

**DISEÑO DE UN BANCO DE ENSAYO PARA LA MEDICIÓN DE FLUJO DE
AGUA BASADO EN LA NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 1063.**

ANDRES RICARDO LATORRE CARVAJAL

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
SECCIONAL BUCARAMANGA
ESCUELA DE INGENIERÍAS
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
2012**

**DISEÑO DE UN BANCO DE ENSAYO PARA LA MEDICIÓN DE FLUJO DE
AGUA BASADO EN LA NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 1063.**

ANDRES RICARDO LATORRE CARVAJAL

PROYECTO DE GRADO

**JUAN CARLOS MANTILLA SAAVEDRA
DIRECTOR DEL PROYECTO**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
SECCIONAL BUCARAMANGA
ESCUELA DE INGENIERÍAS
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
2012**

Nota de Aceptación

Firma de Presidente del Jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Bucaramanga, Octubre 2012

Bucaramanga, Octubre 2012

A Dios, por darme la vida, la salud, la gracia de crecer en una familia, de mis amigos que me han acompañado, por darme la fuerza y la oportunidad de alcanzar mis metas y logros.

A mi mamá Rosmary que siempre estuvo a mi lado, enseñándome, escuchándome, apoyándome en cada decisión, haciendo su mayor esfuerzo y creyendo en mí.

A mis hermanos Sebastián, Maryory, que juntos fueron mi conciencia y mi determinación para alcanzar cada meta, logro, y sueños.

A Nayibe Ortega por su paciencia, ayuda, consejos y su compañía en momentos difíciles.

Al Ingeniero Juan Carlos Mantilla, por su apoyo, paciencia y determinismo que le pone a cada tesis, por el acompañamiento durante desarrollo con su experiencia, conocimientos y buen humor.

Al Ingeniero Emil Hernández Arroyo por su, colaboración, amabilidad, conocimientos, y experiencia en torno a la variable caudal, manejo de bombas y pérdidas de presión en tuberías.

A los Ingenieros que me brindaron la orientación en las etapas de diseño del banco de ensayo para la medición de flujo, en la instrumentación, manejo de software y normas técnicas.

Andrés Ricardo Latorre Carvajal.

AGRADECIMIENTOS

Al Ingeniero Juan Carlos Mantilla por la cordialidad, orientación, y la disposición con el cual me apoyó en las diferentes situaciones que se presentaron en el desarrollo del proyecto.

Agradezco al ingeniero Emil Hernández Arroyo, que con su experiencia me asesoro y aconsejo en todo el transcurso de la ejecución del proyecto.

A la ingeniera Leidy Johanna Olarte Silva, por su tiempo, colaboración, apoyó y paciencia.

Al los ingenieros que nos colaboraron y personal de mantenimiento que me orientaron y aconsejaron en todos los aspectos necesarios en el desarrollo del proyecto.

CONTENIDO

	Pag
INTRODUCCIÓN	1
1. FLUJO	2
1.1. DEFINICIÓN Y GENERALIDADES	2
1.1.1. Clasificación de los fluidos	3
a. Flujo laminar o estacionario.	4
b. Flujo turbulento.	4
c. Flujo ideal	4
d. Flujo permanente y uniforme	5
2. EQUIPOS Y MÉTODOS PARA LA MEDICIÓN DE FLUJO	6
2.1. CARACTERÍSTICAS DE LOS MEDIDORES DE CAUDAL	6
2.1.1. Terminología	6
2.1.2. Clasificación de los medidores de flujo	8
2.2. EVALUACION DE LAS DIFERENTES TÉCNICAS	10
2.2.1. Área variable Rotámetros	11
2.2.2. Presión diferencial	13
a. Placas de orificio	14
b. Tobera	21
c. Tubo Venturi	22
d. Tubo Pitot	24
2.2.3. Medidores de Velocidad	27
a. Medidor tipo turbina	27

