

**“INSTALACIÓN Y MONTAJE DE UN BANCO DE PRUEBAS DE
CAUDAL, PARA EL LABORATORIO DE INSTRUMENTACIÓN DE LA
FACULTAD DE MECÁNICA”**

**MARCO ROLANDO CÓRDOVA LASCANO
DIEGO JAVIER VELÁSQUEZ PÉREZ**

TESIS DE GRADO

PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:
INGENIERO MECÁNICO



Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

FACULTAD DE MECÁNICA

ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

Riobamba – Ecuador

2008

TABLA DE CONTENIDOS

<u>CAPÍTULO</u>	<u>PÁGINA</u>
1. GENERALIDADES	
1.1 Antecedentes	1
1.2 Justificación.....	2
1.3 Objetivos	3
1.3.1 Objetivo General.....	3
1.3.2 Objetivos Específicos.....	3
2. MEDIDORES DE CAUDAL	
2.1 Introducción.....	4
2.2 Medidores de Caudal.....	5
2.2.1 Medidores Volumétricos.....	6
2.2.1.1 Presión Diferencial.....	7
2.2.1.1.1 Tobera.....	9
2.2.1.1.2 Tubo Pitot.....	9
2.2.1.1.3 Tubo Annubar.....	11
2.2.1.2 Velocidad.....	12
2.2.1.2.1 Turbinas.....	12
2.2.1.2.2 Transductores Ultrasónicos.....	13
2.2.2 Medidores Caudal Masa.....	15
2.2.2.1 Medición directa de caudal masa.....	16
2.2.2.1.1 Medidores térmicos de caudal.....	16

3. CARACTERÍSTICAS DE LOS INSTRUMENTOS Y ACCESORIOS

3.1 Flow Controller 32505-05.....	19
3.2 Ultrasonic Flow Meter TFXL2-CA1-NN.....	20
3.3 Medidor de Turbina.....	21
3.3.1 Turbine Flow Meter HB111-110.....	21
3.3.2 Flow Monitor HB28SBM.....	22
3.4 Flowmeter G2A10N09GMA.....	23
3.5 Mass Flow Controller GFC17.....	24
3.5.1 Totalizer TOT1-10.....	26
3.5.2 Power Supply, 110 VAC.....	27
3.6 Water Flow Controller LC-500CCM-D.....	27
3.6.1 9 Volt Battery pack.....	29
3.6.2 AC to Dc 12 Volt Power Supply Adapter.....	29
3.7 Flow Sensor 33112-00.....	30
3.8 Flow Rate/Totalizer Display 33112-50.....	31

4. DISEÑO DEL BANCO DE PRUEBAS Y SELECCIÓN DE EQUIPOS

4.1 Construcción del Banco de Pruebas de Caudal.....	33
4.2 Diseño del Sistema de Agua.....	34
4.2.1 Selección de la Bomba.....	35
4.2.2 Dimensionamiento y Construcción del Tanque de Alimentación y Descarga.....	37
4.2.3 Selección del Filtro.....	39
4.2.4 Selección de Tuberías y Accesorios.....	39
4.3 Diseño del sistema de Aire.....	41

4.3.1 Selección del Compresor.....	41
4.3.2 Unidad Técnica de Mantenimiento.....	42
4.3.2.1 Filtro.....	43
4.3.2.2 Regulador.....	43
4.3.2.3 Lubricador.....	43
4.3.3 Selección de la Cañería y Accesorios.....	43
4.4 Diseño del Sistema Eléctrico.....	44
4.4.1 Elementos de protección.....	45
4.4.2 Elementos de Apertura y Cierre.....	45
4.4.3 Conexiones Eléctricas.....	46
4.4.4 Aparatos de Accionamiento.....	46
4.5 Dimensionamiento de la Estructura del Banco.....	46

5. COSTOS

5.1 Costos.....	48
5.1.1 Costos Directos.....	48
5.1.2 Costos Indirectos.....	49

6. INSTALACIÓN Y MONTAJE DE LOS EQUIPOS

6.1 Análisis del área a utilizar.....	51
6.2 Instalación de servicios básicos (electricidad, agua).....	51
6.3 Instalación de componentes adicionales.....	52
6.4 Distribución de cada uno de los instrumentos.....	52
6.5 Instalación de los instrumentos correspondientes.....	53
6.6 Solución de fallas o defectos encontrados en la instalación.....	54

6.7 Instalación final.....55

6.8 Descripción y Funcionamiento.....56

7. PRÁCTICAS DE LABORATORIOS

7.1 Laboratorios del Banco.....59

7.1.1 Desarrollo de los Laboratorios.....59

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1 Conclusiones.....96

8.2 Recomendaciones.....97

SUMARIO

Se ha construido e instalado un Banco de Pruebas de Caudal, para el Laboratorio de Instrumentación de la Facultad de Mecánica con el propósito de comprender la teoría con la práctica a través del Laboratorio.

Con los instrumentos de caudal adquiridos por la Facultad de Mecánica, se realizó el análisis de cada uno de los catálogos de los instrumentos para conocer el principio de operación, especificaciones, instalación, instrucciones de operaciones, mantenimiento y resolución de problemas. Conocidas sus características fue necesario generar caudal volumétrico y másico, para tener estos tipos de caudal se procedió a la instalación de sistemas de aire y agua, estos sistemas se han instalado en una estructura al igual de los equipos e instrumentos.

Como resultado de la construcción e instalación se obtuvo un Banco de Pruebas de Caudal en el que se realizó diagramas de procesos e instrumentos y laboratorios, refiriéndose a los instrumentos con el objetivo general de entender el principio de funcionamiento del instrumento y objetivos específicos como conocer ventajas y desventajas, programar y operar al instrumento con la ayuda de la Guía de Laboratorio y de Mantenimiento. Estas Guías ayudarán al profesor guía o asistente al desarrollo de estos laboratorios y a mantener en correctas condiciones de funcionamiento del banco.

Este Banco ayuda a entender los fenómenos físicos que produce al medir la variable caudal de un fluido; se recomienda al estudiante leer la Guía de Laboratorio y la de Mantenimiento para realizar los laboratorios.

SUMMARY

A Caudal Test Bank has been constructed for the Instrumentation Lab of the Mechanical Faculty to understand the theory with the practice through the laboratory.

With the caudal instruments acquired by the Mechanical Faculty the analysis of each catalogue of the instruments was carried out to know the operation principle, specifications, installation, operation instructions, maintenance and problem solution. Know its features it was necessary to generate the volumetric and massive caudal. to have this caudal types the air and water system installation was made, these systems have been installed in structure as well as the equipment and instruments.

As a result of the construction and installation a Caudal Testing Bank in which process and instrument and lab diagrams were performed, was obtained. The instruments served to understand the instrument functioning principle and specific objectives such as knowing the advantages and disadvantages, programming and operating the instrument with the help of the Lab and Maintenance Guide. These guides will help the guide teacher or assistant to develop these labs and maintain the in correct conditions of bank functioning.

This bank helps to understand the physical phenomena produced upon measuring the caudal variable of a fluid. It is recommended that the student read the Lab and Maintenance Guide to carry out labs.

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1 Antecedentes

El mundo actual exige la instrumentación dentro de los procesos industriales que necesitan el control en la fabricación de los diversos productos obtenidos, procesos que son necesarios controlar y mantener constantes varias magnitudes; y el estudiante la necesidad del conocimiento práctico de los instrumentos que a través de la Facultad Mecánica nos permite cumplir este fin, la facultad quiere ir a la par con el avance tecnológico en la enseñanza aprendizaje de sus estudiantes.

El manejo de instrumentos es fundamental en procesos industriales, puesto que el estudiante debe mejorar el conocimiento práctico de los instrumentos; el mismo que podrá hacerlo en el Laboratorio de Instrumentación.

Laboratorio de Instrumentación que tendrá un banco de observación y manipulación del Sistema de Medición de la variable Caudal (Flujo), en donde están todos los instrumentos y accesorios que constituyen un equipo de medidor de caudal, según sea el tipo de caudal volumétrico o másico.

De particular beneficio para los estudiantes será el hecho de que todos los componentes del equipo de Medición de Caudal son de uso normal en procesos industriales y esto permitirá una excelente familiarización del estudiante con los sistemas de Medición Industriales.

1.2 Justificación

Un estudiante que no tiene conocimientos de medición y no ha adquirido conciencia de los instrumentos y métodos de medida de los que se dispone, se encuentra en desventaja a un proceso o una máquina nueva. Por ello la necesidad de conocer los instrumentos de medición y control para saber su funcionamiento, rangos de aplicación, forma de instalación y además parámetros que dan una idea de la importancia de la instrumentación industrial dentro de nuestra formación académica.

La instrumentación es una área de estudio teórica práctica, en nuestra escuela se ha dictado en forma teórica, pero para comprender mejor su funcionamiento se necesita realizar prácticas con los mismos dispositivos de medición.

Son justamente estas las razones que han llevado a instalar en el Laboratorio de Instrumentación de la Facultad de Mecánica en la Escuela de Ingeniería Mecánica el Banco de Pruebas de Caudal, que sirva como ayuda tanto para el estudiante como para el docente encargado del mismo entender fácilmente la materia.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

- Construir e instalar el Banco de Pruebas de Caudal en el Laboratorio de Instrumentación de la Facultad de Mecánica.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Describir los tipos de instrumentos de Medidores de Caudal.
 - Elaborar un Manual de Prácticas de Laboratorio.
 - Elaborar un Manual de Operación y Mantenimiento.
-

CAPÍTULO II

MEDIDORES DE CAUDAL

2.1 Introducción

Los instrumentos de medición y control permiten el mantenimiento y la regulación de magnitudes (presión, caudal, nivel, temperatura, etc.) en condiciones más idóneas de lo que haría el operador.

Se generaliza las aplicaciones de la medición, y se puede clasificar a los tipos de aplicación¹ en tres categorías importantes:

- Monitoreo de los procesos y operaciones, se dan en situaciones en donde los aparatos de medición se usan para medir cantidades. (Termómetros, barómetros, radares, etc.)
- Control de los procesos y operaciones, se refiere a un sistema automático de control por retroalimentación; el principio de todos los sistemas de control por retroalimentación establece que se debe medir la variable que se desea controlar, compararla con un valor deseado y con base al error manipular al elemento final de control de tal manera que impulse la variable controlada a alcanzar el valor deseado.
- Análisis de ingeniería experimental, desarrollo e investigación de ingeniería que se apoya en pruebas de laboratorio de una clase u otra para dar respuesta a preguntas.

¹ DOEBELIN, Sistema de Medición e Instrumentación

En estos tipos de aplicación existen elementos definidos como el elemento de medida, el transmisor, el controlador, el indicador, el registrador y elemento final.

La medición de caudal en la industria es de suma importancia, en la gran parte de los procesos existe la necesidad de controlar el caudal, pero para mantener este control lo primero que se debe hacer es medirlo. Existen diferentes técnicas e instrumentos para medir el caudal, la técnica a utilizar dependerá de la necesidad y condiciones en las cuales se esté.

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

2.2 Medidores de Caudal

En el monitoreo y control de los procesos y operaciones, y además en el análisis de ingeniería experimental es muy importante la medición de los caudales de líquidos o de gases.

Existen varios sistemas para medir el caudal según sea el tipo de caudal volumétrico o másico. En la Tabla 1, se detalla sistema, elemento, y transmisor.

Medidores Volumétricos		
Sistema	Elemento	Transmisor
Presión Diferencial	Placa Orificio Tobera Tubo Venturi Tubo Pitot Tubo Annubar	Equilibrio de fuerzas Silicio fundido
Área Variable	Rotámetro	Equilibrio de movimientos Potenciométrico Puente de impedancias
Velocidad	Vertedero con flotador en canales abiertos Turbina Transductores ultrasónicos	Potenciométrico Piezoeléctrico
Fuerza	Placa de impacto	Equilibrio de fuerzas Galgas extensométricas
Tensión Inducida	Medidor Magnético	Convertidor Potenciométrico
Desplazamiento Positivo	Disco Giratorio Pistón Oscilante Pistón Alternativo Medidor Rotativo	Generador tacométrico o transductor de impulsos
Torbellino	Medidor de frecuencia de termistancia o condensador de ultrasonidos	Transductor de resistencia
Medidores de Caudal de Masa		
Térmico	Diferencia de temperatura en dos sondas de resistencia	Puente de Wheatstone
Momento	Medidor axial Medidor axial de doble turbina	Convertidor de par
Par giroscopio	Tubo giroscopio	Convertidor de par
Presión Diferencial	Puente Hidráulico	Equilibrio de fuerzas

Tabla 1 Métodos de Medición de Flujo²

2.2.1 Medidores Volumétricos

Medidores volumétricos determinan el caudal del fluido sea directamente (desplazamiento) o indirectamente (presión diferencial, área variable, velocidad, fuerza, tensión inducida y torbellino).

² VITERI, Instrumentación

2.2.1.1 Presión Diferencial

El flujo se mide por la aplicación de la conservación mecánica a través de la conversión de la velocidad del fluido a presión (Teorema de Bernoulli) y el principio de la continuidad.

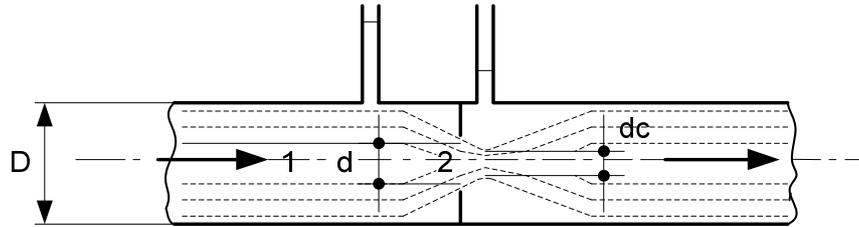


Figura 1 Principio de Bernoulli

Ecuación de Bernoulli es:

$$\frac{p_1}{\rho} + \frac{v_1^2}{2} = \frac{p_2}{\rho} + \frac{v_2^2}{2} \quad (1)$$

Ecuación de la Continuidad es:

$$Q = A_1 v_1 = A_2 v_2 \quad (2)$$

Relación de diámetros β

$$\beta = \frac{d}{D} \quad (3)$$

Operando las ecuaciones (1), (2) y (3) obtenemos:

$$v_2 = \frac{1}{\sqrt{1-\beta^4}} \sqrt{2 \frac{p_1 - p_2}{\rho}} \quad (4)$$

$$Y E = \frac{1}{\sqrt{1-\beta^4}}, \Delta p = p_1 - p_2$$

$$v_2 = E \sqrt{2 \frac{\Delta p}{\rho}} \quad (5)$$

El caudal en volumen es:

$$Q_v = A_2 v_2 = E \frac{\pi}{4} d^2 \sqrt{2 \frac{\Delta p}{\rho}} \quad (6)$$

El caudal en masa es:

$$Q_m = E \frac{\pi}{4} d^2 \sqrt{2 \Delta p \rho} \quad (7)$$

Donde:

p_1, p_2 = presiones absolutas

v_1, v_2 = velocidades

A_1, A_2 = áreas

ρ = densidad

D = diámetro interior de la tubería aguas arriba

d = diámetro del orificio

Las ecuaciones de caudal de volumen y masa son ideales, en la práctica se consideran factores de corrección que tiene en cuenta el reparto desigual de velocidades, la contracción de la vena del fluido, las rugosidades de la tubería, el estado del líquido, del gas, del vapor, etc.³.

En el sistema de presión diferencial tenemos varios elementos primarios los cuales son: placa orificio, tobera, tubo Venturi, tubo Pitot y tubo Annubar.

³ CREUS, Instrumentación Industrial

2.2.1.1.1 Tobera

La tobera está situada en la tubería con dos tomas, anterior y posterior en el centro de la sección más pequeña. La tobera permite caudales superiores a 60 % de la de placa orificio en las mismas condiciones de servicio, su pérdida de carga es de 30 a 80 % de la presión diferencial.

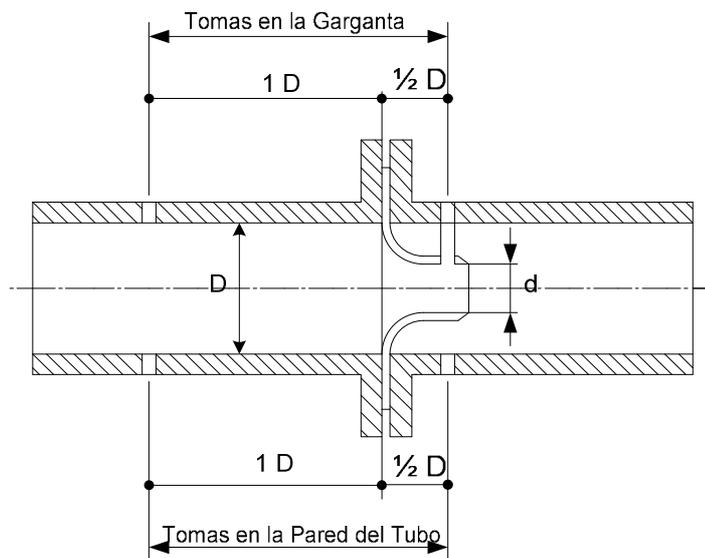


Figura 2 Tobera de Flujo ASME

Puede emplearse para fluidos que arrastren sólidos en pequeña cantidad.

El costo de tobera es de 8 a 16 veces de un placa y su precisión es en el orden de ± 0.95 a ± 1.5 %⁴.

2.2.1.1.2 Tubo Pitot

El tubo Pitot mide la diferencia entre la presión total y la presión estática que es proporcional al cuadrado de la velocidad.

