aprox. 8 V
Señal de amplitud baja	≤ 0.2 V	≤ 0.2 V
Pérdida de poder de salida	2.5 mW máx.	2.5 mW máx.

**Versión "K"**



U <sub>b</sub>	R <sub>v</sub>
5 V	220 Ω / 0.25 W
8 V	430 Ω / 0.25 W
12 V	680 Ω / 0.25 W
15 V	910 Ω / 0.25 W

**Versión "F"**



U <sub>b</sub>	R <sub>v</sub>
8 V	...
12 V	180 Ω / 0.25 W
15 V	270 Ω / 0.25 W
24 V	680 Ω / 0.5 W

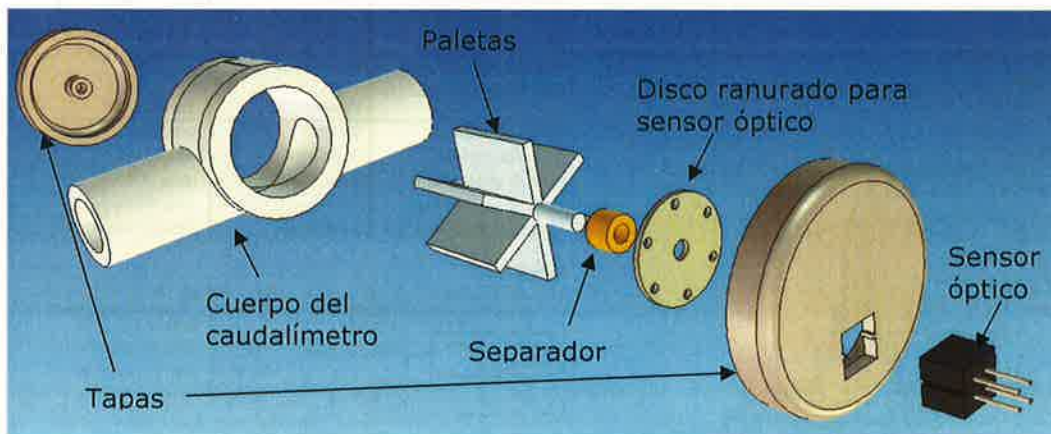
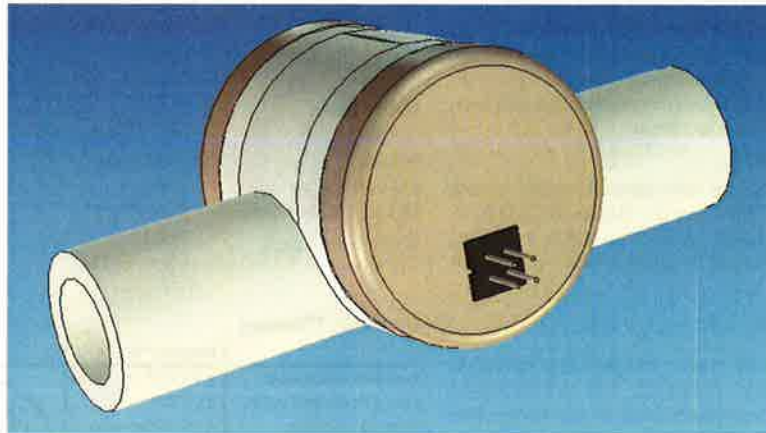
**Detalles de pedido (Ejemplo: DPL-005 P K R)**

Modelo	Medición rango agua (L/min)	Valor aprox. de pérdida de presión (bar)	Valor aprox. de frec. a max. valor(Hz)	Material del sello	Conexión Eléctrica	Conexión Mecánica
DPL-005	0.025-0.5	0.77	272	estándar	O= sin cable	R= macho G 1/2
DPL-018	0.05-1.3	0.77	471	P= buna N	K= Cable, 2 m PVC	S= conector de manguera
DPL-060	0.2-6	0.70	528	opcional:	F2= Divisor de frec. electrónica, salida simétrica, cable 2 m, razón de división 1:2	DN 10
DPL-120	0.4-12	1.0	265	V= Viton	F4= igualmente, razón de división 1:4	
DPL-250	1-25	1.3	399	E=EPDM	F8= igualmente, razón de división 1:8	

Indicadores digitales y transductores vea el folleto Z2.

## *Diseño de prototipo.*

Dado el costo de la unidad seleccionada, se tuvo que trabajar directamente en la versión económica del dispositivo. Se optó por trabajar sobre un diseño parecido al comercial. De paletas rotatorias con sensor óptico, desarrollándose así la siguiente alternativa.



