



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO

“IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA LA MEDICIÓN DE CAUDAL EN FLUJO CERRADO PARA EL LABORATORIO DE INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO”

**NÚÑEZ URQUIZO ANGEL JAVIER
VALDIVIEZO CARGUACUNDO FREDDY PAUL**

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO DE MANTENIMIENTO

RIOBAMBA – ECUADOR

- 2014-

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS

2013-01-20

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

ANGEL JAVIER NÚÑEZ URQUIZO

Titulada:

**“IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA LA MEDICIÓN
DE CAUDAL EN FLUJO CERRADO PARA EL LABORATORIO DE
INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA DE
MANTENIMIENTO”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO DE MANTENIMIENTO

Ing. Marco Santillán Gallegos.

DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Dr. Marco Haro Medina.
DIRECTOR DE TESIS

Ing. Ángel Ramírez Alomía.
ASESOR DE TESIS

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS

2013-01-20

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

FREDDY PAULVALDIVIEZO CARGUACUNDO

Titulada:

**“IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA LA MEDICIÓN
DE CAUDAL EN FLUJO CERRADO PARA EL LABORATORIO DE
INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA DE
MANTENIMIENTO”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO DE MANTENIMIENTO

Ing. Marco Santillán Gallegos.

DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Dr. Marco Haro Medina.
DIRECTOR DE TESIS

Ing. Ángel Ramírez Alomía.
ASESOR DE TESIS

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: ANGEL JAVIER NÚÑEZ URQUIZO

TÍTULO DE LA TESIS: “IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA LA MEDICIÓN DE CAUDAL EN FLUJO CERRADO PARA EL LABORATORIO DE INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO”

Fecha de Examinación: 2014-05-27

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Manuel González Puente PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Dr. Marco Haro Medina DIRECTOR DE TESIS			
Ing. Ángel Ramírez Alomía ASESOR			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Ing. Manuel González Puente
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: FREDDY PAUL VALDIVIEZO CARGUACUNDO

TÍTULO DE LA TESIS: “IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA LA MEDICIÓN DE CAUDAL EN FLUJO CERRADO PARA EL LABORATORIO DE INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO”

Fecha de Examinación: 2014-05-27

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Manuel González Puente PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Dr. Marco Haro Medina DIRECTOR DE TESIS			
Ing. Ángel Ramírez Alomía ASESOR			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES:

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Ing. Manuel González Puente
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

DERECHOS DE AUTORÍA

El trabajo de grado que presentamos, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teóricos - científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Angel Javier Núñez Urquiza

Freddy Paul Valdiviezo Carguacundo

DEDICATORIA

A mis padres Angel y Gladys, a mi hermana Cristina, a mis abuelitos Manuel Núñez e Isabel Vallejo, quienes han sido pilares fundamentales para la consecución de esta meta, con su infinito amor y su interminable apoyo me han fortalecido día tras día para salir adelante, pese a cualquier vicisitud.

Angel Javier Núñez Urquizo

A Dios por haberme permitido llegar a cumplir una meta más y haberme dado salud, además de su infinita bondad y amor. A mi familia por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por su amor.

A mis amigos que supieron darme su apoyo cuando lo necesitaba y que siempre estuvieron ahí. A todos aquellos que ayudaron directa o indirectamente a realizar este documento.

Freddy Paul Valdiviezo Carguacundo

AGRADECIMIENTO

A Dios y a mis padres por su amor, generosidad, comprensión, apoyo y por brindarme la oportunidad de existir para ellos las gracias interminables. A mi hermana por sus sabios e importantes consejos. Al Dr. Marco Haro y al Ing. Ángel Ramírez por guiarnos en la realización de este trabajo. A mis amigos, quienes siempre estuvieron apoyándonos durante estos años haciendo más llevadera la vida estudiantil.

A la ESPOCH y en especial a la Escuela de Ingeniería de Mantenimiento por formarme como persona y como profesional haciendo posible que este sueño sea una realidad, muchas gracias de corazón.

Angel Javier Núñez Urquizo

En primer lugar quiero agradecer a Dios, por haberme guiado por el camino correcto, dándome fuerzas y fe para seguir adelante. A mis padres, Luis y Carmita, que fueron el pilar fundamental ya que con su esfuerzo y dedicación supieron sacarme adelante, con su ejemplo me guiaron por camino del bien, llegando a hacer lo que ahora soy. A mis hermanos, Henry, Verito, Nelly, que supieron compartir conmigo los mejores momentos de mi vida.

A mí querida institución "ESPOCH", ya que en ella me forje para ser un gran profesional, a mi director y asesor de tesis que con su ayuda puede culminar uno de mis objetivos más importantes en formación académica. A mis amigos, Ángel N., Ángel V., Andrés G., Adriano M., Juan Carlos R., José P., gracias a todos por esos momentos de alegría en las aulas de clase.

Freddy Paul Valdiviezo Carguacundo

CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN	
1.1 Antecedentes	1
1.2 Justificación.....	1
1.3 Objetivos	2
1.3.1 <i>Objetivo general</i>	2
1.3.2 <i>Objetivos específicos:</i>	2
2. MARCO TEÓRICO	
2.1 Introducción a la tecnología del caudal.....	3
2.1.1 <i>Clasificación de los fluidos.</i>	3
2.1.2 <i>Caudal.</i>	4
2.1.3 <i>Fluidos en movimiento.</i>	5
2.1.4 <i>Pérdidas en sistemas de tuberías.</i>	7
2.2 Medición de caudal en flujo cerrado	12
2.2.1 <i>Partes del medidor de caudal</i>	12
2.2.2 <i>Aplicaciones de la medición de flujo</i>	12
2.2.3 <i>Criterios para la selección de medidores de caudal.</i>	13
2.3 Clasificación de los medidores de caudal	13
2.3.1 <i>Medidores volumétricos.</i>	13
2.3.2 <i>Medidores másicos.</i>	14
2.4 Especificaciones técnicas de los instrumentos de medición	15
2.4.1 <i>Medidor de desplazamiento positivo (B-METERS: LXSG).</i>	15
2.4.2 <i>Medidor de turbina (GPI: 01N31GM NYLON TURBINE FLOWMETER).</i>	16
2.4.3 <i>Medidor magnético (KOBOLD: MIK-5NA35KC34N).</i>	17
2.4.4 <i>Medidor ultrasónico(KOBOLD: DUK-11N6HC34NR).</i>	19
3. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS	
3.1 Diseño del sistema cerrado de caudal	22
3.1.1 <i>Selección del tipo de motobomba.</i>	22
3.1.2 <i>Selección del tipo de válvulas.</i>	28
3.1.3 <i>Selección del tanque de almacenamiento y distribución de agua.</i>	30
3.1.4 <i>Selección del tipo de tubería y accesorios.</i>	31
3.1.5 <i>Selección del tipo de manómetro.</i>	33
3.2 Diseño del sistema eléctrico	34
3.2.1 <i>Selección de los elementos eléctricos.</i>	34
3.3 Diseño de la estructura para el banco de pruebas.....	37
3.3.1 <i>Selección de los materiales para la estructura.</i>	38
4. INSTALACIÓN Y MONTAJE DEL BANCO DE PRUEBAS	
4.1 Procedimiento para el montaje e instalación del banco de pruebas.....	40

