



# **Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez**

## **REPORTE FINAL DE RESIDENCIA PROFESIONAL**

Detección de Pérdidas (DP) de Agua Potable en un Sistema de  
Distribución.

### **INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

*Cervantes Torres Marco Antonio  
Luna Martínez Miguel Ángel*

Empresa donde se realizó la residencia

***Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez***

Asesor

Dr. Héctor Ricardo Hernández de León

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, Diciembre de 2011.

# Índice

Introducción.....	4
Planteamiento del problema.....	4
Justificación.....	5
Objetivos.....	5
<i>Objetivos generales</i> .....	5
<i>Objetivos específicos</i> .....	6
Alcances y limitaciones.....	6
Fundamentos teóricos.....	7
<i>Modelo matemático en una tubería</i> .....	7
<i>Método para detectar fugas mayores</i> .....	11
<i>Tipos de sensores</i> .....	15
<i>Clasificación de los sensores</i> .....	16
<i>Medidores de presión diferencial</i> .....	16
<i>Medidores de velocidad</i> .....	26
<i>Medidores masivos</i> .....	38
<i>Medidores volumétricos</i> .....	44
Metodología.....	49
<i>Sensor utilizado</i> .....	49
<i>Diagrama a bloques</i> .....	51
<i>Diseño y acondicionamiento de la señal</i> .....	52

*Programación y diseño*

<i>Del circuito micro controlador 18f4520.....</i>	<i>55</i>
Resultados y prototipos.....	59
Conclusiones.....	63
Referencias bibliográficas.....	64
Anexos.....	66

## **Introducción**

En la actualidad el consumo de agua potable en una ciudad es alto, debido a la necesidad que existe en la población de contar con el vital líquido. El traslado del agua potable desde los diferentes tanques de almacenamiento hasta cada uno de los hogares y establecimientos de una ciudad, se logra mediante un sistema de distribución.

Un sistema de distribución de agua potable está conformado por diferentes tipos de tuberías y válvulas ubicadas de manera estratégica para obtener un buen funcionamiento, sin embargo, es necesario contar con el mantenimiento adecuado de toda la infraestructura para poder prevenir fugas de agua. En la mayoría de los casos es complicado evitar que existan fugas en un sistema de distribución grande y complejo, pero es posible detectar la fuga de una manera rápida para obtener una solución al problema lo antes posible, evitando las pérdidas de agua.

Este proyecto plantea resolver el problema mediante la utilización de sensores que determinen el flujo que existe en las tuberías, las lecturas de la cantidad de agua que pasa por las tuberías serán analizadas y guardadas en un sistema de adquisición de datos, cuando se produzca una fuga, las lecturas de las mediciones serán diferentes a las anteriores.

### **Planteamiento del problema**

El sistema de distribución de agua potable en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez está conformado en su mayoría por tuberías viejas y de mala calidad, esto debido a que no se cuenta con el mantenimiento adecuado. Lo que da lugar a un mal funcionamiento, permitiendo que se originen fugas de agua en algunos puntos de este sistema; las pérdidas de agua representan un problema grave, ya que generan grandes pérdidas económicas, de tiempo y sobre todo molestias a la sociedad en general, al no poder contar con el vital líquido.

El tiempo necesario para detectar la fuga, sumado al tiempo que tomará repararla generan grandes molestias a la gente, que se ve afectada por la pérdida del agua, además, los gastos generados para la detección de estas fugas y la reparación de las mismas son preocupantes para el ayuntamiento. La pronta detección de una fuga, implica un rápido accionar en contra de ésta, disminuyendo el tiempo de pérdida del líquido, generando un ahorro en los gastos de tiempo, dinero y esfuerzos.

## **Justificación**

Actualmente la detección de pérdidas (DP) en tuberías de agua es un área de investigación activa, y con un creciente interés, debido a la importancia del transporte seguro del vital elemento. Este trabajo considera el problema de DP en tuberías de agua por medio de redundancia analítica, basada en un modelo matemático y utilizando técnicas de estimación de estados.

Los beneficios económicos de la detección de fugas y su reparación pueden ser estimados fácilmente. Para una fuga individual, la cantidad perdida en un período de tiempo determinado, multiplicado por el valor de venta de dicha agua dará la cantidad en pesos. Pero además de traer beneficios económicos a las organizaciones que se encargan de suministrar agua potable, la detección de pérdidas trae consigo beneficios a la sociedad en general que es la más afectada cuando existe una fuga de agua.

## **Objetivos**

### **Objetivos generales.**

Diseñar y construir un sistema capaz de detectar pérdidas en un sistema de distribución de agua potable, mediante la utilización de sensores capaces de medir el flujo de la tubería, que ayudados de un modelo matemático puedan determinar una fuga.

### **Objetivos específicos:**

- Investigar sobre modelos matemáticos de tuberías y sistemas de distribución de agua, analizando las diferentes variables que se pueden obtener.
- Investigar sobre los diferentes tipos de sensores, que pueden ayudar a la detección de pérdidas de agua.
- Investigar sobre proyectos anteriores, acerca de la detección de pérdidas de agua.
- Diseño de un sistema de adquisición de datos, que permita interpretar las señales obtenidas del sensor.
- Diseño e implementación de un sistema que permita detectar fugas de agua en una red de distribución.

### **Alcances y limitaciones**

Este proyecto está provisto de ciertas limitaciones, debidas principalmente al costoso precio de sensores de caudal y al delicado uso que estos sensores tienen, además de no contar con los recursos necesarios para un mejor desempeño en el proyecto.

Los resultados que se quieren alcanzar, es poder llegar a tomar una buena lectura de medición de la cantidad de flujo de agua que pasa por una tubería, y con las lecturas obtenidas determinar si existe alguna pérdida de agua en ese sistema de tuberías.

## Fundamento teórico

### Modelo matemático de una tubería.

Para desarrollar el modelo no lineal de la tubería nos basaremos en las ecuaciones planteadas por Billmann [2] para una sección de tubería que transporta un fluido (gas o líquido), el balance de masas y energías conduce típicamente a las siguientes ecuaciones:

$$\frac{\varepsilon A}{b^2} \frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial Q}{A \partial t} + \frac{\partial p}{\partial t} = - \frac{f b^2}{2DA^2} \frac{Q|Q|}{P} \quad (2)$$

Con  $p$  presión [N/m<sup>2</sup>],  $Q$  flujo [m<sup>3</sup>/s],  $z$  coordenada de longitud [m],  $t$  coordenada de tiempo [s],  $f$  coeficiente de fricción [a-dimENSIONAL],  $D$  diámetro de la tubería [m],  $b$  es la velocidad del sonido en el fluido [m/s],  $A$  área de sección transversal [m<sup>2</sup>] y  $\partial$  operador de derivada parcial.

El sistema ha sido simplificado tomando las siguientes consideraciones: La velocidad del sonido en el fluido,  $b$ , es constante y pequeña en comparación a la velocidad del sonido en el aire. Los efectos elásticos de la tubería son despreciables. El flujo que se desplaza a través de la tubería se asume horizontal. Para disminuir los errores debido a simplificaciones, se agrega un factor correctivo al balance de masas como en [3].

En lo que resta, se trabajará con la carga de presión  $H$ , también conocida como altura piezométrica, que es la presión dividida entre la densidad y la aceleración gravitacional. Así que, despreciando la viscosidad y los efectos de turbulencia en el flujo, asumiendo que los cambios de temperatura dentro de la tubería y los intercambios de calor con el ambiente también son despreciables, que el modelo de la tubería es unidimensional, y reordenando los términos en función de las coordenadas de tiempo y espacio, tenemos:

$$\frac{b^2}{2DA^2} \frac{\partial Q(z, t)}{\partial z} + gA \frac{\partial H(z, t)}{\partial t} = 0 \quad (3)$$

$$\frac{\partial Q(z,t)}{\partial t} + gA \frac{\partial H(z,t)}{\partial z} + \mu(z,t)|Q(z,t)| = 0 \quad (4)$$

Donde: H, es la carga de presión [m], g es la aceleración de gravedad [m/s<sup>2</sup>] y  $\mu = f/2DA$ .

El modelo compuesto por las ecuaciones diferenciales (3) y (4) forma un sistema de parámetros distribuidos (SPD) del tipo hiperbólico. Una pérdida en el punto pide la tubería produce una discontinuidad en (3) y (4), y por ello se emplea una condición de cota  $p_i$  en el sistema, asociado con el flujo de descarga [12].

$$Q_{pi} = \lambda_i \sqrt{H(p_i, t)} \quad (5)$$

Donde el parámetro  $\lambda_i > 0$  es función del área del orificio, el coeficiente de descarga y la gravedad. Entonces, si  $n-1$  pérdidas son asumidas, el comportamiento del fluido es descrito por  $n$  par de ecuaciones diferenciales parciales, con una condición de cota entre cada sección, sin pérdidas, de la forma:

$$Q_{pi}^- = Q_{pi}^+ + Q_{pi} \quad (6)$$

Donde  $Q_{pi}^+$  y  $Q_{pi}^-$ , denotan el flujo antes y después de la pérdida en la posición  $p_i$ , respectivamente, para  $i = 1, 2, \dots, n-1$ . Asumiendo que el flujo y presión en los extremos pueden ser medidos, las diversas combinaciones de condiciones de cotas completan la descripción del fluido. En este caso, la carga de presión en los extremos del ducto es seleccionada como condición de cota.

$$[H(t, 0) H(t, L)] \quad (7)$$

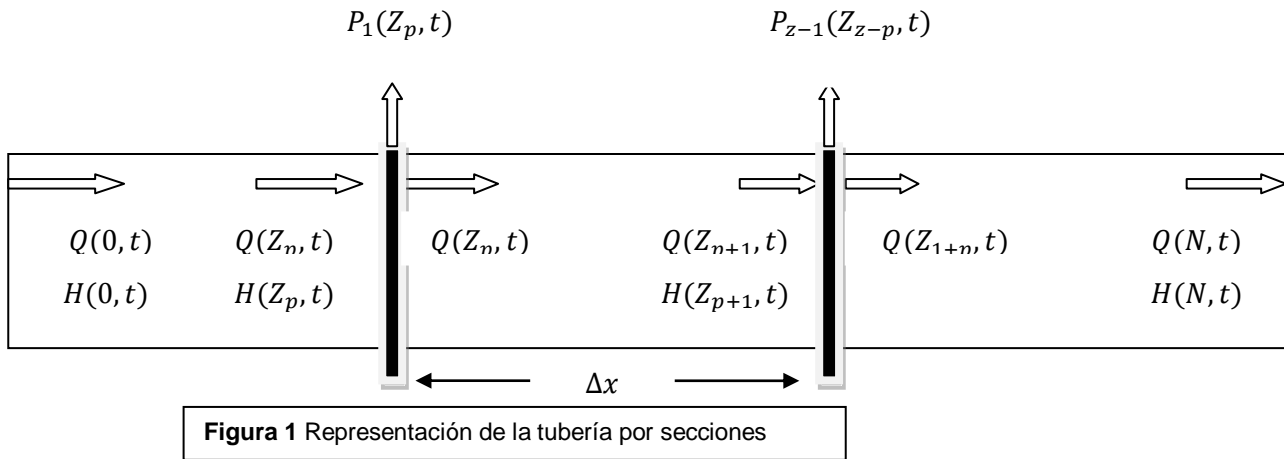
Considerando que puede ser regulada con un controlador, y que el flujo de entrada y salida es definido como salida del sistema

$$[Q(t, 0) Q(t, L)] \quad (8)$$



## Modelo discreto

El modelo de la tubería descrito en la sección anterior es un sistema de parámetros distribuidos (SPD). Para poder hacer uso del Filtro de Kalman (FK) y Filtro de partículas (FP), con el fin de estimar la pérdida  $p_i$ , se requiere de un modelo discretizado. Para ello, lo primero es dividir la tubería en  $N$  secciones, como muestra la Figura 1.



En el problema de detección de pérdidas, la condición de cota (6) genera un nuevo componente, el cual debe ser considerado en el proceso de discretización para obtener un modelo adecuado. Utilizaremos las aproximaciones (9) y (10) para derivar el modelo discreto. Asumiendo una tubería de largo  $L$  donde:

El espacio  $z$  es dividido en  $n$  celdas uniformes de tamaño  $\Delta = L/n$ , como muestra la Figura 1.

Las pérdidas están localizadas en el punto  $P_j = \Delta \sum_{i=1}^j n i$  con  $n i$  entero para  $j = 1, \dots, n-1$ ,

Cada flujo de pérdida es caracterizado por el parámetro  $\lambda_i$ . Las derivadas parciales con respecto a  $z$  en las ecuaciones (3) y (4) pueden ser aproximadas por:

$$\frac{\partial H(z, t)}{\partial z} = \frac{H_{i+1}(t) - H_i(t)}{\Delta} = \forall i = 1, \dots, n - 1 \quad (9)$$

$$\frac{\partial Q(z, t)}{\partial z} = \frac{Q_i(t) - Q_{i-1}(t)}{\Delta} = \forall i = 2, \dots, n - 1 \quad (10)$$

Donde el subíndice  $i$  es asociado a la variable de la sección  $i$ . Entonces los parámetros obtenidos en el modelo pueden ser escritos como  $n$  pares de ecuaciones dinámicas no lineal acopladas, dadas por:

$$\dot{Q}_i = \frac{a_1}{\Delta(H_i - H_{i+1})} - \mu Q_i |Q_i| = \forall i = 1, 2, \dots, n-1 \quad (11)$$

$$\dot{H}_i = \frac{a_2}{\Delta(Q_{i-1} - Q_i \mu_{ti} \lambda_i \sqrt{H_i})} = \forall i = 2, \dots, n \quad (12)$$

Con constantes  $a_1 = gA$ ,  $a_2 = b^2/gA$  y  $\mu_{ti} := u(t-t_i)$ , función asociada con la ocurrencia del tiempo  $t_i$  de la pérdida  $i$ . Donde  $H_i = H(t, 0)$  y  $H_{n+1} = H(t, L)$  son las entradas del sistema y obviaremos la variable independiente  $t$  para simplificar la notación. Así el sistema (11) y (12) tiene una dimensión mínima de  $m = 2n-1$ .

Con pérdidas arbitrarias, caracterizadas por:

$$(P_k, \lambda_k, t_k): P_k = \Delta(n_1 + \dots + n_k) \forall k = 1 \dots, l \quad (13)$$

Donde  $l$  es el número total de pérdidas, con  $\lambda_k > 0$ ,  $t_k \geq 0$ .

Finalmente tenemos que el modelo no lineal (11) y (12) de dimensión  $m$  puede ser escrito de forma vectorial como en (14). Con  $n_{1,2} = n_1 + n_2$ , en el caso de dos pérdidas, flujo  $Q_i$  y carga de presión  $H_i$ .

Donde la sección de tamaño  $\Delta$ , de la discretización del espacio, debe satisfacer que:

$$\sum_{i=0}^{t+1} n_i \Delta = n \Delta = L.$$

Donde  $l$  es el número de pérdidas.

## MÉTODO PARA DETECTAR FUGAS MAYORES EN UNA RED DE AGUA POTABLE

### FUNDAMENTOS

En una tubería de longitud  $L$  entre cuyos extremos hay una diferencia de cargas  $\Delta h$ , si  $n$  es el coeficiente de rugosidad según Manning;  $a$  y  $r$  son, respectivamente el área y el radio hidráulico del tubo, haciendo  $k = (n/ar^{2/3})^2 L$  el gasto que circula por el tubo será.

$$Q = \sqrt{\Delta h/K} \quad (1)$$

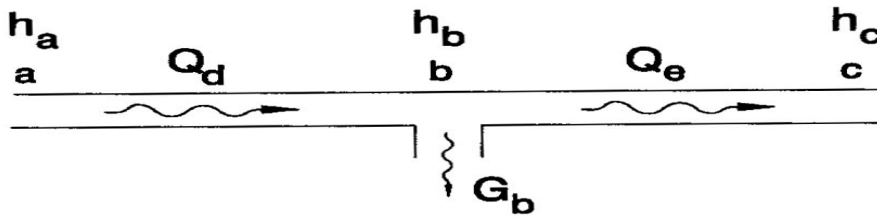
Para calcular una red de tubos es posible emplear un procedimiento iterativo de manera que si en una etapa de cálculo  $J$  el gasto circulante es  $Q^J$  y se establece que:

$$F^J = \frac{1}{2K|Q^J|} \quad (2)$$

En la etapa inmediata siguiente el gasto será:

$$Q^{J+1} = F^J \Delta h^{J+1} + \frac{Q^J}{2} \quad (3)$$

En estas expresiones J es un superíndice que representa el número de etapa de cálculo.



**Figura 2** Tubería con un gasto de extracción  $G_b$ .

En la Figura 1 se muestra un tramo de tubo en donde se indican las secciones con cargas  $h_a$ ,  $h_b$  y  $h_c$  y los gastos circulantes entre ellos,  $Q_a$  y  $Q_b$ , así que si en la sección  $b$  hay una extracción  $G_b$ , por el principio de continuidad y de acuerdo con la ecuación 1.

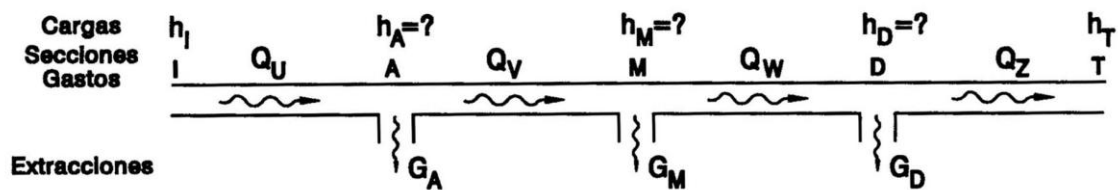
$$F_d^J(h_a^{J+1} - h_b^{J+1}) + \frac{Q_d^J}{2} = G_b + F_e^J(h_b^{J+1} - h_c^{J+1}) + \frac{Q_e^J}{2}$$

De manera que al ordenar resulta que:

$$F_d^J h_a^{J+1} - (F_d^J + F_e^J) h_b^{J+1} + F_e^J h_c^{J+1} = \frac{Q_e^J - Q_d^J}{2} + G_b \quad (4)$$

A lo largo de una tubería en donde se presenten varias extracciones, la expresión anterior permite relacionar las cargas  $h$  en cada sección con las de las secciones localizadas inmediatamente antes y después de ella. Pero, en adición, si en una determinada sección concurren tres o más tuberías, la ecuación 4 puede generalizarse fácilmente. Así resulta que para una red se puede elaborar un sistema de tantas ecuaciones lineales no homogéneas como incógnitas, que serán las cargas en las secciones en donde se hagan extracciones. Para definir el sistema bastará con especificar las cargas en los tanques desde los cuales se abastece la red.

Como los coeficientes dependen solamente de los gastos en la etapa inmediata anterior ( $j$ ), los términos independientes de éstos y de las extracciones que se suponen constantes, la secuencia del cálculo es muy simple. En efecto, si se suponen para  $j = 0$  los valores iniciales de los gastos  $Q_0$  se podrán obtener las  $f_0$  y con ellas formar el sistema cuya solución dará los valores de las cargas  $h$ , a partir de las cuales se calcularán nuevos valores  $Q$  con la ecuación 1 y así sucesivamente hasta que en dos etapas de cálculo sucesivas  $N-1$  y  $N$  los valores  $Q_N$  sean sensiblemente iguales a los  $Q_{N-1}$ . Este procedimiento tiene una convergencia rápida y es suficientemente aproximado. El programa SUPRED para computadora personal fue elaborado de acuerdo con estas ideas para resolver el problema descrito en el capítulo 4. El programa tiene dos opciones; puede mostrar los valores de todos los gastos  $Q_N$  y las cargas  $H_N$ , o bien solamente los valores de las cargas en los puntos de cruzamiento en donde concurren tres o más tubos y los valores de los gastos de ingreso a la red.



**Figura 3** secciones de cargas

Con el programa SUPRED, para cada conjunto de extracciones se podrán determinar las cargas en todas las secciones de la red, así como los ingresos a ella, lo que equivale a considerar que unas se hubieran medido previamente y los otros se hubieran calculado a partir de la ecuación 1.

Supóngase ahora que en el tubo que va de los puntos de cruce  $I$  a  $T$ , se considera que las cargas  $H_I$  y  $H_T$  se determinaron como se indicó para un conjunto de extracciones en donde se supusieron tugas en ese tramo. Y que se considera que en las secciones  $A$ ,  $M$ , y  $D$  las extracciones son las correspondientes a las de una red en donde no hubiera fugas (Figura 2).

De acuerdo con las ideas anteriormente expuestas, y dado que las cargas  $H_I$  y  $H_T$  son fijas y conocidas, se podrá elaborar el sistema:

$$\begin{aligned}
-(F_U^J + F_V^J)h_A^{J+1} + F_V^J h_M^{J+1} &= \frac{G_A}{2} - F_U^J H_1 \\
F_V^J h_A^{J+1} - (F_V^J + F_W^J)h_M^{J+1} + F_W^J H_D^{J+1} &= \frac{G_M}{2} \quad (5) \\
F_W^J h_M^{J+1} - (F_W^J + F_Z^J)h_D^{J+1} &= \frac{G_D}{2} - F_Z^J H_T
\end{aligned}$$

La solución de este sistema permitirá calcular en cada tubo, entre dos secciones de cruce, el gasto de ingreso  $Q_0$  y el de salida  $Q_Z$ , a partir de las cargas en esas secciones y en el supuesto de que las extracciones no incluyen fugas.

Ahora bien, si como se indica en la Figura 3, al punto de cruce I concurren varios tubos, con gastos de entrada  $Q_P$  y  $Q_X$ , y gasto de salida  $Q_{Y+} + Q_Z$  Y en ese punto hay una extracción  $G_I$ , se podrá definir de acuerdo con la ecuación de continuidad que:

$$D_1 = Q_P + Q_X - Q_Y - Q_Z - Q_i \quad (6)$$

De esta manera si tanto en el nodo I (Figura 3) como en los tubos concurrentes las extracciones supuestas son correctas, deberá cumplirse que  $D_i=0$ ; de otra manera, cualquiera de las extracciones será diferente de las supuestas, lo que indicará que en la proximidad del nudo I o en él hay fugas, y se dirá que allí hay un gasto de desequilibrio  $D_I \neq 0$ .

El programa DIFUMO para computadora personal fue elaborado de acuerdo con estas ideas para resolver el problema planteado en el capítulo 4, y sirve, precisamente, para calcular los valores de los gastos de desequilibrio en una red en donde son conocidas las cargas en los puntos de cruce, los gastos de ingreso a la red y las demandas en la red considerando que no hay fugas en ella.

<b>Tipos de sensores</b>			
<b>Medidores de presión diferencial</b>	<b>Medidores de velocidad</b>	<b>Medidores másicos</b>	<b>Medidores volumétricos</b>
Tubo de Venturi	Medidores de turbina	Medidor másico térmico	Medidores de desplazamiento positivo
Placa de orificio	Medidor electromagnético	Medidor de Coriolis	Medidor de pistón oscilante
Tubo de pitot	Medidor Vortex		Medidores de paletas deslizantes
Tubo Annubar	Rotámetro		Medidores de engranajes
Medidores de impacto	Medidores ultrasónicos		
Medidores de caudal solido			
Medidores de placa			
Medidores de placa			
Medidores de caudal solido			

## Clasificación de sensores

### ¿QUÉ ES EL CAUDAL?

El caudal es una indicación de que tanto fluido en peso o volumen se está moviendo, o sea es que tanta cantidad de fluido está pasando por un determinado punto dentro de un período específico de tiempo. Para realizar esta medición se utilizan los fluxómetros.