*Prototipo inicial*

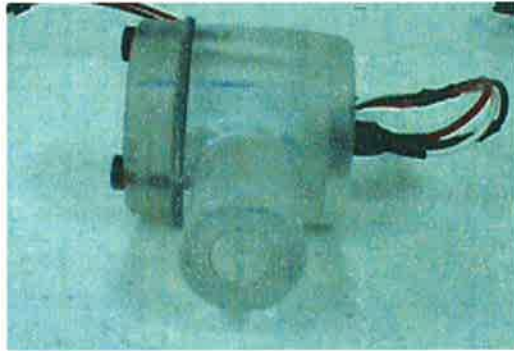


*Primer prototipo elaborado del caudalímetro*





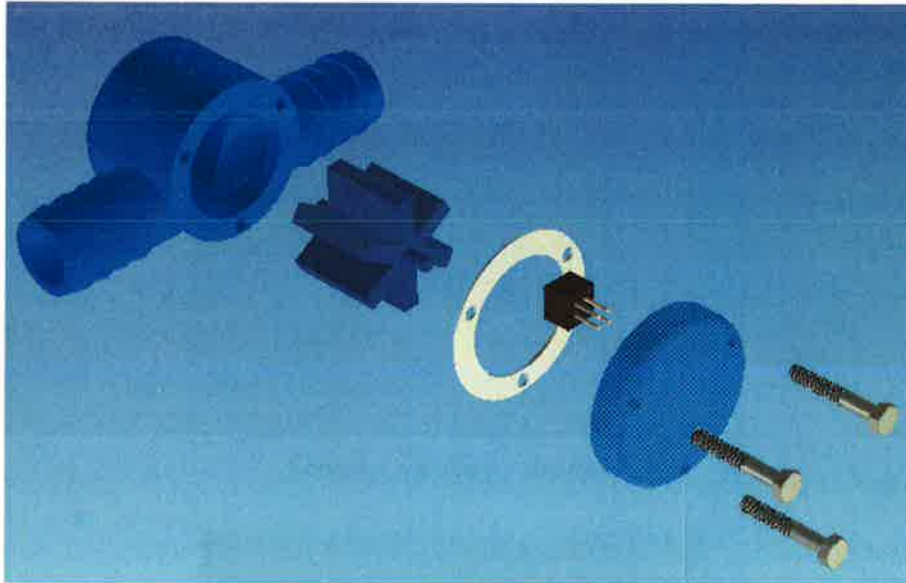
*Segunda versión del prototipo*



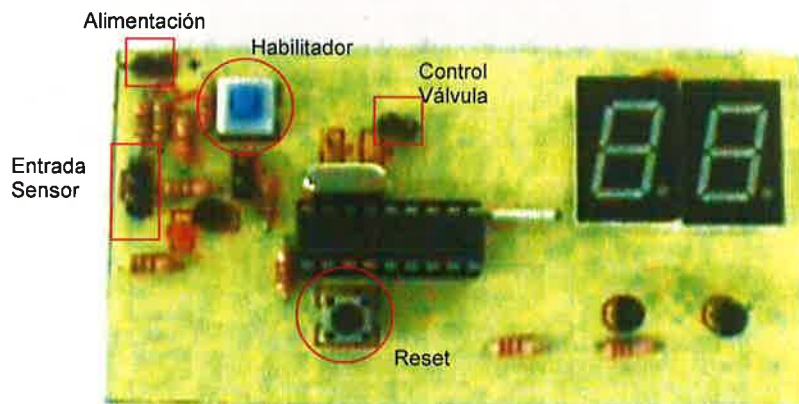
*Prototipo elaborado en acrílico  
(segunda versión)*



*Tercera versión del prototipo*



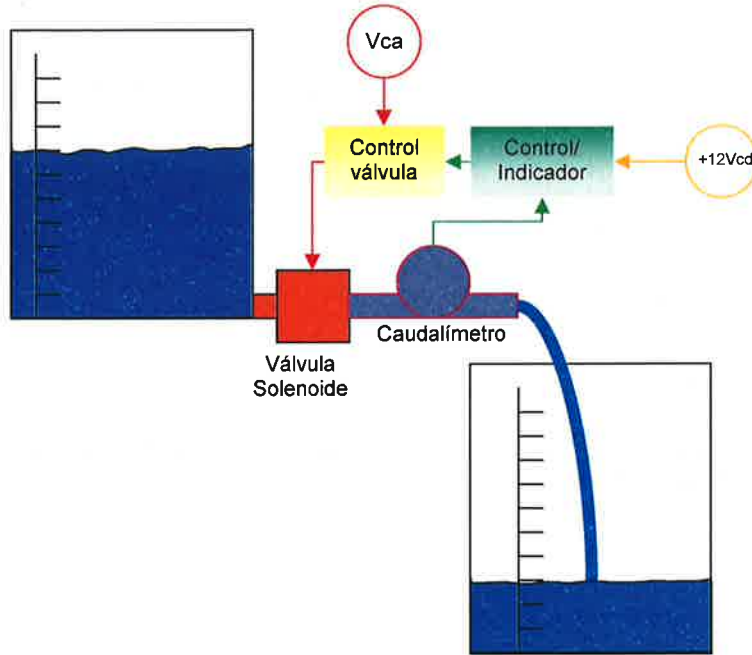
*Despiece del prototipo final*



*Placa del medidor con dos dígitos*



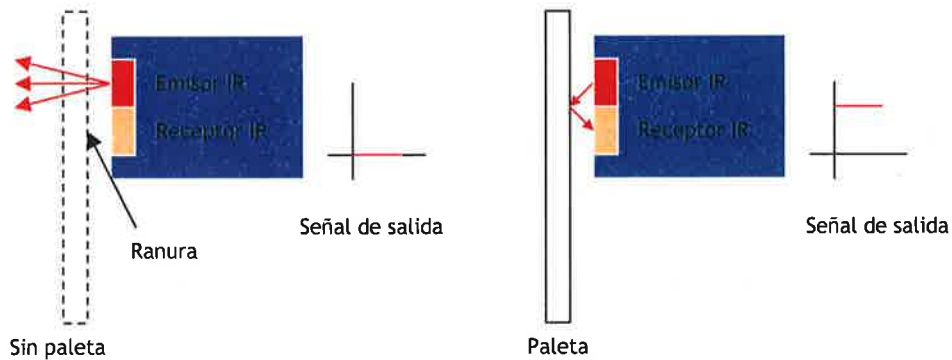
### Válvula solenoide para control de entrada de agua



Esquema de trabajo para mediciones con el caudalímetro

### Principio de funcionamiento.

El principio fundamental de operación del prototipo es bajo la medición de la velocidad del fluido, a través de la cual es posible calcular el volumen del líquido que pasa. Esta velocidad es proporcional a la velocidad que alcanzan las paletas rotatorias, la cual es medida sobre el costado de las paletas con el sensor óptico con el principio de reflexión de luz sobre estas