4.1.1	<i>Sistema cerrado de caudal</i>	41
4.1.2	<i>Sistema eléctrico</i>	44
4.1.3	<i>Sistema electrónico</i>	46
4.2	Calibración de los medidores de caudal	47
4.2.1	<i>Exactitud requerida</i>	47
4.2.2	<i>Clases de exactitud y errores máximos permitidos</i>	47
5.	PUESTA EN MARCHA, PRUEBAS Y RESULTADOS	
5.1	Régimen de pruebas sobre el equipo	49
5.1.1	<i>Verificación de conexiones eléctricas</i>	49
5.1.2	<i>Verificación de conexiones electrónicas</i>	50
5.1.3	<i>Verificación de conexiones hidráulicas</i>	50
5.1.4	<i>Inspección de sujeción en uniones atornilladas y empernadas</i>	51
5.1.5	<i>Inspección de sujeción en uniones soldadas</i>	51
5.1.6	<i>Control de las dimensiones físicas</i>	51
5.1.7	<i>Control del caudal constante de servicio</i>	52
5.1.8	<i>Control de fugas</i>	52
5.2	Funcionamiento y registro de resultados por instrumento y conjunto	52
5.2.1	<i>Funcionamiento y registro de resultados por instrumento</i>	53
5.2.2	<i>Funcionamiento y registro de resultados en grupos</i>	58
6.	ELABORACIÓN DEL MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	
6.1	Manual de operación	67
6.1.1	<i>Indicaciones generales de seguridad</i>	67
6.1.2	<i>Consideraciones preliminares</i>	68
6.1.3	<i>Diagrama de proceso</i>	69
6.2	Manual de mantenimiento	70
6.2.1	<i>Banco de tareas de mantenimiento</i>	71
6.2.2	<i>Procedimiento para la ejecución de las tareas de mantenimiento</i>	72
7.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
7.1	Conclusiones	73
7.2	Recomendaciones	74

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
1 Fórmulas para el cálculo de λ	9
2 Rugosidad absoluta de materiales	10
3 Clasificación de los medidores de caudal	14
4 Medidor de desplazamiento positivo B-METERS: BY LXSG	15
5 Medidor de turbina GPI: 01N31GM (Nylon turbine flowmeter).....	16
6 Medidor magnético-inductivo KOBOLD: MIK-5NA35KC34N	18
7 Medidor ultrasónico KOBOLD: DUK-11N6HC34NR	19
8 Distancias de cada tramo del sistema cerrado de caudal	23
9 Coeficientes	23
10 Constantes de proporcionalidad k	25
11 Pérdidas por velocidad y rozamiento.....	25
12 Pérdidas totales en la descarga	26
13 Criterios para la selección de motobombas	27
14 Datos de placa de la motobomba periférica.....	27
15 Criterios para la selección de válvulas.....	28
16 Válvula de esfera SK.....	28
17 Válvula de globo MUELLER 106-005NL.....	29
18 Válvula check vertical YORK CW617N.....	29
19 Válvula de pie SIMMONS 453-SB	30
20 Lista de accesorios y materiales del banco de pruebas.....	32
21 Manómetro PAOLO.....	33
22 Interruptor de corriente	34
23 Contactor.....	35
24 Especificaciones del acero AISI/SAE 1010.....	38
25 Inspección de sujeción en uniones soldadas.....	51
26 Control de las dimensiones físicas	51
27 Control del caudal constante de servicio	52
28 Lectura medidor ultrasónico	54
29 Lectura medidor magnético	55
30 Lectura medidor de turbina.....	56
31 Lectura medidor de desplazamiento positivo.....	58
32 Lectura 1 del grupo 1	59
33 Lectura 2 del grupo 1	60
34 Lectura 1 del grupo 2	61
35 Lectura 2 del grupo 2	62
36 Lectura 1 del grupo 3	63
37 Lectura 2 del grupo 3	64
38 Lectura 1 del grupo 4	65
39 Lectura 2 del grupo 4	66
40 Banco de tareas de mantenimiento para el banco de pruebas	71
41 Inspección y limpieza de la motobomba periférica.....	72

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
1 Cálculo del caudal.....	4
2 Flujo de corriente permanente.....	5
3 Flujo de corriente variable.....	6
4 Flujo de corriente rotacional e irrotacional.....	6
5 Flujo de corriente uniforme.....	6
6 Flujo de corriente no uniforme.....	7
7 Clasificación de pérdidas en sistemas de tuberías.....	7
8 Rugosidad absoluta en tuberías.....	10
9 Diagrama de Moody.....	11
10 Banco de pruebas.....	21
11 Tramos del sistema cerrado de caudal.....	22
12 Tanque de almacenamiento y distribución de agua.....	31
13 Pulsadores de encendido y apagado.....	35
14 Lámparas indicadoras.....	36
15 Cable conductor AWG #16.....	36
16 Interruptor.....	36
17 Cable de timbre AWG #22.....	37
18 Estructura base del banco de pruebas.....	37
19 Cortes realizados en la plancha de madera.....	39
20 Sistemas del banco de pruebas.....	40
21 Esquema eléctrico del circuito de control.....	45
22 Esquema eléctrico del circuito de potencia.....	46
23 Multímetro.....	50
24 Flexómetro.....	51
25 Medidor ultrasónico.....	53
26 Gráfica caudal vs tiempo del medidor ultrasónico.....	54
27 Medidor magnético.....	55
28 Gráfica caudal vs tiempo del medidor magnético.....	55
29 Medidor de turbina.....	56
30 Gráfica caudal vs tiempo del medidor de turbina.....	57
31 Medidor de desplazamiento positivo.....	57
32 Gráfica caudal vs tiempo del medidor de desplazamiento positivo.....	58
33 Grupo 1: Medidor ultrasónico y medidor de desplazamiento positivo.....	59
34 Gráfica caudal vs tiempo del grupo 1 (lectura 1).....	59
35 Gráfica caudal vs tiempo del grupo 1 (lectura 2).....	60
36 Grupo 2: Medidor ultrasónico y medidor de turbina.....	61
37 Gráfica caudal vs tiempo del grupo 2 (lectura 1).....	62
38 Gráfica caudal vs tiempo del grupo 2 (lectura 2).....	62
39 Grupo 3: Medidor magnético y medidor de desplazamiento positivo.....	63
40 Gráfica caudal vs tiempo del grupo 3 (lectura 1).....	64
41 Gráfica caudal vs tiempo del grupo 3 (lectura 2).....	64
42 Grupo 4: Medidor magnético y medidor de turbina.....	65
43 Gráfica caudal vs tiempo del grupo 4 (lectura 1).....	66
44 Gráfica caudal vs tiempo del grupo 4 (lectura 2).....	66
45 Señalética de seguridad industrial.....	68
46 Diagrama de proceso del banco de pruebas.....	70