### 1. MEDIDORES DE PRESIÓN DIFERENCIAL

Se estima que actualmente, al menos un 75% de los medidores industriales en uso son dispositivos de presión diferencial, siendo el más popular la placa de orificio.

Se sabe que cualquier restricción de fluido produce una caída de presión después de esta, lo cual crea una diferencia de presión antes y después de la restricción. Esta diferencia de presión tiene relación con la velocidad del fluido y se puede determinar aplicando el Teorema de Bernoulli, y si se sabe la velocidad del fluido y el área por donde está pasando se puede determinar el caudal.

La ecuación de Bernoulli es una de la más útiles y famosas en la mecánica de fluidos y su principio físico es utilizado para medir el caudal.

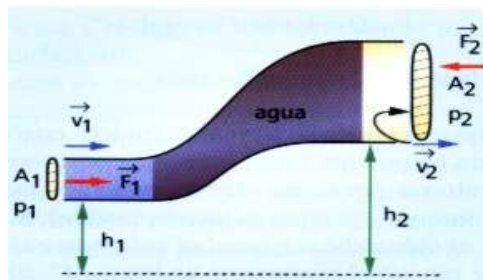


Figura 5. Ecuación de Bernoulli

El teorema de Bernoulli establece que la energía mecánica de un fluido, medida por energía potencial gravitacional, la cinética y la de la presión es constante.

$$P + \frac{1}{2} \rho v^2 + \rho g h = \text{Constante}$$



Una aplicación directa del Teorema de Bernoulli se encuentra en el tubo Venturi, el cual se detallará más adelante.

### **Ventajas de los medidores diferenciales**

- Su funcionamiento se comprende con facilidad.
- Su sencillez de construcción.
- No son caros, particularmente si se instalan en grandes tuberías y se comparan con otros medidores.
- Pueden utilizarse para la mayoría de los fluidos.
- Hay abundantes publicaciones sobre sus diferentes usos.

### **Desventajas**

- La amplitud del campo de medida es menor que para la mayoría de los otros tipos de medidores.
- Pueden producir pérdidas de carga significativas.
- Deben respetarse unos tramos rectos de tubería aguas arriba y aguas abajo del medidor que, según el trazado de la tubería y los accesorios existentes, pueden ser grandes.
- Pueden producirse efectos de envejecimiento, es decir, acumulación de depósitos o la erosión de las aristas vivas.
- La precisión suele ser menor que la de medidores más modernos, especialmente si, como es habitual, el medidor se entrega sin calibrar.

El tamaño del tubo de Venturi se especifica mediante el diámetro de la tubería en la cual se va a utilizar y el diámetro de la garganta; por ejemplo, un tubo de Venturi de 6" x 4" se ajusta a una tubería de 6" y tiene una garganta de 4" de diámetro. Para que se obtengan resultados precisos, el tubo de Venturi debe estar precedido por una longitud de al menos 10 veces el diámetro de la tubería.

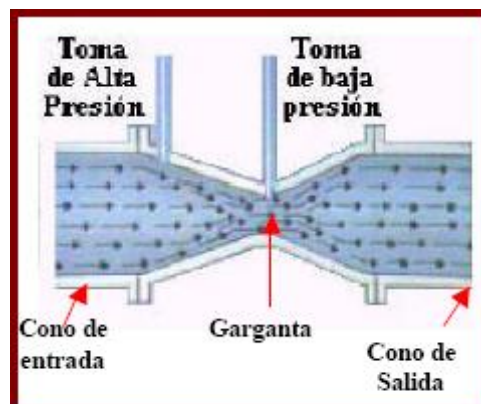


Figura 6 tubos de Bernoulli

Al escurrir el fluido de la tubería a la garganta, la velocidad aumenta notablemente y, en consecuencia, la presión disminuye; el gasto transportado por la tubería en el caso de un flujo incompresible, está en función de la lectura en el manómetro.

## Aplicación de Bernoulli a un Tubo

### 1.1a) Venturi.

Con frecuencia en los tubos de Venturi como el que se muestra en la figura N°1, se emplea como se ha señalado para medir la velocidad o el caudal en una tubería. Si se combinan las ecuaciones de continuidad ( $V_1A_1 = V_2A_2$ ) y la de Bernoulli para encontrar la velocidad en la garganta, se tiene que:

$$V_{garganta} = \sqrt{\frac{2(P_1 - P_2)}{\rho \left[1 - \left(\frac{d}{D}\right)^4\right]}}$$

$\rho$  = densidad

La medición de los diámetros y las dos presiones permite determinar la velocidad y, con ésta y el diámetro de la garganta, el caudal másico. La velocidad y el caudal másico medido son algo imprecisos debido a pequeños efectos de fricción, los cuales se omiten en la ecuación de Bernoulli. Para tomar en cuenta tales efectos, en la práctica se introduce un coeficiente multiplicativo,  $C_u$ , que ajusta el valor teórico. Esto es:

$$V_{garganta} = C_u \sqrt{\frac{2(P_1 - P_2)}{\rho \left[1 - \left(\frac{d}{D}\right)^4\right]}}$$

Donde el valor de  $C_u$  se encuentra experimentalmente.

El tubo Venturi tiene distintas aplicaciones, se utiliza en los motores como parte importante de los carburadores, se utiliza en sistemas de propulsión. Otras características:

- ➔ Se utiliza cuando es importante limitar la caída de presión.
- ➔ Consiste en un estrechamiento gradual cónico y una descarga con salida también suave.
- ➔ Se usa para fluidos sucios y ligeramente contaminados.

**Algunos modelos de Tubos Venturi:**



**Figura 7** tubos de Bernoulli

## 1.1b) PLACA ORIFICIO

La placa de orificio consiste en una placa perforada que se instala en la tubería, el orificio que posee es una abertura cilíndrica o prismática a través de la cual fluye el fluido.

El orificio es normalizado, la característica de este borde es que el chorro que éste genera no toca en su salida de nuevo la pared del orificio. El caudal se puede determinar por medio de las lecturas de presión diferenciales. Dos tomas conectadas en la parte anterior y posterior de la placa captan esta presión diferencial.

La disposición de las tomas se pueden observar con más claridad en la figura N°8

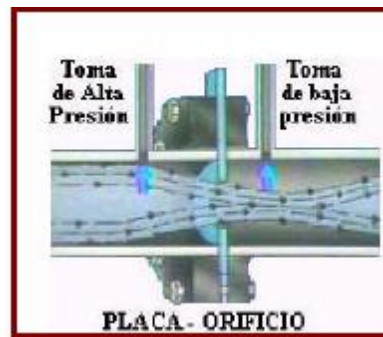


Figura 8 Placa de orificio

El orificio de la placa, como se muestra en la figura N°9, puede ser: concéntrico, excéntrico y segmentada.

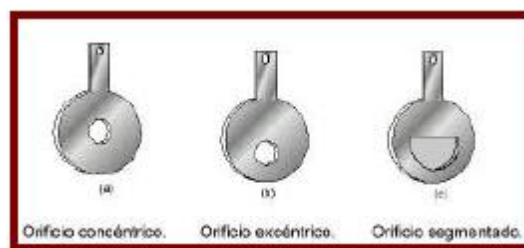


Figura 9 Placa de orificio

La placa concéntrica sirve para líquidos.

Excéntrica para los gases donde los cambios de presión implican condensación. Cuando los fluidos contienen un alto porcentaje de gases disueltos.

Segmentada, partículas en suspensión implican turbulencias que limpiarán

(para que no se aglomeren partículas), el lado de alta presión evitando errores en la medición.

Con el fin de evitar arrastres de sólidos o gases que pueda llevar el fluido, la placa incorpora como se menciona anteriormente un orificio de purga. Entre los diversos perfiles de orificio que se utilizan, según se muestra en la figura N°10, se pueden destacar los siguientes: de cantos vivos, de cuarto de círculo y de entrada cónica.

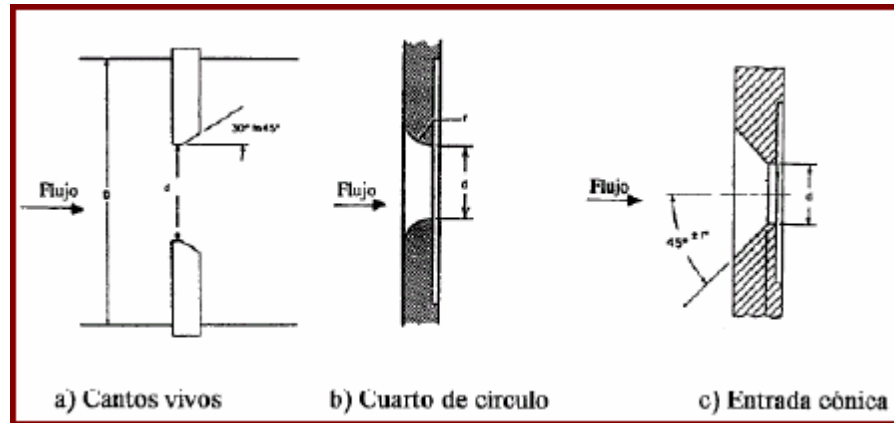
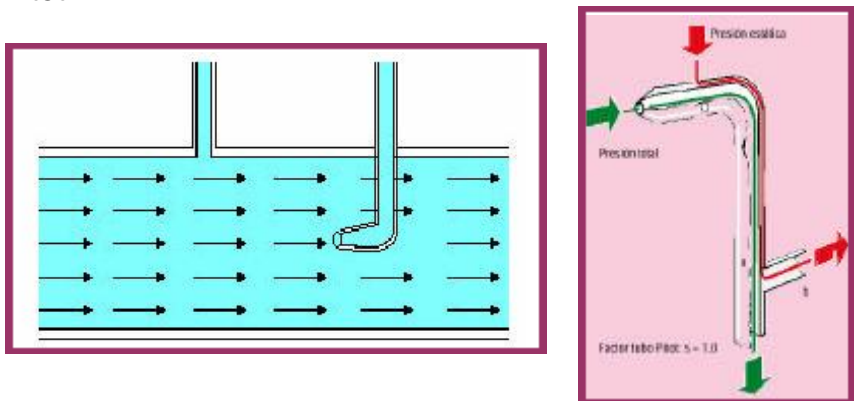


Figura 10 Placa concéntrica

### 1.1 c) TUBO DE PITOT

Generalidades:

El tubo de Pitot es quizá la forma más antigua de medir la presión diferencial y también conocer la velocidad de circulación de un fluido en una tubería. Consiste en un pequeño tubo con la entrada orientada en contra del sentido de la corriente del fluido. La velocidad del fluido en la entrada del tubo se hace nula, al ser un punto de estancamiento, convirtiendo su energía cinética en energía de presión, lo que da lugar a un aumento de presión dentro del tubo de Pitot.



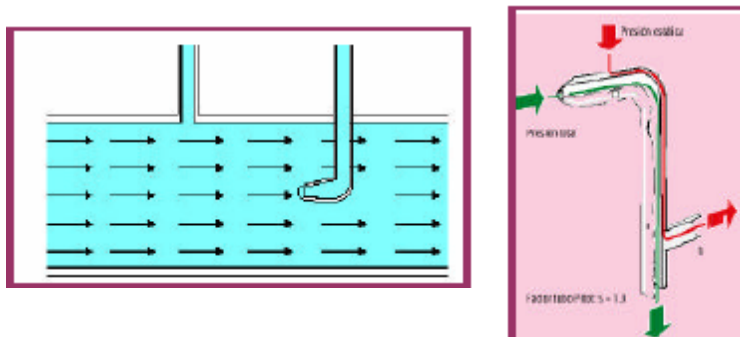


Figura 11 Tubos de pitot

Los tubos de Pitot son instrumentos sencillos, económicos y disponibles en un amplio margen de tamaños. Si se utilizan adecuadamente pueden conseguirse precisiones moderadas y, aunque su uso habitual sea para la medida de la velocidad del aire, se usan también, con la ayuda de una técnica de integración, para indicar el caudal total en grandes conductos y, prácticamente, con cualquier fluido.



Figura 12 Tubos de pitot

Características:

- ➔ Mide la velocidad en un punto.
- ➔ Sus ventajas son la escasa caída de presión y bajo precio, siendo por ello una buena elección para tuberías de gran diámetro y para gases limpios.
- ➔ Consiste en un tubo de pequeño diámetro que se opone al flujo, con lo que la velocidad en su extremo mojado es nula.

## Funcionamiento

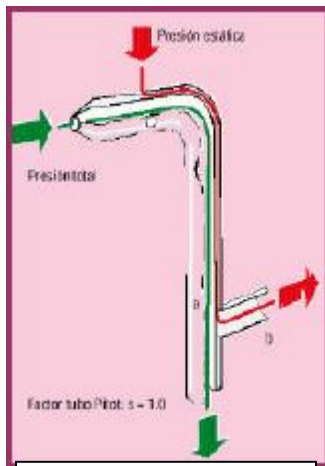


Figura 13 tubos de pitot

El orificio del tubo de Pitot toma la presión total y la conduce a la conexión (a) en la sonda de presión. La presión estática pura se toma desde una parte lateral y se conduce a la conexión (b). La presión diferencial resultante es una presión dinámica que depende de la velocidad y que es analizada e indicada.

## Fórmula

Una vez obtenido la diferencia de presiones, y calculado de la velocidad del fluido según la fórmula que utiliza el tubo de Pitot, es posible a través de la ecuación de Bernoulli determinar el caudal total que pasa a través del flui

$$v = s \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot p}{\rho}}$$

v = Velocidad en m/s  
s = Factor tubo Pitot  
 $\rho$  = Densidad del aire en kg/m<sup>3</sup>  
p = Presión diferencial en Pascal medido en tubo de Pitot

F(x) para obtener velocidad

Densidad	
Temp.	20.1 °C
Humedad	50.0 %
Presion abs.	911 mbar
1078.0 g/m <sup>3</sup>	
Datos obtenidos a través de un tubo Pitot	

### 1.1. c.1) El tubo Annubar

Es una variante del tubo de Pitot que dispone de varias tomas, a lo largo de la sección transversal, con lo que se mide la presión total en varios puntos,

obteniendo la media de estos valores y evitando el error que produce el tubo de Pitot.



Figura 14 Tubo Annubar

### 1.1 d) MEDIDORES DE IMPACTO

Para el presente trabajo identificamos dos instrumentos para medir caudal en base al impacto, como los siguientes:

- ➔ Medidores de placa: reacciona frente al impacto del fluido en una placa generalmente circular dentro de una tubería.
- ➔ Medidores de caudal sólido: reacciona frente al impacto de un material sólido pulverizado (debido a los bajos tamaños de diámetro de partícula, el material tiende a comportarse como un fluido), para determinar el caudal que circula a través de el sistema.

#### Características

- ➔ Miden la fuerza sobre una placa (generalmente un disco circular) que se coloca en contra del flujo.
- ➔ Tienen baja precisión (0.5 - 5%), pero son adecuados para fluidos sucios, de alta viscosidad y contaminados.
- ➔ Debido a la fuerza que tiene que soportar el sistema de equilibrio de fuerzas, está limitada a tamaños de tubería hasta 100 mm.

#### 1.1. d.1) Medidores de placa.

El principio de funcionamiento del medidor de placa de resistencia al avance de la corriente consiste en que una placa generalmente circular se mantiene



en el centro de la tubería por medio de una barra normal al flujo. Teniendo en cuenta que la aceleración del fluido en el espacio anular entre la placa y la tubería crea una presión reducida sobre la cara aguas abajo de la placa, la fuerza ejercida por el fluido sobre la placa será la diferencia entre las presiones sobre las superficies aguas arriba y aguas abajo de la placa, la cual tiende a mover la placa en la dirección del flujo, el movimiento es detectado por un elemento secundario, es decir, un transmisor neumático de equilibrio de fuerza, situado al final de la barra soporte, el que a través de fórmulas determina la velocidad a la cual circula el fluido y por ende el caudal que fluye por el sistema de acuerdo a las ecuaciones de Bernoulli.

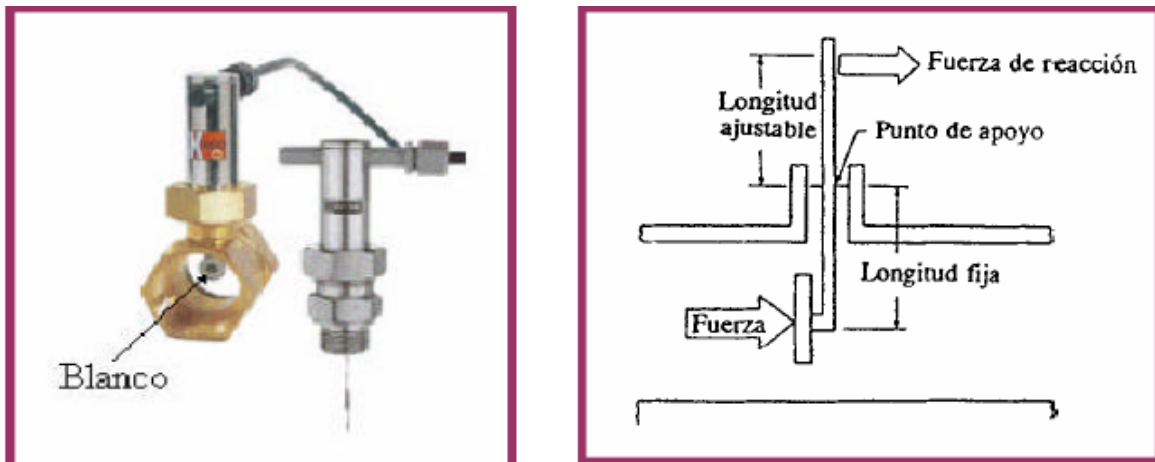


Figura 15 Medidores de placa

### 1.1. d.2) Medidores de caudal sólido

Los medidores de caudal de sólidos permiten pesar cualquier material seco a granel o granulado, de diámetro de hasta 25 mm, en un rango de 200 Kg/h a 2000t/h. La medición puede efectuarse en productos con densidades y caudales muy diferentes: trigo soplado, mineral de hierro, los polvos fluidificados como la ceniza volante, y los productos pegajosos con posibilidad de depósito, como las virutas de torno. Los medidores de caudal sólido pueden utilizarse en aplicaciones con productos tan diversos como: cemento, arena, carbón coque, carbón, cal, trigo, arroz, harina, azúcar, productos alimenticios para animales, astillas de madera y virutas de plástico.

El principio de funcionamiento es muy sencillo debido a que, el material sólido entra en el medidor de caudal por la placa de guía del caudal y pega en la placa censora, generando una fuerza mecánica y continua sin interrumpir el

proceso o la producción. La fuerza horizontal es convertida en una señal eléctrica, controlada por la unidad electrónica utilizada con el medidor de caudal, para la visualización del caudal instantáneo y de la cantidad de material totalizada. La medición solo se basa en la fuerza horizontal de la fuerza de impacto.

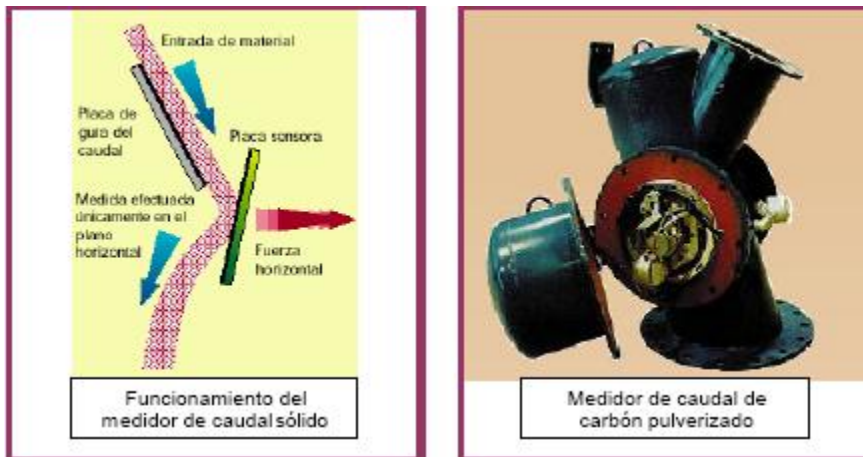


Figura 16 Medidores de caudal sólido

## 2. MEDIDORES DE VELOCIDAD

### 2.1 Medidores de Turbina

Consiste de un juego de paletas o aspas acopladas a un eje, las cuales giran cuando pasa un fluido a través de ellas. La velocidad a la cual giran estas aspas es proporcional a la velocidad del flujo, y si tenemos la velocidad y el área del conducto se puede determinar el caudal. Las turbinas deben 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.

Para captar la velocidad de la turbina existen dos tipos de convertidores:

**Reluctancia:** La velocidad está determinada por el paso de las palas individuales de la turbina a través del campo magnético, esta variación cambia el flujo induciendo una corriente alterna en la bomba captadora.

**Inductivo:** El rotor lleva incorporados un imán permanente y el campo magnético giratorio que se origina produce una corriente alterna en una bobina captadora exterior.

Para estos dos convertidores el rotor de turbina genera la frecuencia la cual es proporcional al caudal, siendo del orden a 250 a 1200 ciclos por segundos para caudal máximo.