⁴ MARKS, Manual del Ingeniero Mecánico

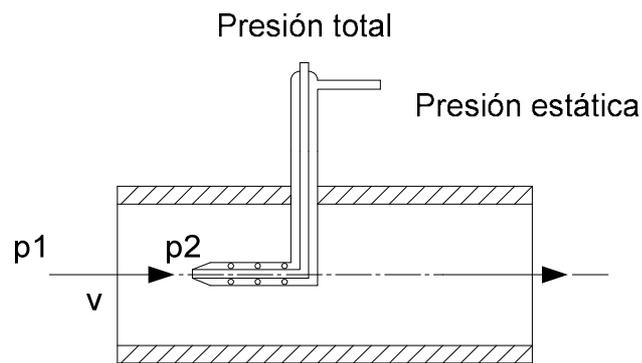


Figura 3 Tubo Pitot

La Ecuación es:

$$\frac{p_2}{\rho} = \frac{p_1}{\rho} + \frac{v^2}{2} \quad (8)$$

p_2 = presión total absoluta donde el líquido anula su velocidad

p_1 = presión estática absoluta

Se deduce de la ecuación (8) e introduciendo con un coeficiente de velocidad C por distribución de velocidades, rugosidad de tubería, etc., lo cual es:

$$v = C \sqrt{2 \frac{p_1 - p_2}{\rho}} = C \sqrt{2 \frac{\Delta p}{\rho}} \quad (9)$$

El tubo Pitot es sensible a las variaciones en la distribución de velocidades por lo que es necesario tener un flujo laminar.

La precisión es bajo es de 1.5 – 4 %, se emplea para medición de grandes caudales de fluidos limpios con una baja pérdida de carga⁵.

⁵ CREUS, Instrumentación Industrial

2.2.1.1.3 Tubo Annubar

El tubo Annubar es una innovación del tubo Pitot; consta de dos tubos, uno de presión total y presión estática.

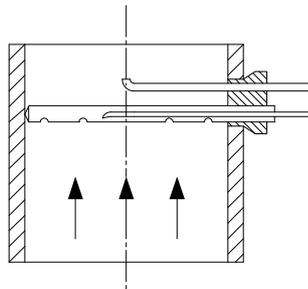


Figura 4 Tubo Annubar

El tubo que mide la presión total está a lo largo de la sección transversal de la tubería, que consta de orificios ubicados en posición crítica determinado por computadora, que cubre cada uno la presión total en un anillo de área transversal de la tubería. Estos anillos tienen áreas iguales, en tuberías de tamaño mayor a 1 plg se dispone en el interior del tubo otro que promedia las presiones obtenidas en los orificios⁶.

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

El tubo Annubar es más preciso que el tubo Pitot, de 1 – 3 %, tiene baja pérdida de carga y se emplea para pequeños y grandes caudales de fluidos y gases⁶.

⁶ CREUS, Instrumentación Industrial

2.2.1.2 Velocidad

2.2.1.2.1 Turbinas

Los medidores de turbina es un rotor que se coloca en la trayectoria del flujo y gira en función de la fuerza que se le imparte por medio del propio fluido que pasa a través de él con una velocidad que es directamente proporcional al caudal. La velocidad del fluido produce una fuerza de arrastre en el rotor que es equilibrada con la fuerza producida por la diferencia de presiones debido al cambio de área entre el rotor y el cono posterior, el rotor esta equilibrado hidrodinámicamente y gira contra el cono anterior y posterior sin necesidad de rodamientos axiales. Figura 5

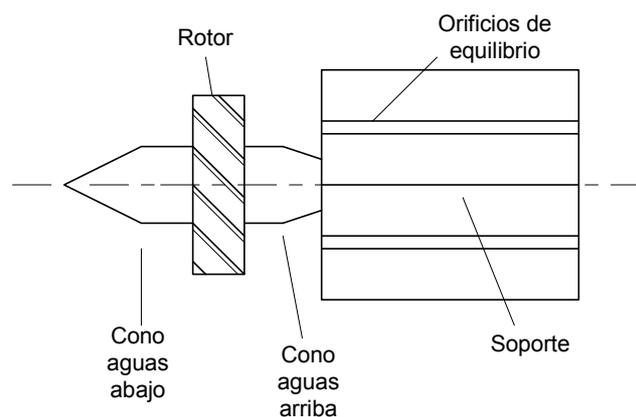


Figura 5 Turbina

Existe dos tipos de convertidores para captar la velocidad de la turbina y son reluctancia e inductivo.

La diferencia entre estos dos es que reluctancia el imán permanente va montado en la bobina captadora exterior y el otro, el imán permanente esta incorporado en el rotor.

Para ambos casos la frecuencia es proporcional al caudal siendo en el orden de 250 a 1200 ciclos por segundo para caudal máximo. Ej. Rotor 6 polos gira 100 rev. /s, genera 600 impulsos /segundo.

La turbina esta limitada por la viscosidad, debido al aumento de la viscosidad produce un cambio en la velocidad del perfil del líquido a través de la tubería. En las paredes el fluido se mueve mas lento que en el medio lo que hace difícil girar las puntas del rotor, se reduce el intervalo de medida para viscosidades superiores a 3 – 5 centistokes.

La precisión es $\pm 0.3\%$, la máxima precisión se produce con fluido laminar por lo que la ubicación de él es 15 diámetros aguas arriba y 6 diámetros aguas abajo, el campo de medida llega hasta 15 a 1 máximo y mínimo, los líquidos deben ser limpios o filtrados⁷.

2.1.1.2.2 Transductores ultrasónicos

Los transductores ultrasónicos miden el caudal por diferencia de velocidades que se propaga en el sentido del flujo y contrario, se conoce el área y el perfil de velocidades.

- Un modelo sencillo Figura 6, la velocidad del fluido esta determinada por la siguiente formula:

$$v = \frac{C^2 \operatorname{tg} \alpha \Delta t}{2D} \quad (24)$$

v = Velocidad del fluido

C = Velocidad del sonido en el fluido

⁷ CREUS, Instrumentación Industrial

α = Angulo de haz del sonido con relación al eje longitudinal de la tubería

D = Diámetro interior

Δt = Diferencia entre los tiempos de transito del sonido aguas arriba y aguas abajo del fluido.

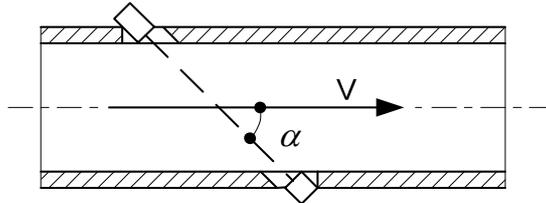


Figura 6 Haz único

- Desviación de un haz de sonido emitido por un transmisor perpendicularmente a la tubería figura 7

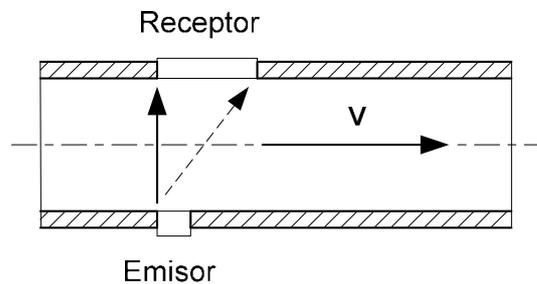


Figura 7 Desviación del haz

- Método Doppler “se proyectan ondas sónicas a lo largo del flujo y se mide el corrimiento de frecuencia que experimenta la señal de retorno al reflejarse el sonido en partículas contenido 1 en el fluido.”⁸ Figura 8

⁸ CREUS, Instrumentación Industrial

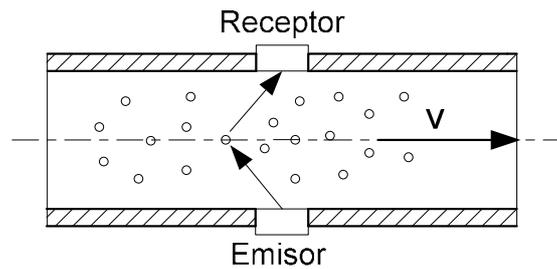


Figura 8 Método Doppler

Se utilizan transductores piezoeléctricos tanto para la emisión como para la recepción.

La precisión de $\pm 2\%$ y un intervalo de caudales de 20 a 1 con una escala lineal, son adecuados para líquidos con sólidos en suspensión con la salvedad que las partículas no deben ser de tamaño con la longitud de la onda acústica⁹.

2.2.2 Medidores Caudal Masa

Los medidores de caudal masa tiene dos aplicaciones generales, la una en procesos que implican reacciones químicas y la otra es en procesos donde se manipulan materiales que se adquieren por peso y no por volumen.

La determinación del caudal masa puede efectuarse a partir de una medida volumétrica compensándola para las variaciones de densidad, presión o temperatura del fluido o bien directamente aprovechando las características medibles de la masa del fluido.

⁹ CREUS, Instrumentación Industrial

2.2.2.1 Medición directa de caudal masa

Los medidores caudal masa aprovechan las características medibles de la masa. Existen tres sistemas básicos, los instrumentos térmicos, los de momento angular y los de Coriolis; y en menor escala se utilizan los de presión diferencial.

2.2.2.2.1 Medidores térmicos de caudal

Los medidores térmicos se basan en dos principios físicos¹⁰:

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

El primer utilizado industrialmente, conocido también como medidores de caudal Thomas.

El medidor consta de una fuente eléctrica de alimentación de precisión que proporciona un calor constante al punto medio del tubo por el cual circula caudal. En puntos equidistantes de la fuente de calor se encuentran sondas de resistencia para medir la temperatura.

¹⁰ CREUS, Instrumentación Industrial

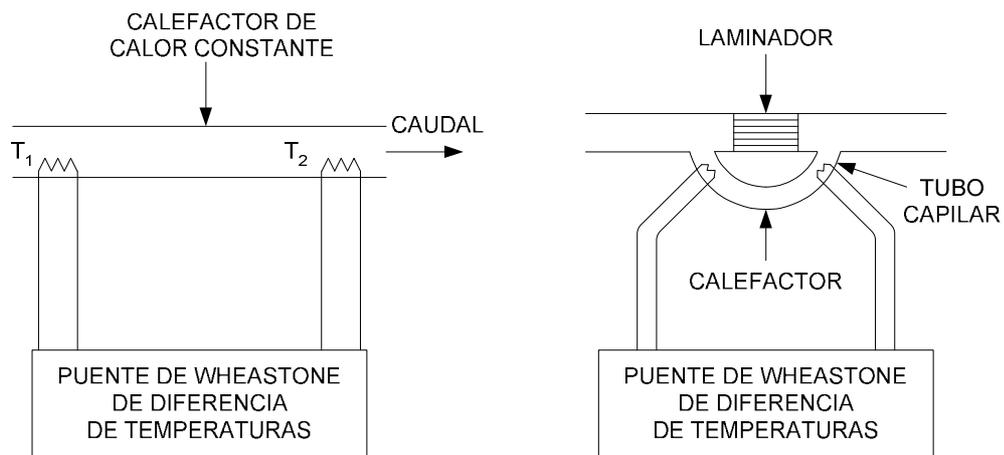


Figura 9 Medidor térmico

Cuando el fluido está en reposo, la temperatura es igual en las dos sondas, cuando el fluido circula transporta una cantidad de calor hacia el segundo elemento T_2 , y se presenta una diferencia de temperatura que va aumentando progresivamente a medida que aumenta el caudal, esta diferencia es proporcional a la masa que circula a través del tubo, de acuerdo con la ecuación:

$$Q = mC_e(t_2 - t_1) \quad (34)$$

En la que:

Q = caudal transferido

m = masa del fluido

C_e = calor específico

t_1 = temperatura anterior

t_2 = temperatura posterior

Este sistema está conectado a un puente de Wheatstone que determina la diferencia de temperaturas y la amplifica con un señal de la salida de 0-5 V CC en

1000 Ω de impedancia, estás señal puede ser utilizada en un registrador, indicadores digitales y controladores que pueden estar situados hasta 300 m del instrumento.

La precisión del elemento primario es de ± 1 % de toda la escala, la repetibilidad de ± 0.2 % de la escala y al constante de tiempo de 0.5 a 3 s¹¹.

La medida es apta para bajos caudales de gas que van según los modelos de 0 - 10 ccm.

Para aumentar el caudal medible se deriva con un capilar el fluido y se intercala un laminado que garantiza el mismo flujo laminar que en el capilar. De este modo los caudales medibles llegan a 15 lpm en gases y a 20 Kg/h en líquidos.

El instrumento es adecuado para gases tales como el aire, nitrógeno, hidrógeno, oxígeno, helio, amoníaco, argón, monóxido de carbono, anhídrido carbónico, ácido clorhídrico, etano. Etileno, metano, fosfórico y otros. También pueden emplearse en líquidos pero con caudales muy bajos.

¹¹ CREUS, instrumentación Industrial

CAPÍTULO III

CARACTERÍSTICAS DE LOS INSTRUMENTOS Y ACCESORIOS

3.1 Flow Controller 32505-05

Regulador de flujo manual independiente de la presión de las necesidades de control de flujo.

Es un dispositivo de control de flujo y no proporciona una medida. Lo diseñan para aplicaciones donde se pueda poner un valor conocido, como determinado por un medidor de flujo externo u otro dispositivo de reacción, y mantiene el flujo sin hacer caso de las presiones de entrada o salida sujetas a un proceso particular.



Figura 10 Flow Controller 32505-05

En la Tabla 2 indica las características.

Descripción	Especificación
Tipo de Fluido	Aire
Rango de Flujo	0 - 50 L/Min
Rango de Presión	50 - 500 psig
Conexión	1/4 plg Hembra NPT

Tabla 2 Características del Flow Controller 32505-05¹

¹ www.coleparmer.com

3.2 Ultrasonic Flow Meter TFXL 2-CA1-NN

Medidor de flujo ultrasónico permite medir el caudal y el volumen; mide la velocidad de flujo enviando pulsos de energía de ultrasonido atrás y adelante entre dos dispositivos piezoeléctricos, la velocidad del líquido es proporcional a la diferencia de tiempos entre mediciones de tiempo de aguas arriba y aguas abajo.



Figura 11 Ultrasonic Flow Meter TFXL2-CA1-NN

En la Tabla 3 indica las características.

Descripción	Especificación
Tubo 1 plg Cédula 40	2,0 a 100 GPM (80 a 3400 BPD)
Exactitud	1% de rango sobre de 1 FPS (0,3MPS)
Entorno	Uso interior
Temperatura Ambiente	Propósito General: 0° a 185° F (-20° a 85° C) Área Peligrosa: 0° a 105° F (-20° a 40° C)
Altitud	Sobre 2000 m
Humedad	20° a 30° C, máximo del 80%
Salida	4 - 20 mA
Salida de Pulso	Simulación de Turbina _ 100 mV mínimo pico a pico, K - factor similar al medidor de flujo de turbina de tamaño similar. TTL onda cuadrada _ 5V onda cuadrada referenciada a tierra DC, K - factor similar a los medidores de flujo turbina industrial de tamaño similar
Montaje	10 y 5 diámetros de tubería recta aguas arriba y bajo

Tabla 3 Características del Ultrasonic Flow Meter TFXL2-CA1-NN²

² www.dynasonics.com

3.3 Medidor de Turbina

3.3.1 Turbine Flow Meter HB111-110

Se diseña el medidor de flujo turbina que resista las demandas más rigurosas de las más remotas aplicaciones de medición de flujo. El medidor de flujo mantiene la medición exacta y la integridad mecánica en los fluidos corrosivos y abrasivos encontrados comúnmente en el campo. Sencillo de instalar y dar servicio, puede operar en cualquier orientación (horizontal o vertical) mientras la dirección de flujo “la flecha” se alinee en la misma dirección como el flujo de la línea real. La Tabla 4 indica las características.



Figura 12 Turbine Flow Meter HB111-110

Descripción	Especificación
Presión Máxima	5000 psi
Rango de Flujo	5 - 50 GPM
K - factor	870 Pulsos/Gal
Exactitud	1,0% de lectura
Repetición	0,10%
Calibración	Agua
Conexión	1 plg Macho NPT
Tamaño del Filtro	260 micras
Montaje	10 y 5 diámetros de tubería recta aguas arriba y abajo

Tabla 4 Características del Turbine Flow Meter HB111-110³

³ www.hedland.com

3.3.2 Flow Monitor HB28SBM

El Monitor de Flujo HB28SBM es de avanzada tecnología, el monitor de flujo es basado en un microprocesador, diseñado para proveer al usuario con una excepcional flexibilidad a un precio muy favorable. Aunque diseñados para usar con Medidores de Flujo Hedland, este visor (display) puede ser usado con la mayoría de medidores de flujo que producen una baja amplitud de salida AC o señal (es) de cierre de contactos. Este Monitor de Flujo es capaz de aceptar una entrada de nivel bajo de frecuencia para calcular el flujo y el total. Estos cálculos pueden entonces ser mostrados en las unidades de medida deseadas.

Todos los Monitores de Flujo HB28SBM van precalibrados de la fábrica. Sin embargo, este puede fácilmente ser reconfigurado en el campo.



Figura 13 Flow Monitor HB28SBM

En la Tabla 5 indica las características.

Descripción	Especificación
Fuente de Alimentación	Batería Alcalina 1,5 V, Tamaño "D"
Visor	8 dígitos, 0,75 plg altura 8 caracteres, 0,38 plg altura
Exactitud	± 0,1%
Deriva Térmica	50ppm/°C (Max.)
Temperatura de Operación	22 °F a 158 °F (30 °C a 70 °C)
Humedad	0-90% No condensado
Entradas	Entrada Magnética Pick-up Rango de Frecuencia 0 a 3500 Hz Sensibilidad al Circuito de Mando 30 mV p-p Protección Sobre Voltaje ± 30VDC
Salidas	Max. Voltaje 30 VDC Duración de impulso 20mS/Max rango 20Hz Corriente (estado ON) 0,9V caída de tensión @ 5,0mA o 0,7V caída de tensión @0,1mA Opcional salida 4-20 mA

Tabla 5 Características del Flow Monitor HB28SBM⁴

3.4 Flowmeter G2A10N09GMA

El ordenador y la turbina GPI funciona únicamente con fluidos compatibles con el material de construcción de la caja del contador.

Este contador funciona automáticamente cuando el líquido empieza a correr y se detiene automáticamente unos minutos después de que el flujo haya cesado.