De aquí tenemos que, el sensor nos dará una señal de frecuencia dada, la cual representa pulsos por segundo (Hertz), pero dado que el rotor tiene seis paletas, la frecuencia que entrega el sensor

será seis veces la velocidad del rotor. La cual es proporcional a la velocidad del líquido, pero no igual, de ahí:

$$v \propto 6f_s$$
$$v = 6k_v f_s$$

Anexando el valor 6 a nuestra constante tendremos una constante general, quedando la ecuación como sigue:

$$v = K_v \cdot f_s$$

Donde:

$v$  - Velocidad con la que el líquido pasa a través del tubo

$f_s$  - Frecuencia entregada por el sensor

$K_v$  - constante de proporcionalidad

De la formula de gasto vista en el marco teórico, sabemos que el gasto representa el volumen que pasa por una tubería por unidad de tiempo, o también usando la representación de velocidad:

$$G = v \cdot A$$

Donde:

$G$  - Gasto del líquido

$v$  - Velocidad del líquido

$A$  - Área de la sección transversal del tubo

De las formulas anteriores para el gasto tenemos que:

$$G = A \cdot v$$

$$G = A \cdot K_v \cdot f_s$$

Donde:

$G$  - Gasto del líquido

$A$  - Área de la sección transversal del tubo por donde pasa el líquido

$K_v$  - constante de proporcionalidad de la velocidad

$f_s$  - frecuencia de la señal entregada por el sensor

Pero como nosotros solo nos interesa el volumen del líquido y no el gasto podemos modificar la formula anterior con ayuda de la siguiente expresión:

Dado que el gasto esta representado por unidades de volumen por tiempo

$$G = \frac{V}{t}$$

$$\frac{V}{t} = K_v \cdot A \cdot f_s$$

$$V = K_v \cdot A \cdot f_s \cdot t$$

Donde:

$V$  - Volumen del líquido que pasa por la tubería

$K_v$  - constante de proporcionalidad de la velocidad

$A$  - Área de la sección transversal del tubo por donde pasa el líquido

$f_s$  - frecuencia de la señal entregada por el sensor

$t$  - tiempo que tarda en pasar el volumen de líquido

Pero como la frecuencia representa pulsos por unidades de tiempo también, podemos simplificar la expresión a una independiente del tiempo:

$$V = K_v \cdot A \cdot f_s \cdot t$$

$$V = K_v \cdot A \cdot \frac{\chi}{t} \cdot t$$

$$V = K_v \cdot A \cdot \chi$$

Donde:

$V$  - Volumen del líquido que pasa por la tubería

$A$  - Área de la sección transversal del tubo por donde pasa el líquido

$K_v$  - constante de proporcionalidad de la velocidad

$\chi$  - numero de pulsos que entrega el sensor por el paso del liquido

Y como  $A = \pi \cdot r^2$  para una sección circular (tubo) nos queda:

$$V = K_v \cdot A \cdot \chi$$

$$V = K_v \pi \cdot r^2 \cdot \chi$$

$$V = K_g \cdot r^2 \cdot \chi$$

Donde:

$V$  - Volumen del líquido que pasa por la tubería

$K_g$  - constante general de proporcionalidad

$r$  - radio de la tubería

$\chi$  - numero de pulsos que entrega el sensor por el paso del liquido

Con fines de estandarizar unidades y para obtener litros con la formula deberán tomarse las siguientes unidades para las variables de la fórmula:

$$V - [mL] = [cm^3]$$

$$K_g - [cm]$$

$$r - [cm]$$

$$\chi - [adimensional] = \left[ \frac{cm^2}{cm^3} \right]$$

El principal problema radica en obtener a  $K_g$ , para lo cual procederemos a calcularla con valores obtenidos experimentalmente, esto a partir del desplazamiento de un cierto volumen a través del caudalímetro y verificar los pulsos obtenidos por un contador.

Volumen (lts.)	No. Pulsos						
	$\chi_0$	$\chi_1$	$\chi_2$	$\chi_3$	$\chi_4$	$x$	$\Delta x$
1	396	444	366	396	300	380.4	380.4
2	636	810	702	762	642	710.4	330
3	930	1242	1068	1170	960	1074	363.6
4	1170	1560	1392	1566	1278	1393.2	319.2
5	1416	1890	1722	1974	1596	1719.6	326.4
						$\Delta x$	334.8

Por lo que de acuerdo al promedio de valores tenemos que por un litro hay aproximadamente 335 pulsos, 34 pulsos por cada 100ml (escala mínima medidor)

Una vez programado el valor de 34 para el contador en el programa se vertió agua para medir con este programa 4Lts marcados en un recipiente, los cuales posteriormente fueron verificados con un recipiente graduado quedando la siguiente relación:

$$4.8\text{Lts (medidor)} = 3.8 \text{ Lts (real)}$$

$$1632 \text{ pulsos} = 3.8 \text{ Lts}$$

$$1\text{Lt} = 429.4736 \text{ pulsos} \approx 429 \text{ pulsos}$$

$$\text{Para } 100\text{ml} = 42.9 \text{ pulsos} \approx 43 \text{ pulsos}$$

Valor que finalmente fue actualizado en el programa y que resultado tener muy buena aproximación.

## Medidor de cantidad de agua. Diagramas y diseños.

Para la prueba y validación del prototipo se implemento un sencillo sistema medidor que nos despliega la información obtenida con el sensor (la cantidad del líquido), para esto se optó por el uso de un sistema con microcontrolador que cuente los pulsos entregados por el sensor óptico y controle tres displays que muestren la cantidad de agua y a la vez, el microcontrolador sea capaz de activar una válvula para iniciar el paso del flujo, todo esto bajo el siguiente esquema de señales y dispositivos.