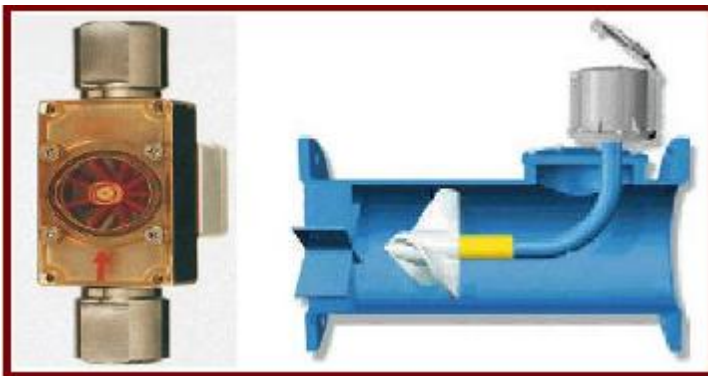
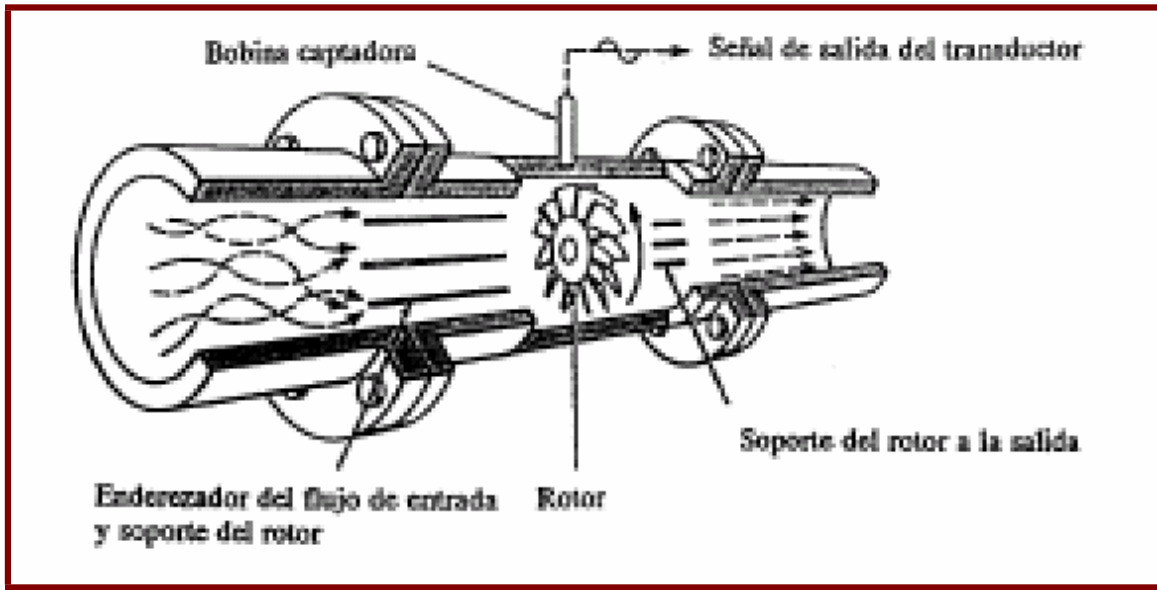


Figura 17 Medidores de turbina

## 2.2. Medidor Electromagnético

Se basa en la ley de inducción electromagnética de Faraday: “El voltaje inducido en un conductor que se mueve en un campo magnético, es proporcional a la velocidad del conductor, dimensión del conductor, y fuerza del campo magnético”.

Con este principio, se hace pasar un fluido conductor a través de campo magnético producido por un conjunto de bobinas sujetas al exterior de la tubería, generando un voltaje perpendicular al flujo y al campo magnético. Este voltaje es proporcional a la longitud del conductor, a la densidad del campo magnético y la velocidad con que atraviesa el conductor este campo magnético, y como se sabe el área de la tubería se determina el caudal en ese instante.

El medidor consta de:

➤ Tubo de Caudal:

- El propio tubo (de material no Magnético) recubierto de material no conductor (para no corto-circular el voltaje inducido).
- Bobinas generadoras del campo magnético.
- Electrodo detectores del voltaje inducido en el fluido.

➤ Transmisor:

- Alimenta eléctricamente (C.A.o C.C.) a las bobinas.
- Elimina el ruido del voltaje inducido.
- Convierte la señal (mV) a la adecuada a los equipos de indicación y control (mA, frecuencia, digitales).

Es poco sensible a los perfiles de velocidad y exigen conductividad de 5 cm  
No originan caída de presión Se usan para líquidos sucios, viscosos y contaminados.

Es importante señalar que la diferencia de potencial entre los electrodos es del orden de mili volts, 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.

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

### 2.3. Medidor Vortex

La introducción de un cuerpo romo en la corriente de un fluido provoca un fenómeno de la mecánica de fluidos conocido como vórtice o torbellino (efecto de Van Karman). Los vórtices son áreas de movimiento circular con alta velocidad local. La frecuencia de aparición de los vórtices es proporcional a la velocidad del fluido. Los vórtices causan áreas de presión fluctuante que se detectan con sensores. Para poder usar este medidor es necesario que el fluido tenga un valor mínimo del número de Reynolds ( $Re = \rho v D / \mu$ ). Indicado para gases y líquidos limpios.



Figura 18 Medidor Vortex

### 2.4. Rotámetro

Medidores de área variable en los que un flotador cambia su posición de forma proporcional al caudal como indicador visual. Se le puede hacer acoplamiento magnético instalación en vertical, además es un diafragma de orificio variable teniendo un coeficiente de descarga que englobará el reparto desigual de velocidades, la contracción de la vena del fluido, las rugosidades de la tubería, etc.

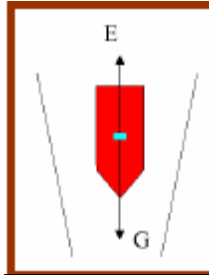


Figura 19 Rotámetro

Datos de las siglas, que hay en el rotámetro:

Datos de las siglas, que hay en el rotámetro:

$G$  = peso del flotador.

$v_f$  = volumen del flotador.

$\rho_f$  = peso específico del flotador.

$\rho_t$  = peso específico del fluido.

$E$  = fuerza de arrastre del fluido sobre el flotador.

$F$  = fuerza de empuje del fluido sobre el flotador.

$C_d$  = coeficiente de arrastre del fluido sobre el flotador.

$v$  = velocidad del fluido.

$A_f$  = área de la sección del flotador.

$A_w$  = sección interior del tubo.

Ecuación de las fuerzas del flotador: 
$$v = \sqrt{\frac{2g v_f (\rho_f - \rho_t)}{C_d \rho_t A_f}}$$

Condiciones de equilibrio se cumplen las siguientes

$$\begin{aligned} G &= F + E \\ F &= \rho_t A_f v^2 / 2g \\ E &= C_d \rho_t A_f v^2 / 2g \\ F + E &= G \end{aligned}$$

Ecuación de caudal:  $Q_v = v A_w$

Esto permite determinar el caudal de un fluido que pasa a través de un rotámetro conocido. El caudal depende del peso específico del líquido y de los valores de la sección interior del tubo, ya que la misma cambia según sea el punto de equilibrio del flotador.

Resulta 
$$Q_V = C A_W \sqrt{\frac{2gV_t(\rho_f - \rho_t)}{c_t \rho A_f}}$$

O bien en unidades de peso: 
$$Q_\mu = C A_W \sqrt{\frac{2g v_t(\rho_f - \rho_t)}{A_f}} \rho_t$$

Con el fin de normalizar los cálculos se acostumbra a referir los caudales del líquido o del vapor y gas a sus equivalentes en agua y aire respectivamente.

Los rotámetros ocupan tubos que pueden ser de vidrio y metálicos. Están mecanizados para asegurar la intercambiabilidad de los diversos tubos y flotadores a fin de obtener caudales correspondientes, sin tener que calibrar individualmente.

Los flotadores pueden tener varios perfiles de construcción:

**Esférico:** para bajos caudales y poca precisión, con una influencia considerable de la viscosidad del fluido.

**Cilíndrico 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 viscosidad que, por sus características de caudal, puede compararse a una tobera.

**Cilíndrico con boteras salientes:** contra el flujo y con la mínima influencia de la viscosidad del fluido, que por su funcionamiento, puede compararse a una placa-orificio o diafragma.

Los flotadores pueden ser de acero inoxidable 316, aunque debido a los requerimientos de resistencia a la corrosión que se presenta en la industria también se usan otros materiales, como flotadores de plástico, pero se prefieren los metálicos por su mayor facilidad de mecanización del borde superior. Las escalas de los rotámetros se graban 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 un tubo de vidrio. La escala puede estar en unidades directas de caudal o bien en un porcentaje de la escala total. En el 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 (amplitud de 10 a 1).

La calibración de los rotámetros se consigue básicamente manteniendo constante el paso de un caudal a través del rotámetro y midiendo la cantidad de líquido o de gas recogido en un tiempo dado medido con precisión. El volumen del líquido suele medirse con buretas graduadas o básculas mientras que en los gases se utilizan gasómetros y calibradores graduados con sello de mercurio. Para la medición del tiempo se utilizan cronómetros que midan al menos 0,01 segundos.

Según su aplicación los rotámetros se pueden clasificar en rotámetros de purga, de indicación directa con indicación magnética y transmisión neumática y electrónica.

**El rotámetro de purga:** Se utilizan para caudales pequeños, en sus aplicaciones se destaca la purga hidráulica de sellos mecánicos en bombas, la medición por burbujeo, la purga de elementos de presión diferencial entre algunas

**El rotámetro de vidrio:** (indicación directa) adoptan distintas disposiciones como: llevar placas laterales, sellamiento con ventanas de cristal para observar el tubo, disponen de armadura de seguridad y de anti-hielo con gel de sílice para evitar la humedad, entre algunas cosas.

**El rotámetro Bypass.** Es un medidor de caudal de fluido, por lo tanto no de la presión diferencial, la escala de medida de este rotámetro es lineal y no de raíz cuadrada como se podría suponer siendo el elemento de medida un diafragma.

**Los transductores eléctricos** acoplados a rotámetros pueden ser de varios tipos:

**Potenció métrico:** consiste en una varilla que sigue magnéticamente el movimiento del flotador dentro de un tubo y que mueve el brazo de un potenciómetro. El sistema presenta la desventaja del envejecimiento y desgaste característicos del potenciómetro.

**Puente de impedancias:** consiste en un mecanismo de indicación actuado magnéticamente, un transformador diferencial de núcleo móvil y un convertidor. Al variar el caudal, un imán montado en el flotador o en la varilla



de extensión del mismo hace girar un mecanismo magnético de posición formado por una hélice de hierro dispuesta en un cilindro de aluminio. Una leva de forma característica gira con el conjunto y se introduce dentro del arrollamiento activo de un transformador diferencial.

**Los transmisores neumáticos:** acoplados al rotámetro consisten en una leva que sigue el movimiento del flotador de manera magnética y está entre 2 toberas neumáticas (tobera forma parte de transmisor de equilibrio).

### **Uso de caudalímetros de área variable (rotámetros/flotámetro) para líquidos y gases**

Miden e Indican Caudal Instantáneo. Se utilizan para Controlar el rendimiento de Bombas, así como Procesos de Mezcla o de Dosificación Volumétrica continua (en línea), cuando los flujos deben mantenerse constantemente dentro de límites precisos. Son muy solicitados por su razonable costo, sencillez operativa, bajo mantenimiento, larga duración y enorme robustez.

Se puede adecuar el diseño, si lo requiere, de manera que su caudal mínimo y máximo determinan los extremos de la Escala de Lectura.

### **Rotámetro metálico para bajos caudales para líquidos y Gases**

Mide e indica caudal instantáneo. Construido con tubo de medición metálico en lugar de vidrio es el medidor A/V (Área Variable) confiable y exacto para bajos caudales, apto para altas presiones y fluidos agresivos o difíciles de manejar. Es muy utilizado para dosificar aditivos o ingredientes costosos en especialidades químicas, farmacéuticas, cosméticas, alimenticias, así como en Investigación y Desarrollo. Indicador acoplado magnéticamente con escalas intercambiables. Reed switch hermético (opcional) con novedoso doble sensor provee alarma sin afectar performance.

### **Rotámetro metálico para líquidos, gases y vapor, grandes caudales.**

Mide e indica caudal instantáneo. Construido con tubo de medición metálico en lugar de vidrio puede manejar un muy amplio rango de caudales con gran exactitud (2%) a pesar de elevadas temperaturas y presiones en zonas explosivas. mínima caída de presión interna, no requiere contra

presión, y dispone amortiguación para eliminar rebotes no deseados del flotante. indicador acoplado magnéticamente. Mismo largo en todos los tamaños facilita la sustitución. Múltiples opciones de comunicación permiten integrarlo en sistemas de control existentes.

### **Rotámetro en Plástico:**

Los medidores/detectores de caudal se intercalan en un tramo vertical de la tubería donde el líquido suba, y permiten visualizar el caudal por el desplazamiento de un pequeño flotador sobre una escala graduada. Es uno de los sistemas más económicos además de preciso para medir en pequeños diámetros. Se les puede incorporar un interruptor que actúa al alcanzar el caudal un nivel prefijado.



**Figura 20** Rotámetro en plástico

### **Rotámetro en acrílico:**

Los medidores/detectores de caudal pensados para instalar directamente en paneles de control se intercalan en un tramo vertical de la tubería donde el líquido suba, y permiten visualizar el caudal por el desplazamiento de un pequeño flotador sobre una escala graduada. Es uno de los sistemas más económicos además de preciso para medir en pequeños diámetros.



**Figura 21** Rotámetro en Acrílico

## 2.5. Medidores Ultrasónicos

Hoy en día la medición de caudal en la mayoría de aplicaciones donde las tuberías van llenas se ha convertido en una aplicación bastante sencilla de resolver. Las dificultades empiezan cuando las tuberías son de grandes dimensiones, tienen formas irregulares y están parcialmente llenas. Con el desarrollo de la correlación ultrasónica para la medición de caudal en canales abiertos o tuberías semi-llenas consigue una solución exacta y económica para resolver este tipo de aplicaciones.

### Principio de funcionamiento

El caudal  $Q$  no puede ser medido directamente. Dicho caudal es calculado usando la ecuación:

$$Q = A * V$$

Donde:

$A$  = Área Mojada

$V$  = Velocidad Media

### Área Mojada

El área mojada  $A$ , dependerá del perfil del canal o tubería y de la profundidad del caudal de líquido. En tuberías llenas, por ejemplo tuberías a presión, el área mojada es siempre la misma y por lo tanto constante. En el caso de tuberías semí llenas, la profundidad del caudal deberá ser determinada por un sensor de nivel integrado o externo. Este valor junto con el perfil de la sección permitirá calcular el área mojada.

### Medición de la velocidad por Correlación Ultrasónica

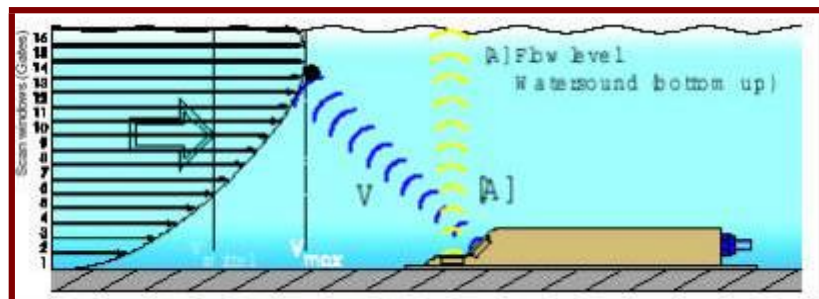


Figura 22 Ultrasónico

Un transductor ultrasónico transmite pulsos ultrasónicos cortos (o pulsos código) en el medio a medir. Las partículas o burbujas del medio reflejarán estos pulsos. Dicho sensor cambia al modo de recepción poco después de haber enviado un pulso y recibe el eco del ultrasonido como una característica del perfil de velocidades del caudal. Éste es digitalizado y guardado como el 1er escaneado del perfil de ecos (1. Scan).

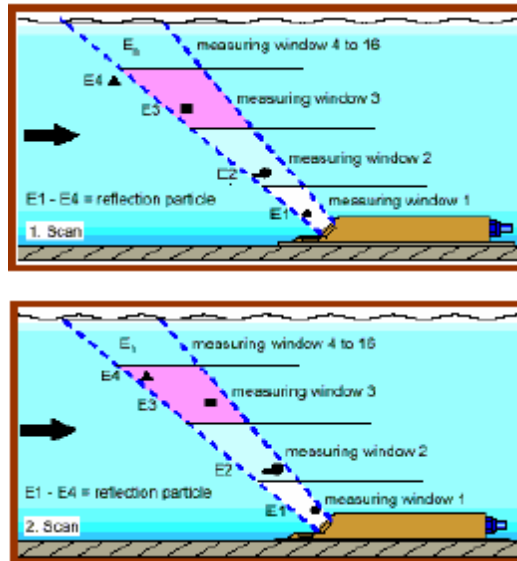


Figura 23 Medidor ultrasónico

Entre 0,5 y 4 milisegundos después, otro pulso ultrasónico es transmitido y el eco producido por las mismas partículas, que se han desplazado, vuelve a ser digitalizado y guardado. Éste sería el 2º escaneado del perfil de ecos (2. Scan).

Con los pulsos ultrasónicos emitidos en cada escaneado (1. Scan, 2. Scan, etc.) Se determina la posición de las partículas y usando la diferencia del tiempo de vuelo de los ultrasonidos entre el 1er Scan y el 2º Scan, podremos calcular en el tiempo la variación de la posición de las partículas en la sección transversal del caudal.

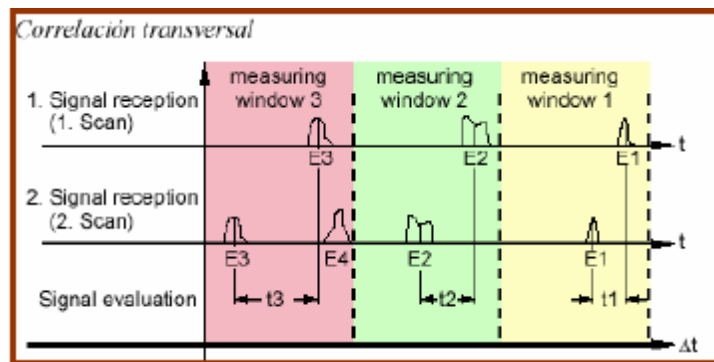


Figura 24

El perfil de velocidades será estudiado en 16 ventanas diferentes usando la correlación transversal. Dicha correlación transversal permitirá determinar las diferencias entre el perfil característico del 2° escaneado (2. Scan) en relación con el primer escaneado (1. Scan).

Estas diferencias temporales entre los perfiles podrán convertirse directamente en velocidad, ya que, como hemos apuntado anteriormente, están relacionadas con las variaciones de posición de las partículas en el tiempo.

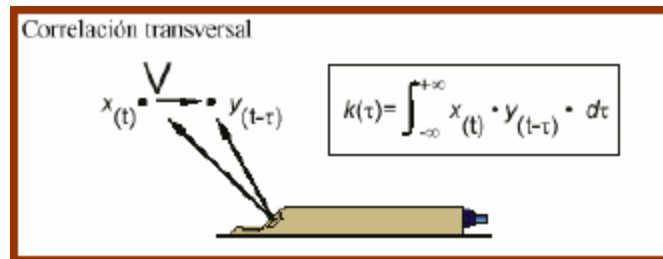


Figura 25

Este proceso será repetido entre 250 y 2000 veces por segundo calculando para 16 puntos situados a distancias diferentes sus velocidades puntuales en tiempo real mediante un procesador digital (DSP) 24 bits/50 MHz muy potente.

De cada uno de estos 16 puntos obtendremos el vector de velocidad.

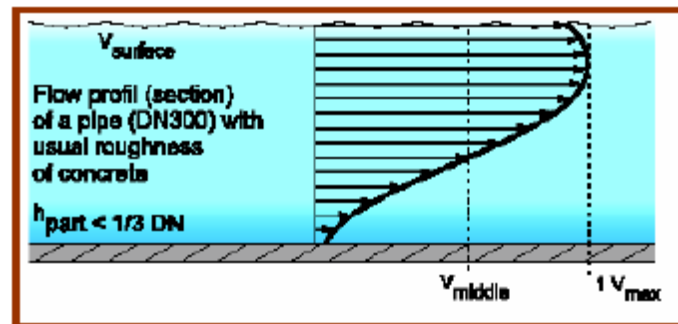


Figura 26

Mediante este método es posible obtener grandes exactitudes sin la necesidad de calibraciones adicionales usando otros métodos de calibración y corrección.

En las redes de distribución y suministro de aguas con canales de formas y tamaños complejos, los perfiles de velocidad pueden ser determinados usando 2 o 3 sensores en paralelo evaluando completamente el perfil de velocidades.

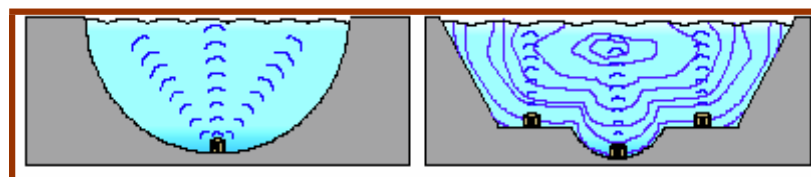


Figura 27

## Montaje del sensor

La instalación del sensor es realmente sencilla. Existen sensores que integran tanto la medición de la profundidad como la de la velocidad y que pueden ser montados en la parte inferior de canales o tuberías de cualquier tipo, tamaño y forma. Además, existen sensores de inserción para montar en tuberías de acero o materiales sintéticos. Los costes de instalación son realmente bajos.



Figura 28 Montaje sensor

## 3. MEDIDORES MÁSICOS

### 3.1. Medidor Másico Térmico

Los medidores térmicos, también llamados medidores de caudal Thomas, se basan comúnmente en dos principios físicos:

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

El funcionamiento de estos aparatos 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

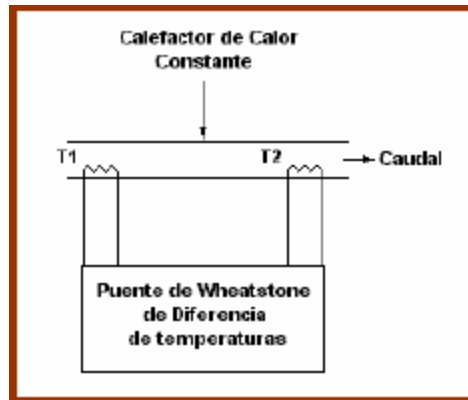


Figura 29 Medidor másico

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 de medición T2 , 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, de acuerdo con la ecuación:

$$Q = m C_e (t_2 - t_1)$$

Donde:

**Q** = Calor Transferido  
**m** = Masa del Fluido  
**C<sub>e</sub>** = Calor Específico  
**t<sub>1</sub>** = Temperatura Anterior  
**t<sub>2</sub>** = Temperatura Posterior

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 a 5 V de c.c. en 1000 ohmios de impedancia.

La precisión del elemento primario es de 1% de toda la escala, la respetabilidad de 2 % de la escala y la constante de tiempo de 3 s.

La medida es apta para bajos caudales de gas que van según los modelos de 0 a 10  $cm^3$ /minuto.



Medidor Térmico

Figura 30

### 3.2. Medidor de Coriolis

La medición de caudal por el efecto Coriolis, también conocido como medición directa o dinámica, da una señal directamente proporcional al caudal másico y casi independiente de las propiedades del producto como conductividad, presión, viscosidad o temperatura.

La fuerza Coriolis aparece siempre y cuando se trata de una superposición de movimientos rectos con movimientos giratorios. Para el uso industrial de su principio se sustituye el movimiento giratorio por una oscilación mecánica. Dos tubos de medición por donde pasa el producto oscilan en su frecuencia de resonancia.

El caudal másico provoca un cambio en la fase de la oscilación entre la entrada y la salida del equipo. Este desfase es proporcional al caudal másico y crea después de una amplificación correspondiente la señal de salida. Las frecuencias de resonancia de los tubos de medición depende de la masa oscilante en los tubos y por lo tanto de la densidad del producto. Luego, la fuerza de Coriolis está determinada por la siguiente fórmula:

$$F_c = 2 * \Delta m (W * V)$$

F<sub>c</sub>= Fuerza de Coriolis.