b. Medidor tipo ultrasónico	26
2.2.4. Medidor por tensión inducida tipo electromagnético	34
2.2.5. Medidores másicos	44
a. Momento Angular	44
b. Efecto Coriolis	45
c. Dispersión térmica	48
3. NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 1063	51
3.1. DEFINICIÓN Y ESTUDIO DE LA NTC 1036	51
3.2. NTC 1063-1 ESPECIFICACIONES DE LOS MEDIDORES DE FLUJO PARA AGUA	52
3.2.1 Términos y definiciones	52
3.2.2. Características técnicas	60
3.2.3. Requisitos metrológicos	61
3.2.4. Rangos de medición	61
3.2.5. Relación entre el caudal permanente (Q_3) y el caudal de sobrecarga. ..	61
3.2.6. Relación entre el caudal de transición (Q_2) y el caudal mínimo (Q_1) ...	62
3.2.7. Caudal de referencia	62
3.2.8. Error máximo permisible (EMP)	62
3.2.9. Condiciones de operaciones nominales (CON)	64
a. Temperatura del agua	64
b. Clases de presión de los medidores	64
c. Rango de presión de trabajo	64
d. Rango de trabajo de temperatura ambiente	64

e. Rango de trabajo de humedad ambiente	64
f. Rango de trabajo de la fuente de alimentación.....	65
g. Sensibilidad del medidor en el perfil de flujo	65
3.2.10. Requisitos para medidores electrónicos o con dispositivos electrónicos.....	65
3.2.11. Requisitos técnicos de los medidores de agua	67
3.2.12. Rotulado descriptivo	70
3.3. NTC 1063-2 REQUERIMIENTOS DE INSTALACIÓN	72
3.3.1 Términos y definiciones	72
3.3.2. Criterios de selección para medidores de flujo de agua	72
3.3.3. Información que debe suministrar el fabricante	73
3.3.4. Accesorios asociados	74
a. Aguas arriba del medidor	74
b. Aguas abajo del medidor	74
3.3.5. Instalación de los medidores de agua	75
a. Requisitos específicos	75
b. Calidad del agua	76
c. Instalación de medidores electromagnéticos	76
3.3.6. Perturbaciones hidráulicas	77
a. Tipos de perturbaciones	77
b. Técnicas para eliminar perturbaciones	77
3.3.7. Primera operación de medidores de flujo de agua	79
a. Protecciones generales.....	79

b. Anclaje de la tubería	80
3.4. NTC 1063-3 EQUIPOS Y MÉTODOS DE ENSAYO.....	81
3.4.1. Términos y definiciones	81
3.4.2. Requisitos y condiciones comunes a todos los ensayos	82
a. Otras condiciones de referencia	83
3.4.3. Ensayo para determinar los errores de indicación de los medidores ..	84
a. Precauciones durante el ensayo	84
b. Configuraciones especiales para la instalación de los medidores	84
3.4.4. Dispositivo de referencia para la calibración	86
a. Incertidumbre total del volumen real	86
b. Volumen mínimo	86
3.4.5. Lecturas del medidor	86
3.4.6. Errores intrínsecos de la indicación	87
3.4.7. Irregularidades en los ensayos en el campo de velocidad	88
a. Preparación y procedimiento de ensayo	88
b. Criterios de aceptación	89
c. Interpretación de los resultados.....	89
3.4.8. Ensayos de pérdida de presión	89
a. Procedimiento de ensayo.....	91
b. Criterios de aceptación	92
3.5. ENSAYO PARA MEDIDORES DE FLUJOS DE AGUA ELECTRÓNICOS Y MECÁNICOS CON DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS NTC 1063-3	93
3.5.1. Requisitos generales	93

a. Equipos bajo ensayos	93
b. Medidores volumétricos y medidores de agua tipo turbina	94
c. Medidores de flujo de agua electromagnético	95
d. Medidores ultrasónicos, medidores Coriolis, medidores fluidicos, etc	95
3.5.2. Ensayo bajo un ambiente climático y mecánico	95
a. Calor seco (sin condensación)	95
b. Ensayo frío	97
C. Ensayo de vibración (aleatoria)	98
3.5.3. Pruebas bajo un ambiente electromagnético	99
a. Descarga electrostática.....	99
b. Otros ensayos bajo ambientes electromagnéticos	100
3.5.4. Ensayo de la fuente de alimentación	101
a. Variación de potencia de c.a.....	101
3.5.5. Programa de ensayo para aprobación de patrones NTC 1063-3	102
3.6. INFORMACIÓN DE LOS INFORMES DE ENSAYOS NTC 1063	103
3.6.1. Datos de identificación de los ensayos que se debe incluir en todos los informes.....	103
a. Contenido del un informe de aprobación de patrones	104
4. INGENIERÍA DE DETALLE DEL BANCO DE ENSAYO PARA LA MEDICIÓN DE FLUJO Y PÉRDIDAS DE PRESIÓN	108
4.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL BANCO	108
4.1.1. Sistema de calibración	108
4.1.2. Medidores de flujo que pueden ser evaluados	110