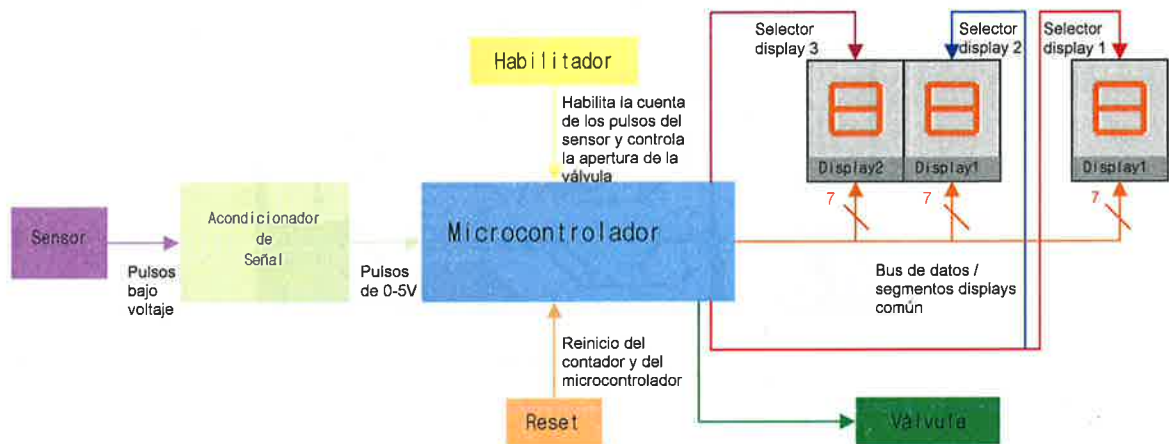


Diagrama a bloques del medidor

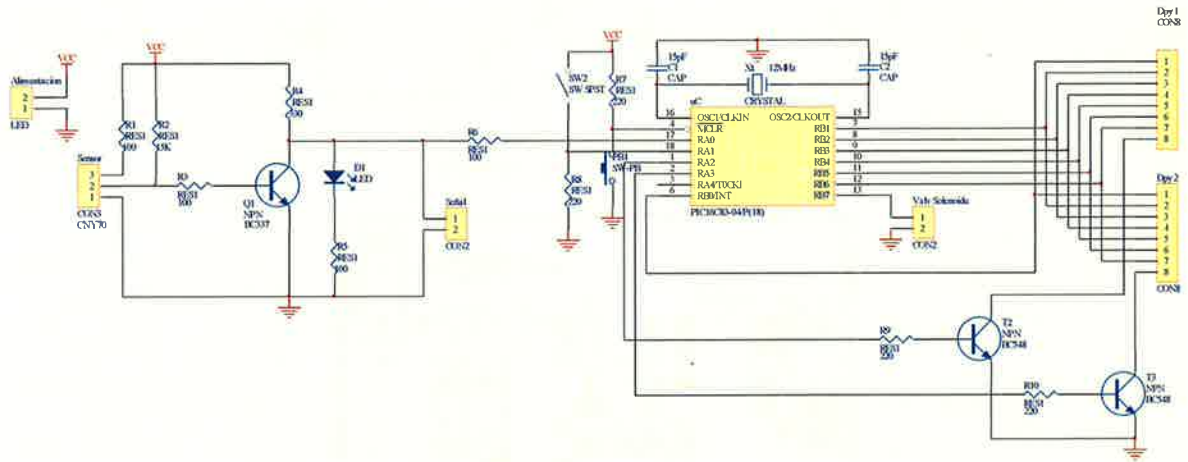
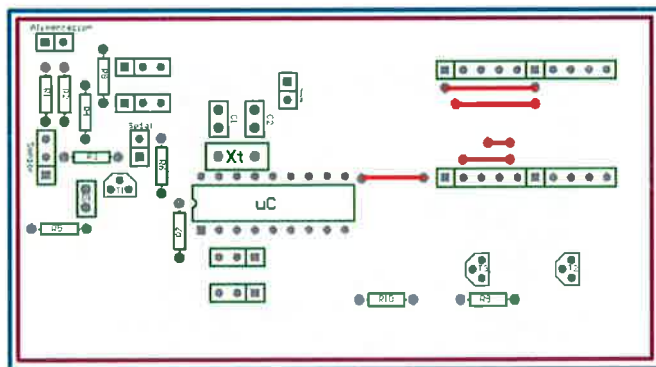
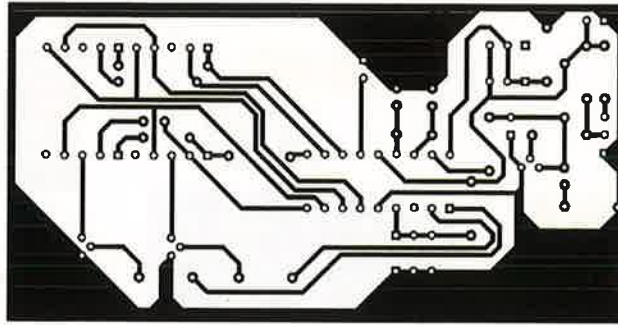