SIMBOLOGÍA

d	Distancia de la tubería	ft
Q	Caudal	ft ³ /s
A	Área	ft ²
v	Velocidad del fluido	ft/s
h_f	Pérdidas de carga primaria	ft
L	Longitud de la tubería	ft
D_i	Diámetro interno de la tubería	ft
g	Gravedad	ft/s ²
ν	Viscosidad cinemática del fluido	ft ² /s
ρ	Densidad del fluido	lb/ft ³
μ	Viscosidad dinámica del fluido	Pa.s
ε	Rugosidad absoluta	ft
h_{ps}	Pérdidas secundarias	ft
h_{ed}	Altura estática en la descarga	ft
h_{pd}	Pérdidas en la descarga	ft
h_v	Pérdidas de velocidad	ft
h_a	Pérdidas en los accesorios	ft
P_T	Potencia teórica	HP
P_R	Potencia real	HP
h_t	Altura total	ft
V_T	Volumen total	lt
Rm	Resistencia a la tracción	MPa
Re	Límite de fluencia	MPa
λ	Coefficiente de pérdida de carga primaria	
k	Constante de proporcionalidad de forma	
Rr	Rugosidad relativa	
Re	Número de Reynolds	
γ	Gravedad específica	
η	Eficiencia	

LISTA DE ABREVIACIONES

AISI	Instituto Americano de Hierro y Acero (American Iron and Steel Institute)
DIN	Instituto Alemán de Normalización (Deutsches Institut für Normung)
FNPT	Rosca Nacional para Tubos tipo Hembra (Female National Pipe Thread)
GPI	Great Plains Industries
GPM	Galones por Minuto (Gallons per Minute)
IEC	Comisión Internacional Electrotécnica (International Electrotechnical Commission)
INEN	Instituto Ecuatoriano de Normalización
ISO	Organización Internacional de Normalización (International Organization for Standardization)
LPM	Litros por Minuto (Liters per Minute)
M1	Medidor Ultrasónico
M2	Medidor Magnético
M3	Medidor de Turbina
M4	Medidor de Desplazamiento Positivo
MDF	Tablero de Fibra de Media Densidad (Medium Density Fiberboard)
MNPT	Rosca Nacional para Tubos tipo Macho (Male National Pipe Thread)
MPa	Mega Pascales
NBR	Caucho Nitrilo (Nitrile Butadiene Rubber)
NC	Normalmente Cerrado
NEC	Código Eléctrico Nacional (National Electrical Code)
NO	Normalmente Abierto
NPT	Rosca Nacional para Tubos (National Pipe Thread)
NTE	Norma Técnica Ecuatoriana
OIML	Organización Internacional de Metrología Legal (International Organization of Legal Metrology)
PE	Polietileno
PEEK	Poliéter Éter Cetona
PPS	Polisulfuro de Fenileno
PSI	Libra-Fuerza por Pulgada Cuadrada (Pounds-Force per Square Inch)
PVC	Policloruro de Vinilo (Polyvinyl Chloride)
SAE	Sociedad de Ingenieros Automotrices (Society of Automotive Engineers)

VAC	Voltaje de Corriente Alterna
VDC	Voltaje de Corriente Directa
S1	Pulsador 1
S2	Pulsador 2
LED	Diodo Emisor de Luz (Light-Emitting Diode)

LISTA DE ANEXOS

- A** Norma Técnica Ecuatoriana para el espesor en tuberías de PVC de cédula 80
- B** Propiedades del agua a varias temperaturas
- C** Constante de proporcionalidad para accesorios
- D** Constante de proporcionalidad para válvulas
- E** Método gráfico para determinar el factor de rozamiento
- F** Normativas para la instalación de medidores de caudal
- G** Guías de práctica de laboratorio
- H** Banco de tareas de mantenimiento

RESUMEN

Se ha ejecutado la implementación de un banco de pruebas para la medición de caudal en flujo cerrado para el laboratorio de instrumentación industrial de la Escuela de Ingeniería de Mantenimiento, con el propósito de incentivar el conocimiento en los estudiantes con la aplicación práctica de la teoría referente a la medición de caudal mediante la realización de prácticas de laboratorio.

El banco de pruebas cuenta con los siguientes componentes: cuatro medidores de caudal volumétricos (desplazamiento positivo, turbina, magnético, ultrasónico), bomba periférica monofásica, válvula de globo, check vertical, once válvulas de esfera, tubería PVC cedula 80 de una pulgada de diámetro, accesorios para tuberías en PVC de una pulgada (codos, uniones universales, tee's, neplos, uniones, uniones reductoras, pasadores, juntas), manómetro y un tanque de agua de vidrio de 6mm. de espesor. Para el control y accionamiento del equipo se utilizó un tablero eléctrico y fuentes de alimentación de 24 Vdc.

Como consecuencia de la construcción, montaje e instalación del banco de pruebas, se realizaron pruebas de funcionamiento las mismas que corroboraron la efectiva operatividad de cada uno de los medidores de caudal instalados en el banco, además se elaboraron guías de práctica de laboratorio, manuales de operación y mantenimiento que ayudarán tanto al docente como al estudiante a conservar y mantener en perfectas condiciones la funcionalidad operacional del equipo.

Se recomienda al estudiante leer detenidamente el manual de operación y mantenimiento antes de la utilización del banco de pruebas, esto ayudará a comprender el funcionamiento del equipo y servirá para minimizar cualquier error en su manipulación.

ABSTRACT

The implementation of a test bench for measuring the closed flow rate was executed to the industrial instrumentation laboratory of the Maintenance Engineering School, in order to encourage students with knowledge in the practical application of the theory concerning to the flow rate measurement by performing laboratory practice.

The test bench has the following components: Four volumetric flow meters (positive displacement, turbine, magnetic, ultrasonic), peripheral pump single phase, globe valve, vertical check, eleven ball valves, PVC pipes schedule 80 with a one inch diameter, PVC pipe fittings in an inch (elbows, universal unions, tees, pipe nipples, unions, reducing unions, cotter pins, mechanical seals), manometer and a glass water tank of 6mm thick. For control and drive the team board and power supply 24 Vdc is used.