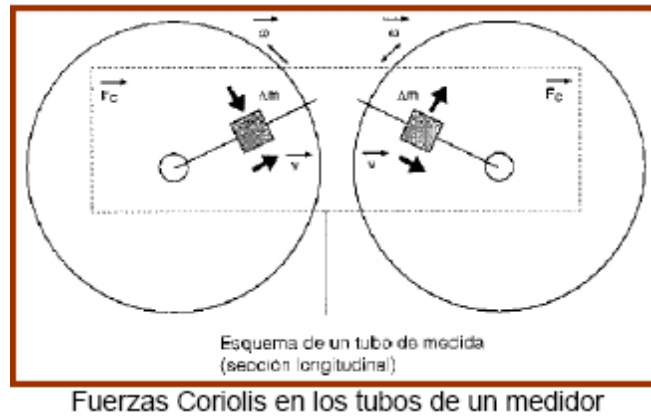
m= Masa en movimiento.

w= Velocidad angular.

v= Velocidad radial en un sistema rotatorio u oscilante.

La amplitud de la fuerza Coriolis depende de la masa en movimiento m, su velocidad en el sistema v, y por tanto su caudal másico.





En un medidor se utiliza la oscilación en lugar de una velocidad angular constante y los dos tubos de medida paralelos con fluido en su interior se hacen oscilar desfasadamente de modo que actúan como una horquilla vibrante.

Las fuerzas Coriolis producidas en los tubos de medidas, causan un desfase en la oscilación del tubo.

Cuando el caudal es cero, ej., si el fluido está quieto, ambos tubos oscilan en una fase (1)

Con caudal másico, la oscilación del tubo disminuye en la entrada (2) y aumenta en la salida (3)

Si el caudal másico aumenta, la diferencia de fase también aumenta (A-B). Las oscilaciones de los tubos de medida se determinan utilizando sensores electrodinámicos en la entrada y en la salida.

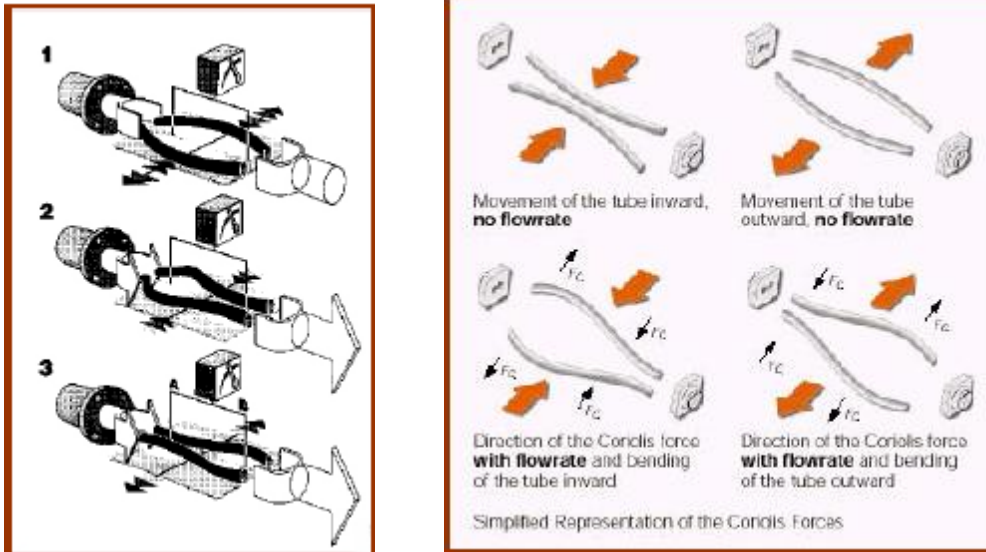
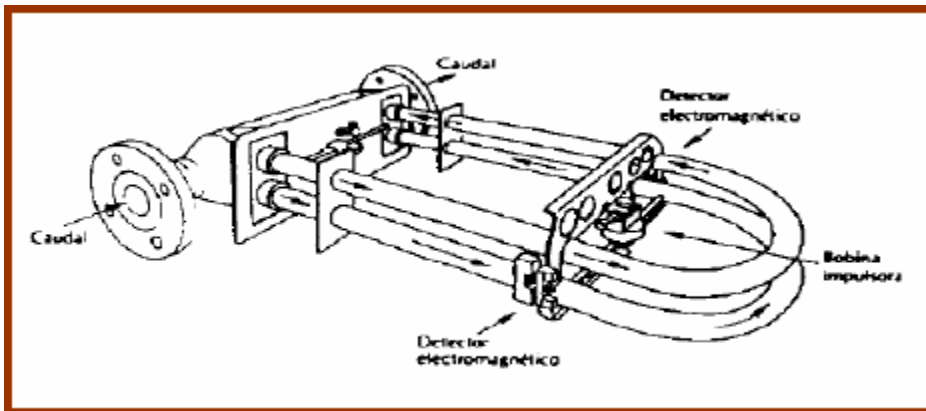
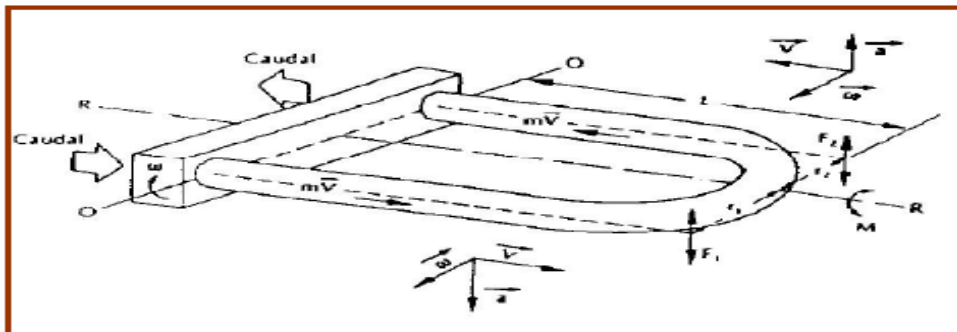


Figura 31



Tubos sensores mostrando posición de los detectores y la bobina impulsora

Figura 32



Tubo sensor con los ejes de rotación

Figura 33

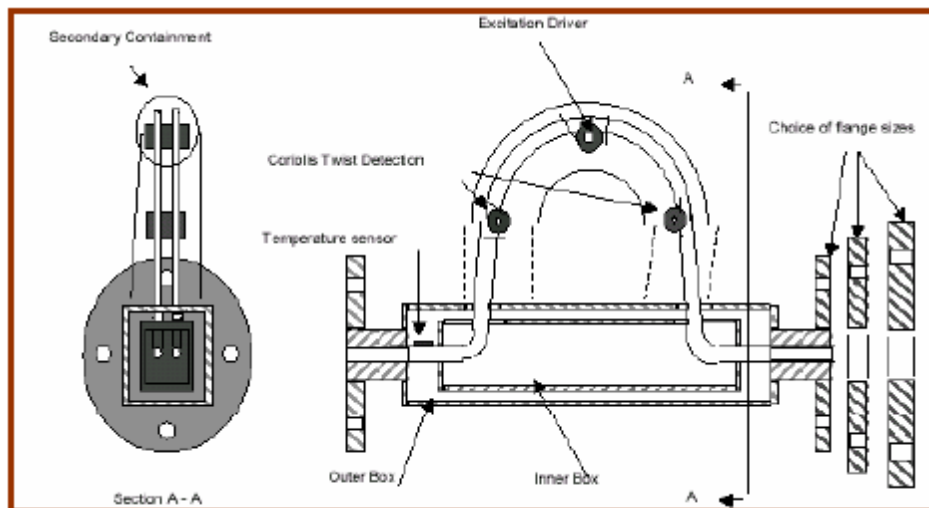
Teóricamente, este tipo de medidor funciona de la siguiente manera:

- Una bobina impulsora hace vibrar los (dos) tubos, sometiéndolos a un movimiento oscilatorio de rotación alrededor del eje O-O'. Vibran a la frecuencia de resonancia (menos energía), 600-2000 Hz.
- Los 2 detectores electromagnéticos inducen corrientes eléctricas de forma senoidal, que están en fase si no circula fluido.

El flujo atraviesa (dos) tubos en forma de U, estando sometido a una velocidad lineal "V" y una velocidad angular " $\omega$ " de rotación alrededor de O-O', por lo que sufre una aceleración de Coriolis de valor  $a = 2\omega \times V$

La fuerza ejercida sobre el fluido como consecuencia de la aceleración cambia de signo con "V", por lo que se genera un par de fuerzas que produce una torsión de los tubos alrededor del eje R-R'.

La torsión alrededor del eje R-R' produce un desfase de tiempo t, entre las corrientes inducidas por los detectores electromagnéticos, que es proporcional al par de fuerzas ejercido sobre los tubos, y por tanto a la masa que circula por ellos.



Vista interior de un Medidor de Coriolis

Figura 34



Medidor de Coriolis

Figura 35

## 4. MEDIDORES VOLUMÉTRICOS

### 4.1. Medidores de desplazamiento positivo

Los medidores de desplazamiento positivo miden la cantidad de fluido que circula por un conducto, dividiendo el flujo en volúmenes separados y sumando los volúmenes que pasan a través del medidor.

En cada medidor, se pueden destacar tres componentes comunes:

Cámara, que se encuentra llena de fluido. Desplazador, que bajo la acción del fluido circulando, transfiere el fluido desde el final de una cámara a la siguiente, y mecanismo (indicador o registrador), conectado al desplazador, que cuenta el número de veces que el desplazador se mueve de una parte a otra en la cámara de trabajo.

Un problema importante que se debe tener en cuenta al fabricar un medidor de desplazamiento positivo es conseguir una buena estanqueidad de las partes móviles, evitando un par de rozamiento inaceptable y que la cantidad de líquido de escape a través del medidor sea moderada. Por esta razón, es necesario calibrar el medidor de desplazamiento a varios caudales, dentro del margen de utilización, con un fluido de viscosidad conocida.

En cuanto a los tipos de medidores para líquidos se encuentran los siguientes:

- a) medidores de tipo pistón,
- b) medidores de paletas deslizantes.
- c) medidores de engranajes.

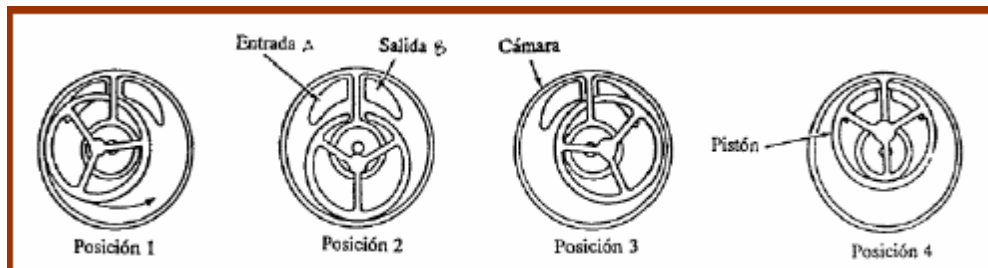
Los medidores de tipo pistón se utilizan, habitualmente, para medidas precisas de pequeños caudales, siendo una de sus aplicaciones en unidades de bombeo de distribución de petróleo.

Los medidores de paletas deslizantes se usan para medir líquidos de elevado coste, siendo instalados, generalmente, en camiones cisternas para la distribución de combustible para la calefacción.

Los medidores de engranajes encuentran aplicaciones para un amplio margen de líquidos y condiciones de funcionamiento, aunque la precisión de la medida no es tan elevada.

#### 4.1.a) Medidor de pistón oscilante

En la siguiente figura se aprecia una sección transversal de un medidor de pistón oscilante mostrando las cuatro etapas de su ciclo de funcionamiento.



Etapas de funcionamiento de un medidor de pistón oscilante.

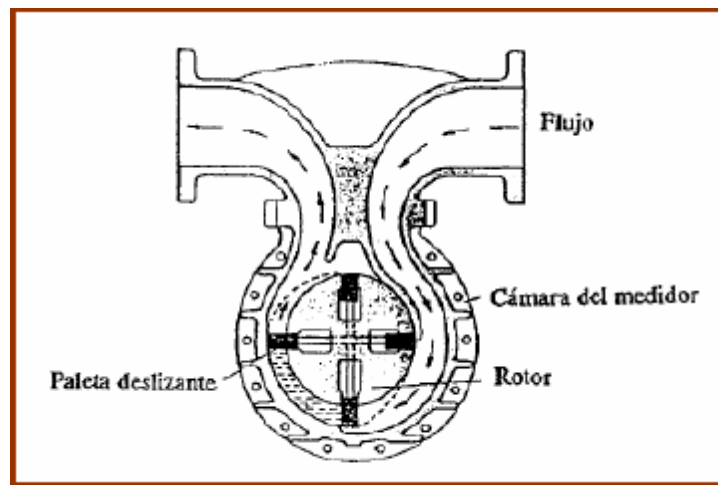
Figura 36

Consiste de un pistón hueco montado excéntricamente dentro de un cilindro. El cilindro y el pistón tienen la misma longitud, pero el pistón, como se aprecia en la figura, tiene un diámetro más pequeño que el cilindro. El pistón, cuando está en funcionamiento, oscila alrededor de un puente divisor, que separa la entrada de la salida de líquido. Al comienzo de un ciclo el líquido entra al medidor a través de la puerta de entrada A, en la posición 1, forzando al pistón a moverse alrededor del cilindro en la dirección mostrada en la figura, hasta que el líquido delante del pistón es forzado a salir a través de la puerta de salida B, en la posición 4, quedando el dispositivo listo para comenzar otro ciclo.

#### 4.1.b) Medidores de paletas deslizantes

En la figura se muestra un medidor de paletas deslizantes, que consta de un rotor con unas paletas, dispuestas en parejas opuestas, que se pueden deslizar libremente hacia adentro y hacia afuera de su alojamiento. Los miembros de las paletas opuestas se conectan rígidamente mediante varillas, y el fluido circulando actúa sobre las paletas sucesivamente, provocando el giro del rotor.

Mediante esta rotación el líquido se transfiere desde la entrada a la salida a través del espacio entre las paletas. Como éste es el único camino para el paso del líquido desde la entrada a la salida, contando el número de revoluciones del rotor, puede determinarse la cantidad de líquido que ha pasado. El cierre se lleva a cabo por la acción de las paletas sobre la pared de la cámara, mediante una combinación de presión de líquido y fuerzas centrífugas, auxiliado por el apriete, mediante resortes, de las paletas contra la pared de la cámara. Esto ayuda a mantener en valores aceptables cualquier escape de líquido que pueda producirse a través de las paletas.



Medidor de paletas deslizantes.

Figura 37

#### 4.1.c) Medidores de engranajes

Entre los más importantes medidores de engranajes se pueden destacar los siguientes:

- medidores de rueda oval,
- medidores helicoidales.

## Medidores de rueda oval

El medidor de rueda oval, que se muestra en la figura, dispone de dos ruedas ovales que engranan entre sí y tienen un movimiento de giro debido a la presión diferencial creada por el flujo de líquido. La acción del líquido actúa de forma alternativa sobre cada una de las ruedas, dando lugar a un giro suave de un par prácticamente constante. Tanto la cámara de medida como las ruedas están mecanizadas con gran precisión, con el fin de conseguir que el deslizamiento entre ellas se produzca con el mínimo rozamiento, sin que se formen bolsas o espacios muertos y desplazando la misma cantidad de líquido en cada rotación.

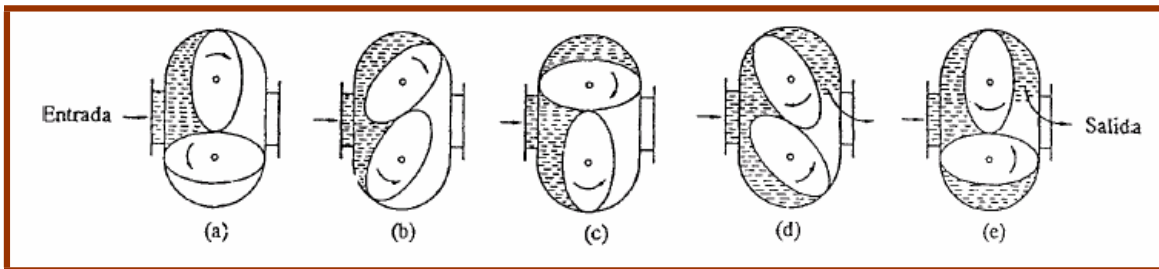


Figura 38

La principal ventaja de estos medidores es que la medida realizada es prácticamente independiente de variaciones en la densidad y en la viscosidad del líquido.



Medidor de Rueda Oval

Figura 39

## Medidores helicoidales

En la figura se muestra un medidor de tipo helicoidal, cuyo funcionamiento es similar al de la rueda oval, por lo que no merece más detalles.



Figura 40

### Características de comportamiento de los medidores de desplazamiento positivo

Como todos los dispositivos mecánicos complicados, los medidores de desplazamiento presentan resistencia a la fricción, la cual tiene que ser vencida por el fluido circulando. Para caudales muy bajos, el fluido no tiene energía cinética suficiente para hacer girar el rotor frente a esta fricción, que además incluye, en la mayoría de los medidores de desplazamiento, la resistencia ofrecida por el mecanismo articulado del contador, por lo que el fluido se desliza lentamente entre los componentes del medidor y la cámara, sin producir movimiento del rotor o pistón. El error del medidor, E, se define como,

$$E = \frac{Q_{Indicado} - Q_{real}}{Q_{real}} 100\%$$

De forma que, para estos caudales bajos, el error es grande y negativo.

Sin embargo, cuando el caudal aumenta este error negativo desaparece rápidamente, ya que la energía cinética del fluido aumenta con el cuadrado de su velocidad. Una condición cercana al equilibrio se alcanza cuando la fuerza directriz del fluido se equilibra por las diversas fuerzas de resistencia, y esto se mantiene para el margen de funcionamiento para un medidor bien diseñado.

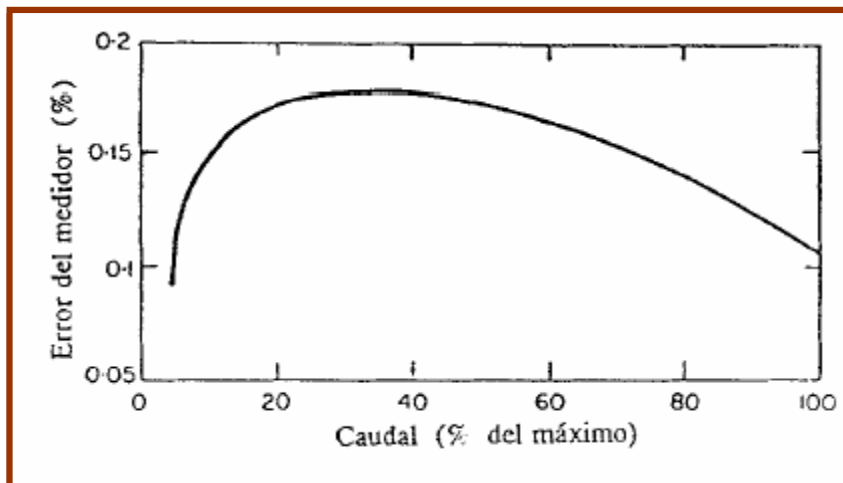


Figura 41



# Metodología

## Sensor utilizado

Después de investigar acerca de diferentes sensores, capaces de medir caudal o flujo de agua, y analizar las ventajas y desventajas de cada sensor, tomando en cuenta el recurso económico y la factibilidad de manejo del sensor, se decidió trabajar con el dispositivo **MUT2200EL** de la empresa EUROMAG, dicho sensor es electromagnético y funciona mediante el principio de Faraday. A continuación una breve descripción del sensor usado.

### **MUT2200EL**

Los sensores **MUT2200EL** y **MUT2500EL** representan lo último de la producción de EUROMAG INTERNATIONAL para las aplicaciones para el ciclo de agua y de proceso.

La nueva estructura de generación del campo magnético, el innovador recorrido de la señal generada por los electrodos, lo provee un sensor con una rango de medida extremadamente amplio: **EL= Extended Linearity**.

Esta nueva familia de sensores continúa la tradición de éxito de **MUT2200/2500** introduciendo **un rango de medida de más 1:1000** sin software de linearización.

Este tipo de prestaciones permite realizar mediciones muy precisas sobre un campo muy amplio de caudales y poder contabilizar también caudales más bajos que anteriormente hubieran sido puestos en cero por efecto del CUT OFF del convertidor.

Esta familia de sensores bridados basa su funcionamiento sobre el Principio de Faraday, por el cual un caudal conductor que atraviesa un campo magnético genera un potencial orientado perpendicularmente al mismo campo. En este caso la tubería de pasaje realizada en acero inoxidable **AISI 304** está equipada con bridas de acero al carbono o inoxidable, tiene instalados dos

bobinas en la parte superior o inferior; el campo magnético, generado por la corriente eléctrica que atraviesa la bobina induce en los electrodos una diferencia de potencial proporcional al caudal.

Con el objeto de poder medir tal potencial de valores muy bajos, el interior de la tubería de medición está aislado eléctricamente, por lo tanto el líquido de proceso no está más en contacto ni con el material ni con aquel de la brida.

El convertidor utilizado genera la corriente que alimenta la bobina, adquiere la diferencia de potencial de los electrodos, elabora la señal para calcular el caudal y administra la comunicación con el exterior.

El sensor entero cuando está instalado en la versión separada, tiene un grado de protección **IP68** apto para la inmersión permanente en agua hasta una profundidad de 1.5 m, gracias a una estructura de chapa soldada que contiene la bobina y los electrodos.



**Figura 42** MUT2200EL

### Precisión de medición

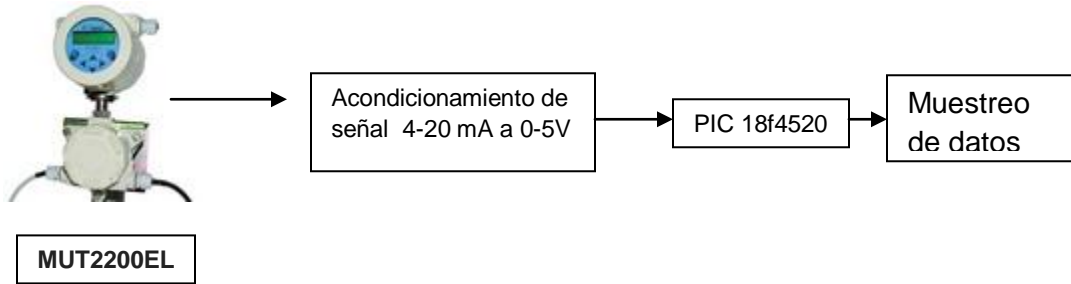
<b>Caudal aconsejado</b>	0,2%
--------------------------	------

<b>0,5...5 m/s</b>	
<b>Conexión al proceso</b>	
<i>Dimensiones</i>	DN15...DN400
<i>Conexiones</i>	Con bridas
<i>Clase de presión</i>	PN16...PN64 / ANSI150...ANSI600 otros bajo pedido
<b>Materiales</b>	
<i>Recubrimiento interior</i>	PTFE, Ebanita
<i>Electrodos</i>	3 elet. HastelloyC, Titanium, Tantalium, Platinum
<i>Cuerpo</i>	Acero al carbono, AISI304, AISI316
<b>Temperatura de proceso</b>	
<i>Versión compacta</i>	-25...80 C° : -13... 176 °F
<i>Versión separada</i>	-25...200 C° : -13... 392 °F
<b>Clase de protección</b>	
<i>Versión compacta</i>	IP67 NEMA 6
<i>Versión separada</i>	IP68 NEMA 6P
<b>Certificaciones</b>	
<i>Aprobación Eex en versión separada</i>	SI
<i>EHEDG</i>	-

## Diagrama a bloques

En el análisis y desarrollo del proyecto se tomaron en cuenta varios factores en diferentes partes del proyecto para su elaboración. En los siguientes tópicos se darán a conocer estos factores.