Diagrama eléctrico Medidor



Disposición de componentes Medidor



Circuito impreso  
Medidor

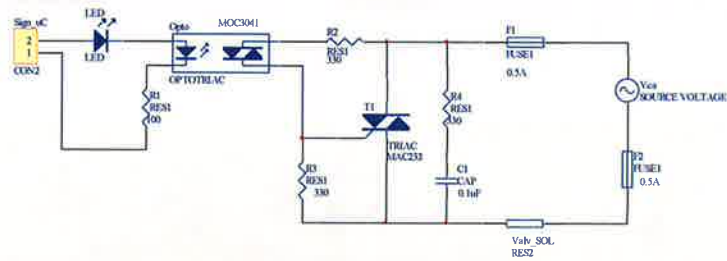
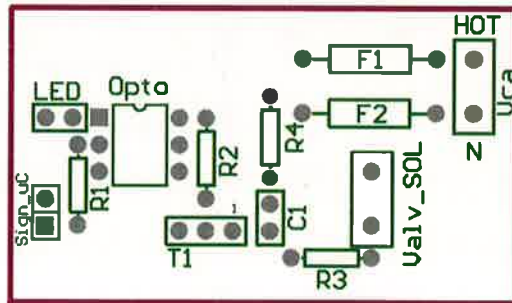
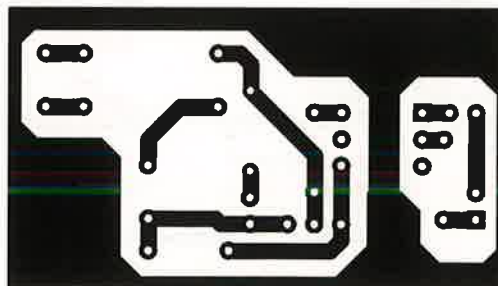


Diagrama eléctrico  
Control de válvula solenoide



Disposición de componentes  
Control válvula solenoide



Circuito impreso  
Control válvula solenoide



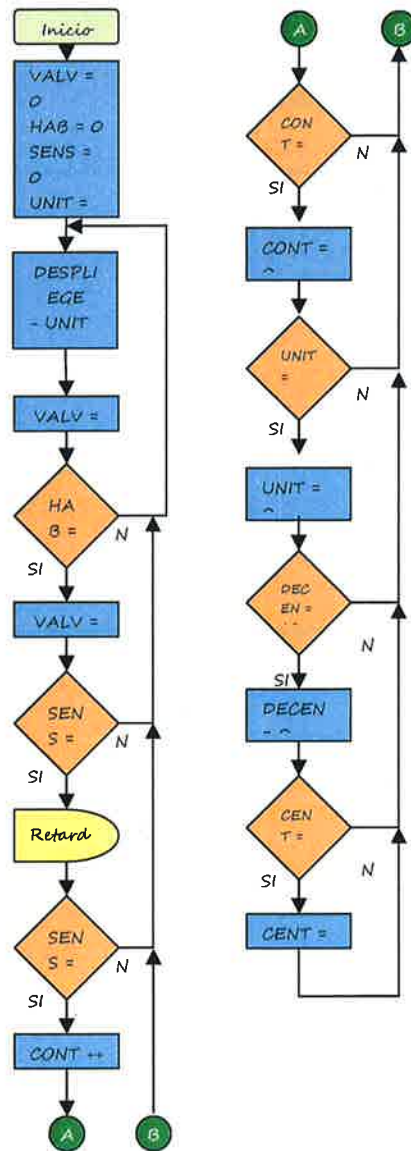
## Diagrama de flujo del programa para el medidor

Donde:

VALV – RB7

HAB – RA1

SENS – RA0



## Programa del medidor

```
=====
; Programa para medición y despliegue de volumen
; con prototipo caudalímetro
=====
```

```
; Estancia MABE TyP           Especialidad Mecatrónica
; 22 Julio 2004
; Desarrollo: Luis Alberto Tovar Ortiz
=====
```

```
LIST p=16F84
```

```
RADIX      HEX
```

```
INCLUDE    <P16F84.INC>
INCLUDE    <MacrosLIB.INC>
```

```
__CONFIG  3FFA
```

```
CBLOCK    H'0C'
          CA, CB, CC, C1, C2, CMP1, CMP2, DIEZ, UNIT, DECEN, CENT, TEMP
ENDC
```

```
CBLOCK    H'30'
          D0, D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7, D8, D9
ENDC
```

```
=====
INICIO:
  ORG H'00'
```

```
INICIALIZACION:
  BANK0
  CLRF    C1
  CLRF    C2
  CLRF    UNIT
  CLRF    DECEN
  CLRF    CENT
  CLRF    PORTA
  CLRF    PORTB
  MOVLW   D'1'
  MOVWF   CMP1
  MOVLW   D'43'
  MOVWF   CMP2
  MOVLW   D'10'
  MOVWF   DIEZ
  ASIGN_VAL_DIG
  BANK1
  CLRF    TRISA
  CLRF    TRISB
  BSF     TRISA, 4
  BSF     TRISA, 1
  BANK0
```

```
ESP_BAJ0:
  BSF     PORTB, 7
  DESPVALSOL
  BTFSC   PORTA, 4
  GOTO    ESP_BAJ0
  RETARDO H'06', H'01', H'01'
  BTFSC   PORTA, 4
  GOTO    ESP_BAJ0
  RETARDO H'06', H'01', H'01'
  BTFSC   PORTA, 4
  GOTO    ESP_BAJ0
```

```
VER_HAB:
  BCF     PORTB, 7
```

```

DESPVAL
BTFSS      PORTA, 1
GOTO       VER_HAB
RETARDO    H'06', H'01', H'01'
BTFSS      PORTA, 1
GOTO       VER_HAB
RETARDO    H'06', H'01', H'01'
BTFSS      PORTA, 1
GOTO       VER_HAB

ESP_FLUJO:
BSF        PORTB, 7
DESPVALSOL
BTFSS      PORTA, 4
GOTO       VER_HAB
RETARDO    H'06', H'01', H'01'
BTFSS      PORTA, 4
GOTO       VER_HAB
RETARDO    H'06', H'01', H'01'
BTFSS      PORTA, 4
GOTO       VER_HAB

INCF       C1, F
MOVF       C1, W
SUBWF      CMP1, W
BTFSS      STATUS, Z
GOTO       ESP_BAJO
CLRF       C1
INCF       C2, F
MOVF       C2, W
SUBWF      CMP2, W
BTFSS      STATUS, Z

GOTO       ESP_BAJO

CLRF       C2
INCF       UNIT, F
MOVF       UNIT, W
SUBWF      DIEZ, W
BTFSS      STATUS, Z

GOTO       ESP_BAJO

CLRF       UNIT
INCF       DECEN, F
MOVF       DECEN, W
SUBWF      DIEZ, W
BTFSS      STATUS, Z

GOTO       ESP_BAJO

CLRF       DECEN
INCF       CENT, F
MOVF       CENT, W
SUBWF      DIEZ, W
BTFSS      STATUS, Z

GOTO       ESP_BAJO

CLRF       CENT
GOTO       ESP_BAJO

END