As a result of the construction, assembly and installation of the test bench, test runs were performed to corroborate the same effective operation of each of the flow meters installed in the test bench also guides were developed lab manuals operation and maintenance that will help both the teacher and the student to keep and maintain in good condition the operational functionality of the device.

Students are recommended to read the operations and maintenance manual carefully before the use of the test bench; this will help to understand the operation of the equipment and will serve to minimize any error handling.

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

La instrumentación industrial ha permitido significativos avances tecnológicos en el campo de la ciencia en aspectos tales como: los viajes espaciales, la automatización de los procesos industriales y muchos otros que han facilitado la concepción del mundo moderno en que vivimos, convirtiéndose en una rama de la ingeniería de suma importancia a la hora de verificar en realidad lo que está sucediendo en un proceso en particular y ayudar a determinar si el mismo va encaminado hacia el resultado proyectado.

Es por ello que hoy en día es impensable la existencia de industria alguna que no maneje sistemas de instrumentación para el control, medición y registro de las variables existentes en sus procesos, todo esto con el fin de optimizar los recursos utilizados en ellos.

En vista que dichas operaciones exigen altos estándares de calidad, los instrumentos de medición son herramientas indispensables que ayudan a conseguir, conservar y mejorar dichos parámetros, logrando de esta forma satisfacer las especificaciones del producto en lo que respecta a composición, forma y acabado.

1.2 Justificación

De acuerdo a los continuos avances tecnológicos en todos los campos de la industria, es prioritario disponer de un banco de pruebas para la medición de caudal en flujo cerrado que complemente la formación académica del estudiante.

En consecuencia surge la necesidad de conocer y entender el funcionamiento, así como el adecuado manejo, manipulación y mantenimiento de los diversos instrumentos empleados para la medición de caudal en flujo cerrado dentro del control de procesos.

Los mismos que a la par con los fundamentos teóricos adquiridos en las aulas, permitirá a través de la realización de prácticas de laboratorio desarrollar en el estudiante de la carrera de Ingeniería de Mantenimiento destrezas y habilidades que le permitan asumir y enfrentar los innumerables retos y desafíos presentes en el ámbito laboral.

El presente trabajo se enmarca dentro de la quinta línea de investigación de la ESPOCH concretamente en el literal d, correspondiente al programa para el desarrollo de automatización y control de procesos industriales. Fundamentándose en un proceso de adaptación tecnológica que encaja dentro de los criterios pertinentes para el cambio de la matriz productiva del país, que persigue la solución de las necesidades actuales y futuras del sector educativo y productivo a través del desarrollo de nuevos conocimientos.

1.3 Objetivos

1.3.1 *Objetivo general.* Implementar un banco de pruebas para la medición de caudal en flujo cerrado para el laboratorio de Instrumentación Industrial de la escuela de Ingeniería de Mantenimiento.

1.3.2 *Objetivos específicos:*

Detallar los tipos de instrumentos más comunes empleados en la industria para la medición de caudal.

Conocer las características más importantes que deben tener el equipo y los accesorios para el banco de pruebas.

Seleccionar los materiales y elementos necesarios para su construcción.

Desarrollar guías para prácticas de laboratorio.

Elaborar un manual y plan de mantenimiento.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Introducción a la tecnología del caudal

En la gran mayoría de procesos industriales encontramos la presencia de los fluidos, ya sea porque intervienen de manera directa en un proceso en especial o porque forman parte de los sistemas secundarios contiguos al proceso, en vista de aquello se hace imperativo llevar un registro de contabilización del fluido en gran parte del tiempo.

Un fluido según su comportamiento mecánico, se define como una sustancia incapaz de soportar esfuerzo cortante alguno, si éste se presenta, el fluido se deforma y seguirá deformándose hasta que exista dicho esfuerzo.

Además, como flujo se entiende, al movimiento de un fluido con relación a un sistema de coordenadas pasivo, usualmente localizado en un contorno sólido. (SALDARRIAGA, 2007 pág. 2)

2.1.1 Clasificación de los fluidos. Todos los gases y líquidos reciben el nombre de "fluido" de aquí su clasificación general, además los fluidos pueden clasificarse según sus propiedades físicas (RAMÍREZ, 2006), así tenemos:

Por el grado de deformación:

- Newtonianos
- No Newtonianos

Por el estado de la materia:

- Líquidos
- Gases

Por la variación de la densidad:

- Compresibles
- Incompresibles

Por su interpretación física para el análisis:

- Reales
- Ideales

Por el valor de su viscosidad:

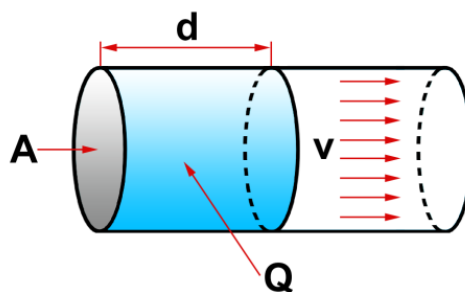
- De baja viscosidad
- Medianamente viscoso
- Muy viscoso

2.1.2 Caudal. El fluido más común existente en los distintos procesos industriales es el agua, cuya propiedad física llamada viscosidad no varía con la deformación, pero si puede ser alterada con el cambio de temperatura. Es así que se lo considera también como fluido newtoniano.

Para poder utilizar el agua dentro de un proceso específico, se requiere emplear bombas para su distribución, las cuales extraen y a la vez expulsan el fluido mediante conductos hasta llegar a su destino final.

La cantidad de fluido que circula en un sistema por unidad de tiempo, determina la cantidad de caudal que llega a las diferentes instalaciones sean agrícolas, comerciales, domésticas e industriales (MOTT, 2006 pág. 154), es decir:

Figura 1. Cálculo del caudal



Fuente: Los autores.

Dónde:

- = Área de la tubería.
- = Distancia de tubería.
- = Caudal.
- = Velocidad del fluido.

La interpretación gráfica nos expresa que el caudal es igual al volumen que circula en un tiempo determinado, así obtenemos la siguiente ecuación: (CABRERA, 2007)

—

Siendo el volumen, el área de la tubería por la distancia de la misma, la ecuación nos queda:

—

Si la distancia sobre una unidad de tiempo es igual a la velocidad, finalmente la ecuación quedaría de la siguiente manera: (MOTT, 2006 pág. 154)

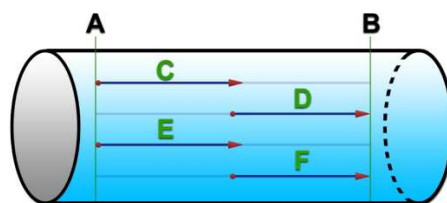
(1)

El caudal suministrado a las diferentes instalaciones, se mide en el sistema internacional en .