Todas las turbinas GPI están provistas para medir el paso del flujo en una sola dirección.

⁴ www.hedland.com



Figura 14 Flowmeter G2A10N09GMA

En la Tabla 6 indica las características.

Descripción	Especificación
Diseño	Turbina
Carcasa	Aluminio
Conexión	1 plg Hembra NPT
Rango de Flujo	5 - 50 GPM (18,9 - 190 LPM)
Exactitud	1,5% de la lectura
Repetibilidad	0,10%
Presión	300 psig (21 bar)
Temperatura	14° s 140° F (10° a 60° C)
K – factor	570
Rango de Frecuencia	45 - 475 Hz @ 5 - 50 GPM
Máximo Caída de Presión en Rango 10:1	10 psig (0,68 bar)
Tamaño del Filtro	125 micras
Montaje	10 diámetros de tubería recta aguas arriba 5 diámetros de tubería recta aguas abajo

Tabla 6 Características del Flowmeter G2A10N09GMA⁵

3.5 Mass Flow Controller GFC17

El controlador de flujo de masa GFC no opera con líquidos, se permite solo con gases limpios y si son gases contaminados estos serán filtrados para prevenir la introducción de obstáculos en el sensor.

⁵ www.gpi.net

El controlador de flujo de masa también incorpora una válvula de solenoide de proporcional.



Figura 15 Mass Flow Controller GFC17

En la Tabla 7 indica las características.

Descripción	Especificación
Tipo de Fluido	Aire
Rango de Flujo	0 - 5 L/min.
Exactitud	1,5% de valor (máximo de la escala)
Repetibilidad	0,5% de valor (máximo de la escala)
Coefficiente de Temperatura	0,15% del valor (máximo de la escala)/ °0
Coefficiente de Presión	0,01% del valor (máximo de la escala)/psia
Tiempo de Respuesta	Tiempo constante de 300 ms
Presión del Gas	500 psig máximo; la p. óptima es 20 psig
Presión Máxima Diferencial	50 psid
Temperatura del Gas y Ambiente	32° F a 122° F (0° C a 50° C)
Humedad del Gas Relativa	Hasta 70%
Integridad de Fuga	1x10-7 sccs
Sensibilidad de Orientación	Ninguna rotación mayor de 15 grados
Señales de Salida	Lineal 0 a 5 VDC
Señal de Mando	Análogo 0 a 5 VDC
Fuente de Alimentación	12 VDC, 800 mA máximo
Conexión	1/4 plg NPT

Tabla 7 Características del Mass Flow Controller GFC17⁶

⁶ www.aalborg.com

3.5.1 Totalizer TOT 1-10

El Totalizador diseñado para ser utilizado con modelos existentes de medidores de flujo de masa GFM y consoladores de flujo de masa GFC (calibrados para rango de flujo especificado en la etiqueta posterior).

Lo pueden conectar el modular en el lugar del visor de LCD o opcionalmente con el conector adicional (CBL TOT10) en paralelo con el visor LCD. Mecánicamente puede instalar TOT1-10 en el principio del visor de LCD con dos apoyos y tornillos (suministrados solamente para modelos TOT1-10).



Figura 16 Totalizer TOT 1-10

Descripción	Especificación
Rango de Flujo	0 - 5 L/min.
Rango de Entrada Analógica	5 a 10 VDC o 0 a 5 VDC seleccionando el puente
Requerimientos Fuente de Alimentación	12 VDC, 100 mV Pk-Pk
Consumo de Poder	10 mA a 12VDC, menor de 0,125 vatios
Exactitud	0,5% de la máxima escala
Estabilidad de Temperatura	200 ppm/°C en el rango de 5° a 50° C
Visor	7 dígitos, altura de 8 mm
Lectura de Registro de Protección	20 años de la batería de litio, no necesita poder externo
Dispositivo de Reposición	Frente al panel
Altitud	Hasta 10000 pies
Método de Conexión	Enchufe modular de teléfono

Tabla 8 Características del Totalizer TOT1-10⁷

⁷ www.aalborg.com

3.5.2 Power supply, 110 VAC



Figura 17 Power supply, 110 VAC

Descripción	Especificación
Entrada	100 - 120 V 0,4 A 60 HZ
Salida	12 V 0,84 A

Tabla 9 Características del Power Supply, 110 VAC

3.6 Water Flow Controller LC-500CCM-D

Controlador de Flujo de Agua determina la razón de flujo creando caída de presión a través de una restricción interna, sabe que es flujo laminar y midiendo la presión diferencial a través de este.

Se diseña la restricción de modo que las moléculas de agua son forzadas a moverse en trayectoria paralela a lo largo de la longitud completa del paso; por lo tanto el flujo laminar es establecido para el rango completo de operación del dispositivo; en medidores de flujo laminar la relación entre caída de presión y flujo es lineal.



Figura 18 Water Flow Controller LC-500CCM-D

En la Tabla 10 indica las características.

Descripción	Especificación
Rango	500 CCM escala llena
Exactitud	± 2% escala llena
Repetibilidad	± 2% escala llena
Rango Operativo	1% a 100% escala llena (medida o control)
Tiempo de Respuesta	100 ms (ajustable)
Temperatura Operativa	10° a 50° C
Desplazamiento del Cero	0,02% escala llena/°C/Atm
Intervalo del Desplazamiento	0,02% escala llena/°C/Atm
Rango de Flujo	102,4% Controlable escala llena
Presión	100 PSIG
Suministro de Corriente	0,250 A
Suministro de Voltaje	12-18 VDC
Señal Digital Entrada/Salida	Presión, Temperatura o Flujo (RS-232 Serial)
Señal Analógica Entrada/Salida	Flujo Volumétrico (0 - 5 VDC)
Señal Analógica Secundaria Opcional	Presión, Temperatura o Flujo (0-5VDC; 0-10VDC;4-20mA)
Conexiones Eléctricas	8 Pin (Mini-DIN)
Sensibilidad a la Altitud de Montaje	0% (tarar tras la instalación)

Tabla 10 Características del Water Flow Controller LC-500CCM-D⁸

⁸ www.coleparmer.com

3.6.1 9 Volt Battery Pack

El bloque de pilas secas utiliza una batería común de 9 voltios puede ser montada en la parte superior del Medidor de flujo. La alimentación pasa de la batería al medidor a través del conector 8 Pin Mini-DIN.



Figura 19 Volt Battery Pack

3.6.2 AC to DC 12 Volt Power Supply Adapter



Figura 20 AC to DC 12 Volt Power Supply Adapter

Descripción	Especificación
Entrada	120 VAC 60 HZ
Salida	12 VDC 300 mA

Tabla 11 Características AC to Dc Volt Power Supply Adapter

3.7 Flow Sensor 33112-00

Es un sensor de inserción tipo turbina para el uso de tuberías de 1 a 3 plg. La salida es de pulso de onda cuadrada, se puede enviar a largas distancias (hasta 2000 pies), está señal se puede conectar a controles Cole-Parmer, PLC, contadores y tarjetas de ordenador.



Figura 21 Flow Sensor 33112-00

Especificaciones	
Materiales	
Cuerpo del Sensor	Polypro
Rotor	Polypro
Flecha	Nickel-bound tungsten carbide
Cojinetes	Ruby
Rango	0,2-30 FPS (0,06-9,14 M/s)
Exactitud	± 1% FS
Tamaño de Tubería	1-3 plg
Presión de Máxima	175 @ 75°F (207 Kpa @ 24 °C)
Temperatura de Máxima	
Estándar	140 °F (60 °C @ 0 psi)
Alta Temperatura	250 °F (121 °C)
Potencia	6-24 VDC, 8 mA
Señal	corriente de pulso declinada (NPN) 20 mA máximo
Factor K nominal	11 Hz/FPS (3,6 HzM/s)
Cable	# 22 AWG3 con 18 pie (6 m)
Máximo Tramo de Cable	2000 pie (650 m)

Tabla 12 Características del Flow Sensor 33112-00⁹

3.8 Flow Rate/Totalizer Display 33112-50

Es un microcontrolador impulsado por una batería de litio, muestra el flujo y el total y proporciona una salida de pulso programable para usar en medida de bomba a pasos o inscripción de datos.

El alojamiento es de fundición sólida de aluminio es empaquetada para protección ambiental máxima, y las electrónicas son encapsuladas en un bloque sólido de uretano.

⁹ www.coleparmer.com



Figura 22 Flow Rate/Totalizer Display 33112-50

Especificaciones	
Visor	
Tarifa	6 dígitos, 1/2 plg altura del carácter
Total	6 dígitos, 5/16 plg altura del carácter
Salida de pulso	0,1 segundo pulso abre el colector
Entrada	Onda de seno
Rango de entrada	
Mínimo	20 mV pico a pico
Máximo	6 V pico a pico
Factor de rango K	0,050 - 2000
Rango de salida de pulso	0,1 - 200000 unidades/pulso
Tipo de batería	Litio "C", 3 V, reemplazable
Vida normal de la batería	3 - 5 años
Temperatura	0 - 70 °C

Tabla 13 Características del Flow Rate/Totalizer Display 33112-50¹⁰

¹⁰ www.coleparmer.com

CAPÍTULO IV

DISEÑO DEL BANCO DE PRUEBAS Y SELECCIÓN DE EQUIPOS

4.1 Construcción del Banco de Pruebas de Caudal

El Banco de Pruebas está construido para tres sistemas, sistemas requeridos por las características de los instrumentos y accesorios adquiridos; estos sistemas son de aire, agua y eléctrico.

El sistema de agua contiene los siguientes elementos:

- Tanque de alimentación y descarga
- Válvula de pie
- Bomba
- Válvula check
- Filtro
- Tubería y Accesorios
- Instrumentos:
 - Flow Sensor 33112-0
 - Flow Rate/Totalizar 33112-50
 - Turbine Flow Meter HB111-110
 - Flowmeter G2A10N09GMA
 - Ultrasonic Flow Meter TFXL2-CA1-NN
 - Water Flow Controller LC-500CCM-D
- Válvulas de purga de aire

El sistema de aire contiene los siguientes elementos:

- Compresor
- Unidad Técnica de Mantenimiento
- Tubería y Accesorios
- Instrumentos:
 - Flow Controller
 - Mass Flow Controller GFC17
 - Totalizar TOT1-10

El sistema eléctrico contiene los siguientes elementos:

- Adaptadores AC/DC
- Botoneras de Encendido y Apagado
- Botonera de Emergencia
- Interruptores
- Fusibles

4.2 Diseño del Sistema de Agua

El diseño del sistema de agua tiene un efecto importante en la operación exitosa de un bomba centrífuga. Cada elemento; como el tanque (alimentación y descarga), la tubería de succión, la tubería de descarga y soportes deben considerarse con cuidado.

El diámetro de la tubería de succión nunca debería ser menor que la conexión de la succión de la bomba y en la mayoría de los casos debería ser al menos un tamaño mayor. Las tuberías de succión deberían ser tan cortas y como sea posible.

La descarga libre del líquido sobre la superficie del tanque del suministro o cerca de la succión de la bomba puede causar que se transporte aire a la entrada a la bomba. Todas las líneas deberían ser sumergidas en el tanque, y se deberían utilizar deflectores (tabiques).

La inmersión incorrecta de la línea de succión de la bomba puede causar un vórtice (torbellino) que es un embudo arremolinado de aire de la superficie que puede entrar directamente en la tubería de succión de la bomba. Además la inmersión, la localización de la tubería en el tanque y las dimensiones reales del tanque son también importantes que impiden excesos de torbellino.

Los tabiques pueden ser usados para ayudar a prevenir el torbellino en casos donde es imposible mantener a la inmersión requerida. La experiencia es la mejor guía para determinar la inmersión (distancia desde el nivel del agua al final de la tubería de descarga).

4.2.1 Selección de la Bomba

Para la selección de la bomba adecuada para el sistema es de acuerdo a la presión y caudal de los instrumentos, a demás las pérdidas primarias y secundarias que se producen en tubería y accesorios.

Para la presión y caudal de los instrumentos se toma los valores donde cada instrumento funcione en sus mejores condiciones dentro del sistema.

En la Tabla 14 indica la presión y caudal de los instrumentos en los rangos permitidos en cada uno de estos.

Instrumentos	Presión		Caudal			
	PSI	Kg/cm2	GPM		LPM	
Ultrasonic Flow Meter TFXL2-CA1-NN	700	49,31	2,00	100,00	7,57	378,50
Turbine Flow Meter HB111-110	5000	351,47	5,00	50,00	18,93	189,25
Flowmeter G2A10N09GMA	300	21,08	5,00	50,00	18,93	189,25
Water Flow Controller LC-500CCM-D	100	7,03	0,00	0,13	0,00	0,50
Flow Sensor 33112-0	175	12,30	0,46	71,21	1,76	269

Tabla 14 Presión y Caudal de los Instrumentos

Como todos estos instrumentos son conectados en derivación, ver la mínima presión de todos los instrumentos para tener una presión general en el sistema donde funcionen todos los instrumentos en condiciones normales, en la Tabla 14 se observa los diferentes valores de presión; el valor es 100 psi, consecuentemente la presión debe ser menor a 100 psi.

En la Tabla 14 se observa los valores mínimos y máximos de caudal de cada uno de los instrumentos, observando un caudal en la cual todos los instrumentos funciones a condiciones normales, el caudal es de 50GPM consecuentemente el rango de caudal es de 0 a 50 GPM.

Water Flow Controller LC-500CCM-D está conectado en derivación con la línea principal, el control de flujo por esta derivación es mediante una llave de paso. Este instrumento no es tomado en cuenta para ver el caudal máximo o mínimo.

Observando el Anexo A donde hay las curvas de funcionamiento de cada uno de las bombas Pedrollo; la curva del modelo PKm60 Monofásica es la ideal para este sistema, en la Tabla 15 da las características de esta bomba.

PUMP PKm60			
Q	5 - 40 lpm	H	38 - 5 m
Hmax.	40 m	Hmin	5 m
V	110	Hz 60	3450 min-1
Kw 0,37	HP 0,5	5,5 A	550 Wmax
C	25 μ F	VL	250 V

Tabla 15 Características de la Bomba seleccionada

4.2.2 Dimensionamiento y Construcción del Tanque de Alimentación y Descarga

Hay varias consideraciones en el dimensionamiento del tanque de alimentación y descarga. Es imperioso que se limite la cantidad de turbulencia y aire transportado. El aire transportado puede causar reducción de capacidad y eficiencia; como también vibración, ruido, rotura de eje de la bomba, pérdidas primarias y/o corrosión acelerada.

La descarga libre del líquido sobre la superficie del tanque de suministro o cerca de la succión de la bomba puede causar que se transporte aire a la entrada de la bomba. Todas las líneas deberían ser sumergidas en el tanque y se debería utilizar deflectores (tabiques). La experiencia es la mejor guía para determinar la inmersión.

Para determinar el volumen del tanque tomamos el caudal máximo de la bomba y el tiempo de un minuto multiplicado por un factor (factor que sirve para dar la inmersión adecuada de la tubería).

$$Q_{\max.} = 40 \text{ lpm}$$

$$V = KQ_{\max.} t$$

$$V = 1.875 * 40 \text{ lpm} * 1 \text{ min}$$

$$V = 75 \text{ l} = 0.075 \text{ m}^3$$

Las medidas del tanque son:

$$b = 0.5 \text{ m}$$

$$h = 0.3 \text{ m}$$

$$e = 0.5 \text{ m}$$

La altura del tanque hay que aumentar debido a que el agua va estar en movimiento continuo para evitar que se derrame quedando la altura total de 0.38m, el tabique se encontrará ubicado en mitad a un altura de $2/3 h$; en el Plano 3 se detalla las medidas del tanque de alimentación y descarga.

El tanque de alimentación y descarga está construido de fibra de vidrio tienen una resistencia a la tracción de 400 - 500 N/mm² y una densidad de 1.6 g/cm³ es un material duro y muy resistente a los golpes.

La presión existente en el tanque es igual a la presión del fluido más la presión atmosférica.

La presión atmosférica de la ciudad de Riobamba que está ubicada a 2754 m (9000 ft) de altitud, interpolando en la tabla de presión atmosférica del Anexo B la presión es de 10.48 psia.

Para el cálculo de la presión del fluido en el fondo del tanque aplicamos el Principio de Pascal.

$$p_{\text{fluido}} = h * \gamma$$

$$p_{\text{fluido}} = 0.3\text{m} * 1000 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} = 300 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2} = 0.426 \text{ psi}$$

$$p_{\text{tan que}} = p_{\text{atm.}} + p_{\text{fluido}}$$

$$p_{\text{tan que}} = 10.48 \text{ psi} + 0.426 \text{ psi}$$

$$p_{\text{tan que}} = 10.906 \text{ psi}$$

Esta presión es muy pequeña la que va resistir el tanque de alimentación y descarga por lo que es innecesario realizar el análisis de tensiones.

4.2.3 Selección del Filtro

La Tabla 16 indica los instrumentos que necesitan filtro, para poder funcionar en óptimas condiciones y que no provoquen obturaciones por las partículas que existen en el agua.

La tabla indica los diferentes tamaños de cartucho para el filtro que necesita cada instrumento, que para determinar el tamaño de cartucho que sirve para el sistema es el de menor tamaño (50 μ). El filtro seleccionado en el mercado es de la marca Filtroplas con un cartucho filtrante de 50 μ .

Instrumentos	Tamaño de Cartucho (micras)
Ultrasonic Flow Meter TFXL2-CA1-NN	-
Turbine Flow Meter HB111-110	260
Flowmeter G2A10N09GMA	125
Water Flow Controller LC-500CCM-D	50
Flow Sensor 33112-00	-

Tabla 16 Tamaños de Cartucho para el Filtro

4.2.4 Selección de Tubería y Accesorios

La selección del diámetro de tubería para el sistema de agua en general es de 1 plg esto es referente a sus conexiones; la selección de la tubería y accesorios HIDRINOX se hizo debido a las siguientes características:

- Material de la tubería es acero inoxidable AISI 304
- Acero inoxidable resistente a la corrosión

- Tiene valores elevados en sus propiedades físico-mecánicas superando a otros materiales como el PVC, cobre y aluminio entre otros.