```

## Librería usada para el programa del medidor

```
=====  
; Librerías de Macros para programa (MacrosLIB.INC)  
; para prototipo Medidor de caudal  
; Autor: Luis Alberto Tovar Ortiz  
; MABE Typ 28/Julio/2004  
=====
```

```
=====  
; Cambio al banco 0 de memoria del PIC  
=====
```

```
BANK0 MACRO  
BCF STATUS, RP0  
BCF STATUS, RP1  
ENDM
```

```
=====  
; Cambio al banco 1 de memoria del PIC  
=====
```

```
BANK1 MACRO  
BSF STATUS, RP0  
BCF STATUS, RP1  
ENDM
```

```
=====  
; Asignación de los segmentos para cada dígito  
; tabla en localidades de memoria consecutivas  
; para direccionamiento indirecto  
=====
```

```
ASIGN_VAL_DIG MACRO  
MOVLW B'00111111'  
MOVWF D0  
MOVLW B'00000110'  
MOVWF D1  
MOVLW B'01011011'  
MOVWF D2  
MOVLW B'01001111'  
MOVWF D3  
MOVLW B'01100110'  
MOVWF D4  
MOVLW B'01101101'  
MOVWF D5  
MOVLW B'01111101'  
MOVWF D6  
MOVLW B'00000111'  
MOVWF D7  
MOVLW B'01111111'  
MOVWF D8  
MOVLW B'01100111'  
MOVWF D9  
ENDM
```

```
=====  
; Rutina de despliegue en tres dígitos de una cifra  
; descompuesta en unidades, decenas y centenas  
; suma la localidad de memoria base a unidades  
; decenas y centenas para despliegue  
=====
```

```
DESPVAL MACRO  
MOVLW H'30'  
ADDWF UNIT, W  
MOVWF FSR  
MOVF INDF, W  
BCF PORTA, 2  
BCF PORTA, 3  
RETARDO H'0C', H'01', H'01'  
MOVWF PORTB  
RETARDO H'0C', H'01', H'01'  
BSF PORTA, 0
```

```

RETARDO      H'20', H'01', H'02'

MOVLW        H'30'
ADDWF        DECEN, W
MOVWF        FSR
MOVF         INDF, W
BCF          PORTA, 3
BCF          PORTA, 0
RETARDO      H'0C', H'01', H'01'
MOVWF        PORTB
RETARDO      H'0C', H'01', H'01'
BSF          PORTA, 2
RETARDO      H'20', H'01', H'02'

MOVLW        H'30'
ADDWF        CENT, W
MOVWF        FSR
MOVF         INDF, W
BCF          PORTA, 2
BCF          PORTA, 0
RETARDO      H'12', H'01', H'01'
MOVWF        PORTB
RETARDO      H'0C', H'01', H'01'
BSF          PORTA, 3
RETARDO      H'20', H'01', H'01'

ENDM

```

```

=====
;   Despliegue con válvula activa
=====
DESPVALSOL   MACRO
MOVLW        H'30'
ADDWF        UNIT, W
MOVWF        FSR
MOVF         INDF, W
BCF          PORTA, 2
BCF          PORTA, 3
RETARDO      H'12', H'01', H'01'
MOVWF        PORTB
BSF          PORTB, 7
RETARDO      H'0C', H'01', H'01'
BSF          PORTA, 0
RETARDO      H'20', H'01', H'02'

MOVLW        H'30'
ADDWF        DECEN, W
MOVWF        FSR
MOVF         INDF, W
BCF          PORTA, 3
BCF          PORTA, 0
RETARDO      H'12', H'01', H'01'
MOVWF        PORTB
BSF          PORTB, 7
RETARDO      H'0C', H'01', H'01'
BSF          PORTA, 2
RETARDO      H'20', H'01', H'02'

MOVLW        H'30'
ADDWF        CENT, W
MOVWF        FSR
MOVF         INDF, W
BCF          PORTA, 2
BCF          PORTA, 0
RETARDO      H'12', H'01', H'01'
MOVWF        PORTB
BSF          PORTB, 7
RETARDO      H'0C', H'01', H'01'
BSF          PORTA, 3
RETARDO      H'20', H'01', H'02'

NOP