El sensor **MUT2200EL**, manda una señal de corriente, dependiendo la cantidad de agua que está pasando por sensor, que va de 4- 20 mA. Y el sistema de adquisición de datos se hará con un PIC 18f4520, por lo tanto, se diseñará un circuito de acondicionamiento de señal de 4-20mA a 0-5 V. para poder interpretar la señal mandada por el sensor utilizado.



## Diseño de acondicionamiento de señal de 4-20 mA a 0-5V.

Para que el PIC interprete la señal mandada por el sensor en la entrada RA0 del PIC, necesita un voltaje de 0-5V, y sensor **MUT2200EL** manda una señal de 4-20mA. Investigando acerca de convertidores de corriente a voltaje encontramos el circuito integrado RCV 420, el cual tenía un costo moderado pero su exactitud es buena, y haciendo pruebas con diferentes circuitos llegamos a ciertos resultados, en la simulación la conversión de corriente a voltaje era exacta pero en la práctica los valores cambian considerablemente, se necesita la mayor exactitud posible para lograr lecturas adecuadas y precisas del sensor.

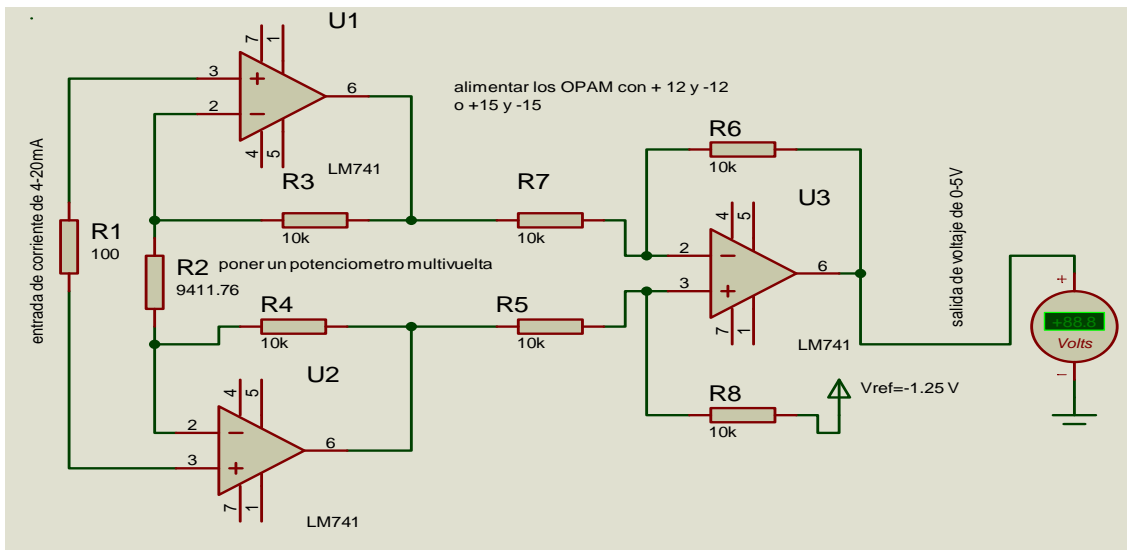


Figura 43 Circuito simulada para conversión de corriente a voltaje

Este es el diagrama del circuito integrado utilizado el RCV 420

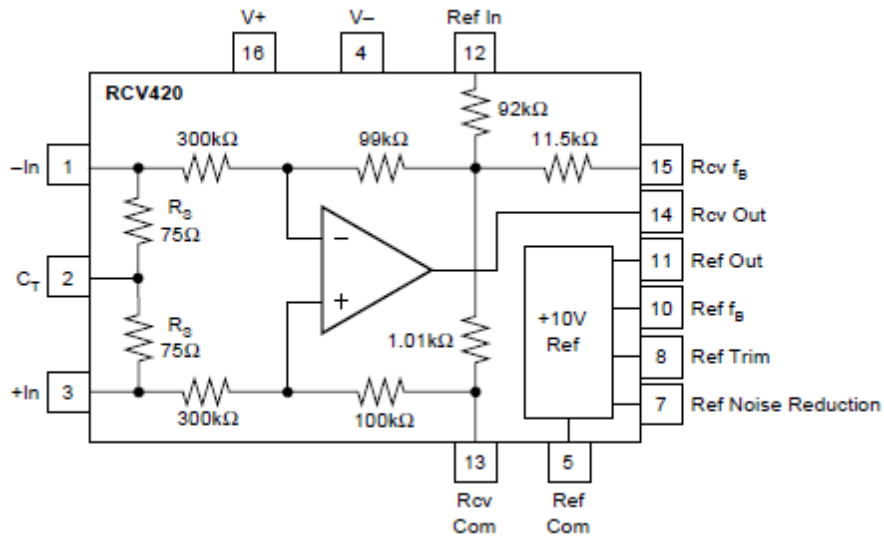


Figura 44 RCV 420

Y esta fue la configuración que se realizó para el uso del RCV 420 lo que permitió convertir la corriente a voltaje con un grado de exactitud muy alto.

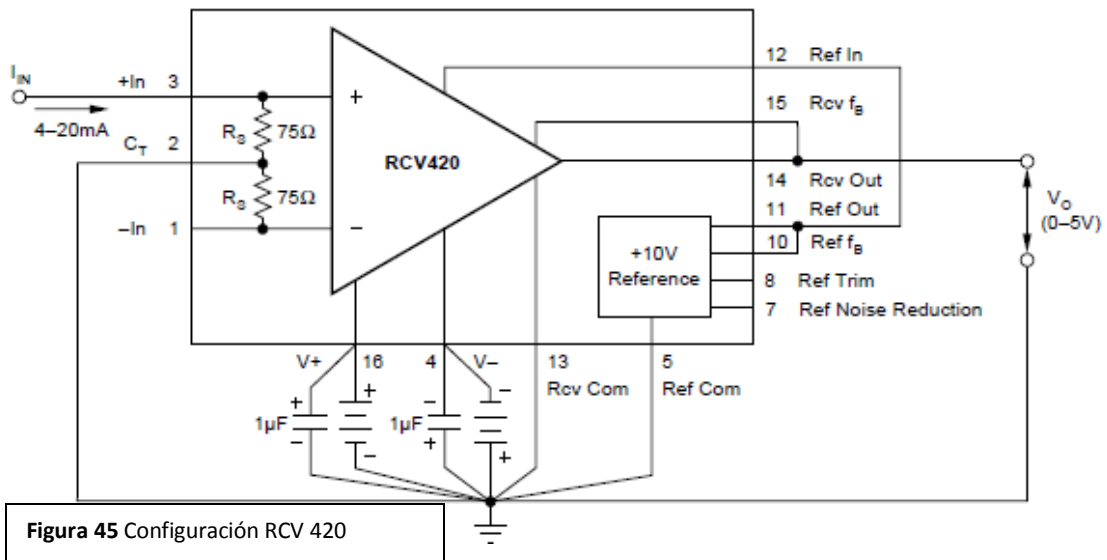


Figura 45 Configuración RCV 420

Corriente de entrada	Voltaje de salida
4 mA	0V
20 mA	5V

Usando esta configuración se obtuvieron los resultados deseados en la conversión de corriente a voltaje, únicamente se agregaron 2 capacitores en la entrada de la fuente simétrica como lo muestra la figura 44.

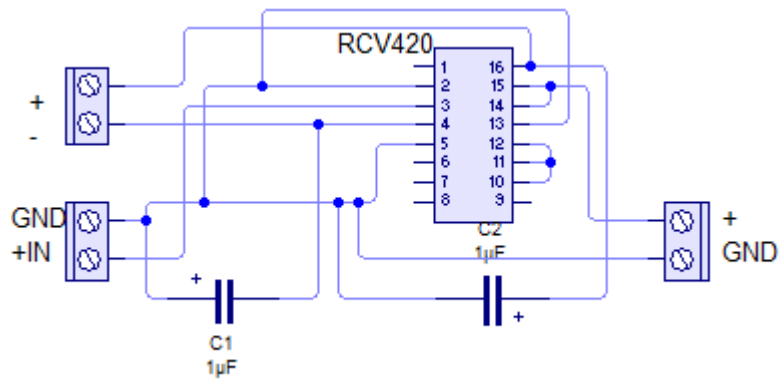


Figura 46 RCV 420 livewire

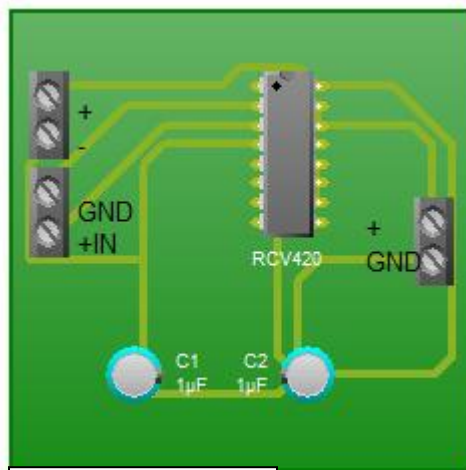
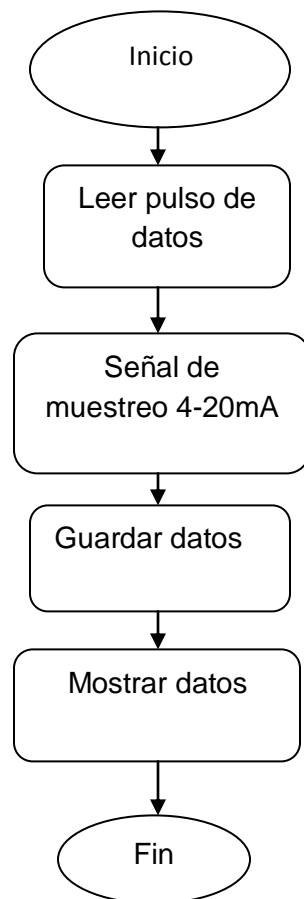


Figura 47 RVC 420 PCB

# PROGRAMACIÓN Y DISEÑO DEL CIRCUITO DEL MICROCONTROLADOR PIC 18F4520

El programa que se hizo cumple las siguientes funciones:

Toma de adquisición de datos, mediante los pulsos que manda el sensor **MUT2200EL** que va de 4-20mA y esta señal de corriente pasará por el convertidor de corriente a voltaje RCV 420, para llegar a la entrada RA0 del PIC 18f4520. Con el programa que llevará el PIC los pulsos mandados por el sensor pasarán a convertirse en datos y valores numéricos, para posteriormente ser mostrados en una pantalla, y dependiendo de la cantidad de líquido que pase con respecto al tiempo y demanda de consumo se podrá deducir si hay una fuga de agua.



A continuación la programación utilizada para el sistema de adquisición de datos, usando el programa MIKROC PRO FOR PIC, para realizar la programación del PIC.

### //configuración del LDC

```

sbit LCD_RS at RD2_bit;
sbit LCD_EN at RD3_bit;
sbit LCD_D4 at RD4_bit;
sbit LCD_D5 at RD5_bit;
sbit LCD_D6 at RD6_bit;
sbit LCD_D7 at RD7_bit;

sbit LCD_RS_Direction at TRISD2_bit;
sbit LCD_EN_Direction at TRISD3_bit;
sbit LCD_D4_Direction at TRISD4_bit;
sbit LCD_D5_Direction at TRISD5_bit;
sbit LCD_D6_Direction at TRISD6_bit;
sbit LCD_D7_Direction at TRISD7_bit;
/////////////////////////////////////////////////////////////////
unsigned float valor;
char texto[9];           //Carga el valor ya convertido
char memoria[102][9];   //Almacenamiento de los Valores ya guardados
int bandera;           //Mete al Programa a un ciclo infinito
int num_muestra;      //Determina el Numero de Muestra
int i;                //Variable de conteo para almacenar memoria
int k;                //Variable de Conteo para enviar datos Vía RS 232
/////////////////////////////////////////////////////////////////
char txt[9];
/////////////////////////////////////////////////////////////////
void main()
{
ADCON1=0b00001110;    //Configuración de Registro para entradas analógicas y
Referencias
TRISA=0b111111;      //Se configura como entrada analógicas
Lcd_Init();          //Inicializa LCD
Lcd_Cmd(_LCD_CURSOR_OFF); //Apaga el cursor
Lcd_Out(1,9,"m3");   //muestra en el LCD la unidad de medida dada en m3

UART1_Init(9600);

valor=0;           // Variable de almacenamiento del valor analógico convertido a voltaje
num_muestra=1;     //inicia valores a 1
k=1;
i=1;
bandera=0;
delay_ms(10);     //se le da un retardo de 10 ms al protocolo UART

```



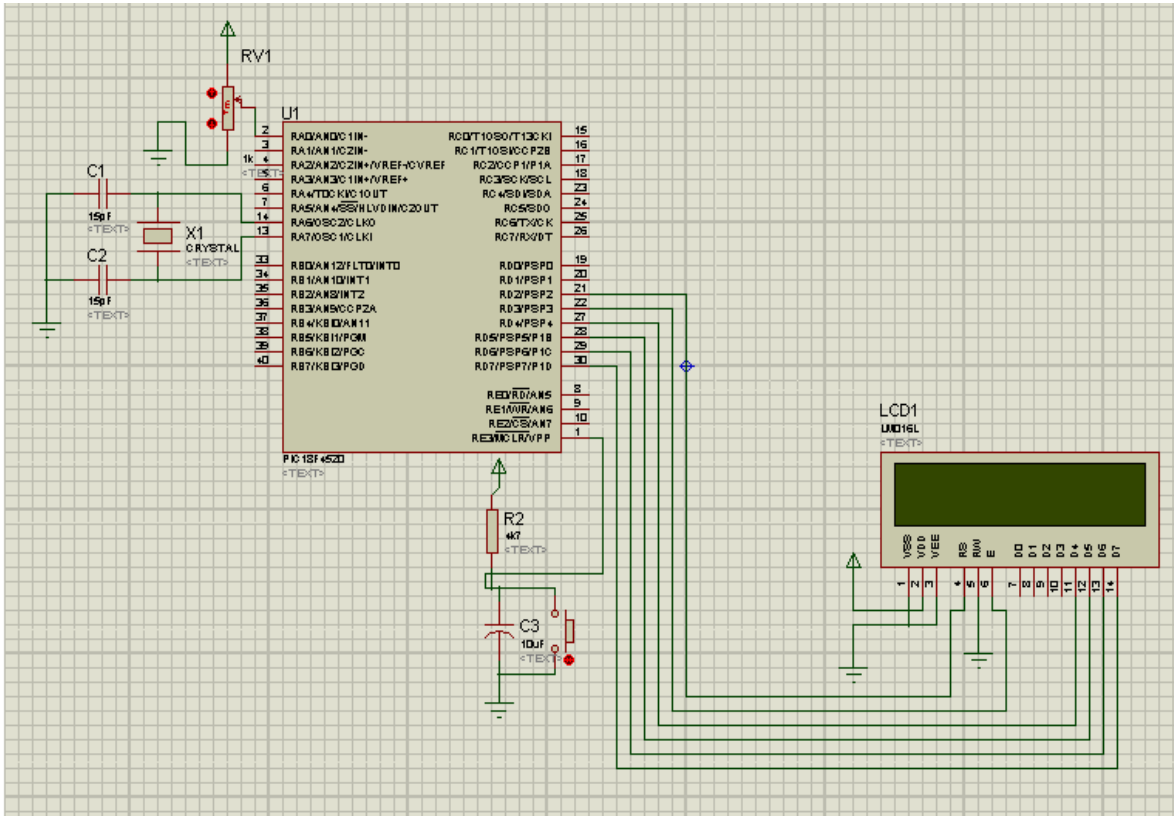
```

while(1)
{
    valor=ADC_Read(0)*0.00488; //valores ya convertido de 0 a 5 volts
    IntToStr(num_muestra,txt); //convierte los valores enteros a String los
almacena en la cadena txt
    FloatToStr(valor,texto); //convierte los valores flotante a String los
almacena en texto
    FloatToStr(valor,memoria[i]); //convierte los valores flotante a String los
almacena en Memoria
    Lcd_Out(1,1,texto);
    Lcd_Out(2,1,txt);
    delay_ms(1000);
    if(num_muestra==102)
    {
        while(k<=102)
        {
            UART1_Write_Text(memoria[k]); //llamo a imprimir muestras
almacenada en memoria
            delay_ms(500);
            k++;
        }
        bandera=1;
    }
    while(bandera==1)
    {
        valor=0.00000000;
        num_muestra++;
        i++;
    }
}
}

```

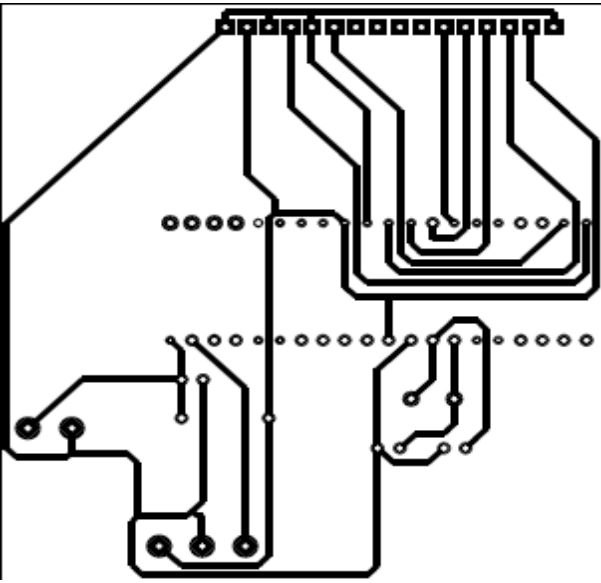
Por cuestiones prácticas para que pueda observarse el cambio cuando lee una muestra y otra, se ha programado el PIC, que lea una muestra cada segundo, aunque podría programarse para leer una muestra del macro medidor cada 1 minutos, 5 minutos, 10 minutos, 1 hora etc. Igualmente lo hemos programado hasta ahora para que solo me lea 102 muestras y se envíen a la PC, a través de la comunicación serial.

Una vez hecha la programación se diseñó un circuito para la adquisición de datos, simulándolo con Proteus para, verificar si los datos y resultados obtenidos eran los deseados y correctos.



**Figura 48** Circuito simulado en proteus

Una vez diseñado el circuito se simuló en proteus, y los resultados obtenidos fueron los deseados y esperados, el programa que se hizo funcionó de manera perfecta. Posteriormente se elaboraron las pistas para el circuito de adquisición de datos.



**Figura 49** Diagrama del circuito de adquisición de datos

## Resultados y prototipos

	Medición del sistema de adquisición de datos	Medición de MC 308c
Día 1	20.3321 litros/s	20.412 litros/s
Día 2	21.2310 litros/s	21.168 litros/s
Día 3	22.1082 litros/s	22.0312 litros/s
Día 4	21.7822 litros/s	21.536 litros/s
Día 5	20.6782 litros/s	21.003 litros/s
Día 6	19.7893 litros/s	20.100 litros/s
Día 7	22.3981 litros/s	22.412 litros/s

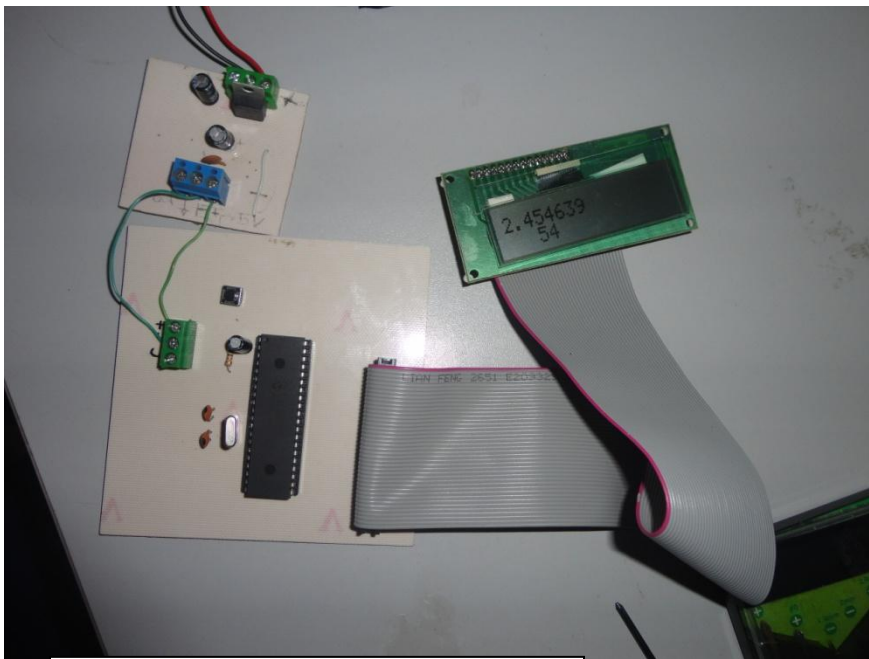


Figura 50 Circuito de adquisición de datos

Sensor **MUT2200EL** usado para el proyecto.