Se selección de otra tubería por requerimiento específico de Ultrasonic Flow Meter TFXL-CA1-NN es de la tubería CÉDULA 40; debido a que las abrazaderas tiene un diámetro constante y no variable, medida de la tubería.

Así, mismo para el instrumento Water Flow Controller LC-500CCM-D necesita una cañería de cobre de ¼ plg por especificaciones de éste.

Válvula de pie colocada al extremo inferior del tubo de succión de la bomba; que se abre para permitir el ingreso del agua al tubo y a la bomba cuando esta en funcionamiento pero cuando esta apagada la bomba ésta se cierra a fin de impedir que el agua salga de él por el extremo inferior y mantener cebada a la bomba.

Válvula de retención (check) es usada para evitar el flujo invertido de la circulación. La circulación del líquido deseado abre la válvula; al invertirse la circulación se cierra.

Válvula de aire funciona para lanzar los bolsillos de aire que recogen en cada punto alto de una tubería. La válvula de aire es esencial para la eficacia de la tubería y la protección del martillo del agua y para evitar lecturas erróneas de los instrumentos ya que cada uno de estos exige que no exista aire en el interior de la tubería.

En la Plano 2 se detalla el Sistema de Agua del Banco de Caudal.

4.3 Diseño del Sistema de Aire

El Sistema de aire necesita de un compresor, un motor eléctrico y una corriente eléctrica que alimente al motor, además de un trazado de cañerías y un acondicionamiento del mismo.

Es preciso aprovechar todos sus litros y convertirlos en trabajo, por medio de un tratamiento que lo adecuó a un sistema seguro y eficiente.

4.3.1 Selección del Compresor

Para la selección del compresor se toma en cuenta las características de funcionamiento de caudal y de presión de Flow Controller 32505-5 y Mass Flow Controller GFC-17 para saber la potencia necesaria del compresor para el correcto funcionamiento de estos instrumentos. Para el caudal se toma el que funcione en los dos instrumentos que es de 5 lpm, así también para la presión se toma la que funcione en las dos que es de 50psig.

Para determinar la potencia requerida por el sistema calculamos con la siguiente fórmula:

$$P = Q * p$$

$$P = 5 \frac{l}{\min} * (50 + 10.48) \frac{lb}{p \lg^2} * \frac{m^3}{1000l} * \frac{(100 \text{ cm})^3}{m^3} * \frac{p \lg^3}{(2.54 \text{ cm})^3} * \frac{pie}{12 p \lg} * \frac{\min}{60 s} * \frac{HP - s}{550 lb - pie}$$

$$P = 0.0466 \text{ HP}$$

De acuerdo con la potencia hallada, sirve para la selección del compresor, en el mercado hay el compresor de marca MintCraft con una potencia mayor a esa característica, en la Tabla 17 se detalla las características.

MinCraft	
Especificaciones	
Motor	1/3 HP
Voltaje	115V~60Hz
Intensidad	2,2 A
Capacidad del Tanque	2 Galones
Presión de Aire Máximo	100 psi
RPM Máximo	350
CFM	1,1 @ 40 psi 0,8 @ 90 psi

Tabla 17 Características del Compresor

4.3.2 Unidad Técnica de Mantenimiento

El aire proveniente de un compresor esta impregnado en mayor o menor medida de suciedad, está constituida por polvo y humedad contenidas en el aire que ha sido aspirado por el compresor y su composición puede variar constantemente en función de las condiciones ambientales, además se suman las partículas de restos de lubricantes y sustancias abrasivas contenidas en el compresor, la red también constituye una fuente de contaminación, ya que el aire transportado arrastra consigo pequeñas y minúsculas partículas de óxido, residuos de condensados o escorias.

Por todo aquello el aire debe someterse a un proceso de acondicionamiento adecuado. Es obvio señalar que la calidad de aire depende de aplicaciones concretas, pues no es lo mismo para una obra de construcción que en los sistemas de producción y embalaje en fábricas de alimentos.

La unidad de acondicionamiento tiene filtro, regulador y lubricador que van enlazados entre sí.

4.3.2.1 Filtro

El elemento filtrante, a través del cual se obliga al aire a circular, retiene los contaminantes en su superficie.

El agua y las partículas que se depositan en la cuba del filtro deben ser evacuadas, el vaciado del depósito se realiza fácilmente mediante un sistema de purga manual flexible, o bien mediante un depósito de purga manual flexible.

4.3.2.2 Regulador

Los reguladores de presión permiten establecer un caudal de aire comprimido a una presión constante y ajustada al punto de trabajo independientemente de las fluctuaciones producidas en la red de distribución.

4.3.2.3 Lubricador

Los lubricadores estándar tienen como misión suministrar a las partes móviles de los componentes neumáticos el lubricante necesario para obtener un desplazamiento suave, evitando un desgaste prematuro de dichas partes.

4.3.3 Selección de la Cañería y Accesorios

La selección del diámetro de tubería para el sistema de agua en general es de ¼ plg esto es referente a sus conexiones; la selección de la tubería y accesorios de cobre se hizo debido a las siguientes características:

- Las cañerías para el agua fabricadas con cobre ayudan a mantener el agua limpia.

- Cuando estas cañerías son nuevas o cuando el agua que se encuentra dentro de ellas posee ciertas características químicas, liberan cobre en pequeñas cantidades al agua potable.
- El contenido de cobre en el agua potable estancada en una tubería de cobre es prácticamente estable y no sobrepasa los 0.125 mg/lt, cantidad muy por debajo de los niveles de toxicidad en el ser humano.
- El contenido de cobre en el agua potable en circulación por una tubería de cobre decrece con el tiempo, a partir de las dos primeras horas de uso de la tubería, llegando a ser prácticamente nulo, debido a la formación de la capa de óxido no tóxica superficial, muy adherente, que impide la oxidación posterior.

Los accesorios como acoples macho y hembra son de ¼ plg NPT necesarios para las conexiones.

En la Plano 4 se detalla el Sistema de Aire del Banco de Caudal.

4.4 Diseño del Sistema Eléctrico

El Sistema Eléctrico del Banco de Caudal consta de los siguientes elementos:

- Elementos de protección
 - Elementos de apertura y cierre
 - Conexiones eléctricas
 - Aparatos de accionamiento
-

4.4.1 Elementos de Protección

Los elementos de protección utilizados en el panel de control, vigilarán y protegerán la instalación ante posibles causas de desastres, como una sobre carga de tensión, un corto circuito o incluso una derivación de corriente a tierra directa o indirecta, bien sea producida por error en el circuito o por contacto de una persona o animal.

Los fusibles son dispositivos de protección que abre el circuito en caso de sobre intensidad. Los fusibles utilizados para la protección de la bomba y el compresor son de 6A y 2.5A respectivamente, que son intensidades que da el fabricante para la protección de estos.

No hay elementos de protección en el panel de control para los instrumentos (Ultrasonic Flow Meter TFXL2-CA1-NN, Water Flow Controller LC-500CCM-D, Mass Flow Controller GFC17 y Totalizer TOT1-10) que utilizan fuente de alimentación externa, estos cuentan con protecciones internas.

4.4.2 Elementos de Apertura y Cierre

Contactores eléctrico como su nombre lo indica tiene la capacidad de unir o separar eléctricamente los circuitos del banco. Para el banco utilizamos interruptores y pulsadores.

Pulsadores de Encendido y Apagado (On/Off), estos sirven para el accionamiento de la bomba y del compresor; las características de estos pulsadores son 3P/15A/500VAC/NO.

Interruptores, permiten el funcionamiento de los estos instrumentos como Ultrasonic Flow Meter TFXL2-CA1-NN, Water Flow Controller LC-500CCM-D, Mass Flow Controller GFC17 y Totalizer TOT1-10; las características de estos interruptores son 16A/250VCA.

Pulsador de emergencia, este permite el corte de corriente de todo el banco por cualquier inconveniente que suceda, a la vez permite restaurar el flujo de corriente, las característica es 10A/250VCA/NO.

4.4.3 Conexiones Eléctricas

Conexión eléctrica es el conductor eléctrico que interconexión de dos elementos, componentes o aparatos eléctricos entre sí, o en algunas ocasiones incluso la interconexión de un elemento entre dos puntos propios diferenciados.

El conductor eléctrico utilizado para todas las conexiones en general es el 14 AWG.

4.4.4 Aparatos de Accionamiento

Los aparatos de accionamiento son los que van a ejecutar la función que han sido destinados, entre estos son los instrumentos, bomba y compresor.

En la Plano 5 se detalla el Sistema Eléctrico del Banco de Caudal.

4.5 Dimensionamiento de la Estructura del Banco

Después de determinar los sistemas de agua, aire y eléctrico, da el detalle de los accesorios, tuberías, cableado, etc. que se va a ocupar lo que permite determinar la forma y dimensionamiento de la estructura del banco.

La forma de “L”: ésta forma permite observar todos los instrumentos y manipularlos, a demás en la parte inferior permite colocar la bomba, compresor, tanque y otros.

Las dimensiones del banco son: la base de 1280 mm, la altura de 1790 mm y el ancho de 630 mm y altura a la parte horizontal de 840 mm; en la Plano 6 se observa estas dimensiones y otras características.

La estructura cuenta con soportes para el tanque, la bomba y el compresor, y, a demás de estos soportes cuenta con soportes para la tubería. La bomba, compresor y tanque son fijados con pernos, la tubería es fijada con abrazaderas; todos estos a la estructura.

La estructura está cubierta con planchas de fibra de vidrio, que cubren toda la parte frontal de la estructura.

La estructura esta construida con tubo cuadrado de 3/4*1/16 plg AISI 1020 que tiene las siguientes propiedades mecánicas: resistencia a la tracción de 462 MPa y resistencia a la fluencia de 379 MPa; esta estructura no tiene pesos relevantemente pesados por lo que es innecesario realizar al análisis de tensiones.

En el Plano1 podemos observar todos los instrumentos, equipos y accesorios que contiene el Banco.

CAPÍTULO V

COSTOS

5.1 Costos

Los costos totales es el resultado de la suma de los costos directos e indirectos necesarios para la obtención del Banco de Pruebas de Caudal.

5.1.1 Costos Directos

Los costos directos cuyo costo se carga directamente en la producción se conocen como materiales directos. Generalmente los costos de los materiales requeridos para manufacturar un producto se lo carga como costos directos de materiales. Además de estos costos tenemos los de mano de obra, utilización de equipos y gasto de transporte de materiales que se han utilizado en la fabricación del producto.

Los costos de los materiales directos se han clasificado en los siguientes ítems:

- Instrumentos
 - Sistema de Agua
 - Sistema de Aire
 - Sistema Eléctrico
 - Estructura
-

Instrumentos, este rubro corresponde a los instrumentos y accesorios adquiridos por la Facultad de Mecánica para la producción del Banco de Pruebas de Caudal.

Sistema de Agua, Aire, Eléctrico y la Estructura, este rubro corresponde para la obtención del Banco.

Estos datos fueron analizados en el programa APU de costos unitarios, en el Anexo C permite observar estos detalles.

El costo directo total es de \$ 9190.58 dólares americanos.

5.1.2 Costos Indirectos

Los costos indirectos de producción incluyen todos los gastos en los cuales incurre por la producción y que no se cargan directamente al producto, bien como materiales directos o como mano de obra directa o gastos generales.

Los costos indirectos de producción incluyen costos de materiales y mano de obra que no se carguen directamente al producto.

Los costos por materiales y mano de obra indirecta abarcan todos los costos de materiales y mano de obra consumidos en la producción, y que no son cargados directamente a los productos.

Los costos indirectos varían entre el (1 – 10) % del costo directo y el costo de ingeniería entre el (8 – 15) % del costo directo.¹²

¹² PALADINES, Diseño y Constr. de un Intercambiador de Calor para el Lab. de Térmicas (Tesis)

En este caso se toma de costos indirectos el 4.5 % y costos de ingeniería con el 10 %.

$$CI = \frac{9190.58}{100} * 4.5 = \$ 413.58$$

$$CI_{Ingenieria} = \frac{9190.58}{100} * 10 = \$ 919.06$$

$$CI_{Totales} = CI + CI_{Ingenieria}$$

$$CI_{Totales} = 413.58 + 919.06 = \$ 1332.64$$

El costo total del Banco de Pruebas de Caudal está constituido por la suma de costos directos y costos indirectos.

$$CT = CD + CI_{Total}$$

$$CT = 9190.58 + 1332.64$$

$$CT = \$ 10523.22$$

CAPÍTULO VI

INSTALACIÓN Y MONTAJE DE LOS EQUIPOS

6.1 Análisis del área a utilizar

El área asignada para el Laboratorio de Instrumentación está ubicada en el edificio de la Escuela de Ingeniería Mecánica en la planta baja, la que tiene el área aproximada de 51 m².

Dentro de está; están ubicados los siguientes bancos y otros, como:

- Banco de Pruebas de Nivel, ocupa el área de 1.35 m x 0.50 m.
- Banco de Pruebas de Temperatura, ocupa el área de 1.83 m x 0.57 m.
- Banco de Pruebas de Presión, ocupa el área de 2.40 m x 0.51 m.
- Banco de Pruebas de Presión Negativa, ocupa el área de 1.20 m x 0.90 m.
- Tostadora de Maní, ocupa el área de 2.20 m x 1.50 m.
- Encubadora, ocupa el área de 1.20 m x 0.41 m.
- Presurizado; ocupa el área de 1.90 m x 0.81 m; y otros.

A demás de estos bancos, se ubicará el Banco de Pruebas de Caudal como se detalla en el Plano 2 de 1 con una longitud de 1.286 m y un ancho de 0.633 m.

6.2 Instalación de servicios básicos (electricidad, agua)

En la instalación de servicios básicos como electricidad, agua y aire necesarios para el funcionamiento del banco están determinados de la siguiente manera:

Electricidad, realizar una instalación no es necesaria ya que el área cuenta con dos toma corrientes ubicados como indica en el Plano 2 de 1, el voltaje de los toma corrientes de es de 120 V / 60 Hz necesario para el funcionamiento del banco.

Agua, el banco cuenta con un tanque de alimentación y descarga en un sistema de recirculación; el llenado del tanque se realizará en forma manual de una fuente que se encuentra a pocos metros del Laboratorio.

Aire, la instalación del aire comprimido está ubicada en el banco, instalación que cuenta con el debido tratamiento de aire comprimido para la utilización.

6.3 Instalación de componentes adicionales

Un componente adicional es el control del banco, para el correcto funcionamiento y protección del mismo.

El panel de control contará con varios elementos; pulsadores de encendido y apagado de la bomba y del compresor, pulsador de emergencia, interruptores para los instrumentos que necesitan fuente de alimentación externa, y protección para los diferentes equipos.

6.4 Distribución de cada uno de los instrumentos

La distribución de los instrumentos en el banco se realizo en función de las siguientes condiciones:

- La teoría; en el Capítulo II en la Tabla 1 se detalla instrumentos de caudal de los mas sencillos a los mas complejos, el banco tiene este aspecto empieza con un sensor y termina con el medidor térmico de caudal a excepción del

instrumento Water Flow Controller LC-500CCM-D está ubicado en la parte inferior porque su visor es pequeño y ubicándolo en esta posición ayuda a la visualización.

- Espacio físico; cada uno de los instrumentos tiene diferentes medidas de longitud, altura y ancho; la longitud es diferente para cada uno de los instrumentos, la altura de cada uno de los instrumentos es una función para determinar la separación de cada uno de estos, el ancho es diferente para cada uno de los instrumentos razón que la distancia que existe entre el eje longitudinal del instrumento a la plancha vertical superior es el ancho máximo de un instrumento, esta distancia es debido a que los instrumentos son desmontables.
- Observación; se toma en cuenta esto debido a que los visores de los instrumentos, sus caracteres tienen diferentes alturas razón por lo que tienen caracteres grandes están en la parte superior y de los caracteres pequeños están en la parte inferior;
- Operación; los instrumentos se han colocado en el plano frontal uno de bajo de otro, están ubicados de modo que estos pueden ser operados con mínima dificultad.
- Mantenimiento, el sistema de tubería está proyectado de manera tal que el sistema pueda ser reparado o reemplazado con mínima dificultad.

6.5 Instalación de los instrumentos correspondientes

La instalación de los instrumentos y accesorios se especifica en el Plano 1, que también se la puede ver en el modulo pero parte de ella; la parte eléctrica en la

que no se puede observar las conexiones eléctricas internas que se puede observar estos detalles en el Plano 5.

Todos estos sistemas son montados en la estructura (Plano 6).

6.6 Solución de fallas o defectos encontrados en la instalación

En la instalación de los diferentes sistemas se encontraron defectos, que se detallan a continuación y se da la solución.

- Turbine Flow Meter 33112:

La pieza de ajuste para este medidor no se encontraba en el mercado por lo que se procedió a la construcción de éste.

- Válvulas de aire:

Las válvulas de aire o purga de aire que se compraron son utilizadas en el riego, razón por lo que no interesa que haya fugas pequeñas de agua; ha estas válvulas se les adaptaron unos pequeños tapones internos para que no produzcan fugas de agua y sirvan para eliminar el aire del sistema.

- Lithium battery CR12600SE:

Estas baterías pertenecen al instrumento Flowmeter G2A10N09GMA, éstas se descargaron lo que provoco que el instrumento no funcione; por lo que se procedió a importar estas baterías ya que en le mercado nacional no existe.

Después de haber ocurrido esto se procedió a sacar las baterías de cada uno de los instrumentos después de la utilización para no tener estos problemas.

6.7 Instalación final

Después de haber encontrado las fallas o defectos en la instalación durante las pruebas de cada uno de los instrumentos, haberlos solucionado y verificar su correcto funcionamiento; el Banco de Pruebas de Caudal consta como indica la Figura 23.