2.1.3 Fluidos en movimiento. Como se ha podido apreciar los fluidos no son de un solo tipo, y al momento que estos forman parte de un proceso, generan una cantidad de caudal que se debe suministrar al proceso, ocasionando a su vez que este produzca un tipo de movimiento en su interior, así tenemos: (CRANE, 1989 págs. 4,5)

Flujo de corriente permanente (estacionario). Se tiene un flujo de corriente permanente, si la velocidad del fluido en cualquier punto no varía con el tiempo, estas condiciones pueden lograrse cuando las velocidades del flujo son pequeñas. (KHOURI, 2004 pág. 37)

Figura 2. Flujo de corriente permanente

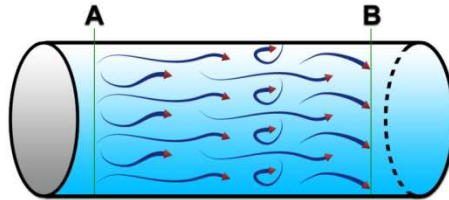


Fuente: Los autores.

Flujo de corriente variable (no estacionario). Se dice que existe un flujo de corriente variable, si la velocidad del fluido es una función del tiempo en cualquier punto dado, es como un remolino, es decir las velocidades varían de forma errante de punto a

punto, estas condiciones se consiguen cuando las velocidades de flujo son altas.(KHOURI, 2004 pág. 37)

Figura 3. Flujo de corriente variable

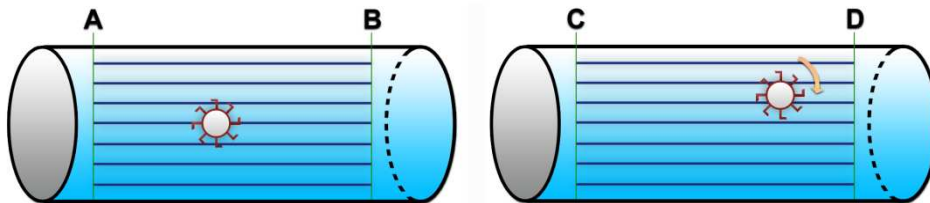


Fuente: Los autores.

Flujo de corriente rotacional e irrotacional. Si un componente de un fluido (de un volumen mínimo) no presenta una velocidad angular neta, el flujo del fluido se lo considera irrotacional, caso contrario es rotacional.(DOMINGO, 2011 pág. 26)

Imaginemos una pequeña rueda de paletas sumergida en un líquido que fluye, si la rueda de paletas se mueve sin girar, el movimiento es irrotacional, si gira, el movimiento es rotacional. El flujo rotacional incluye al movimiento vertical, como en los remolinos.

Figura 4. Flujo de corriente rotacional e irrotacional



Fuente: Los autores.

Flujo de corriente uniforme. Si en puntos semejantes, cualquier sección transversal a la corriente es idéntica en dirección y magnitud, obtendremos un flujo de corriente uniforme.(KHOURI, 2004 pág. 38)

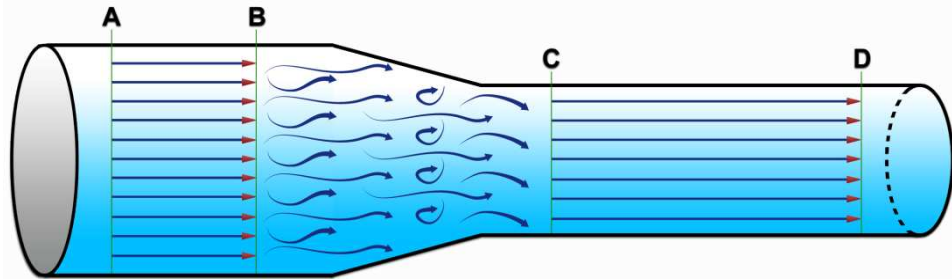
Figura 5. Flujo de corriente uniforme



Fuente: Los autores.

Flujo de corriente no uniforme. En flujo de corriente no uniforme, la velocidad aumenta conforme disminuye la sección de la reducción (antes y después de la reducción el fluido es uniforme). (KHOURI, 2004 pág. 38)

Figura 6. Flujo de corriente no uniforme



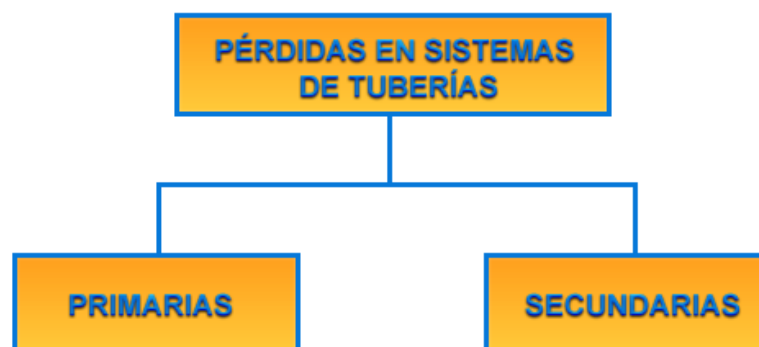
Fuente: Los autores.

En vista de lo anteriormente expuesto podemos inferir que, la variedad de movimientos generados por el fluido dependerá no solo de la velocidad con la que este circule a través de una tubería, sino también del acabado interno de la misma (liso o rugoso) lo cual logrará incidir en el movimiento que genere el fluido a través del ducto.

2.1.4 Pérdidas en sistemas de tuberías. El acabado interno de la tubería genera a su vez pérdidas en la energía durante el flujo, siendo la pérdida de energía cinética del flujo el parámetro más importante, entre los otros parámetros que influyen en estas pérdidas son: los geométricos, la longitud y el diámetro.

En los sistemas de tuberías tenemos dos clases de pérdidas de energía de flujo: (RAMÍREZ, 2006)

Figura 7. Clasificación de pérdidas en sistemas de tuberías



Fuente: Los autores.

2.1.4.1 Pérdidas primarias. Estas pérdidas “de superficie”, se ocasionan por contacto entre la superficie de la tubería con el fluido, por el rozamiento entre capas del fluido o entre las partículas del fluido. (RAMÍREZ, 2006)

Dentro de las pérdidas primarias tenemos los siguientes cálculos:

Ecuación de DARCY. Establece la fórmula de pérdidas de carga primaria. (MOTT, 2006 pág. 230)

$$h_f = \lambda \frac{Lv^2}{D_i 2g} \quad (2)$$

Dónde:

h_f = Pérdidas de carga primaria.

λ = Coeficiente de pérdida de carga primaria.

L = Longitud de la tubería.

D_i = Diámetro interno de la tubería.

v = Velocidad media del fluido.

g = Gravedad.