4.1.3. Banco propuesto	111
4.2. Diagrama de instrumentación del banco de flujo	114
4.2.1. Instrumentación Requerida.....	117
4.3. Descripción de los componentes del banco	118
4.3.1. Línea de ensayo calibración	118
a. Sistema generador de bombeo.....	118
b. Tanque de abastecimiento o almacenamiento.....	121
c. Medidor de referencia.....	121
4.3.2. Descripción de los componentes del banco de ensayo de pérdidas o caídas de presión.....	123
a. Pérdidas por circulación	124
b. Pérdidas por tramos con diferentes codos y accesorios	128
c. Pérdidas por diferentes clases de válvulas.....	131
d. Cámara anulares.....	135
RECOMENDACIONES.....	139
CONCLUSIONES	140
BIBLIOGRAFÍA	142
ANEXOS.....	146

LISTA DE TABLAS

	Pag
Tabla 1. Clasificaciones de los Medidores Volumétricos	8
Tabla 2. Clasificaciones de los Medidores Caudal Masa.....	9
Tabla 3. Ventajas y Limitaciones de los Rotámetros	12
Tabla 4. Hoja de cálculos de placas de orificios para el fabricante.....	19
Tabla 5. Ventajas y limitaciones de una placa de orificio.....	20
Tabla 6. Ventajas y limitaciones Tobera	22
Tabla 7. Ventajas y limitaciones del tubo Venturi	24
Tabla 8. Ventajas y limitaciones del tubo Pitot.	26
Tabla 9. Ventajas y limitaciones de los medidores de turbina	28
Tabla 10. Ventajas y limitaciones de los medidores ultrasónicos	33
Tabla 11. Tipos de materiales de los electrodos	39
Tabla 12. Ventajas y limitaciones de los medidores magnéticos	40
Tabla 13. Datos solicitados por el fabricante	41
Tabla 14. Características del instrumento	42
Tabla 15. Ventajas y limitaciones medidores Coriolis.....	48
Tabla 16. Medidor con conexión con bridas en los extremos	60
Tabla 17. Q_3 expresado en (m^3/h)	61
Tabla 18. Relación de Q_3/ Q_1	61
Tabla 19. Condiciones de referencia para los ensayos	69
Tabla 20. Factor de influencia	96
Tabla 21. Factores de influencia del ensayo frio.....	97

Tabla 22.	Perturbación	98
Tabla 23.	Perturbación a descargas electrostáticas	99
Tabla 24.	Sensibilidad electromagnética	100
Tabla 25.	Desviación estática de la tensión de la red.....	101
Tabla 26.	Número mínimo de medidores de agua por ensayar.....	102
Tabla 27.	Programa de ensayos.....	102
Tabla 28.	Información que debe estar reunida en un informe de ensayo de aprobación de patrones	104
Tabla 29.	Estudio del medidor de agua	106
Tabla 30.	Datos que se deben suministrar en el informe de ensayo de aprobación de patrones	106
Tabla 31.	Causas para la calibración.....	110
Tabla 32.	Características generales del banco.....	113
Tabla 33.	Cálculos de flujo para diferentes tamaños de tubería.....	114
Tabla 34.	Instrumentación del banco para ensayos de calibración	117
Tabla 35.	Resumen de las características principales Proline Promag 50W ..	123
Tabla 36.	Rugosidad de tubos comerciales.....	126
Tabla 37.	Factor de fricción y rugosidad relativa	127
Tabla 38.	Pérdidas por recorrido	128
Tabla 39.	Relación de longitud equivalente para el factor K.....	129
Tabla 40.	Relación de longitud equivalente	134
Tabla 41.	Factores de fricción	134
Tabla 42.	Caídas de presión.....	135

Tabla 43.	Pérdidas por recorrido	136
Tabla 44.	Pérdidas de presión por codos de 90° y 45°	137