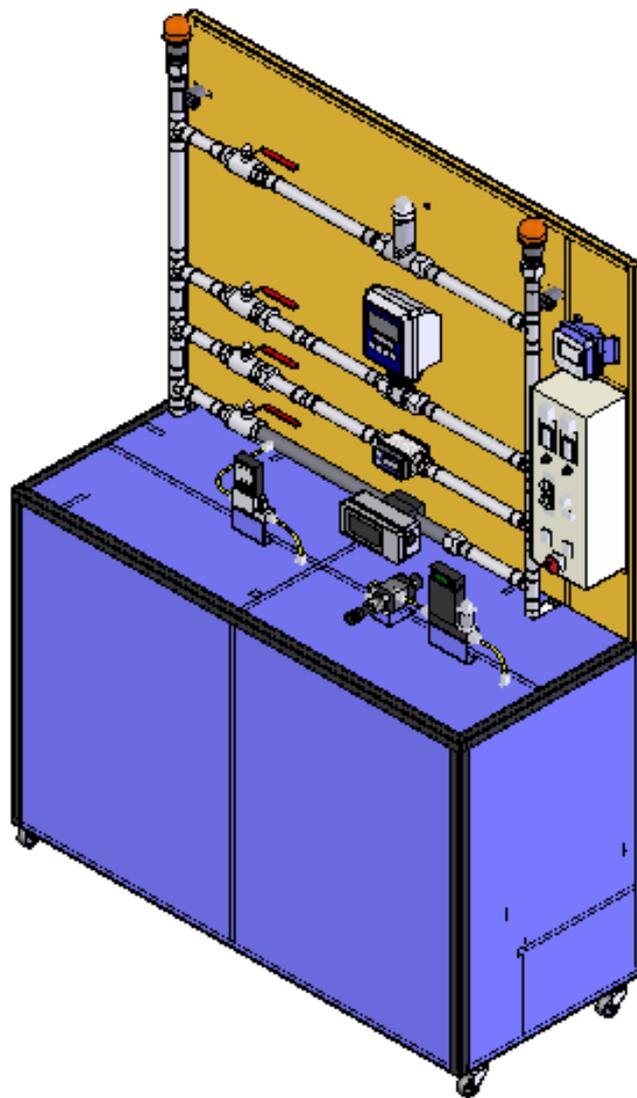


Figura 23 Banco de Pruebas de Caudal

6.8 Descripción y Funcionamiento

El Banco de Caudal es una estructura metálica recubierta con planchas de fibra de vidrio y con ruedas, para facilitar el movimiento de éste.

Cuenta con una tubería de acero inoxidable y cobre, un depósito de agua con una capacidad aproximada de 20 galones, un tanque de almacenamiento de aire de 2 galones, bomba de $\frac{1}{2}$ HP, compresor de $\frac{1}{3}$ de HP, instrumentos descritos anteriormente conectados en paralelo y el panel de control para todo el banco.

La ubicación de cada uno de los instrumentos, equipos y accesorios se especifica en el esquema. Figura 24.

El Banco está construido para demostrar varios aspectos dentro de la instrumentación, utilizando para ello, un flujo de agua recirculada por una bomba centrífuga y flujo de aire circulado por un compresor; existen estos dos flujos debido a que se tiene medidores volumétricos y máxicos.

De particular beneficio para los estudiantes será el hecho de que todos los componentes del banco son de uso normal en procesos industriales y esto permitirá una excelente posibilidad de familiarización del estudiante con los sistemas de Medición Industriales.

El encendido y pagado del banco, es lo más sencillo; en el panel de control se encuentran los interruptores de encendido y apagado del compresor, la bomba e instrumentos que están indicados en el mismo. A continuación se detalla el encendido y apagado del Banco.

Sistema de Agua

- Llenar el tanque de alimentación y descarga hasta el nivel indicado.
- Realizar el cebado a la bomba.

- Conectar el enchufe del Banco a la toma corriente.
- Tener abierta una de las llaves del sistema. (No deben estar cerradas las llaves del sistema).
- Encender la bomba del panel de control.
- Realizar la purga de aire mediante las válvulas de aire. Abrir las válvulas de aire, dejar salir el aire y cerrar.
- Abrir la llave del instrumento seleccionado y realizar la práctica.
- Acabada la práctica, apagar el instrumento seleccionado y la bomba.

Sistema de Aire

- Conectar el enchufe del Banco a la toma corriente.
- Verificar si la llave de paso del compresor está cerrado.
- Verificar el encendido del compresor.
- Encender el compresor del panel de control.
- Regular la presión y caudal con los elementos de control.
- Realizar la práctica.
- Acabada la práctica, apagar el instrumento y el compresor.

La operación y mantenimiento de cada uno de los elementos del banco está en el Anexo D (Mantenimiento del Banco).

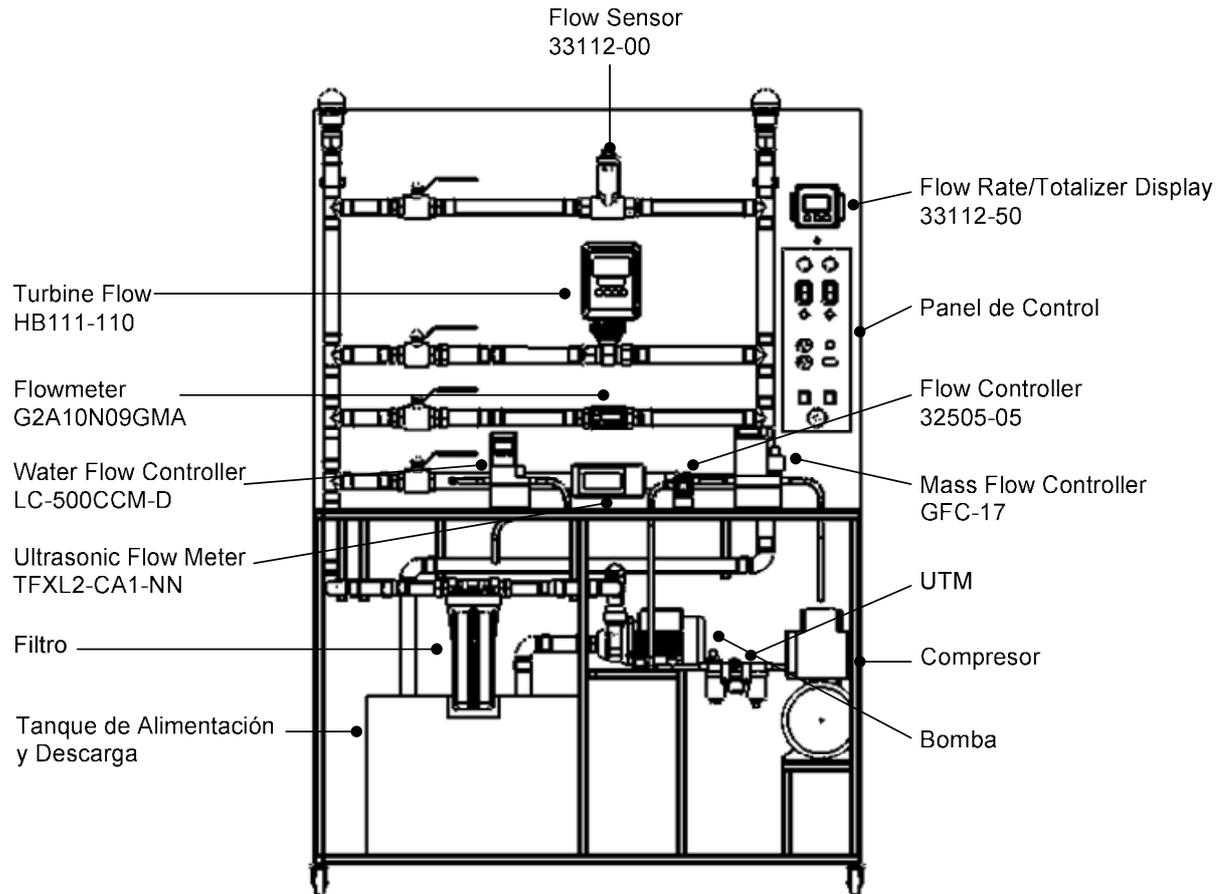


Figura 24 Esquema del Banco de Pruebas de Caudal

CAPÍTULO VII

PRÁCTICAS DE LABORATORIOS

7.1 Laboratorios del Banco

Los Laboratorios que se realiza en el banco ayudarán a entender el funcionamiento y la correcta operación de cada uno de los instrumentos; el orden de los laboratorios que son cuatro están de acuerdo con el progreso de la teoría, y son los siguientes:

- Medidores de Flujo Turbina
- Medidor de Flujo Ultrasónico
- Medidor de Flujo por Presión Diferencial
- Medidor de Flujo de Masa Térmico

7.1.1 Desarrollo de los Laboratorios

LABORATORIO N° 1

Tema: Medidores de Flujo Turbina

Objetivo General

- Entender el principio de funcionamiento de Medidores de Flujo Turbina.

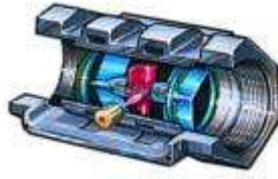
Objetivos Específicos

- Conocer las ventajas, desventajas y aplicaciones.
- Programar y Operar el Flow Rate/Totalizar Display 33112-50, Flowmeter G2A10N09GMA
- Realizar las curvas Volumen vs. Tiempo y Caudal vs. Tiempo de cada uno de los instrumentos.

Marco Teórico

Medidores de turbina

El fluido fluye a través del medidor, una turbina da vueltas a una velocidad que es proporcional al caudal. La señal de los generadores, localizados generalmente en el mismo rotor, proporcionan pulsos magnéticos que se sienten electrónicamente a través de una bobina pick-up (la bobina pick-up es lo amarillo enseñado en la figura) y se calibran para leer unidades de flujo. En algunos diseños, el visor puede enseñar tanto el caudal como el flujo total desde el encendido. Los medidores turbina están disponibles para flujo de gas y líquido.



Medidor de Flujo Turbina

Debido a los filos rotativos del medidor turbina, la señal de salida será un voltaje de onda seno (V) de la forma:

$$V = Ksen(Nwt)$$

Dónde:

K = La amplitud de onda seno

w = La velocidad giratoria de los alabes

N = El número de alabes que pasan por pick-up en una rotación completa

t = Tiempo

La señal de salida es proporcional a la velocidad giratoria de las turbinas que a su vez es proporcional al flujo líquido, la señal es fácilmente graduada y calibrada para leer caudal y flujo total.

Los sensores de flujo de turbina tienen generalmente exactitudes en el rango de $\pm 0.25-1\%$ de la escala máxima.

Ventajas

Las ventajas principales del medidor de turbina es la exactitud (exactitud del $\pm 0.25\%$) y repetibilidad, respuesta rápida de flujo (pocos milisegundos), capacidades de alta de presión y temperatura (esto es hasta 5,000 psi y 800 °F con temperatura

elevada en la bobina pick-up) y construcción compacta sólida. Algún fabricante ha llevado diseño de medidor de turbina al siguiente nivel incorporando electrónica avanzada que realiza compensación de temperatura, señal acondicionamiento y linealización. Esta tecnología avanzada permitirá al medidor compensar automáticamente por efectos de viscosidad y densidad.

Desventajas

La desventaja del medidor turbina es relativamente costoso y tiene partes giratorias que pudieran trabarse por sólidos suspendidos en la corriente de líquido. Y, la mayoría de medidores turbina necesita una sección recta de tubería aguas arriba del medidor en el orden de reducir flujo turbulento. Esto puede hacer la instalación un desafío en pequeñas áreas. Sin embargo, algunos medidores turbina reducen o eliminan la distancia recta de tubería requerida aguas arriba, incorporándose enderezadores de flujo en el cuerpo de la unidad.

Otra desventaja en algunos diseños es la pérdida de linealidad a flujo bajo. A baja velocidad el comportamiento y calibración puede ser afectada por soportar la fricción en el transcurso del tiempo. Sin embargo, hoy en día hay retenes lubricados por si mismos, de poca resistencia al avance en los rodamientos, y rodamientos montados sobre el eje de rotación todos ayudan a reducir los puntos de fricción, por eso tienen gran exactitud y repetibilidad en aplicaciones de flujo bajo.

Aplicaciones

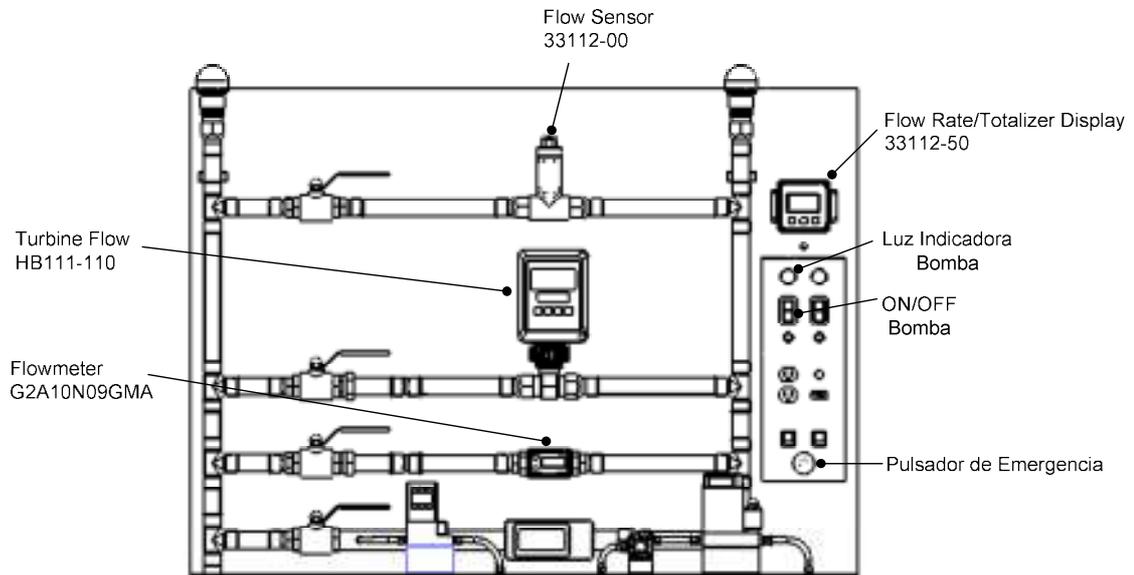
Se puede encontrar medidores turbina en una variedad amplia de industrias y aplicaciones:

- Sustitución del Rotámetro
- Plantas piloto
- Facilidades de investigación y desarrollo
- Monitoreo de agua de enfriamiento
- Control de inventario
- Banco de pruebas
- Consumo de agua
- Entrada de agua compensatoria, Agua de relleno

Experimentación:

Instrumentos	Accesorios y Herramientas
- Flow Sensor 33112-00	- Batería 3.6 V
- Flow Rate/Totalizar Display 33112-50	- Batería 1.5 V
- Flowmeter G2A10N09GMA	- Cronómetro
	- Destornillador plano
	- Llave hexagonal (4mm)

Esquema:



Procedimiento:

- Realizar la operación necesaria que debe hacerse para utilizar el sistema de agua del Banco de Pruebas de Caudal.
- Con la llave hexagonal (4 mm) proceder a retirar la tapa del Flow Rate/Totalizer Display 33112-50 y situar la batería de 3.6 V, colocar de nuevo la tapa a su lugar.
- Abrir la llave del instrumento para que circule agua por este, para realizar el laboratorio.
- Programar y operar el Flow Rate/Totalizer Display 33112-50, Flowmeter G2A10N09GMA. A continuación se da la programación y operación de cada uno de los instrumentos.

Flow Rate/Totalizer Display 33112-50

Presionar SET una vez permite ingresar el factor K, se visualiza set K en la parte inferior izquierda de la pantalla. Para ingresar el factor,  éste botón

permite el movimiento de dígito y mientras  éste botón permite el cambio de número. Ingrese el Factor K, el valor es 49.391. Presionar otra vez SET en la pantalla se visualiza set P, permite utilizar la salida de pulso. Presionar otra vez SET en la pantalla se visualiza d, representa el número de decimales,  presionar éste botón podemos tener sin decimales, con uno o dos decimales. Presionar otra vez SET da la opción de tener en segundos, minutos, horas y días; al presionar el botón  para la elección de lo que se quiera visualizar en la pantalla (lps, lpm, lph, lpd). Presionar otra vez SET se regresa a la forma normal. Presionar  nos permite encerrar el totalizador.

Flowmeter G2A10N09GMA

El encendido es automático a penas el fluido comience a circular éste se enciende a si mismo, para el apagado no existe flujo éste se paga; cuando hay flujo circulando en la pantalla aparece la palabra FLOWRATE. Presionar DISPLAY y luego CALIBRATE se cambia las unidades sea en litros o galones por minutos. Presionar DISPLAY se observa el contador total, lo que se visualiza en la pantalla es TOTAL 1 (Contador desde que se puso en funcionamiento). Presionar otra vez DISPLAY se observa el contador parcial, lo que se visualiza en la pantalla TOTAL2 (Contador desde el momento que se desee encerrar); una vez que se esta en TOTAL 2 mantener presionando el botón DISPLAY hasta que se ponga en cero y soltar para que comience el contador parcial de nuevo. Presionar otra vez DISPLAY se retorna a FLOWRATE.

- Después de haber aprendido a operar y programar estos instrumentos proceder a tabular los datos de caudal y volumen en las siguientes tablas de cada uno de los instrumentos.