Ecuación de FANNO. Determina el coeficiente de pérdida de carga primaria. (SHAMES, 1995 pág. 333)

$$\lambda = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{Rr}{3.7} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^2} \quad (3)$$

Dónde:

Rr = Rugosidad relativa.

Re = Número de Reynolds.

Esta ecuación está dada para un rango determinado de Rr y Re :

$$5 * 10^3 \leq Re \leq 10^8 \quad y \quad 10^{-6} \leq \frac{\varepsilon}{D} \leq 10^{-2}$$

Otras formas parar determinar λ :

Tabla 1. Fórmulas para el cálculo de λ

TUBERÍAS	RÉGIMEN	FÓRMULA	AUTOR
Lisas y rugosas	Laminar	$\lambda = \frac{64}{Re}$	Paiseulle
Lisas y rugosas	Turbulento $5 * 10^3 \leq Re \leq 10^8$ $10^{-6} \leq Rr \leq 10^{-2}$	$\lambda = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{Rr}{3.7} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^2}$	Fanno
Lisas	Turbulento $Re < 100.000$	$\lambda = \frac{0.316}{Re^{1/4}}$	Blasius
Lisas	Turbulento (zona de transición)	$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2 \log_{10}(Re\sqrt{\lambda}) - 0.8$	Karman-Prandtl (1era. ecuación)
Rugosas	Turbulento (zona final)	$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -\log_{10} \left[\frac{\frac{\varepsilon}{D}}{3.7} + \frac{2.51}{Re\sqrt{\lambda}} \right]$	Colebrook
Rugosas	---	$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2 \log_{10} \frac{D}{\varepsilon} + 1.74$	Karman-Prandtl (2da. ecuación)

Fuente: https://www5.uva.es/guia_docente/uploads/2012/389/51453/1/Documento6.pdf.

El coeficiente de pérdida de carga primaria (λ) depende de 2 factores:

Número de Reynolds. De acuerdo a las investigaciones de Osborne Reynolds, es posible pronosticar el flujo turbulento o laminar si se conoce la magnitud de un número adimensional, al que en la actualidad se lo conoce como el número de Reynolds, el cual puede estimarse como; la relación de fuerzas dinámicas de la masa del fluido, respecto de los esfuerzos de deformación ocasionados por la viscosidad cinemática, que depende de la temperatura del fluido. (MOTT, 2006 pág. 230)

$$Re = \frac{vD_i}{\nu} \quad \text{ó} \quad Re = \frac{\rho v D_i}{\mu} \quad (4)$$

Dónde:

v = Velocidad media del fluido.

D_i = Diámetro interior de la tubería.

ν = Viscosidad cinemática del fluido.

ρ = Densidad del fluido.

μ = Viscosidad dinámica del fluido.

Rugosidad relativa. Se conoce como, el cociente de la rugosidad absoluta dividida por el diámetro interior de la tubería. (SORIANO Albert, 2012 pág. 38)

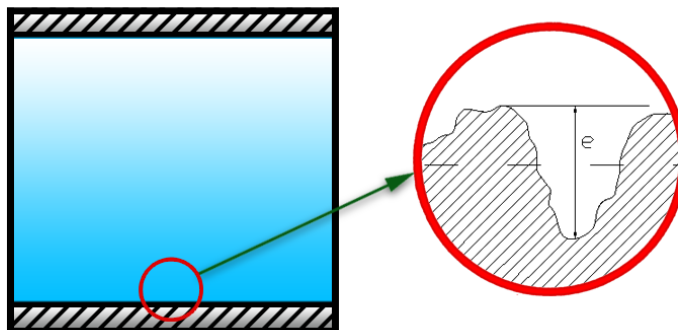
(5)

Dónde:

= Rugosidad absoluta.

= Diámetro interior de la tubería.

Figura 8. Rugosidad absoluta en tuberías



Fuente: Los autores.

Tabla 2. Rugosidad absoluta de materiales

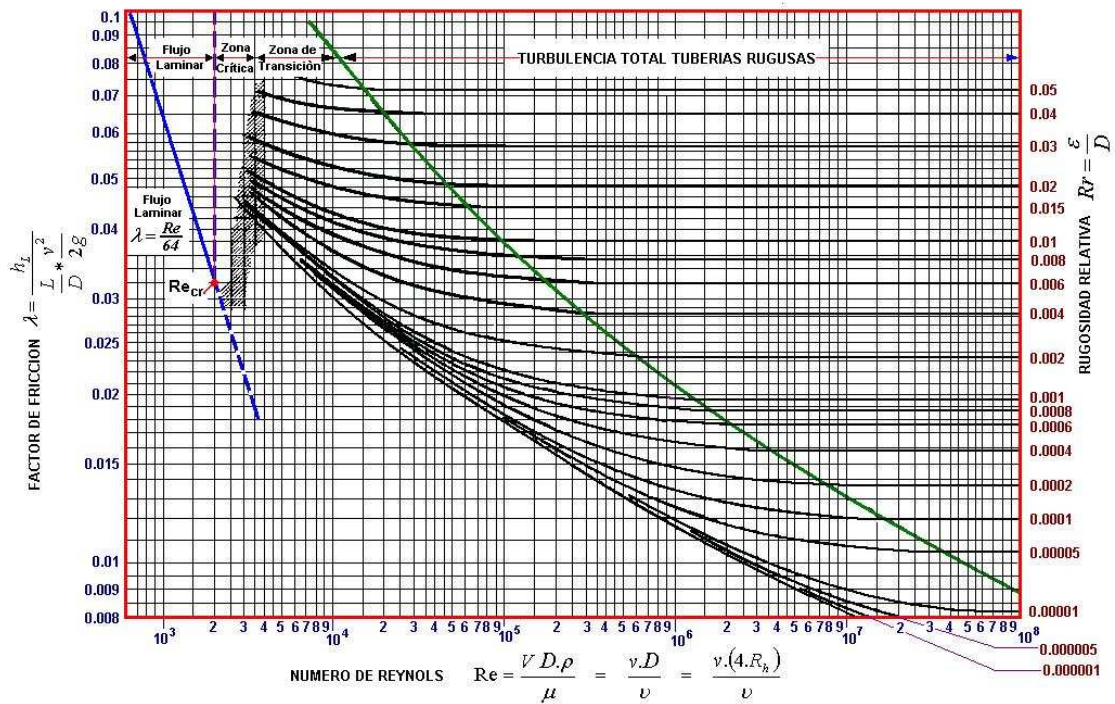
RUGOSIDAD ABSOLUTA DE MATERIALES			
MATERIAL	(mm)	MATERIAL	(mm)
Plástico (PE, PVC)	0,0015	Fundición asfaltada	0,06 – 0,18
Poliéster reforzado con fibra de vidrio	0,01	Fundición	0,12 – 0,60
Tubos estirados de acero	0,0024	Acero comercial y soldado	0,03 – 0,09
Tubos de latón o cobre	0,0015	Hierro forjado	0,03 – 0,09
Fundición revestida de cemento	0,0024	Hierro galvanizado	0,06 – 0,24
Fundición con revestimiento bituminoso	0,0024	Madera	0,18 – 0,90
Fundición centrifugada	0,003	Hormigón	0,3 – 3,0

Fuente: http://www.uclm.es/area/ing_rural/Hidraulica/Temas/TablaRugosidadAbsolutaMateriales.pdf

Diagrama de Moody. Representa gráficamente (en escala logarítmica) el factor de fricción (f), en función de la rugosidad relativa y el número de Reynolds.