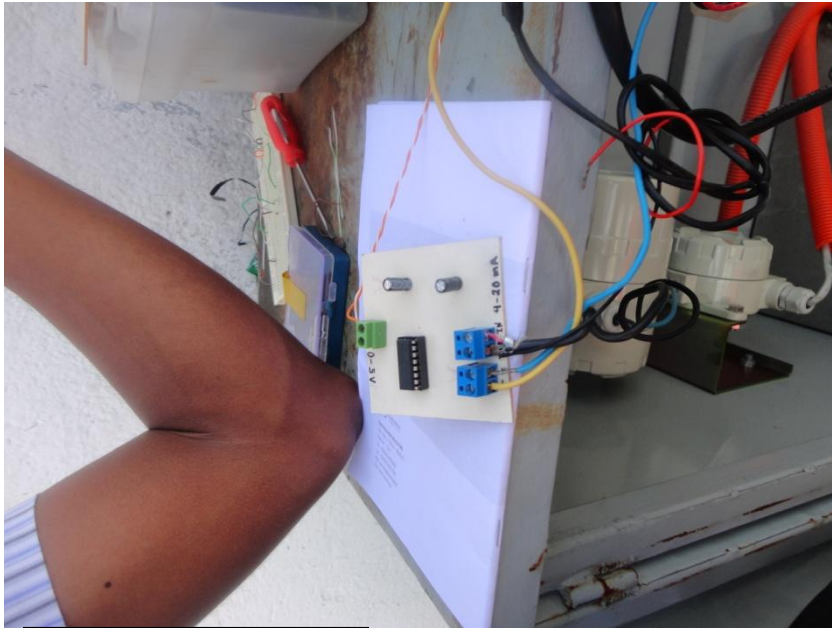


**Figura 51** MUT2200EL



**Figura 52** MUT2200EL

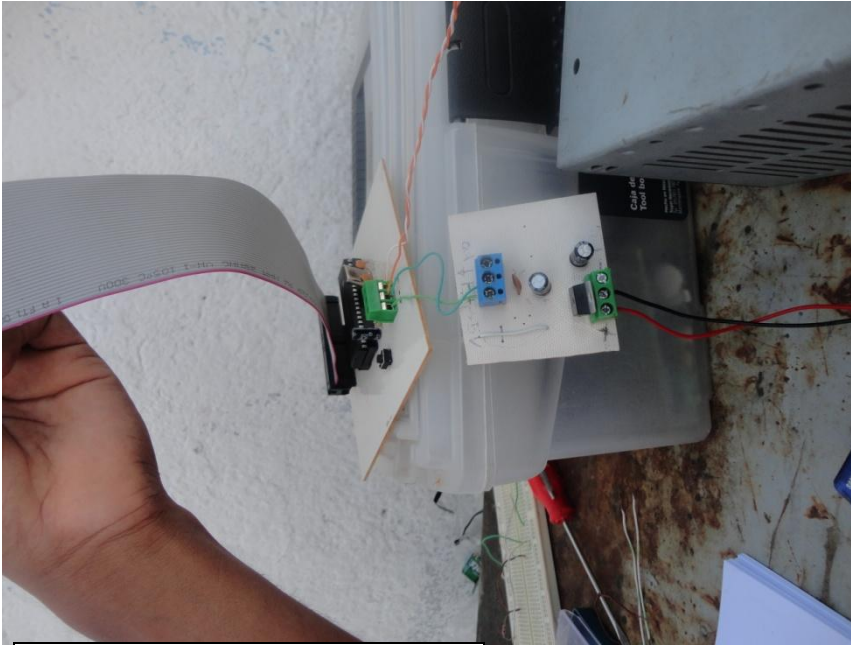
## Circuito RCV 420



**Figura 53** RCV 420



**Figura 54** Tablero MC 308



**Figura 55** Circuito adquiridor de datos

Resultados obtenidos por el sistema de adquisición de datos.



## Conclusión

En el proyecto realizado se lograron resultados sumamente satisfactorios, logrando medir la cantidad de agua que pasaba por un sistema de tuberías, se hizo uso del sensor **MUT2200EL** de la empresa EUROMAG, dicho sensor funcionó de una manera adecuada, además el dispositivo se puede conectar a un convertidor MC 308 C que sirve para la lectura de las señales mandadas por el sensor; pero debido al costo es muy difícil conseguirlos, sin embargo se pudo complementar con un convertidor para verificar si las lecturas hechas por el sistema de adquisición de datos que se fabricó, y las lecturas obtenidas por los 2 medios fueron significativamente similares.

Con respecto al convertidor de corriente a voltaje RCV 420, la configuración realizada y su funcionamiento fueron correctos, por lo tanto la señal mandada por el sensor que era una corriente de 4-20mA, fue convertida a una señal de voltaje de 0-5V, lo que permitió al PIC funcionar adecuadamente con la señal mandada por el sensor, se pueden considerar ciertos márgenes de error en la conversión de corriente a voltaje pero son despreciables.

En la etapa de adquisición de datos el PIC logró interpretar la señal mandada por el sensor, que fue convertida por el RCV 420, mostrando una medición precisa de la cantidad de agua que pasaba por esa tubería.

Se puede concluir que la detección de fugas en un sistema de tuberías traerá un gran ahorro de dinero, tiempo y esfuerzo, el proceso es bastante sencillo, el único inconveniente es el costo de los sensores para la medición del caudal.

### Trabajos futuros

Lo posterior a este proyecto realizado sería: mandar la información recaudada por el PIC vía remota hasta una PC en las oficinas de la dependencia encargada del sistema de agua potable, haciendo mucho más fácil la detección de fugas de agua y así su pronta intervención en contra de éstas, y tener un mejor monitoreo del sistema de tuberías de una ciudad entera, lo que daría lugar a una mejor atención a las demandas de la sociedad.

## Referencias bibliográficas

Benkherouf and A.Y. Allidina. "Leak detection and location in gas pipelines". IEE Proc. Vol. 135, Pt. D, N° 2, pp. 142-148. 1988.

L. Billmann and R. Isermann. "Leak detection methods for pipelines". Automática. Vol. 23 N° 3, pp. 381-385. 1987.

Cipriano y A. Medina. "Detección de pérdidas en sistemas de distribución de combustibles". Automática, Anales X Congreso de la Asociación Chilena de Control Automático, Facultad de Ingeniería, Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile. 1992.

N.J. Gordon, D.J. Salmond and A.F.M. Smith. "Novel approach to nonlinear/non-Gaussian Bayesian state estimation". IEE Proc. F. Vol. 140 N° 2, pp. 107-113. 1993.

S. Julier and J. Uhlmann. "A new extension of the Kalman filter to nonlinear systems". Proc. of AeroSense: The 11th Int. Symp. on Aerospace/Defense Sensing, Simulation and Controls. Orlando, FL. 1997.

R.E. Kalman. "A new approach to linear filtering and prediction problems". Trans. ASME, J. Basic Engineering. Vol. 82, pp. 94-35. 1960. Fecha de consulta: Abril 2008. URL: <http://www.cs.unc.edu/~welch/kalman/>

M. Liu, S. Zang and D. Zhou. "Fast leak detection and location of gas pipelines based on an adaptive particle filter". Int. J. Appl. Math. Comput. Sci. Vol. 15 N° 4, pp. 541-550. 2005.

D. Misiunas. "Failure monitoring and asset condition assessment in water supply systems". Doctoral dissertation in industrial automation. Department of Industrial Electrical Engineering and Automation. Lund University. Lund. ISBN 91-88934-40-3. 2005.

J.A. Motto y D. Marqués. "Detección y localización on-line de pérdidas en gasoductos". Instituto de Desarrollo Tecnológico para la Industria Química (INTEC). Santa Fe, Argentina. Automática, Tecnología para el Desarrollo. Vol. 1, Anales: III Congreso Latinoamericano de Automática, VIII Congreso de la Asociación Chilena de Control Automático. Viña del Mar, Chile. 1988.

<http://www.mejoras-energeticas.com/deteccion.html>

<http://www.revista.unam.mx/vol.11/num2/art23/art23.pdf>

<http://www.mejoras-nergeticas.com/Catalogos/PERMALOG%20PLUS%202.9.pdf>



<http://www.pce-iberica.es/instrumentos-de-medida/medidores/detectores-de-fugas-vision-general.html>

[http://www.investigacion.frc.utn.edu.ar/sensores/Caudal/Principios/Caudal\\_Sensores.pdf](http://www.investigacion.frc.utn.edu.ar/sensores/Caudal/Principios/Caudal_Sensores.pdf)

<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan/011632/011632-05.pdf>

[http://www.micropik.com/pag\\_sensores.htm](http://www.micropik.com/pag_sensores.htm)

<http://www.instrutech.com.mx/Contactenos.html>

Pudar R. S., Ligget J. A. (1992). *Leaks in Pipe Networks*.  
Journal of Hydraulics Engineering. Vol. 118, No. 7. July, 1992.

Sánchez B. J. L., Fuentes M. O. A. (1995), Informe para la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica del Distrito Federal. Instituto de Ingeniería, UNAM; México D.F.

Vela A., Martínez F., García-Serra J., Pérez R. (1994), *Estrategias óptimas para la reducción de pérdidas de agua en sistemas de abastecimiento*. Ingeniería del agua. Vol. 1, No. 1. Valencia, España.

<http://www.euromag.com/es/mut2200el>

# Anexos



**MICROCHIP**

**PIC18F2420/2520/4420/4520**

---

## **28/40/44-Pin Enhanced Flash Microcontrollers with 10-Bit A/D and nanoWatt Technology**

---

### **Power Managed Modes:**

- Run: CPU on, peripherals on
- Idle: CPU off, peripherals on
- Sleep: CPU off, peripherals off
- Idle mode currents down to 5.8  $\mu$ A typical
- Sleep mode current down to 0.1  $\mu$ A typical
- Timer1 Oscillator: 1.8  $\mu$ A, 32 kHz, 2V
- Watchdog Timer: 2.1  $\mu$ A
- Two-Speed Oscillator Start-up

### **Peripheral Highlights:**

- High-current sink/source 25 mA/25 mA
- Three programmable external interrupts
- Four input change interrupts
- Up to 2 Capture/Compare/PWM (CCP) modules, one with Auto-Shutdown (28-pin devices)
- Enhanced Capture/Compare/PWM (ECCP) module (40/44-pin devices only):
  - One, two or four PWM outputs
  - Selectable polarity
  - Programmable dead time
  - Auto-Shutdown and Auto-Restart
- Master Synchronous Serial Port (MSSP) module supporting 3-wire SPI™ (all 4 modes) and I<sup>2</sup>C™ Master and Slave Modes
- Enhanced Addressable USART module:
  - Supports RS-485, RS-232 and LIN 1.2
  - RS-232 operation using internal oscillator block (no external crystal required)
  - Auto-Wake-up on Start bit
  - Auto-Baud Detect
- 10-bit, up to 13-channel Analog-to-Digital Converter module (A/D):
  - Auto-acquisition capability
  - Conversion available during Sleep
- Dual analog comparators with input multiplexing

### **Flexible Oscillator Structure:**

- Four Crystal modes, up to 40 MHz
- 4X Phase Lock Loop (available for crystal and internal oscillators)
- Two External RC modes, up to 4 MHz
- Two External Clock modes, up to 40 MHz
- Internal oscillator block:
  - 8 user selectable frequencies, from 31 kHz to 8 MHz
  - Provides a complete range of clock speeds from 31 kHz to 32 MHz when used with PLL
  - User tunable to compensate for frequency drift
- Secondary oscillator using Timer1 @ 32 kHz
- Fail-Safe Clock Monitor:
  - Allows for safe shutdown if peripheral clock stops

### **Special Microcontroller Features:**

- C compiler optimized architecture:
  - Optional extended instruction set designed to optimize re-entrant code
- 100,000 erase/write cycle Enhanced Flash program memory typical
- 1,000,000 erase/write cycle Data EEPROM memory typical
- Flash/Data EEPROM Retention: 100 years typical
- Self-programmable under software control
- Priority levels for interrupts
- 8 x 8 Single-Cycle Hardware Multiplier
- Extended Watchdog Timer (WDT):
  - Programmable period from 4 ms to 131s
- Single-supply 5V In-Circuit Serial Programming™ (ICSP™) via two pins
- In-Circuit Debug (ICD) via two pins
- Wide operating voltage range: 2.0V to 5.5V
- Programmable 16-level High/Low-Voltage Detection (HLVD) module:
  - Supports interrupt on High/Low-Voltage Detection
- Programmable Brown-out Reset (BOR)
  - With software enable option

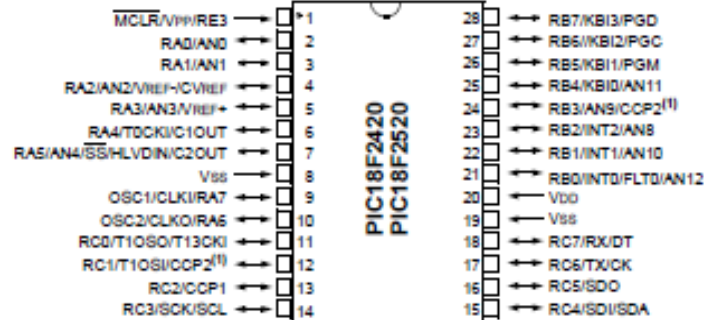
# PIC18F2420/2520/4420/4520

Device	Program Memory		Data Memory		I/O	10-bit A/D (ch)	CCP/ ECCP (PWM)	MSSP		EUSART	Comp.	Timers 8/16-bit
	Flash (bytes)	# Single-Word Instructions	SRAM (bytes)	EEPROM (bytes)				SPI	Master I <sup>2</sup> C			
PIC18F2420	16K	8192	768	256	25	10	2/0	Y	Y	1	2	1/3
PIC18F2520	32K	16384	1536	256	25	10	2/0	Y	Y	1	2	1/3
PIC18F4420	16K	8192	768	256	36	13	1/1	Y	Y	1	2	1/3
PIC18F4520	32K	16384	1536	256	36	13	1/1	Y	Y	1	2	1/3

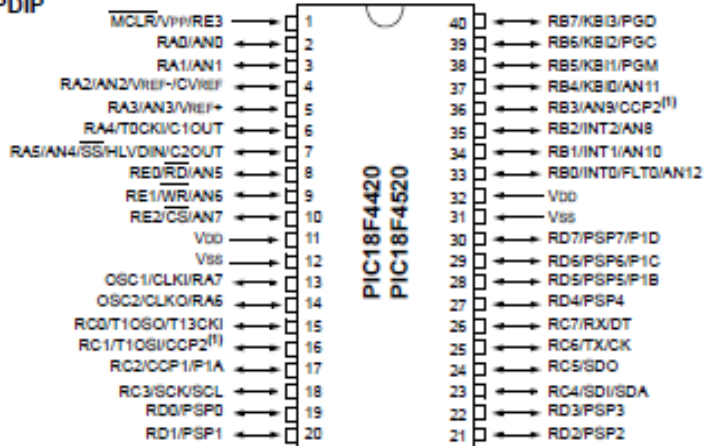
# PIC18F2420/2520/4420/4520

## Pin Diagrams

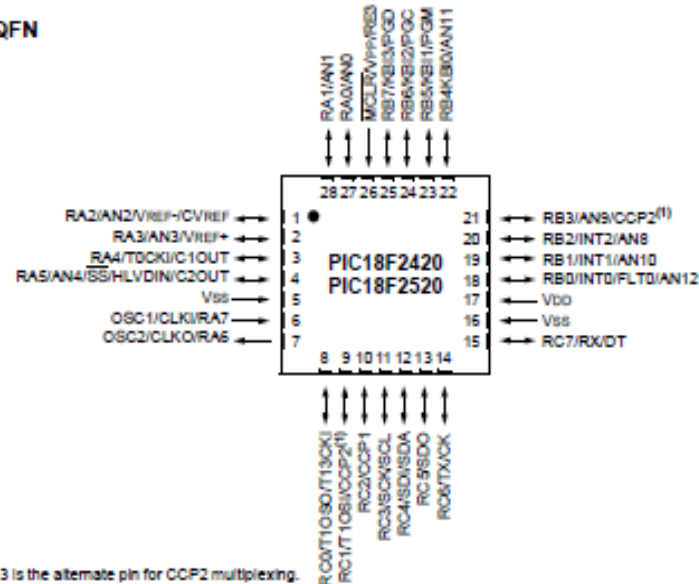
### 28-pin PDIP, SOIC



### 40-pin PDIP



### 28-pin QFN

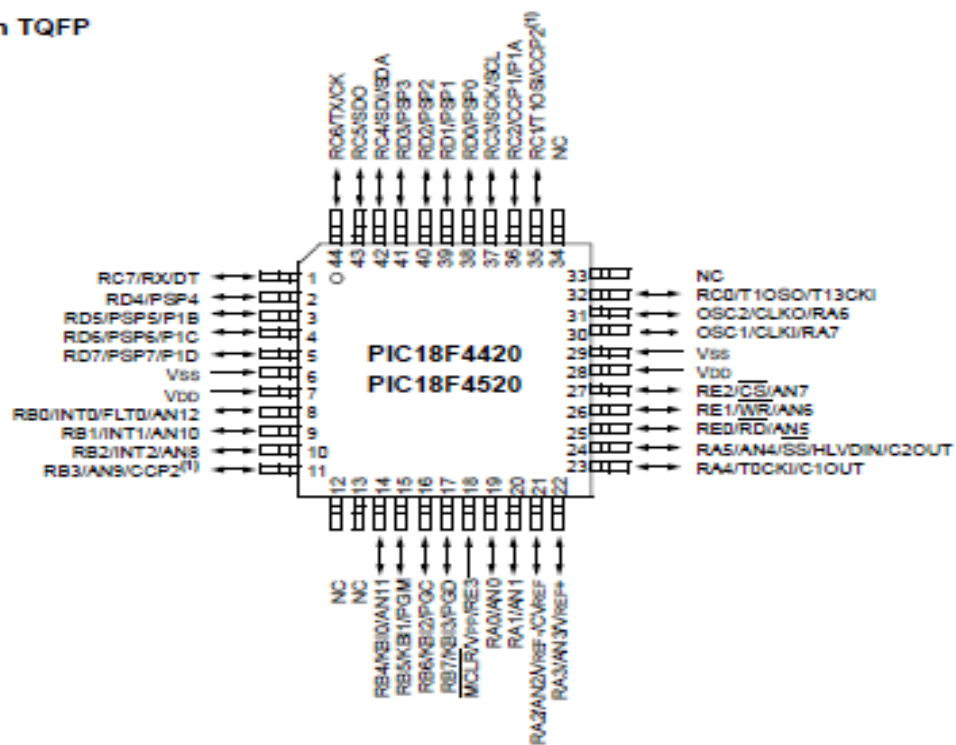


Note 1: RB3 is the alternate pin for CCP2 multiplexing.

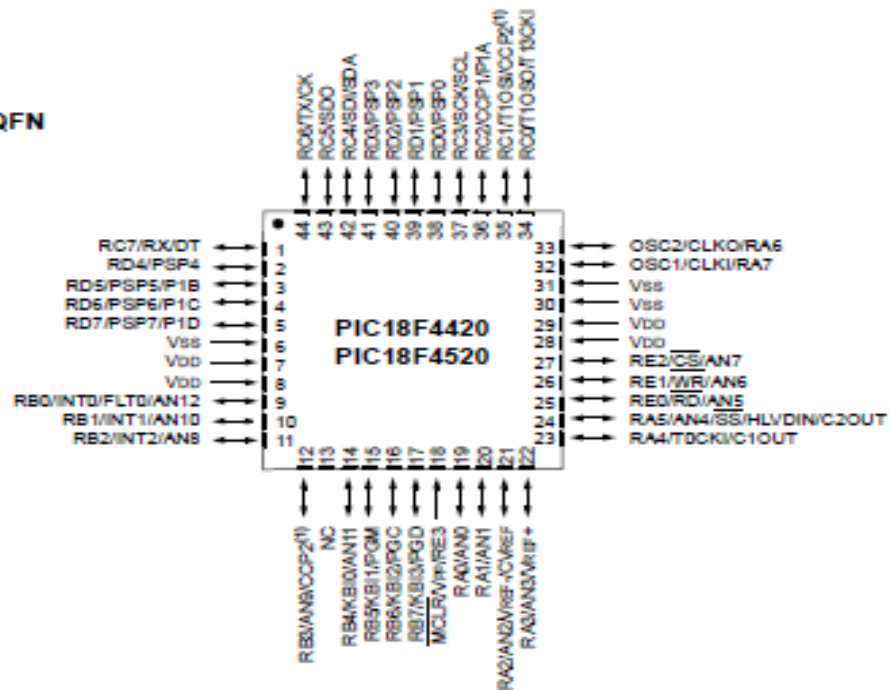
# PIC18F2420/2520/4420/4520

## Pin Diagrams (Cont.'d)

44-pin TQFP



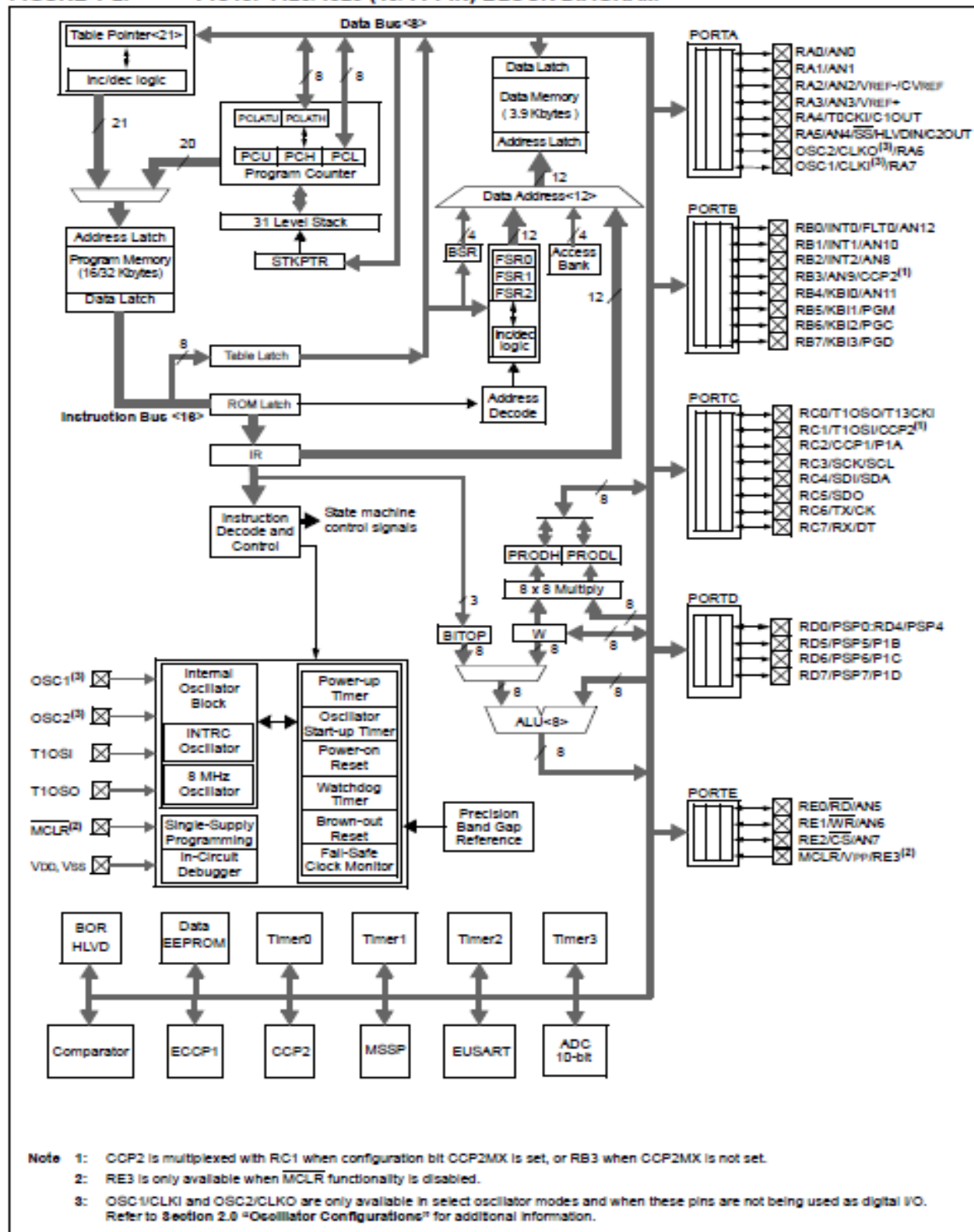
44-pin QFN



Note 1: RB3 is the alternate pin for CCP2 multiplexing.