Tabla 1

Flow Rate/Totalizer Display 33112-50		
Tiempo	Caudal	Volumen
t (min.)	Q (lpm)	V (l)
0	36,7	0
1	36,7	36,2
2	36,4	72,37
3	36,7	108,43
4	36,8	144,58
5	36,9	180,16
6	36,4	216,42
7,5	36,9	270,49
8	36,9	288,94
9	36,7	324,31
10	36,5	360,51

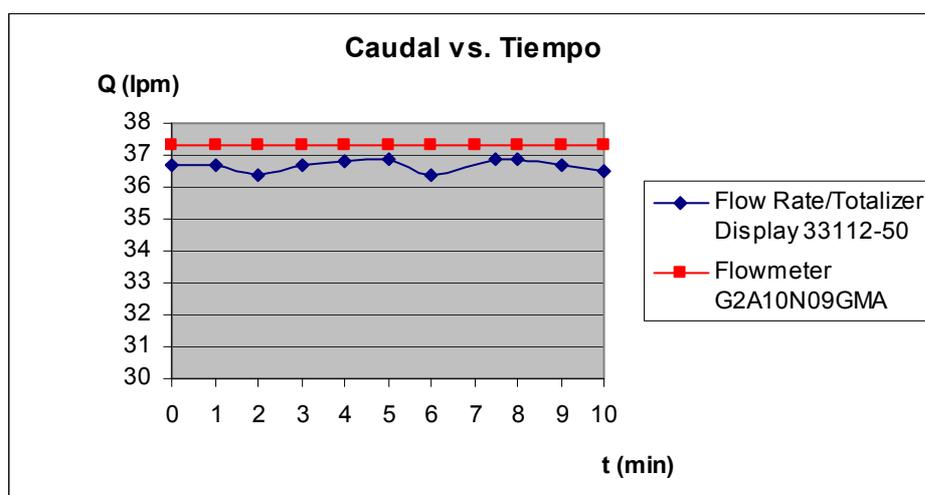
Tabla 2

Flowmeter G2A10N09GMA		
Tiempo	Caudal	Volumen
t (min.)	Q (lpm)	V (l)
0,0	37,3	0
1,0	37,3	37,1
2,0	37,3	74,3
3,0	37,3	110,5
4,0	37,3	147,8
5,0	37,3	184,5
6,0	37,3	212,7
7,0	37,3	258,4
8,0	37,3	295,1
9,0	37,3	332,2
10,0	37,3	368,9

- Una vez terminado el laboratorio apagar la bomba, sacar la batería del Flow Rate/Totalizer Display y desconectar el Banco de la fuente de alimentación.

Análisis y Resultados

Realizar la gráfica Caudal vs. Tiempo, Volumen vs. Tiempo.



Flow Rate/Totalizer Display, en el gráfico se observa la variación que existe el caudal a través del tiempo, que éste no es constante tiene variación con el tiempo. Flowmeter G2A10N09GMA, en el gráfico se observa que el caudal es constante durante el tiempo.

Al calcular el caudal medio de los dos instrumentos da:

Flow Rate/Totalizer Display 33112 – 50

$$\bar{Q} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i}{n}$$

$$\bar{Q} = \frac{36.7 + 36.7 + 36.4 + 36.7 + 36.8 + 36.9 + 36.4 + 36.9 + 36.9 + 36.7 + 36.5}{11}$$

$$\bar{Q} = 36.69 \text{ lpm}$$

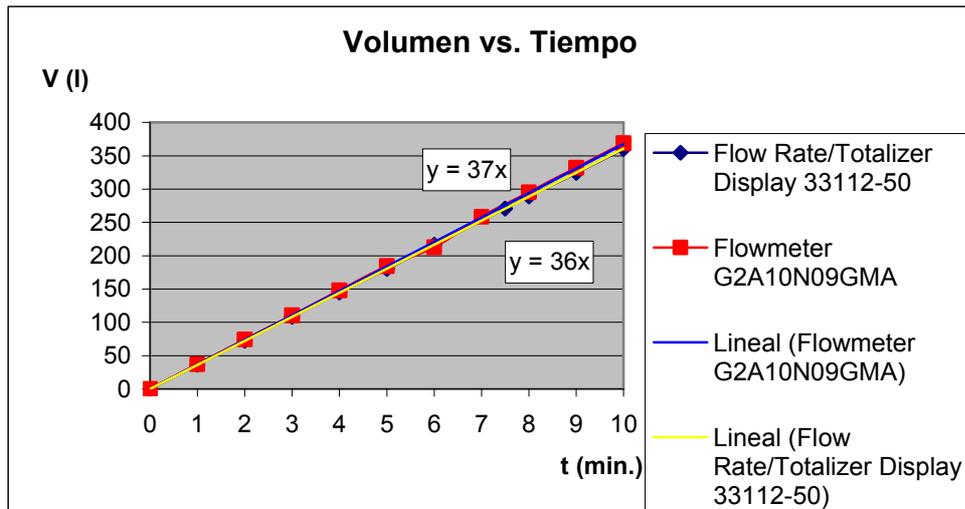
Flowmeter G2A10N09GMA

$$\bar{Q} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i}{n}$$

$$\bar{Q} = \frac{37.3 + 37.3 + 37.3 + 37.3 + 37.3 + 37.3 + 37.3 + 37.3 + 37.3 + 37.3 + 37.3}{11}$$

$$\bar{Q} = 37.3 \text{ lpm}$$

Se nota que los caudales son diferentes de los dos instrumentos, esto es debido a que estos instrumentos están conectados en paralelo, las pérdidas en accesorios y tubería son diferentes, razón por el cual su caudal es diferente.



Al realizar las dos curvas de los instrumentos de Volumen vs. Tiempo y con ayuda del Excel se obtiene la ecuación de cada una de las curvas con esta se determina la pendiente de cada curva, ésta representa físicamente el caudal que circula por cada instrumento.

Conclusiones y Recomendaciones

(Las conclusiones y recomendaciones se deja al estudiante, para que de su criterio del laboratorio).

Bibliografía

- [1] www.coleparmer.com
- [2] 33112 Turbine Flow Meter Instructions
- [3] 33112-50 Flow Display Instructions
- [4] Industrial Grade 09 Computer Electronics Owner's Manual

LABORATORIO N° 2

Tema: Medidor de Flujo Ultrasónico

Objetivo General

- Entender el principio de funcionamiento de Medidores de Flujo Ultrasónico.

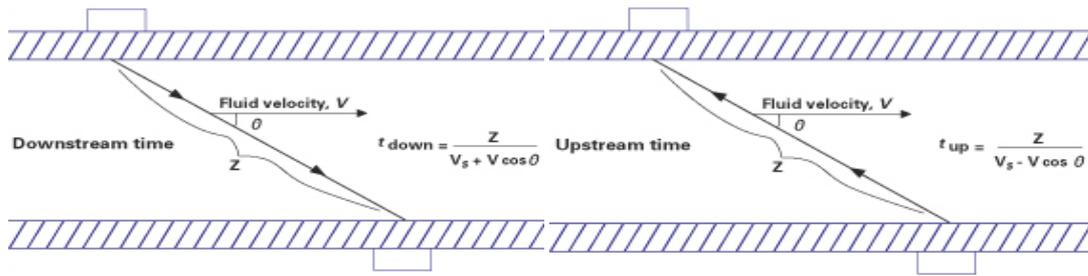
Objetivos Específicos

- Conocer las ventajas, desventajas y aplicaciones.
- Operar el Ultrasonic Flow Meter TFXL2-CA1-NN.
- Realizar la curva Caudal vs. Tiempo y Volumen vs. Tiempo.

Marco Teórico

Medidor Transit-Time (Tiempo de Propagación)

Medidores de tiempo de propagación utilizan un pulso ultrasónico que se proyecta en el conducto y a través del conducto. El principio básico del medidor de tiempo de propagación es medir la diferencia de tiempo (o cambio de frecuencia) entre el tiempo de vuelo de aguas abajo y el tiempo de vuelo aguas arriba. Este cambio de frecuencia puede entonces correlacionar en un flujo de fluido a través del conducto. Para ayudar a explicar un tipo de diseño de tiempo de propagación, la figura enseña dos transductores conectados a un conducto.



The Transit-Time flowmeter

En esta figura, V es la velocidad de fluido media, Z es la distancia del transductor aguas arriba como aguas abajo, y θ es el ángulo entre la línea del haz ultrasónica y el fluido horizontal que fluye. El tiempo que toma la señal ultrasónica para ir desde el transductor aguas arriba y al transductor aguas abajo puede ser escrito como:

$$t_{down} = \frac{Z}{(V_s + V \cos \theta)}$$

$$t_{up} = \frac{Z}{(V_s - V \cos \theta)}$$

Dónde V_s la velocidad de sonido a través del líquido.

Se pueden generar las frecuencias aguas arriba y abajo en proporción con sus respectivos tiempos de propagación, podemos decir lo siguiente:

$$f_{down} = \frac{1}{t_{down}}$$

$$f_{up} = \frac{1}{t_{up}}$$

dónde representan f_{down} y f_{up} las frecuencias aguas abajo y arriba respectivamente.

El cambio en frecuencia puede entonces dar como

$$\Delta f = f_{down} - f_{up} = \frac{1}{t_{down}} - \frac{1}{t_{up}}$$

Por sustitución, se obtiene

$$\Delta f = \frac{(V_s + V \cos \theta)}{Z} - \frac{(V_s - V \cos \theta)}{Z} = \left(2 \cos \theta / Z\right) V$$

Entonces $(2 \cos \theta / Z)$ es sólo una constante, se puede escribir la última ecuación como

$$\Delta f = kV$$

Entonces, es la relación básica utilizada para determinar velocidad de flujo de la medida del cambio de frecuencia. La tarifa de flujo puede entonces ser calculada usando la corrección de número de Reynolds para perfil de velocidad y por programación en el diámetro interno del conducto. La corrección del número de Reynolds tiene en cuenta el comportamiento del fluido siendo laminar, transitorio o turbulento. Se hacen estos cálculos electrónicamente y la tarifa de flujo o flujo total entonces puede mostrar en las unidades de ingeniería de elección. Lo bastante interesante en este instrumento, el cambio de frecuencia es medido independientemente de V_s . Esta es una ventaja puesto que las correcciones no deberán ser hechas para la variación de V_s debido a la línea de presión y la fluctuación de temperatura. La mayoría de aplicaciones de tiempo de propagación implican líquidos, pero los diseños están disponibles para manejar gases, también.

El diseño de trayectoria discutido arriba, se nota que un único pulso ultrasónico prorrata el perfil de velocidad a través de la trayectoria a transitar y no a través de la sección (transversal) de conducto donde sería la mejor exactitud obtenida. Algunos medidores de flujo en el mercado envían varios pulsos ultrasónicos en trayectorias separadas para prorrata este perfil de velocidad; estos

medidores tienden mejorar la exactitud que su único pulso correspondiente. Medidores Tiempo de propagación exhibe generalmente exactitudes alrededor de $\pm 1\%$ de la velocidad medida. Las recomendaciones del material del conducto son los mismos como aquellos dados para medidores de flujo Doppler.

Ventajas:

Como indicado, la ventaja principal del medidor tiempo de propagación es que trabaja con fluidos ultra puros. Esto permite el usuario mantener la integridad del fluido mientras el flujo es medido. Se enumeran algunas de las otras ventajas más abajo.

- Fácil instalación del transductor por abrazaderas en el conducto
 - Ninguna parte está movimiento para desgastarse
 - Caída de presión cero
 - Puede detectar flujo cero
 - Ninguna contaminación al proceso
 - Trabaja bien con fluidos limpios y ultra puros
 - Trabaja con tamaños de conducto que oscilan de 1 " a 200 "
 - Ninguna fuga de potencial
 - Medidores disponibles que trabajan con características de flujo laminar, turbulentas o transición.
 - Las unidades alimentadas por batería están disponibles para aplicaciones de campo.
 - Sensores disponibles para flujos que vibran
 - Software avanzado y características de inscripción de datos disponibles
-

- Insensible a la temperatura del líquido, viscosidad, la densidad o variaciones de presión.

Desventajas:

Medidor tiempo de propagación la ejecución puede padecer de la interferencia de la pared del conducto, y los problemas de exactitud y repetición pueden resultar si hay espacios de aire entre el fluido y la pared del conducto. El hormigón, la fibra de vidrio y los conductos forrados con plástico pueden atenuar bastante la señal hacer inservible la medida de flujo, es aconsejable comprobar con el fabricante para asegurarse que el material de conducto es apropiado.

Como mencionado antes, los medidores no operarán en fluidos sucios, burbujeantes o con partículas. A veces la pureza de un fluido puede fluctuar para afectar la exactitud de la medición de flujo. Para casos tales, hay medidores híbridos en el mercado que accederá las condiciones de fluido en el conducto. Estas unidades son especialmente útiles si la unidad va a ser utilizada en una variedad ancha de aplicaciones diferentes donde pueden tener rango de fluidos limpios a sucios.

Aplicaciones:

Los medidores tiempo de transición tienen amplia aplicabilidad para medición de flujo de corrientes limpias o ultra puras. Se enumeran algunas de estas aplicaciones más abajo.

- Mide flujo de agua limpia en plantas de tratamiento de agua.
-

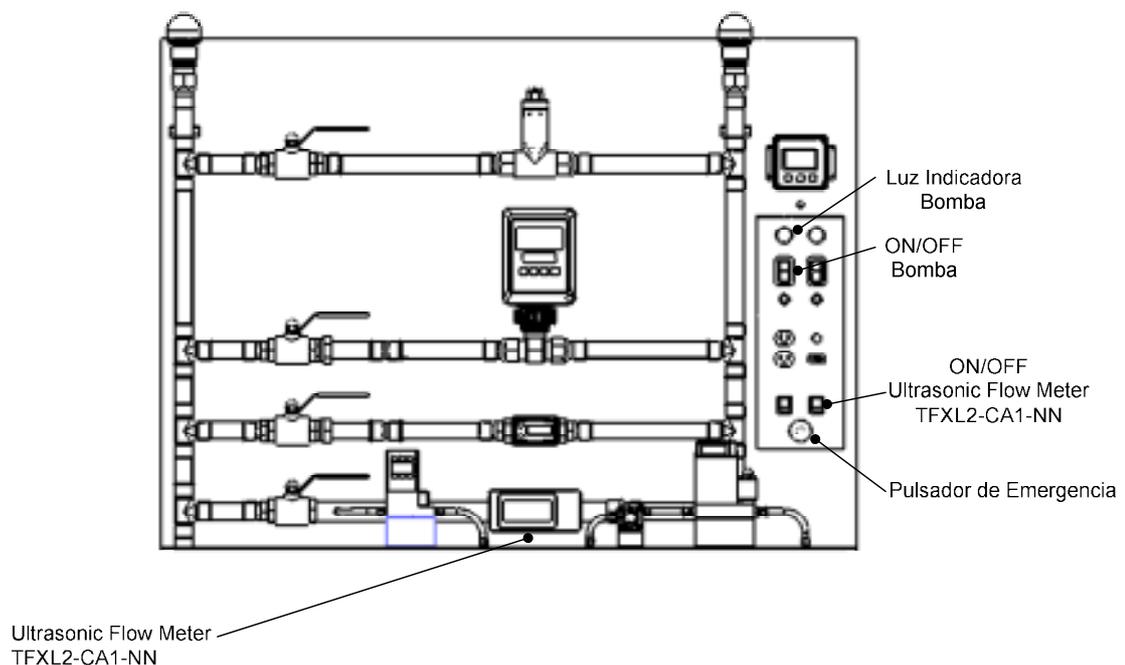
- El agua caliente o fría en plantas de energía, aeropuertos, universidades, alamedas comerciales, hospitales y otros edificios comerciales.
- Fluidos puros y ultra puros en semiconductor, farmacéutico y las industrias de comida y bebida.
- Ácidos y gases licuados en la industria química.
- Ligero a aceites crudos medios en la industria de refinación de petróleo.
- Sistemas de distribución de agua usados en la agricultura y en el riego.
- Líquidos Criogénicos
- Medidas de gas de flujo en depuradores de plantas de energía.

Experimentación

Instrumento:

- Ultrasonic Flow Meter TFXL2-CA1-NN

Esquema:



Procedimiento:

- Realizar la operación necesaria que debe hacerse para utilizar el sistema de agua del Banco de Pruebas de Caudal.
- Abrir la llave del instrumento Ultrasonic Flow Meter TFXL2-CA1-NN para que circule agua por este, para realizar el laboratorio.
- Para éste instrumento no es necesario programarle. La operación de este se detalla a continuación.

La operación de éste instrumento es bastante fácil, una vez que está circulando agua por éste se enciende el instrumento desde el interruptor que se encuentra en el panel. Se encenderá la pantalla que indicara dos tipos de medidas una a continuación de otra, la una es el caudal o flujo y la otro es el volumen circulado hasta ese momento.

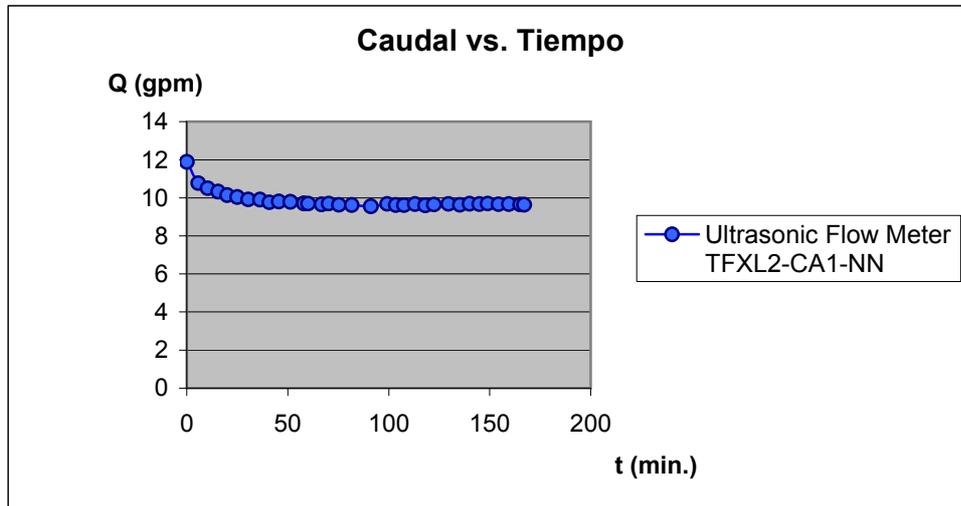
- Después de haber aprendido a operar este instrumento se procede a tabular los datos de caudal y volumen en la siguiente tabla.