Está elaborado en base a algunas ecuaciones según el régimen del fluido sea éste laminar o turbulento. (MOTT, 2006 págs. 236,238,239)

Figura 9. Diagrama de Moody



Fuente: L.F. Moody, Trans. ASME, Vol. 66, 1994.

2.1.4.2 Pérdidas secundarias. Son las pérdidas generadas por la forma geométrica de los conductos, causadas por los cambios bruscos en la dirección del flujo, además en toda clase de accesorios así como cambios súbitos en los diámetros de la tubería. Las pérdidas secundarias en los accesorios de tuberías son proporcionales a la energía cinética ($v^2/2g$), de donde se deduce la fórmula: (RAMÍREZ, 2006)

$$h_{ps} = k \times \frac{v^2}{2g} \quad (6)$$

Dónde:

h_{ps} = Pérdidas secundarias.

k = Constante de proporcionalidad de forma.

v = Velocidad antes del accesorio.

g = Gravedad.

La constante de proporcionalidad k depende de: la rugosidad, tipo de accesorio y de la composición de la corriente de flujo antes y después del accesorio en que se produce la pérdida.

2.2 Medición de caudal en flujo cerrado

Los instrumentos tanto de control como de medición de caudal permiten y ayudan a la regulación de diferentes magnitudes dentro de los procesos industriales como son la presión, nivel, temperatura, etc. Además de facilitar las operaciones de mantenimiento.

2.2.1 Partes del medidor de caudal.(HARO, 2007 págs. 3,4) Se denomina instrumento al dispositivo, aparato o medio físico capaz de generar una señal de medición, atendiendo a características metrológicas normalizadas, de modo que esta señal pueda ser utilizada para reproducir el valor de la variable medida de forma directa o indirecta.

De acuerdo a lo expresado, los instrumentos se constituyen de los siguientes elementos:

- El elemento sensor o sensible.
- Medios de transmisión.
- El elemento final (indicador, registrador, controlador).

2.2.2 Aplicaciones de la medición de flujo.(DOEBELIN, 2005) En relación a lo manifestado por el autor Ernest Doebelin en su obra "Sistemas de Medición Diseño y Aplicación", divide en tres categorías importantes a las aplicaciones de medición de flujo:

Monitoreo de procesos y operaciones. Cuando los instrumentos de medición se utilizan única y exclusivamente para medir cantidades. (Barómetros, termómetros etc.)

Control de procesos y operaciones. En el momento en que se menciona a un sistema automático de control por retroalimentación es decir, cuando se tiene que medir la variable que se necesita controlar y cotejarla con un valor deseado y en base al error maniobrar el elemento final de control de tal forma que impulse la variable controlada a alcanzar el valor requerido.

Análisis de ingeniería. Se refiere al desarrollo e investigación, apoyado a la vez en pruebas de laboratorio para obtener respuestas a diferentes interrogantes.

2.2.3 Criterios para la selección de medidores de caudal. Para la selección correcta de un medidor de caudal, se precisa del conocimiento tanto de la tecnología de fabricación del medidor, como del proceso y del fluido que se pretenda medir, por lo que se establecen algunos parámetros: (U.T.N., 2013 pág. 2)

- Rango de caudales a cubrir.
- Precisión requerida (debe especificarse para todo el rango).
- Repetibilidad requerida.
- Ambiente en que se realizará la medición.
- Tipo de salida eléctrica requerida.
- Pérdida de carga aceptable.
- Presupuesto (Costo del instrumento, costo de la energía necesaria para operarlo, costo de instalación (adaptación de sistemas de control, paneles, etc.), costo de mantenimiento, costo de la instrumentación asociada, Costo de mano de obra calificada.
- Tipo de fluido a medir.
- Linealidad.
- Velocidad de respuesta.

En el momento en que la medición del caudal, se emplea con el propósito de registrar cierta cantidad de consumo, los valores obtenidos tendrán que ser altamente precisos y confiables, teniendo presente siempre la tarifa económica y la legislación vigente en la localidad. La medición del caudal en flujo cerrado, radica en especificar la cantidad de volumen circulante a través de la tubería por unidad de tiempo. (GARCÍA, 2001 págs. 21,22)

2.3 Clasificación de los medidores de caudal

2.3.1 Medidores volumétricos. En base a la obra "Instrumentación Industrial" del autor Antonio Creus, esta clase de medidores de caudal volumétrico, pueden obtener el caudal de volumen del fluido a través de dos maneras: directamente mediante dispositivos de desplazamiento positivo, e indirectamente mediante dispositivos de área variable, presión diferencial, fuerza, velocidad, etc. (CREUS, 1997 pág. 92)

2.3.2 Medidores máscicos. En concordancia con lo manifestado por Antonio Creus, la determinación del caudal máscico, puede llevarse a cabo a partir de una medida volumétrica, compensándola para las variaciones de densidad del flujo, o bien determinando directamente el caudal máscico, aprovechando la característica medible de la masa del fluido. (CREUS, 1997 págs. 179,180) Los instrumentos que realizan la medición del caudal se los conoce por lo general como; medidores de caudal o como caudalímetros, dentro de los cuales se tiene la siguiente clasificación:

Tabla 3. Clasificación de los medidores de caudal

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 fuerza. 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 MÁSCICOS		
SISTEMA	ELEMENTO	TRANSMISOR
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

Fuente:(CREUS, 1997 págs. 91,92).

2.4 Especificaciones técnicas de los instrumentos de medición

2.4.1 Medidor de desplazamiento positivo (B-METERS: LXSG).

Principio de funcionamiento. Según el autor Ennys Amaya en su obra titulada "Instrumentación industrial" detalla que, los medidores de desplazamiento positivo son dispositivos que aíslan la corriente de flujo en segmentos volumétricos individuales. Un volumen conocido de fluido, se aísla mecánicamente en el elemento del medidor y es transportado desde la entrada de éste hasta su salida, llenando y vaciando alternadamente los compartimientos o cámara del medidor. Las partes mecánicas del medidor se mueven aprovechando la energía del fluido.