# PIC18F2420/2520/4420/4520


FIGURE 1-2: PIC18F4420/4520 (40/44-PIN) BLOCK DIAGRAM



## Medidores de caudal electromagnéticos



## Sensores MUT 2200 EL / MUT 2500 EL

DS100-3-ESP 

## Sensores MUT 2200 EL / MUT 2500 EL

---

Los sensores MUT 2200 EL y MUT 2500 EL representan lo último de la producción de EUROMAG INTERNATIONAL para las aplicaciones para el ciclo de agua y de proceso. La nueva estructura de generación del campo magnético, el innovador recorrido de la señal generada por los electrodos, lo provee un sensor con una rango de medida extremadamente amplio:

**LE= Linealidad Extendida.**

Esta nueva familia de sensores continua la tradición de éxito del MUT 2200 y MUT 2500 introduciendo un rango de medida de más de 1:1000 sin software de linealización. Este tipo de prestaciones permite realizar mediciones muy precisas sobre un campo muy amplio de caudales y poder contabilizar también caudales más bajos que anteriormente hubieran sido puestos en cero por efecto del CUT OFF del convertidor. Esta familia de sensores bridados basa su funcionamiento sobre el Principio de Faraday, por el cual un conductor que atraviesa un campo magnético genera un potencial orientado perpendicularmente al mismo campo. En este caso la tubería de pasaje realizada en acero inoxidable AISI 304 está equipada con bridas de acero al carbono o inoxidable, tiene instaladas dos bobinas en la parte superior e inferior; el campo magnético, generado por la corriente eléctrica que atraviesa la bobina, induce en los electrodos una diferencia de potencial proporcional al caudal. Con el objeto de poder medir tal potencial de valores muy bajos, el interior de la tubería de medición está aislado eléctricamente, por lo tanto el líquido de proceso no está más en contacto ni con el material de la tubería de pasaje ni con aquel de la brida. El convertidor utilizado genera la corriente que alimenta la bobina, adquiere la diferencia de potencial de los electrodos, elabora la señal para calcular el caudal y administra la comunicación con el exterior. El sensor entero, cuando está instalado en la versión separada, tiene un grado de protección IP68 apto para la inmersión permanente en agua hasta una profundidad de 1,5m gracias a una estructura de chapa soldada que contiene la bobina y los electrodos.

### 1. Cuerpo y brida.

---

La brida y la superficie externa del sensor están tratadas con barniz acrílico. Este tratamiento confiere al sensor una óptima resistencia al agua, incluso en inmersión permanente. Cuando exigencias ambientales particulares lo requieren, el MUT 2200 EL/ MUT 2500 EL puede entregarse completamente en acero inoxidable, brida incluida (ver tabla 2).

### 2. Revestimiento interno.

---

El revestimiento aislante interno estándar es en PTFE para los diámetros desde DN 15 hasta DN 150, en goma dura para instalaciones alimenticias (ebonita alimenticia) para los diámetros mayores a DN 150. A pedido, pueden entregarse los sensores revestidos en PTFE con diámetros mayores a DN 150. El tipo de revestimiento interno utilizado limita la temperatura del líquido a medir. (ver tabla 4).

### 3. Electrodos.

---

Los electrodos estándar son en aleaciones de níquel C 22 y, por lo tanto, garantizan una amplia compatibilidad con los fluidos de proceso, si se requiere pueden entregarse en otros materiales indicados en la tabla 3.

### 4. Acoplamiento y conexión al sensor.

---

Los sensores MUT 2200 EL pueden acoplarse a todos los convertidores de producción EUROMAG (v. tabla 5). En la versión separada el sensor va conectado al convertidor mediante un cable cuya longitud depende de la conductividad del líquido; tal longitud no debe superar los 100 metros como lo indica la figura 1. Si estos modelos se insertan en una tubería de material aislante, o revestida internamente de material aislante, requieren la utilización de dos anillos de puesta a tierra del líquido, que se insertan entre la brida y la contrabrida o la instalación del electrodo de tierra.

También se puede instalar un electrodo para la detección de caño parcialmente vacío.

### 5. Elección del diámetro.

---

Al momento de elegir el diámetro se aconseja tener en el fondo de escala de caudal una velocidad del líquido de por lo menos 2÷3 m/s. La velocidad máxima admisible es de 10 m/s. La figura 3 muestra el caudal de cada DN (diámetro nominal) en función de la velocidad del líquido.



## 6. Máxima temperatura del líquido

En la versión separada la temperatura máxima que puede alcanzar el líquido se indica en la tabla 4. En la versión compacta, en cambio, la temperatura máxima que puede alcanzar el líquido puede depender de la temperatura ambiente. Esto se debe a la necesidad de garantizar una correcta disipación del calor generado por la electrónica. La temperatura máxima del fluido permitida para la versión compacta es de 80°C.

## 7. Calibración y error máximo.

Los sensores MUT 2200 EL/MUT 2500 EL pertenecen al Grupo de referencia B1 (ISO 11631). Cada sensor es calibrado sobre un banco hidráulico provisto de un sistema de peso de referencia SIT. La inexactitud de la medición es igual al 0,2% del valor del caudal leído cuando la velocidad del líquido es superior a 0,2 m/s. La repetibilidad de la medición es del orden de los 0,1%.

## 8. Normas de referencia

Los medidores magnéticos EUROMAG están provistos de marcación CE y se fabrican de acuerdo con las siguientes normas:

- \* CEI EN 61010-1
- \* EN 50081 - 1
- \* UNI EN ISO 6817
- \* EN 50082 - 1
- \* EN 1434

A pedido del cliente, el MUT 2200 EL y MUT 2500 EL puede ser entregado con certificación ATEX II 2 GD EEx mb IIC T4 U.

## 9. Aplicaciones

Los sensores de la familia MUT 2200 EL / MUT 2500 EL son aptos para cualquier aplicación de medición en línea. Estos sensores son típicamente usados en la medición de agua potable o refluyente, aguas de desecho industrial, líquidos de proceso industrial, barros y hormigones.



## Longitud máxima de los cables en función de la conductividad del líquido

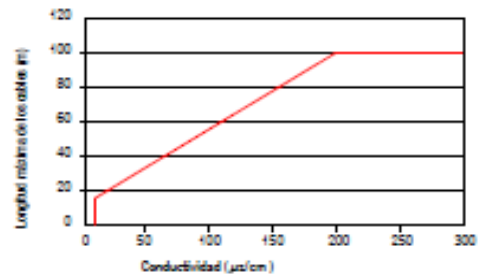


figura 1

## Diámetros estándar

milímetros (mm)	15	20	25	32	40	50	65	80
pulgadas (")	1/2"	3/4"	1"	1.1/4"	1.1/2"	2"	2.1/2"	3"
milímetros (mm)	100	125	150	200	250	300	350	400
pulgadas (")	4"	5"	6"	8"	10"	12"	14"	16"
milímetros (mm)	450	500	600	700	800	900	1000	1200
pulgadas (")	18"	20"	24"	28"	32"	36"	40"	48"
milímetros (mm)	1300	1400	1500	1600	1700	1800	2000	
pulgadas (")	52"	56"	60"	64"	68"	72"	80"	

tabla 1

## Materiales de la tubería de pasaje

AISI 304 (Inox)

## Materiales de las bridas

Acero Carb. pintado (std)

AISI 304 (Inox)

AISI 316 (Inox)

tabla 2

## Electrodos disponibles

Hastelloy C (std)

Hastelloy B

Titanio

Tantalio

Platino

tabla 3

Revestimiento interno - Temperatura del líquido

Revestimiento interno	Temperatura líquido
PTFE	Estandar -40 /+140°C (superior a +180° bajo pedido)
EBONITA ALIMENTICIA	-40°C / +80°C

tabla 4

Características generales del Sensor MUT2200 EL / MUT 2500 EL

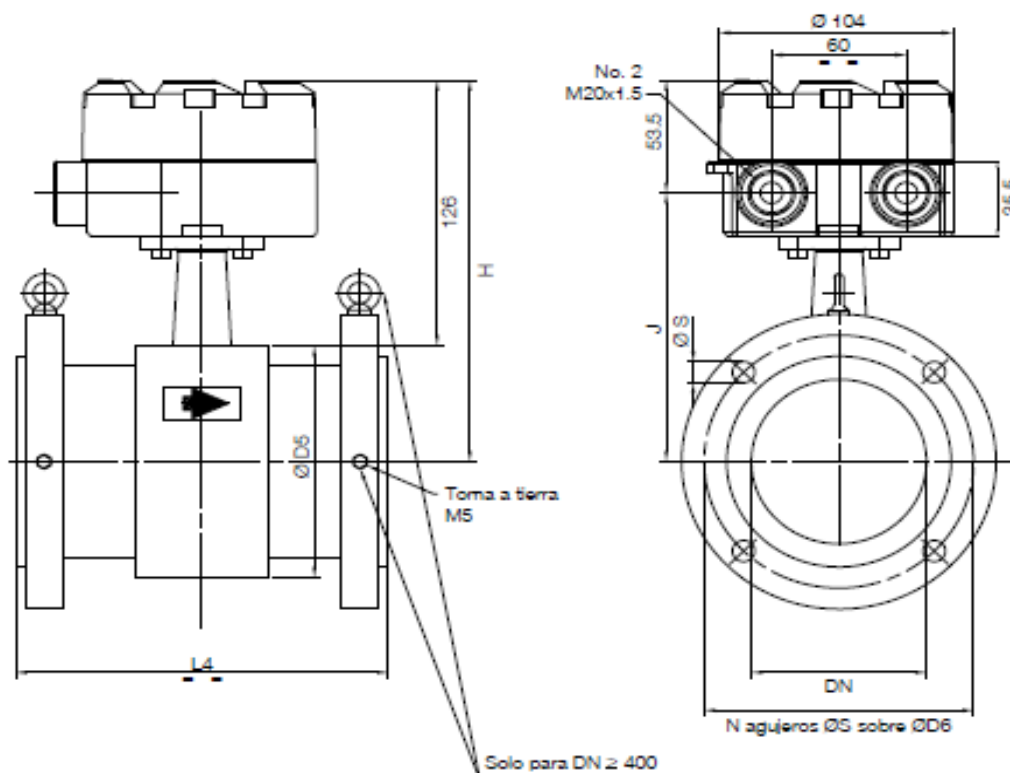
Diámetros disponibles	15	20	25	32	40	50	65	80	100	125	150	200	250	300	350	400								
	1/2"	3/4"	1"	1.1/4"	1.1/2"	2"	2.1/2"	3"	4"	5"	6"	8"	10"	12"	14"	16"								
	450	500	600	700	800	900	1000	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	2000									
	18"	20"	24"	28"	32"	36"	40"	48"	52"	56"	60"	64"	68"	72"	80"									
Conexiones bridadas estándar	UNI2223				ANSI 150				ANSI 300				DIN2501											
Conexiones bridadas a pedido	BS45404				AWWA				ISO7005				KS											
Presión de funcionamiento estándar[1]	16 bar																							
Grado de protección	IP68 Inmersión continua a 1.5 m (IEC 529)																							
Compatibilidad de los convertidores	MC 106 A				MC 106 B				MC 308				MC 308 C				MC 108				MC 108/ET			
Dimensiones	Ver figura 2																							
Partes en contacto con el líquido [2]	PTFE								Ebonita alimenticia															
Conexiones eléctricas	Prensacables PG 11 + caja de conexiones + resina sellante																							

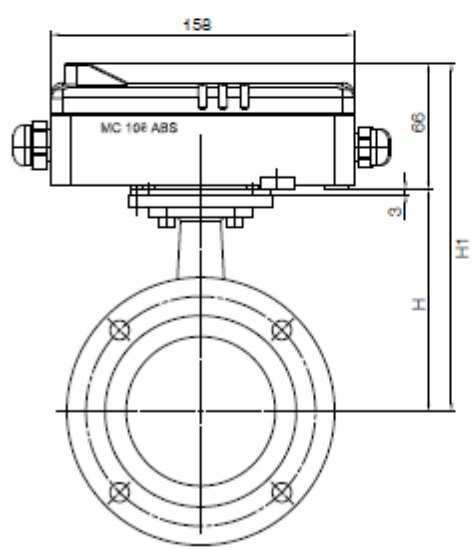
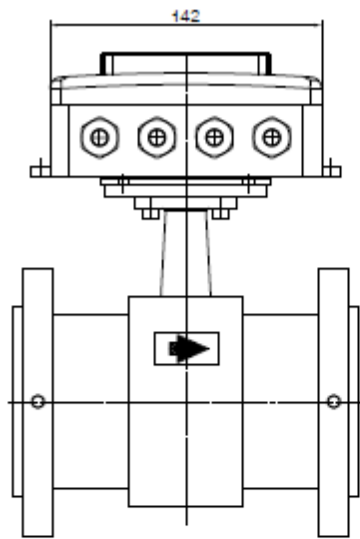
[1] A pedido hasta 150 bares

[2] Otras a pedido

tabla 5

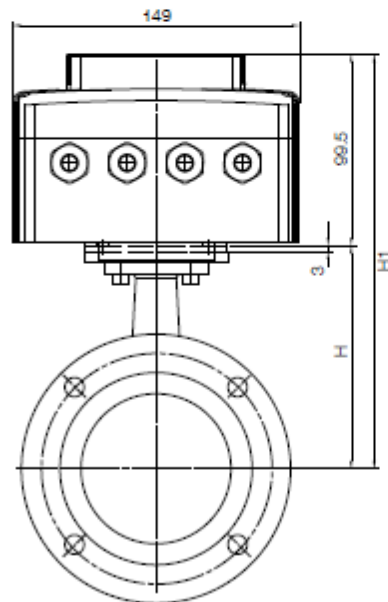
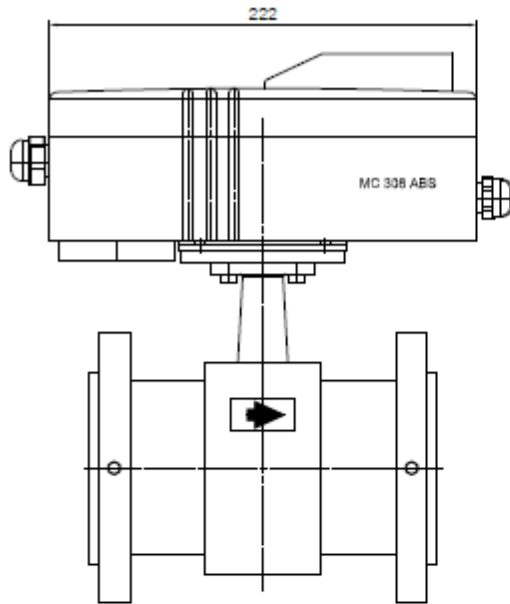
Fig. 2 - Dimensiones de espacio.





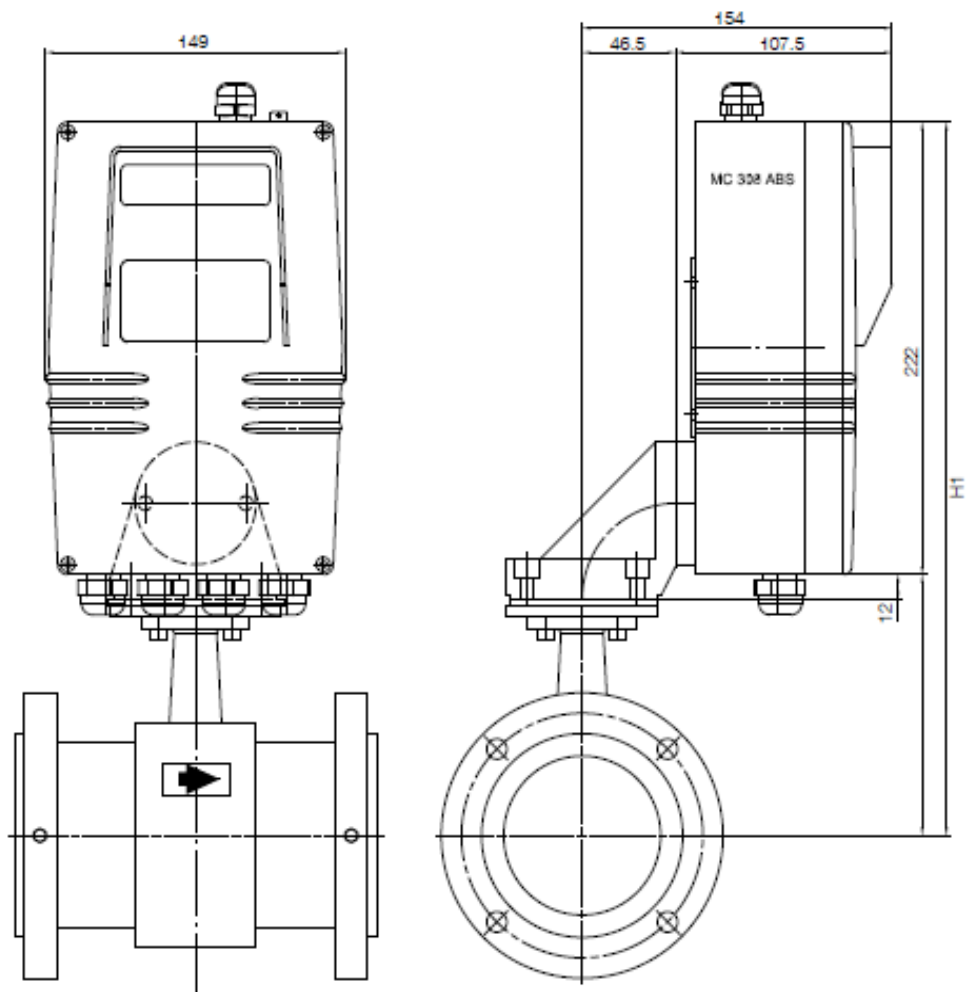
	Ø DN	H	H1
MUT 2200 EL	25	99	159
	32	99.5	165.5
	40	102	168
	50	110	176
	65	118	184
	80	124.5	190.5
	100	137	203
	125	150	216
	150	164	230
	200	189.5	255.5
	250	216.5	282.5
	300	242	308
	350	258	324
	400	283	349
MUT 2500 EL	450	320.5	386.5
	500	346	412
	600	402	468
	700	452.5	518.5
	800	503.5	569.5
	900	559	625
	1000	610	676
	1200	717	783
	1400	818	883
	1500	869	935
	1600	917	983
	1800	1022	1088
2000	1122	1188	

tablica 18



	Ø DN	H	H1
MUT 2200 EL	25	99	192.5
	32	99.5	199
	40	102	201.5
	50	110	209.5
	65	118	217.5
	80	124.5	224
	100	137	236.5
	125	150	249.5
	150	164	263.5
	200	189.5	289
	250	216.5	316
	300	242	341.5
	350	258	357.5
400	283	382.5	
MUT 2500 EL	450	320.5	420
	500	346	445.5
	600	402	501.5
	700	452.5	552
	800	503.5	603
	900	559	658.5
	1000	610	709.5
	1200	717	816.5
	1400	817	916.5
	1500	869	968.5
1600	917	1016.5	
1800	1022	1121.5	
2000	1122	1221.5	

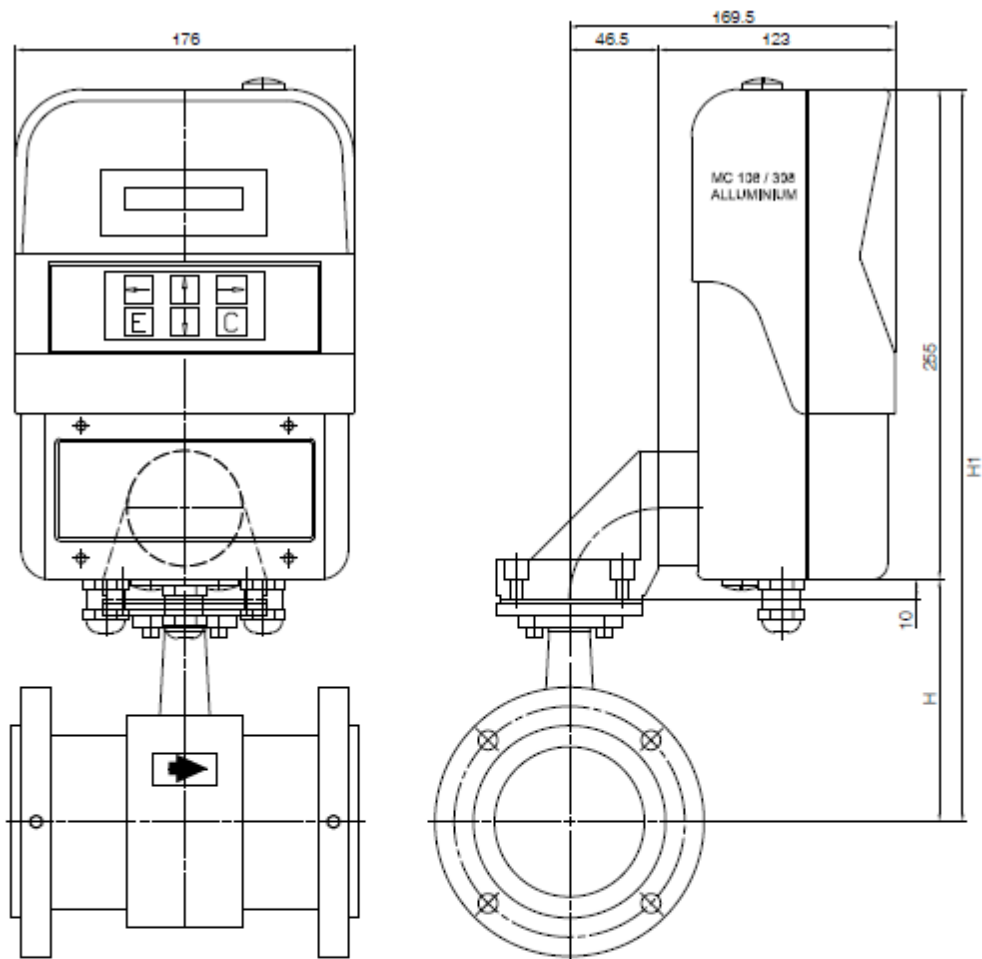
tabla 19



	Ø DN	H	H1
MUT 2200 EL	25	105	327
	32	111.5	333.5
	40	114	336
	50	122	344
	65	130	352
	80	136.5	358.5
	100	149	371
	125	162	384
	150	176	398
	200	204.5	423.5
	250	228.5	450.5
	300	254	476
	350	270	492
400	295	517	

	Ø DN	H	H1
MUT 2500 EL	450	332.5	554.5
	500	358	580
	600	414	636
	700	464.5	686.5
	800	515.5	737.5
	900	571	793
	1000	622	844
	1200	729	951
	1400	829	1051
	1500	881	1103
	1600	929	1151
1800	1034	1256	
2000	1134	1356	

tabla 20



	Ø DN	H	H1
MUT 2200 EL	25	103	358
	32	109.5	364.5
	40	112	367
	50	120	375
	65	128	383
	80	134.5	389.5
	100	147	402
	125	160	415
	150	174	429
	200	199.5	454.5
	250	226.5	481.5
	300	252	507
	350	268	523
400	293	548	

	Ø DN	H	H1
MUT 2500 EL	450	330.5	585.5
	500	356	611
	600	412	667
	700	462.5	717.5
	800	513.5	768.5
	900	569	824
	1000	620	875
	1200	727	982
	1400	827	1082
	1500	879	1134
	1600	927	1182
	1800	1032	1287
2000	1132	1387	

tabla 21



**RCV420**

## Precision 4mA to 20mA CURRENT LOOP RECEIVER

### FEATURES

- COMPLETE 4-20mA TO 0-5V CONVERSION
- INTERNAL SENSE RESISTORS
- PRECISION 10V REFERENCE
- BUILT-IN LEVEL-SHIFTING
- $\pm 40V$  COMMON-MODE INPUT RANGE
- 0.1% OVERALL CONVERSION ACCURACY
- HIGH NOISE IMMUNITY: 86dB CMR

### APPLICATIONS

- PROCESS CONTROL
- INDUSTRIAL CONTROL
- FACTORY AUTOMATION
- DATA ACQUISITION
- SCADA
- RTUs
- ESD
- MACHINE MONITORING

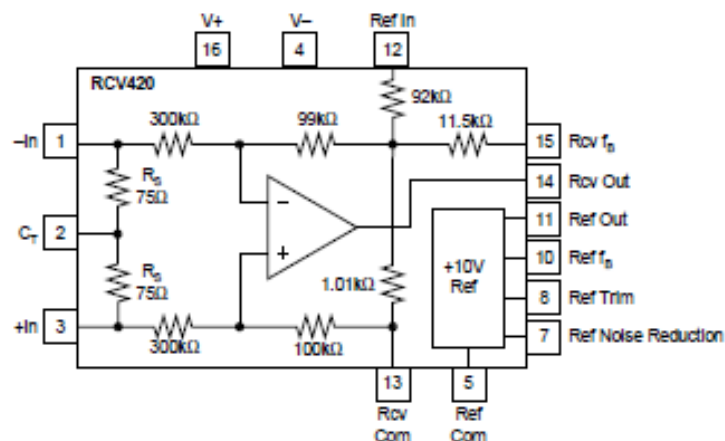
### DESCRIPTION

The RCV420 is a precision current-loop receiver designed to convert a 4–20mA input signal into a 0–5V output signal. As a monolithic circuit, it offers high reliability at low cost. The circuit consists of a premium grade operational amplifier, an on-chip precision resistor network, and a precision 10V reference. The RCV420 features 0.1% overall conversion accuracy, 86dB CMR, and  $\pm 40V$  common-mode input range.