Ultrasonic Flow Meter TFXL2-CA1-NN		
Tiempo	Caudal	Volumen
t (min.)	Q (gpm)	V (gal)
0,0	11,893	7125
5,7	10,780	7188
10,3	10,512	7237
15,5	10,323	7290
20,0	10,141	7335
25,0	10,038	7385
30,4	9,916	7438
36,3	9,906	7495
40,9	9,759	7540
45,6	9,802	7585
51,4	9,785	7641
57,9	9,707	7704
60,1	9,700	7725
66,7	9,657	7788
70,3	9,694	7822
75,3	9,628	7870
81,7	9,620	7931
91,2	9,550	8021
99,2	9,680	8097
103,5	9,621	8138
107,6	9,613	8177
113,0	9,672	8230
118,1	9,604	8279
122,5	9,648	8320
129,6	9,678	8388
135,3	9,628	8442
140,1	9,690	8488
144,9	9,670	8534
149,0	9,697	8573
154,4	9,666	8624
159,5	9,675	8673
165,1	9,644	8726
167,1	9,640	8746

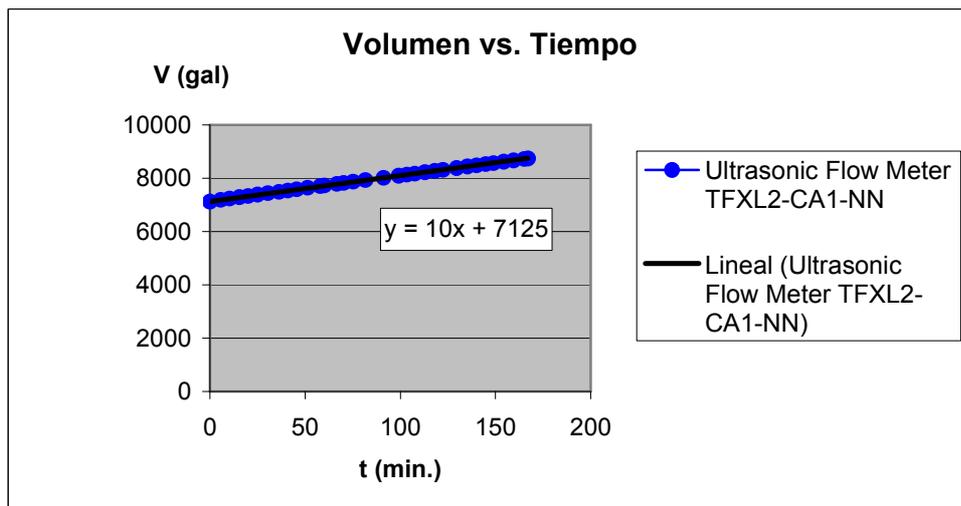
- Una vez terminado el laboratorio apagar la bomba, el interruptor del Ultrasonic Flow Meter TFXL2-CA1-NN y desconectar el Banco de la fuente de alimentación.

Análisis y Resultados

Realizar la gráfica Caudal vs. Tiempo, Volumen vs. Tiempo.



Al realizar la gráfica Caudal vs. Tiempo, se observa que al momento que se enciende el instrumento la lectura de caudal tiene un pico, y mientras va pasando el tiempo el caudal tiende a mantenerse constante.



Al realizar la gráfica Volumen vs. Tiempo y con ayuda del Excel se obtiene la ecuación de la recta y la pendiente que representa el caudal que circula por el instrumento.

Conclusiones y Recomendaciones

(Las conclusiones y recomendaciones se deja al estudiante, para que de su criterio del laboratorio).

Bibliografía

- [1] DYNASONICS, Installation and Operating Instructions
 - [2] www.coleparmer.com
 - [3] www.dynasonics.com
-

LABORATORIO N° 3

Tema: Medidor de Flujo por Presión Diferencial

Objetivo General

- Conocer el principio de funcionamiento Presión Diferencial.

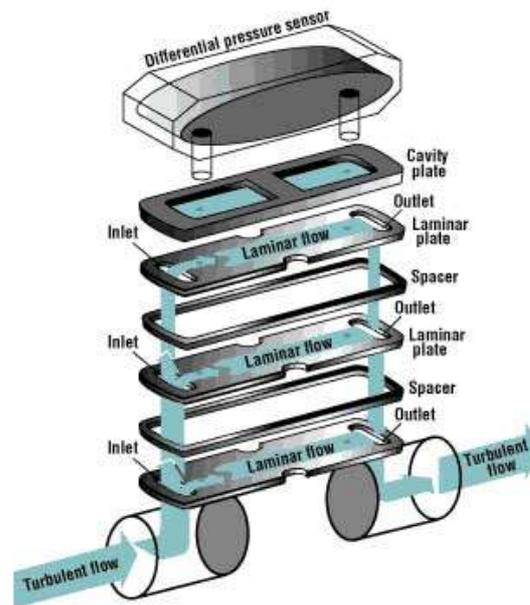
Objetivos Específicos

- Conocer las ventajas, desventajas y aplicaciones.
- Programar y operar Water Flow Controller LC-500CCM-D.
- Realizar la curva Caudal vs. Tiempo.

Marco Teórico

Medidores de Presión Diferencial

La tecnología discutida aquí implica la medición de un diferencial de presión a través de algunos platos de flujo laminar. Durante la operación, crea una caída de presión como el fluido entra a través de la entrada del medidor; el fluido es forzado a formar corrientes laminares finas, que fluyen en rutas paralelas entre los platos internos separados por espaciadores.



Medidor Diferencial de Presión

Una presión diferencial creada por el obstáculo del fluido es medida por un sensor de presión diferencial conectado con el principio de la cavidad del plato y con el final de la cavidad del plato, es lineal y proporcional al flujo del líquido o gas.

Lo que hace esta tecnología única es la relación lineal entre presión diferencial, viscosidad y flujo, lo que da la siguiente ecuación

$$Q = K(p_1 - p_2)/n$$

Dónde:

Q = Flujo Volumétrico

p_1 = Presión estática en la entrada

p_2 = Presión estática a la salida

n = Viscosidad del fluido

K = Factor constante determinado por la geometría de la restricción

Esta relación directa entre presión, viscosidad y flujo permite al medidor cambiar fácilmente entre gases diferentes sin recalibración. Se logra esto normalmente programando a viscosidades de gases diferentes y permitiendo el usuario marcar en el gas apropiado por medio de un conjunto de interruptores.

Se pueden manejar variaciones en la temperatura y presión, que a menudo causan errores en un medidor de área variable, fácilmente añadiendo un sensor de presión (por pieza separada del sensor de presión diferencial en el diseño básico) y un sensor de temperatura al diseño, monitorear fluctuaciones en corrientes de presión y temperatura, y corrige las lecturas de flujo a presión estándar y la temperatura (77°F y 1 atm). Esto es crítico para medidores de gas, que es muy sensible a estos parámetros. Típicamente la exactitud para estos diseños es $\pm 2-3\%$ de la escala máxima.

Ventajas:

Como los medidores de flujo másico, el medidor de presión diferencial no tiene partes en movimiento para desgastarse. Y, distinto como los medidores de flujo másico, el uso de medidores de presión diferencial puede medir diferentes gases, tales como aire, hidrogeno, etano, metano, oxido nitroso, dióxido de carbono, monóxido de carbono, helio, oxígeno, argón, propano y neon, por un interruptor de calibración en la unidad, sin necesidad de recalibrarlo.

Para aplicaciones de control, estos medidores están disponibles con una válvula de proporción integrada (a bordo) o control remoto del flujo. Con una variedad amplia de rangos de flujo y modelos tanto para gases como líquidos, el

medidor presión diferencial es uno de las más versátiles diseños actualmente sobre el mercado.

Desventajas:

Se reservan estos medidores generalmente para utilización con gases y líquidos limpios. Partículas con diámetros mayores a 20 - 30 micrómetros que podrían ser atrapados entre los platos.

Aplicaciones:

Las aplicaciones viables incluyen lo siguiente:

- Aplicaciones químicas (proporción, medición, y control de aditivo).
- Aplicaciones farmacéuticas (inyección y dosificación líquida).
- Investigación, desarrollo y aplicaciones de laboratorio (mezcla de gas, inyección y aeración).
- Aplicaciones de comida y bebida (mediciones de CO₂, desecador de aire y procesos de control).

Experimentación

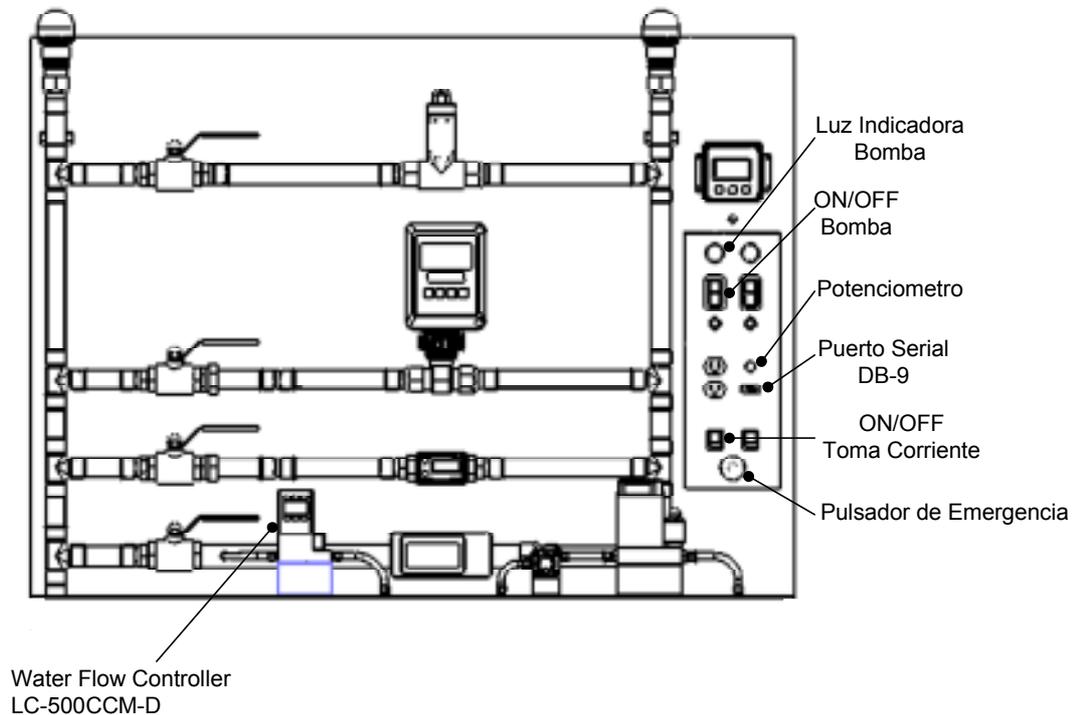
Instrumento:

- Water Flow Controller LC-500CCM-D

Accesorios:

- Adaptador AC/DC
- Batería
- Cable conector Mini – DIN
- Llaves hexagonales (2 y 1.5 mm)

Esquema:



Procedimiento:

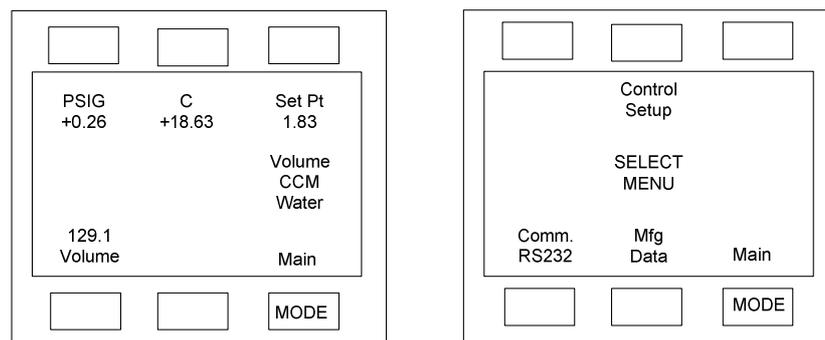
- Realizar la operación necesaria que debe hacerse para utilizar el sistema de agua del Banco de Pruebas de Caudal.
- Abrir la llave del instrumento para que circule agua por este, para realizar el laboratorio.
- Programar y operar el Water Flow Controller LC-500CCM-D. A continuación se da los detalles de programación y operación.

La fuente de alimentación de este controlador tiene dos opciones:

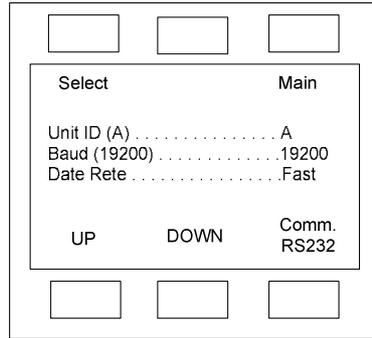
1. Fuente de alimentación por batería; la batería va en la parte superior del controlador. Hay que ver que coincidan los pines de la batería con el puerto 8 Pin Mini-DIN del controlador; con la llave hexagonal (2 mm) proceder a sujetar la batería al controlador, el ajuste se lo hace por medio de los (dos) agujeros que se encuentran en la parte superior de la batería.

2. Fuente de alimentación por el módulo; el adaptador conectar entre el toma corriente del panel de control y el controlador; y encender el interruptor del panel de control indicado.

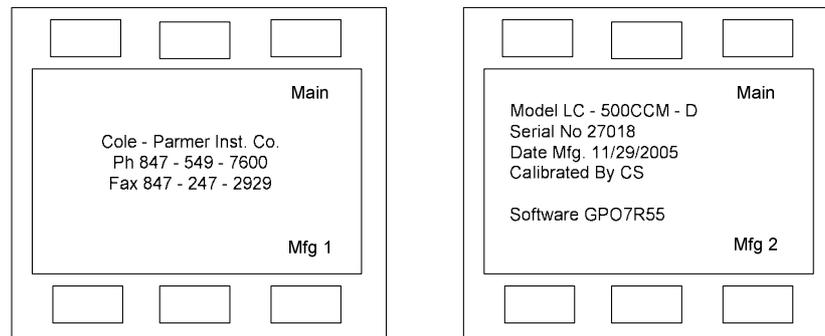
Encendido el controlador se observa la figura de la izquierda, donde indica la presión, temperatura, Set point y volumen; cuando se presiona el botón MODE la pantalla enseñara la figura de la derecha que es la selección del menú, Control Set up da las opciones para dar el set point, Comm. RS232 opciones de comunicación para el puerto serial RS232, Mfg Data da información técnica del controlador, Main regresa ala pantalla de modo principal.



Presionar el botón Comm. RS232 en la pantalla indica la figura mostrada abajo; al presionar Select permite seleccionar entre Unit, Baud y Date Rate, estas características se modifica con los botones UP y DOWN de acuerdo con lo que se necesite; al presionar Comm. RS232 se regresa a la selección de menú; al presionar Main se retorna ala pantalla de modo principal.

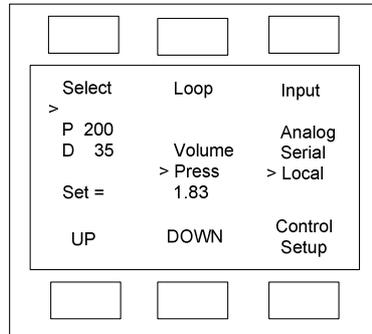


Al presionar el botón Comm. RS232 se retorna a la selección de menú, presionar Mfg. Data en la pantalla indica la figura de la izquierda mostrada abajo que indica información de la compañía; al presionar Mfg 1 en la pantalla indica la figura de la derecha mostrada abajo que indica información técnica del instrumento. Al presionar Mfg 2 se regresa a selección de menú.



Presionar Control Set up indicara la pantalla la figura de bajo; al presionar Input permite dar el set point por tres maneras Analógico, Serial o Local. La selección se hace cuando la flecha indique la opción. Analógico hace referencia a dar el set point por medio del potenciómetro que se encuentra en el panel de control (Hay que conectar el cable 8 Pin Mini-DIN). Serial hace referencia a dar el set point digital por medio de la conexión de serie a un ordenador o PLC. Local hace referencia a dar el set point localmente por medio de los botones UP y DOWN. Presionar Select se puede elegir P, D,

AUTOOn/ AUTOOff donde indique la flecha; se puede cambiar estos valores con lo botones UP y DOWN.



Muestran un mensaje de error (VOV sobre rango de flujo, POV sobre rango de presión, TOV sobre rango de temperatura) cuando un parámetro medido exceda el rango de los sensores en el dispositivo. Cuando destelle cualquier registro en la pantalla reducir el valor a límites especificados.

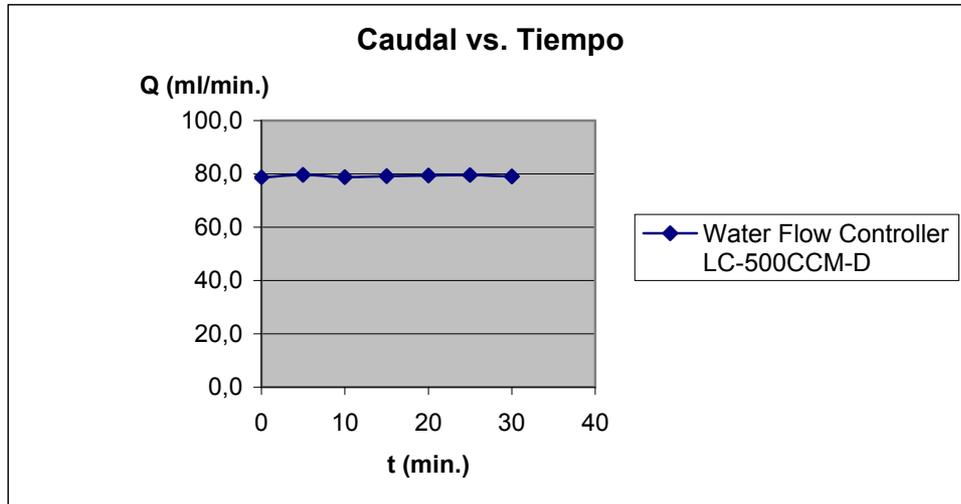
- Después de haber aprendido a operar y programar este instrumento se procede a tabular los datos de caudal en la siguiente tabla.