```

```

ENDM
;
; =====
; Rutina de retardo con tres contadores anidados con valores asignables
; =====
RETARDO MACRO TPO1, TPO2, TPO3
    LOCAL CICLOC
    LOCAL CICLOB
    LOCAL CICLOA
    MOVWF TEMP
    MOVLW TPO3
    MOVWF CC
CICLOC:
    MOVLW TPO2
    MOVWF CB
CICLOB:
    MOVLW TPO1
    MOVWF CA
CICLOA:
    DECFSZ CA,F
    GOTO CICLOA
    DECFSZ CB,F
    GOTO CICLOB
    DECFSZ CC,F
    GOTO CICLOC
    MOVF TEMP, W
    NOP
ENDM

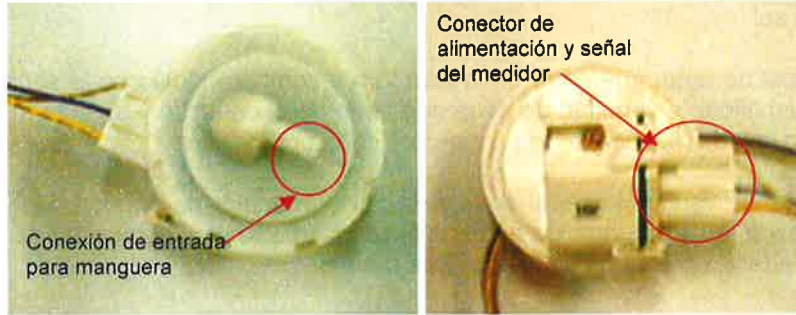
```

## *Calibración del caudalímetro contra medidor de presión.*

Una vez verificado y comprobada la eficiencia del caudalímetro dentro de ciertos rangos (limitándonos a un error de 500mililitros máximo aproximadamente) se procedió a la siguiente fase, que es la aplicación práctica del caudalímetro. El diseño de este caudalímetro es para tener una medida real de la cantidad de agua que entra a una lavadora, esto con fines de comparar esta lectura contra la ofrecida por un medidor de presión instalado actualmente en la mayoría de los modelos de lavadoras de MABE. Este medidor de presión es ocupado para detectar el nivel del agua y controlar el llenado de la tina e iniciar el ciclo de lavado.



*Medidor de presión por columna de agua*



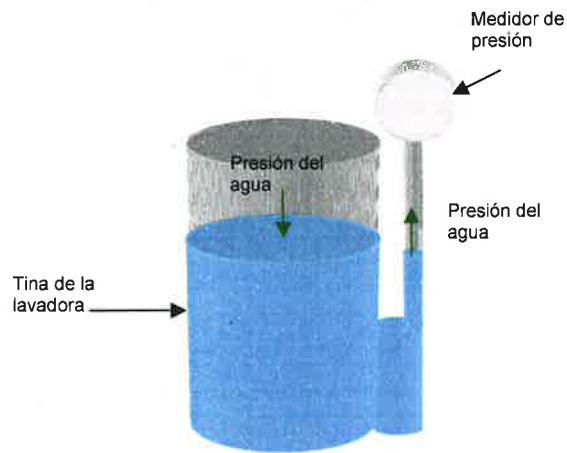
Vistas medidor de presión



Ubicación del conector para el medidor de presión



Lavadora de pruebas



Principio de funcionamiento del medidor de presión

La idea principal es:

Con la medida real de agua que entra en la lavadora y comparándola con la señal del medidor de presión poder cuantificar la cantidad de agua que absorbe cada tejido y de esta forma lograr que la lavadora haga un lavado "inteligente" de acuerdo a cada tipo de ropa.

Como primer paso se verificó la señal entregada por el medidor de presión contra la cantidad de agua que entró en la lavadora, medida esa con el caudalímetro a nivel máximo de agua y sin carga de ropa en la lavadora, obteniéndose la siguiente tabla.

Valores medidos con caudalímetro	Valores entregados medidor de presión
1	0.417
2	0.417
3	0.417
4	0.417
5	0.417
6	0.420
7	0.458
8	0.473
9	0.484
10	0.515
11	0.550
12	0.595
13	0.628
14	0.669
15	0.693
16	0.728
17	0.763
18	0.790
19	0.820
20	0.847
21	0.879
22	0.921
23	0.936
24	0.966
25	1.000
26	1.021
27	1.042
28	1.065
29	1.084
30	1.134
31	1.150
32	1.171
33	1.183
34	1.235
35	1.247
36	1.270
37	1.299
38	1.335
39	1.357
40	1.380
41	1.409
42	1.438
43	1.465
44	1.476
45	1.527
46	1.541
47	1.561
48	1.576
49	1.610
50	1.651
51	1.667
52	1.684
53	1.705



54	1.746
55	1.762
56	1.770
57	1.797
58	1.837
59	1.847
60	1.880
61	1.892
62	1.928
63	1.952
64	1.986
65	1.992
66	2.034
67	2.050
68	2.075
69	2.110
70	2.123
71	2.138
72	2.168
73	2.199
74	2.224
75	2.245
76	2.265
77	2.305
78	2.319
79	2.336
80	2.362
81	2.390
82	2.417
83	2.440
84	2.465
85	2.492
86	2.516
87	2.524
88	2.555
89	2.578
90	2.612
91	2.629
92	2.655
93	2.672
94	2.710
95	2.734
96	2.756
97	2.793
97.3	2.797

Tras repetir tres veces la prueba se llegó al siguiente rango de valores:

Lavadora en Vacío

97.3 – 98.3

Litros (Caudalímetro)

2.797 – 2.800

Voltios (medidor presión)

Posteriormente se verificó las variaciones del nivel contra la cantidad de agua que entra para tres tipos de ropa:

Lavadora con 6lb de pantalones

81.6

Litros (Caudalímetro)

2.792

Voltios (medidor presión)

Lavadora con 6lb de sabanas  
 75.6 Litros (Caudalímetro)  
 2.722 Voltios (medidor presión)

Lavadora con 6lb de toallas  
 83.4 Litros (Caudalímetro)  
 2.782 Voltios (medidor presión)

Y a demás se verificó la dinámica de absorción con los primeros valores entregados litro por litro por el medidor de presión:

Pantalones	
Litros (Caudalímetro)	Voltios (medidor presión)
1	0.417
2	0.417
3	0.417
4	0.417
5	0.417
6	0.417
7	0.417
8	0.417
9	0.417
10	0.417
11	0.444
12	0.462
13	0.483
14	0.528
15	0.552
16	0.595
17	0.638
18	0.679
19	0.720
20	0.765
21	0.808
22	0.848
23	0.881
24	0.924
25	0.964
26	0.986
27	1.023
28	1.064
29	1.115
30	1.144
31	1.179
32	1.227
33	1.272
34	1.307
35	1.336
36	1.376
37	1.410
38	1.438
39	1.476
40	1.519
41	1.558
42	1.588
43	1.620
44	1.657
45	1.699

Sábanas	
Línea (Caudal/metro)	Valor (medida/presión)
1	0.417
2	0.417
3	0.417
4	0.417
5	0.417
6	0.417
7	0.417
8	0.417
9	0.417
10	0.417
11	0.417
12	0.417
13	0.417
14	0.424
15	0.457
16	0.462
17	0.475
18	0.506
19	0.560
20	0.602
21	0.668
22	0.692
23	0.732
24	0.773
25	0.832
26	0.881
27	0.921
28	0.963
29	1.020
30	1.066
31	1.112
32	1.156
33	1.201
34	1.243
35	1.299
36	1.337
37	1.378
38	1.417
39	1.463
40	1.514
41	1.550
42	1.595
43	1.643
44	1.676
45	1.714

Toallas	
Línea (Caudal/metro)	Valor (medida/presión)
1	0.417
2	0.417
3	0.417
4	0.417
5	0.417
6	0.417
7	0.417
8	0.417
9	0.417
10	0.417
11	0.417

12	0.417
13	0.417
14	0.417
15	0.417
16	0.417
17	0.426
18	0.454
19	0.462
20	0.477
21	0.498
22	0.539
23	0.575
24	0.639
25	0.673
26	0.693
27	0.757
28	0.799
29	0.861
30	0.897
31	0.936
32	0.994
33	1.051
34	1.096
35	1.155
36	1.184
37	1.242
38	1.300
39	1.342
40	1.408
41	1.420
42	1.468
43	1.515
44	1.553
45	1.607

## Resultados.

El caudalímetro alcanzó una precisión de hasta un 6% en el mejor de los casos y un 10% en el peor, esto debido a fallas en el modelo por atascamientos del rotor y desbalanceo del eje del mismo. Dadas estas fallas y la precisión lograda, variaciones de 50ml por litro y 500ml en escalas mayores o incluso 1 litro en 100 litros, se puede tomar aceptable como para el desarrollo del prototipo ya bien maquinado y su calibración con instrumental más preciso. Esto en cuanto al caudalímetro.

Respecto a las pruebas de absorción, de los valores de las tablas anteriores tenemos que con la carga de pantalones en vez de llenarse la lavadora con 98 litros lo hizo con 81.6 litros, la carga de sabanas fue con 75.6 litros y la de toallas con 83.4 litros.

Analizando con detalle el llenado de la tina en cada carga de ropa, tenemos que el sensor de presión tiene una zona muerta en vacío hasta los 5 litros de agua, en la cual solo entrega un valor de 0.417 voltios, y después de la cual ya es capaz de detectar el nivel del agua, variando desde 0.417 hasta 2.800 voltios (para el caso de la lavadora de prueba utilizada, de 11Kg de capacidad). En el caso de cada carga de ropa, se puede apreciar que el momento en que cambia el valor del voltaje entregado por el medidor de presión es en 10.3 litros para los pantalones, en 13.9 para las sabanas y en 16.4 para las toallas.

## *Conclusiones.*

El caudalímetro demostró ser suficientemente eficaz, falta generar una calibración más exacta para este y construir y probar la última versión del prototipo, la cual fue mandada hacer con mayor precisión en las medidas y se espera que tenga mejor estabilidad y un giro mejor y más uniforme, lo cual mejoraría un poco la precisión y ya no oscilaría tanto.

El caudalímetro debe ser ubicado en una posición adecuada o construido con un material que impida el paso de la luz, ya que luz de alta intensidad sobre el sensor ocasiona que el medidor salte pulsos o deje de contar.

Una forma de mejorar la precisión del caudalímetro es haciendo un análisis más detallado del comportamiento del rotor y posiblemente modificando el caudalímetro para que las paletas del rotor tengan un sellado y de esta manera garantizar que cuando se mueva el rotor de una posición dada a otra, se desplace solamente cierta cantidad de agua.

Respecto a la absorción de los tejidos, con las cantidades de agua entregadas por cada carga de ropa (pantalones, sabanas y toallas), tenemos que la lectura en cierta forma nos entrega el agua que absorbe la ropa, ya que las sábanas y las toallas necesitaron más agua para alcanzar el mismo nivel que los pantalones, los cuales, de las tres cargas, eran los que menos agua absorbían por el tipo de tejido. Pero la variación de cantidad de agua entre toallas y sabanas no fue muy grande como para estar seguros de los datos, además de que la prueba solo pudo ser realizada dos veces para cada tipo de ropa. Faltaría tener más datos y con mayor precisión (con la última versión del caudalímetro ya calibrada) para poder corroborar estas afirmaciones, pero hasta donde se logró llegar parece ser que si hay posibilidad de ser determinado el tejido a lavar con el caudalímetro y el medidor de presión para nivel, ya que los segundos resultados arrojados por las pruebas nos dicen que el tiempo en el que comienza a subir el nivel es diferente para cada tipo de tejido, todo esto para cargas completas de un solo tipo de ropa. Faltaría verificar también para otros tipos de telas que sean comunes y que pudieran confundir al sistema, para lo cual probablemente podrían ser utilizados otros parámetros para comparar como la densidad o el volumen de la ropa y además generar un método para cargas mixtas.