The circuit introduces only a 1.5V drop at full scale, which is useful in loops containing extra instrument burdens or in intrinsically safe applications where

transmitter compliance voltage is at a premium. The 10V reference provides a precise 10V output with a typical drift of 5ppm/ $^{\circ}C$ .

The RCV420 is completely self-contained and offers a highly versatile function. No adjustments are needed for gain, offset, or CMR. This provides three important advantages over discrete, board-level designs: 1) lower initial design cost, 2) lower manufacturing cost, and 3) easy, cost-effective field repair of a precision circuit.



International Airport Industrial Park • Mailing Address: PO Box 11400, Tucson, AZ 85734 • Street Address: 8730 S. Tucson Blvd., Tucson, AZ 85706 • Tel: (520) 748-1111 • Tw: 910-862-1111  
Internet: <http://www.burr-brown.com/> • FAXLine: (800) 548-8133 (US/Canada Only) • Cable: BBRCORP • Telex: 968-8481 • FAX: (520) 888-1510 • Immediate Product Info: (800) 548-8132

# SPECIFICATIONS

## ELECTRICAL

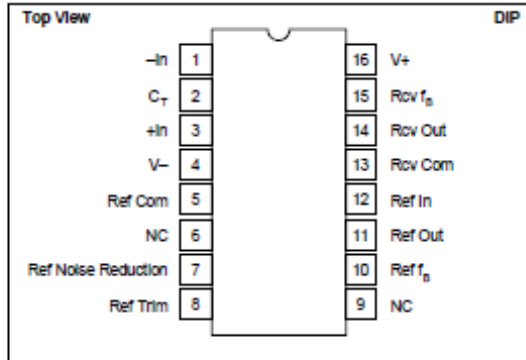
At  $T = +25^{\circ}\text{C}$  and  $V_O = \pm 15\text{V}$ , unless otherwise noted.

CHARACTERISTICS	RCV420KP, JP			UNITS
	MIN	TYP	MAX	
<b>GAIN</b>				
Initial		0.3125		V/mA
Error		0.05	0.15	% of span
Error—JP Grade			0.25	% of span
vs Temp		15		ppm/ $^{\circ}\text{C}$
Nonlinearity <sup>(1)</sup>		0.0002	0.002	% of span
<b>OUTPUT</b>				
Rated Voltage ( $I_O = +10\text{mA}, -5\text{mA}$ )	10	12		V
Rated Current ( $E_O = 10\text{V}$ )	+10, -5			mA
Impedance (Differential)		0.01		$\Omega$
Current Limit (To Common)		+49, -13		mA
Capacitive Load (Stable Operation)		1000		pF
<b>INPUT</b>				
Sense Resistance	74.25	75	75.75	$\Omega$
Input Impedance (Common-Mode)		200		k $\Omega$
Common-Mode Voltage			$\pm 40$	V
CMR <sup>(2)</sup>	70	80		dB
vs Temp (DC) ( $T_A = T_{MIN}$ to $T_{MAX}$ )		76		dB
AC 60Hz		80		dB
<b>OFFSET VOLTAGE (RTO)<sup>(3)</sup></b>				
Initial			1	mV
vs Temp		10		$\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$
vs Supply ( $\pm 11.4\text{V}$ to $\pm 18\text{V}$ )	74	90		dB
vs Time		200		$\mu\text{V}/\text{mo}$
<b>ZERO ERROR<sup>(4)</sup></b>				
Initial		0.025	0.075	% of span
Initial—JP Grade			0.15	% of span
vs Temp		10		ppm of span/ $^{\circ}\text{C}$
<b>OUTPUT NOISE VOLTAGE</b>				
$f_b = 0.1\text{Hz}$ to $10\text{Hz}$		50		$\mu\text{Vp-p}$
$f_c = 10\text{kHz}$		800		nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$
<b>DYNAMIC RESPONSE</b>				
Gain Bandwidth		150		kHz
Full Power Bandwidth		30		kHz
Slew Rate		1.5		V/ $\mu\text{s}$
Setting Time (0.01%)		10		$\mu\text{s}$
<b>VOLTAGE REFERENCE</b>				
Initial	9.99		10.01	V
Trim Range <sup>(5)</sup>		$\pm 4$		%
vs Temp		5		ppm/ $^{\circ}\text{C}$
vs Supply ( $\pm 11.4\text{V}$ to $\pm 18\text{V}$ )		0.0002		%/V
vs Output Current ( $I_O = 0$ to $+10\text{mA}$ )		0.0002		%/mA
vs Time		15		ppm/kHz
Noise (0.1Hz to 10Hz)		5		$\mu\text{Vp-p}$
Output Current	+10, -2			mA
<b>POWER SUPPLY</b>				
Rated		$\pm 15$		V
Voltage Range <sup>(6)</sup>	-5, +11.4		$\pm 18$	V
Quiescent Current ( $V_O = 0\text{V}$ )		3	4	mA
<b>TEMPERATURE RANGE</b>				
Specification	0		+70	$^{\circ}\text{C}$
Operation	-25		+85	$^{\circ}\text{C}$
Storage	-40		+85	$^{\circ}\text{C}$
Thermal Resistance, $\theta_{JA}$		80		$^{\circ}\text{C}/\text{W}$

NOTES: (1) Nonlinearity is the max peak deviation from best fit straight line. (2) With 0 source impedance on Rcv Com pin. (3) Referred to output with all inputs grounded including Ref In. (4) With 4mA input signal and Voltage Reference connected (includes  $V_{OS}$ , Gain Error, and Voltage Reference Errors). (5) External trim slightly affects drift. (6)  $I_O$  Ref = 5mA,  $I_O$  Rcv = 2mA.



### PIN CONFIGURATION



### ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS<sup>(1)</sup>

Supply	±22V
Input Current, Continuous	40mA
Input Current Momentary, 0.1s	250mA, 1% Duty Cycle
Common-Mode Input Voltage, Continuous	±40V
Lead Temperature (soldering, 10s)	+300°C
Output Short Circuit to Common (Rcv and Ref)	Continuous

NOTE: (1) Stresses above these ratings may cause permanent damage.

### PACKAGE INFORMATION

PRODUCT	PACKAGE	PACKAGE DRAWING NUMBER <sup>(1)</sup>
RCV420KP	16-Pin Plastic DIP	180
RCV420JP	16-Pin Plastic DIP	180

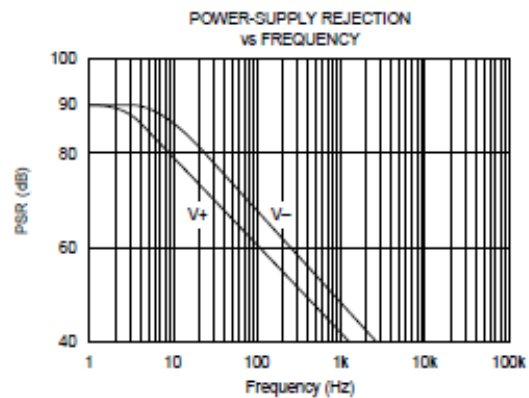
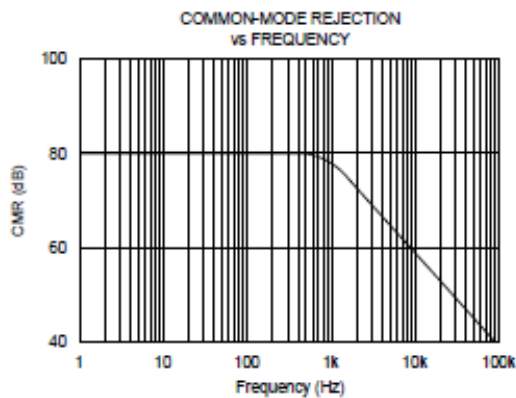
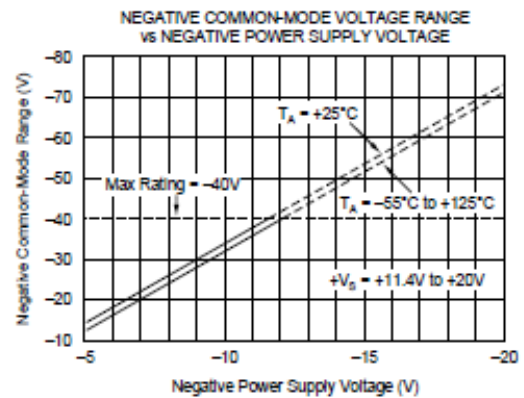
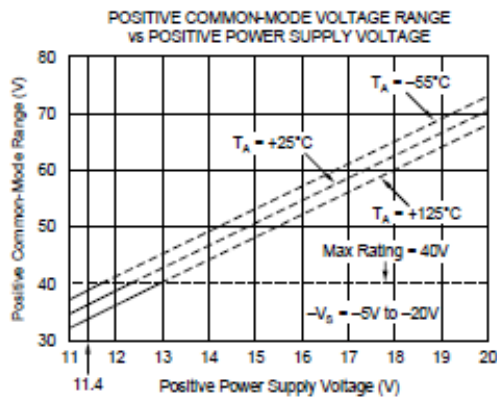
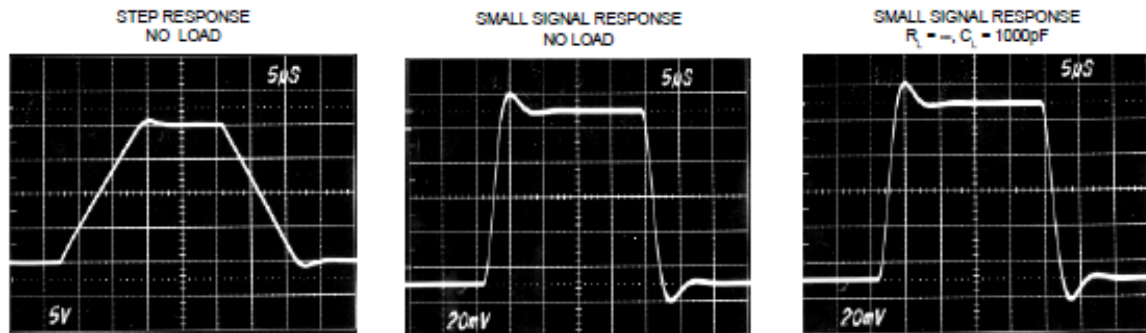
NOTE: (1) For detailed drawing and dimension table, please see end of data sheet, or Appendix C of Burr-Brown IC Data Book.

### ORDERING INFORMATION

PRODUCT	PERFORMANCE GRADE	PACKAGE
RCV420KP	0°C to +70°C	16-Pin Plastic DIP
RCV420JP	0°C to +70°C	16-Pin Plastic DIP

## TYPICAL PERFORMANCE CURVES

At  $T_A = +25^\circ\text{C}$ ,  $V_D = \pm 15\text{V}$ , unless otherwise noted.



## THEORY OF OPERATION

Refer to the figure on the first page. For 0 to 5V output with 4–20mA input, the required transimpedance of the circuit is:

$$V_{OUT}/I_{IN} = 5V/16mA = 0.3125V/mA.$$

To achieve the desired output (0V for 4mA and 5V for 20mA), the output of the amplifier must be offset by an amount:

$$V_{OS} = -(4mA)(0.3125V/mA) = -1.25V.$$

The input current signal is connected to either +In or –In, depending on the polarity of the signal, and returned to ground through the center tap,  $C_T$ . The balanced input—two matched 75Ω sense resistors,  $R_S$ —provides maximum rejection of common-mode voltage signals on  $C_T$  and true differential current-to-voltage conversion. The sense resistors convert the input current signal into a proportional voltage, which is amplified by the differential amplifier. The voltage gain of the amplifier is:

$$A_D = 5V/(16mA)(75\Omega) = 4.1667V/V.$$

The tee network in the feedback path of the amplifier provides a summing junction used to generate the required –1.25V offset voltage. The input resistor network provides high-input impedance and attenuates common-mode input voltages to levels suitable for the operational amplifier's common-mode signal capabilities.

## BASIC POWER SUPPLY AND SIGNAL CONNECTIONS

Figure 1 shows the proper connections for power supply and signal. Both supplies should be decoupled with 1μF tantalum capacitors as close to the amplifier as possible. To avoid gain and CMR errors introduced by the external circuit, connect grounds as indicated, being sure to minimize ground resistance. The input signal should be connected to either +In or –In, depending on its polarity, and returned to ground through the center tap,  $C_T$ . The output of the voltage reference, Ref Out, should be connected to Ref In for the

necessary level shifting. If the Ref In pin is not used for level shifting, then it must be grounded to maintain high CMR.

## GAIN AND OFFSET ADJUSTMENT

Figure 2 shows the circuit for adjusting the RCV420 gain. Increasing the gain of the RCV420 is accomplished by inserting a small resistor in the feedback path of the amplifier. Increasing the gain using this technique results in CMR degradation, and therefore, gain adjustments should be kept as small as possible. For example, a 1% increase in gain is typically realized with a 125Ω resistor, which degrades CMR by about 6dB.

A decrease in gain can be achieved by placing matched resistors in parallel with the sense resistors, also shown in Figure 2. The adjusted gain is given by the following expression

$$V_{OUT}/I_{IN} = 0.3125 \times R_X/(R_X + R_S).$$

A 1% decrease in gain can be achieved with a 7.5kΩ resistor. It is important to match the parallel resistance on each sense resistor to maintain high CMR. The TCR mismatch between the two external resistors will effect gain error drift and CMR drift.

There are two methods for nulling the RCV420 output offset voltage. The first method applies to applications using the internal 10V reference for level shifting. For these applica-

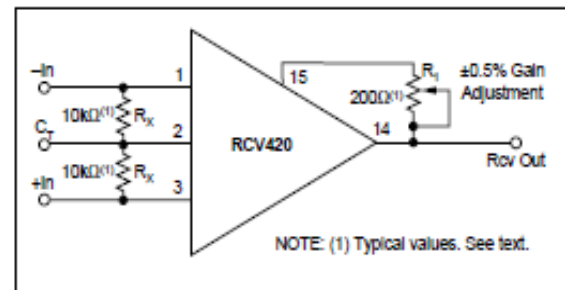


FIGURE 2. Optional Gain Adjustment.

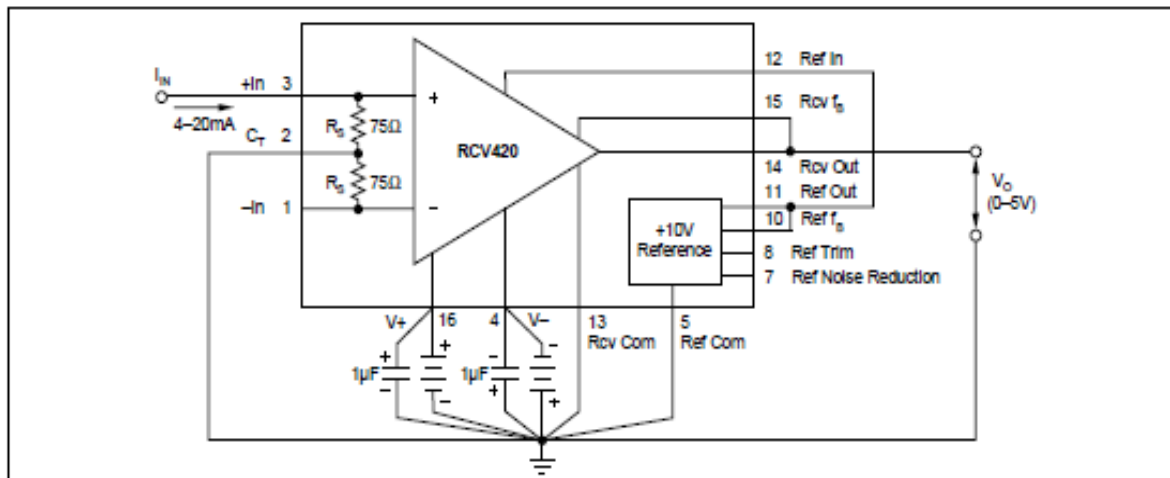


FIGURE 1. Basic Power Supply and Signal Connections.

tions, the voltage reference output trim procedure can be used to null offset errors at the output of the RCV420. The voltage reference trim circuit is discussed under "Voltage Reference."

When the voltage reference is not used for level shifting or when large offset adjustments are required, the circuit in Figure 3 can be used for offset adjustment. A low impedance on the Rcv Com pin is required to maintain high CMR.

### ZERO ADJUSTMENT

Level shifting the RCV420 output voltage can be achieved using either the Ref In pin or the Rcv Com pin. The disadvantage of using the Ref In pin is that there is an 8:1 voltage attenuation from this pin to the output of the RCV420. Thus, use the Rcv Com pin for large offsets, because the voltage on this pin is seen directly at the output. Figure 4 shows the circuit used to level-shift the output of the RCV420

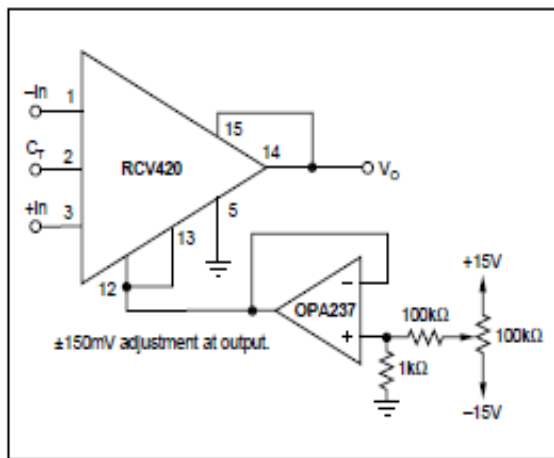


FIGURE 3. Optional Output Offset Nulling Using External Amplifier.

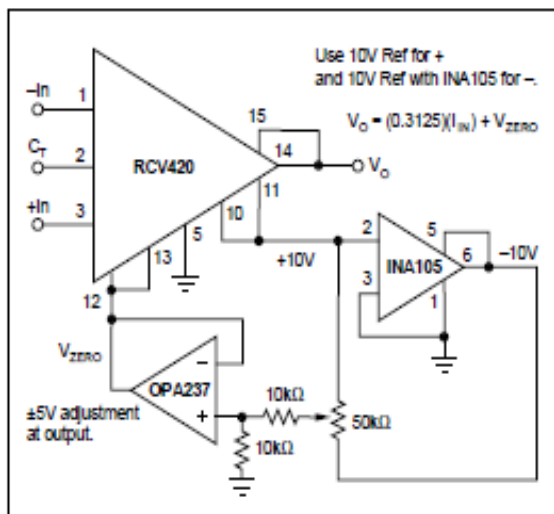


FIGURE 4. Optional Zero Adjust Circuit.

using the Rcv Com pin. It is important to use a low-output impedance amplifier to maintain high CMR. With this method of zero adjustment, the Ref In pin must be connected to the Rcv Com pin.

### MAINTAINING COMMON-MODE REJECTION

Two factors are important in maintaining high CMR: (1) resistor matching and tracking (the internal resistor network does this) and (2) source impedance. CMR depends on the accurate matching of several resistor ratios. The high accuracies needed to maintain the specified CMR and CMR temperature coefficient are difficult and expensive to reliably achieve with discrete components. Any resistance imbalance introduced by external circuitry directly affects CMR. These imbalances can occur by: mismatching sense resistors when gain is decreased, adding resistance in the feedback path when gain is increased, and adding series resistance on the Rcv Com pin.

The two sense resistors are laser-trimmed to typically match within 0.01%; therefore, when adding parallel resistance to decrease gain, take care to match the parallel resistance on each sense resistor. To maintain high CMR when increasing the gain of the RCV420, keep the series resistance added to the feedback network as small as possible. Whether the Rcv Com pin is grounded or connected to a voltage reference for level shifting, keep the series resistance on this pin as low as possible. For example, a resistance of 20Ω on this pin degrades CMR from 86dB to approximately 80dB. For applications requiring better than 86dB CMR, the circuit shown in Figure 5 can be used to adjust CMR.

### PROTECTING THE SENSE RESISTOR

The 75Ω sense resistors are designed for a maximum continuous current of 40mA, but can withstand as much as 250mA for up to 0.1s (see absolute maximum ratings). There are several ways to protect the sense resistor from

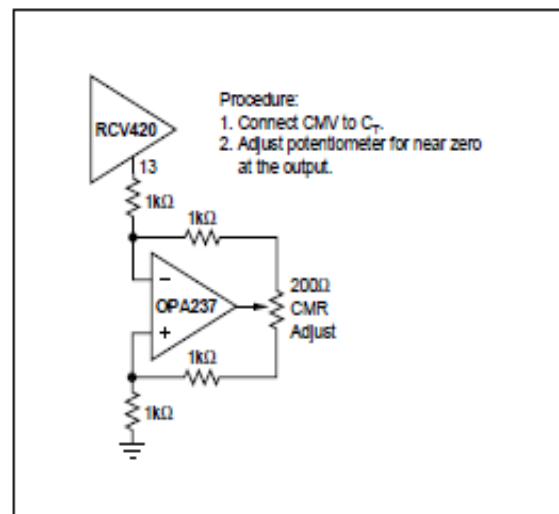


FIGURE 5. Optional Circuit for Externally Trimming CMR.