Water Flow Controller LC-500CCM-D			
Set Point			
Tiempo	Volumen	Tiempo	Caudal
t (min.)	V (ml)	t (min.)	Q (ml/min)
0	80	1,016	78,7
5	80	1,004	79,7
10	80	1,015	78,8
15	80	1,010	79,2
20	80	1,007	79,4
25	80	1,005	79,6
30	80	1,012	79,1

- Una vez terminado el laboratorio apagar la bomba, desconectar todos los accesorios requeridos y el Banco de la fuente de alimentación.

Análisis y Resultados

Realizar la gráfica Caudal vs. Tiempo.



Esta curva Caudal vs. Tiempo representa que la electroválvula permanece en una posición constante, y no varía la posición con el tiempo.

Conclusiones y Recomendaciones

(Las conclusiones y recomendaciones se deja al estudiante, para que de su criterio del laboratorio).

Bibliografía

- [1] www.coleparmer.com
- [2] Cole Parmer, Operating Manual

LABORATORIO N° 4

Tema: Medidor de Flujo de Masa Térmico

Objetivo General

- Conocer el principio de funcionamiento del Medidor de Flujo de Masa Térmico.

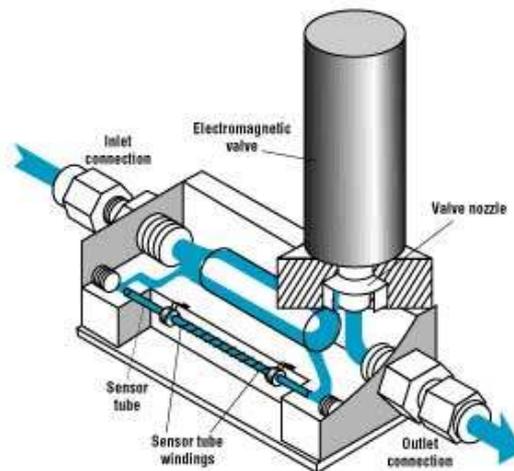
Objetivos Específicos

- Programar y operar Mass Flow Controller GFC17
- Realizar la curva Caudal vs. Tiempo y Volumen vs. Tiempo.

Marco Teórico

Medidores de Flujo de Masa

La mayoría de medidores de masa térmicos para gas son basados en el principio de diseño siguiente; una corriente de gas se desplaza en la cámara del medidor y divide inmediatamente en dos trayectorias de flujo diferentes. La mayor parte del gas atravesará a través de un tubo en derivación, pero una fracción de ese gas atraviesa a través de un tubo de sensor capilar especial, que contiene dos bobinas de temperatura.



Medidor de Flujo Másico

Se introduce flujo de calor a dos secciones del tubo capilar por medio de estas dos bobinas devanadas. Cuando el gas fluya a través del dispositivo, lleva calor de la bobina corriente arriba a la bobina corriente abajo. El diferencial de la temperatura resultante crea un cambio de resistencia proporcional en los bobinados del sensor.

Se utilizan circuitos especiales, tal como el puente de Wheatstone, para monitorear la resistencia instantánea de cada uno de los bobinados del sensor. El cambio de resistencia, creado por la temperatura diferencial, es amplificado y calibrado para dar una lectura digital del flujo.

El medidor de flujo de masa está disponible con una válvula integrada para aplicaciones de control de flujo. Esta tiene en cuenta control y programación externa de un set point para un punto de flujo crítico. La mayoría de medidores de flujo de masa también tiene una señal de salida analógica o digital para registrar la tarifa de flujo. El promedio de exactitud de los medidores de flujo de masa es de $\pm 1.5-2\%$ de la escala máxima de flujo.

Ventajas:

La principal ventaja de un medidor de flujo de masa para corriente de gas es está habilidad (sin limitaciones) para “ignorar” la fluctuación y cambio en la temperatura y presión. Los medidores de flujo de masa o flujo molecular, se oponen a los de flujo volumétrico.

Una forma más intuitiva de entender medidores volumétricos versus másicos es imaginar un balón lleno de gas. Aunque se pueda cambiar el volumen del globo, la masa del gas contenido en el interior del globo permanece constante. Así está el flujo de masa tan opuesto a flujo volumétrico.

Un medidor área variable mide flujo volumétrico. El flujo en el tubo refleja el volumen de gas que pasa de la entrada a la salida. Este volumen puede cambiar cuándo el gas cambia de temperatura y presión. Porque un medidor de flujo de masa está midiendo la masa real de gas que pasa desde la entrada a la salida, hay dependencia muy pequeña en las fluctuaciones de temperaturas y presiones. Si usted está en la conexión un gas caro, usted por supuesto querría mantener registrada la cantidad de gas utilizada basada en masa, y no volumétrica que fluyera.

Los fabricantes de medidores de flujo de masa miden la capacidad de sus productos de resistir presiones y temperaturas cambiantes dando coeficientes que declaran la desviación de exactitud por cambio de grado o psi. Por ejemplo los valores de coeficiente típicos son el error del 0.10% por °C, y el error del 0.02% por psi. Esto quiere decir que cada cambio de grado o psi lejos de las condiciones de calibración del medidor de masa degradará la exactitud por estas cantidades de

coeficiente. De modo que, aunque hay una dependencia de presión y la temperatura para un medidor de masa, este es muy pequeño, es insignificante. Esta es la mayor ventaja de un medidor de flujo de masa. Otro es que no hay ninguna parte móvil para desgastarse.

Desventajas:

Aparte del hecho que el gas que atraviesa a través del medidor de flujo de masa debería ser seco y libre de materia particulada, no hay ninguna desventaja principal a la tecnología de flujo de masa. Medidores de Flujo de masa debe ser calibrado para una mezcla de gas o gas dado.

Aplicaciones:

Las aplicaciones para medidores de flujo de masa son diversas pero aquí están algunas utilizaciones típicas:

- Monitoreando y controlando flujo de aire durante cromatografía de gas.
 - Monitoreando CO₂ para embalaje de comida.
 - Entrega y control de gas para fermenters y bioreactors.
 - Prueba contra fugas.
 - Monitoreo de flujo de hidrógeno (por ejemplo en el uso general de la industria).
 - Control de metano o argón para gases de mecheros.
 - Mezcla del aire en productos de lechería.
 - Regulando CO₂ inyectado en botellas durante producción de bebida.
 - Entrega y control de nitrógeno para separador sedimentario de mantas.
-

Experimentación

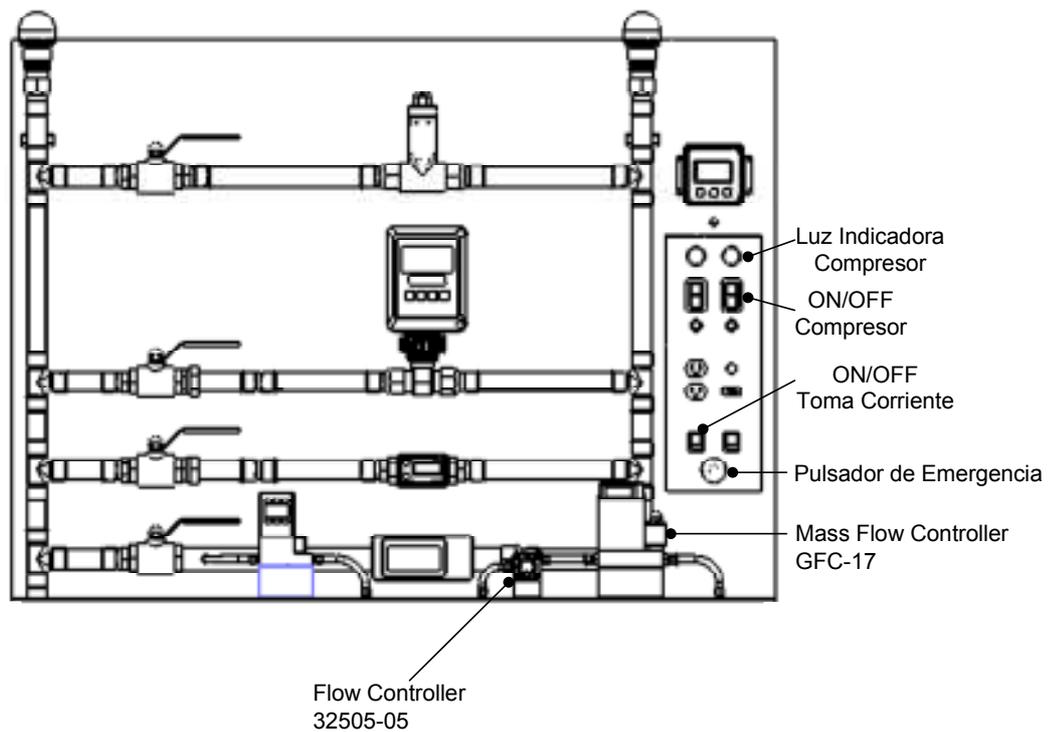
Instrumentos:

- Flow Controller 32505-05
- Mass Flow Controller GFC17
- Totalizer TOT1-10

Accesorios:

- Adaptador AC/DC
- Cable en derivación
- Cable de extensión
- Cronómetro

Esquema



Procedimiento

- Realizar la operación que debe hacerse para utilizar el sistema de aire del Banco de Pruebas de Caudal.
- Encender el compresor

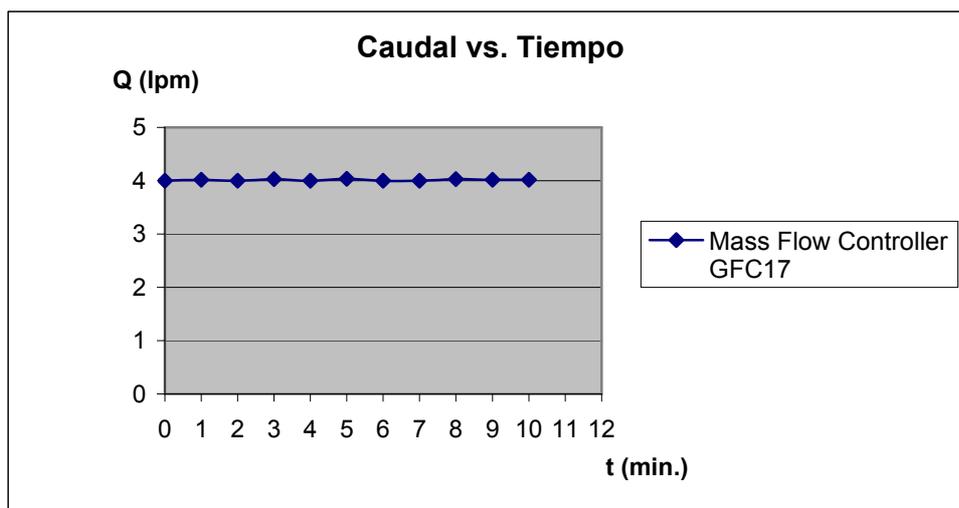
- Verificar si el controlador de flujo esta cerrado
 - Conectar el adaptador AC/DC al controlador de flujo de masa, encender el toma corriente, durante 15 minutos debe estar encendido el Mass Flow Controller GFC-17 antes de empezar el laboratorio. Esto se debe a que el medidor de flujo de masa debe estar caliente para que opere en condiciones normales.
 - En la parte posterior del banco se calibra la presión de salida del aire del tanque del compresor (Tiene que ser mayor a 50 psig esto por el controlador de flujo).
 - Una ves que se ha llenado el tanque del compresor; abrir el controlador de flujo y dar el set point analógico con un destornillador pequeño, este se da en la parte derecha, a lado de válvula, si se gira en sentido a las manecillas del reloj se aumenta el valor del set point.
 - Encerar el contador presionando el botón reset.
 - Con el cronómetro, se anota los valores del contador en un intervalo de tiempo en la tabla siguiente. En la tabla siguiente se detalla los valores de set point y presión.
-

Mass Flow Controller GFC17		
Presión	60 psig	
Set point	4 lpm	
Tiempo (min.)	Caudal (lpm)	Volumen (l)
0	4,00	0
1	4,02	4
2	4,00	8
3	4,03	12
4	4,00	16
5	4,04	20
6	4,00	24
7	4,00	28
8	4,03	32
9	4,02	36
10	4,02	40

- Una vez terminado el laboratorio apagar el compresor, desconectar todos los accesorios requeridos y desconectar el Banco de la fuente de alimentación.

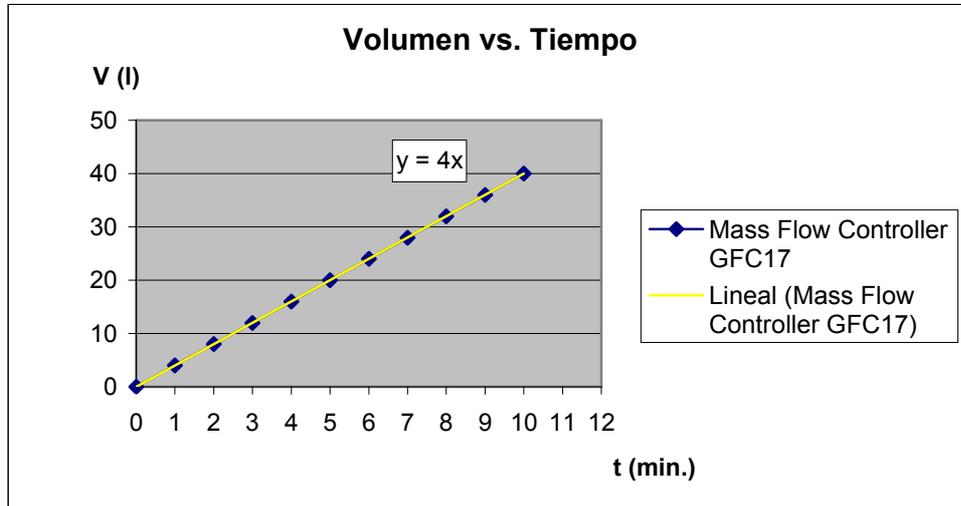
Análisis y Resultados

Realizar la gráfica Caudal vs. Tiempo y Volumen vs. Tiempo.



Al tomar los datos de lectura del set point se observa que no es constante a pesar de dar el set point, esto se debe a que el tanque del compresor se estaba

quedando vacío, el automático se encendía del compresor por lo el caudal variaba cuando se encendía el compresor.



Al realizar la curva volumen tiempo tomando los datos de volumen del contador y con ayuda del Excel se obtiene la ecuación de la curva, cuya pendiente significa el caudal que circula por el controlador.

Conclusiones y Recomendaciones

(Las conclusiones y recomendaciones se deja al estudiante, para que de su criterio del laboratorio).

Bibliografía

- [1] AALBORG, GFC Mass Flow Controller, 2004
- [2] AALBORG, Totalizer, 2004
- [2] www.coleparmer.com

CAPÍTULO VIII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1 Conclusiones

- Para medir la variable flujo o caudal de un fluido se vale de fenómenos físicos que produce este fluido así como las propiedades del fluido al circular por un conducto abierto o cerrado, fenómenos físicos que se producen al accionar el flujo con los elementos primarios, que nos dan señales que van a los transmisores, transductores, convertidores y por ultimo a los receptores donde nos indica el valor de la variable medida.
- Para cualquier instalación y montaje, en este caso instrumentos de caudal debe hacerse un estudio minucioso de cada uno de ellos para obtener las necesidades de estos y así empezar el proyecto (Tener información técnica detallada), que es lo que se necesita para empezar a realizarlo.
- Al estudiar todos los instrumentos adquiridos, se tubo que manipular con dos tipos de fluidos (agua y aire) por lo que fue necesario estudiarlos a estos de tal manera funcionen exitosamente con los instrumentos.
- Costos de este Banco están constituidos por la suma de los materiales directos, mano de obra directa, costos generales en resumen el estado de costo del bien producido; está clasificación de costos separa los costos de manufactura de los administrativos y de venta, dando entonces una idea que el costo se elevaría.
- Banco de Pruebas de Caudal consta con instalaciones independientes (agua, aire) e instalación dependiente es la electricidad, presta la facilidad al estudiante al realizar los laboratorios.

- La distribución de cada uno de los instrumentos está en función a las siguientes condiciones: teoría (desde lo mas sencillo a lo mas complejo), espacio físico (dimensión de los instrumentos, distancia rectas de tuberías aguas arriba y abajo, etc.), operación (ubicados para ser operados con mínima dificultad), y mantenimiento (fácil acceso a los instrumentos y accesorios).
- Los laboratorios realizados en este Banco ayuda a entender el principio de funcionamiento y la correcta operación de cada uno de los instrumentos; desde la operación y mantenimiento del banco en general hasta la específica de cada uno de los instrumentos.

8.2 Recomendaciones

- Los medidores Flow Rate/Toralizer Display 33112-50, Flow Monitor HB28SBM y Flowmeter G2A10N09GMA, la alimentación de estos es por baterías al realizar la compra remitirse a catálogos de los instrumentos o las características que se encuentra impresas en cada batería.
- Antes de proceder a encender la bomba, una de las válvulas debe estar abierta para prevenir daños a la bomba; a demás las válvulas de aire deben estar cerradas para evitar fugas de agua por ellas.
- Al profesor guía o asistente debe tomar las debidas precauciones ya que el Banco de Caudal trabajo con agua y electricidad, debe revisar las conexiones cuidadosamente y evitar distracción o mal uso de los instrumentos pues poseen alto costo.

- Realizar periódicamente el cambio de agua del tanque de alimentación y descarga si se lo utiliza diariamente o una vez utilizado desfogar al agua, para tener el agua en condiciones aptas.
- En el Laboratorio de Instrumentación hace necesario de implementar tomas de agua y desagües para facilitar al estudiante en el llenado y vaciado del tanque de alimentación y descarga.