El volumen total de fluido que pasa a través del medidor en un período de tiempo dado es el producto del volumen de la muestra por el número de muestras. Los medidores de flujo de desplazamiento positivo frecuentemente totalizan directamente el flujo en un contador integral, pero también pueden generar una salida de pulsos que puede ser leída localmente o transmitida a una sala de control. (AMAYA Ennys, 1997 pág. 137)

El medidor de caudal (B-METERS: BY LXSG) trabaja bajo el conocido principio de rueda de paletas. La rueda de seis paletas se apoya axialmente en un cojinete. La rueda de paletas es puesta en movimiento por el medio fluyente.

Los magnetos están acoplados y herméticamente sellados en los extremos de las paletas. El tiempo de rotación es proporcional a la velocidad de flujo de agua, por lo tanto, el volumen total que pasa a través del medidor de agua se registra.

Tabla 4. Medidor de desplazamiento positivo B-METERS: BY LXSG



Continuación Tabla 4

Modelo	BY LXSG
Tipo	Desplazamiento positivo.
Posición de instalación	Horizontal
Unidad de medida	m ³
Rango de flujo	0,03 – 3 m ³ /h
Presión de trabajo	10 bar.
Sensibilidad	7-10 L.P.H.
Temperatura de trabajo	4°C ... 50°C
Tipo de conector	Tubo: NPT ½"
	Tuerca: G ¾"
Materiales	
Cuerpo del medidor	Latón (DIN 1706 ref. MS60)

Fuente: Los autores.

Aplicaciones.

- Sistemas de agua y en servicios donde la precisión no es muy importante. Son requeridos cuando se necesita totalizar el volumen que pasa por el medidor.

2.4.2 Medidor de turbina (GPI: 01N31GM NYLON TURBINE FLOWMETER).

Principio de funcionamiento. De acuerdo a la información proporcionada por el fabricante del medidor de turbina, podemos señalar que, dicho medidor cuenta con una rueda de turbina, la cual gira dentro del dispositivo a una velocidad que es proporcional al caudal del fluidocensado.

Además, los insertos de ferrita acoplados a las aspas del rotor, emiten pulsos que son detectados por inducción y convertidos electrónicamente para ser posteriormente visualizados en el display.

Tabla 5. Medidor de turbina GPI: 01N31GM (Nylon turbine flowmeter)

	
Marca	GPI
Modelo	01N31GM

Continuación Tabla 5

Tipo	Turbina
Posición de instalación	Horizontal
Unidad de medida	Galones
Rango de flujo	3-30 GPM (10-100) LPM
Presión de trabajo	150 PSI (10,2 BAR)
Precisión	± 5,0% de la lectura
Repetibilidad	± 0,5%
Temperatura de funcionamiento	-10 °C ... +55 °C
Tipo de conector	NPT 1" (macho)
Materiales	
Cuerpo del medidor y rotor	Nylon
Rodamientos	Cerámica
Eje	Carburo de tungsteno
Anillos	Acero inoxidable 316
Generador de señal	Ferrita

Fuente: Los autores.

Aplicaciones.

- Aditivos, combustibles, petróleo, químicos no agresivos.
- Productos farmacéuticos, perfumes.
- Agua, agua desmineralizada.
- Industria alimentaria en general.

2.4.3 Medidor magnético (KOBOLD: MIK-5NA35KC34N).

Principio de funcionamiento. De acuerdo a la información proporcionada por el fabricante, el dispositivo opera bajo el principio de medición de inducción magnética. Según la ley de inducción de Faraday un voltaje se induce un conductor moviéndose a través de un campo magnético. El fluido eléctricamente conductivo actúa como el conductor en movimiento.

El voltaje inducido en el fluido es proporcional a la velocidad del caudal y es por consiguiente un valor de caudal volumétrico, el medio fluyente debe tener una mínima conductividad.

El voltaje inducido es detectado y enviado al amplificador de medición, por dos electrodos que están en contacto con el fluido. El caudal se calcula en base al área transversal de la tubería.

Tabla 6. Medidor magnético-inductivo KOBOLD: MIK-5NA35KC34N



Marca	KOBOLD
Modelo	MIK-5NA35KC34N
Tipo	Magnético inductivo
Rango	2,5 – 50,0 litros/min
Precisión	± 2,0%
Repetibilidad	± 1,0%
Posición de montaje	Horizontal
Temperatura del fluido	-20 °C ... +80 °C
Máximapresión	10 bar
Alimentación	24 V _{DC} ± 20 %, 3 hilos
Consumo de energía	120 mA
Conexión eléctrica	Enchufe M12x1
Materiales	
Cuerpo del sensor	Polisulfuro de fenileno (PPS)
Kit de conexión	Conexión engomado de PVC
Sello	Nitrilo (NBR)

Fuente: Los autores.

Aplicaciones.

Estos medidores se aplican ampliamente para el monitoreo, medición, dosificación y conteo de caudal en:

- Líquidos combinados con agua, manipulación depasta, procesos altamente corrosivos.
- En la industria de: la construcción, química, automóvil, pintura, alimentos (leche, mezclas de helados), cerveza, café, desechos, papel.
- Productos viscosos y en donde la medición de flujo de proceso es difícil.

2.4.4 Medidor ultrasónico(KOBOLD: DUK-11N6HC34NR).

Principio de funcionamiento. De acuerdo a la información proporcionada por el fabricante, el dispositivo funciona por el principio de diferencia en el tiempo de ejecución. Al realizar una medición diagonal en una sección de tubería, si aumenta el caudal, se necesitará más tiempo para medir si la medición es contra la corriente, y un menor lapso de tiempo para medir si es en dirección de la medición.

Dos sensores montados uno frente al otro sobre la tubería, hacen la función simultáneamente de transmisor y receptor de las señales ultrasónicas. La velocidad del flujo, influye directamente entre los tiempos de flujo tanto en dirección de la corriente, como en contra de la misma. El dispositivo emplea este efecto para precisar tanto el caudal como la velocidad del flujo.

Tabla 7. Medidor ultrasónico KOBOLD: DUK-11N6HC34NR



Marca	KOBOLD
Modelo	DUK-11N6HC34NR
Tipo	Ultrasónico
Rango	0,25 – 63,0 litros/min
Precisión	± 0,7%
Repetibilidad	± 0,1%
Posición de montaje	Horizontal
Temperatura del fluido	-20 °C ... +90 °C
Máxima presión	16 bar
Alimentación	24 V _{DC} ± 20 %
Consumo de energía	100 mA
Conexión eléctrica	Enchufe M12x1
Materiales	
Cuerpo del sensor	Latón
Sensor	PEEK
Sello	Nitrilo (NBR)

Fuente: Los autores.

Aplicaciones.

ERROR: syntaxerror
OFFENDING COMMAND: %ztokenexec_continue

STACK:

false