LISTA DE FIGURAS

	Pag
Figura 1. Monitoreo de flujo líquido y gas natural	2
Figura 2. Perfil de los fluidos.....	3
Figura 3. Representación de Flujo laminar	4
Figura 4. Representación de Flujo turbulento	5
Figura 5. Sensor electromagnético de flujo Proline Promag 50W	6
Figura 6. Repetibilidad e Histéresis	8
Figura 7. Instrumentación con mayor aplicación en la Industria	10
Figura 8. Imagen frontal de un Rotámetro	11
Figura 9. Rotámetro serie 700 de Acrylic Tuve	12
Figura 10. Aplicación de la ecuación de continuidad	14
Figura 11. Placa de orificio concéntrica con aristas vivas.....	14
Figura 12. Perfil de recuperación de presión	15
Figura 13. Tipos de placas de orificio	16
Figura 14. Tomas de presión para la medición de caudal	17
Figura 15. Medidor de placas de orificio	20
Figura 16. Tobera	21
Figura 17. Comportamiento del fluido	21
Figura 18. Componentes del tubo Venturi	22
Figura 19. Requerimientos mínimos para el cálculo del tubo Venturi	23
Figura 20. Toma de medida del tubo Pitot	25
Figura 21. Medidor Pitot de Endress + Hauser	26

Figura 22.	Medidor tipo turbina	27
Figura 23.	Medidor de caudal tipo turbina de la serie G2 Modelo PVDF	28
Figura 24.	Ubicación de sensores para localización del sonido	29
Figura 25.	Sensor ultrasónico difuso	29
Figura 26.	Medidor ultrasónico de Endress + Hauser	30
Figura 27.	Método difuso	30
Figura 28.	Proceso de escaneos del sensor ultrasónico difuso	31
Figura 29.	Registro y correlación transversal	31
Figura 30.	Método de correlación transversal	32
Figura 31.	Vector velocidad para la indicación del flujo	32
Figura 32.	Medidor ultrasónico proline prosonic flow 93	33
Figura 33.	Conductor líquido a través de un campo magnético	34
Figura 34.	Campo magnético.....	35
Figura 35.	Adquisición de la señal de medida E_r	36
Figura 36.	Alimentación de las bobinas	37
Figura 37.	Elementos del medidor electromagnético	38
Figura 38.	Diagrama en bloques.....	38
Figura 39.	Medidor electromagnético Proline Promag 50W.....	39
Figura 40.	Conexión por bridas Proline Promag 50W	43
Figura 41.	Conexión por flanchado clamps	43
Figura 42.	Medidor másico de momento angular.....	44
Figura 43.	Medidor Coriolis Promass F200 de Endress + Hauser	45
Figura 44.	Medidor Coriolis.....	46
Figura 45.	Medidor Coriolis Promass F200 de Endress + Hauser	47

Figura 46.	Termopozo.....	49
Figura 47.	Medidor térmico Endress + Hauser AG	50
Figura 48.	Aplicación principal en Flujos gaseosos	50
Figura 49.	Medidor magnético Proline Promag 53W	63
Figura 50.	Medidor magnético Proline Promag 50W	66
Figura 51.	Registro del fabricante del Proline Promag 50W	70
Figura 52.	Accesorio aguas arribas	74
Figura 53.	Conexión de la línea de alimentación de agua a la línea principal. ..	79
Figura 54.	Anclaje de la tubería.	81
Figura 55.	Diagrama de conexiones de perturbaciones de flujo	90
Figura 56.	Esquema para el ensayo de pérdida de presión.....	91
Figura 57.	Volumen conocido y calibrado	108
Figura 58.	Dispositivo de referencia y medidor a calibrar	109
Figura 59.	Método gravimétrico. a. Dirección del flujo y b. Caída libre	110
Figura 60.	Lazo de calibración.....	111
Figura 61.	Ensayo de pérdidas de presión	112
Figura 62.	Rejillas para la ubicación de los diferentes dispositivos.....	112
Figura 63.	Diagrama P&ID línea de calibración	115
Figura 64.	Diagrama P&ID con balanza para el ensayo del método gravimétrico línea de calibración	116
Figura 65.	Curva características IHM 15H-1.5hp.....	119
Figura 66.	Curva características IHM 1hp.....	119
Figura 67.	Instalación de las bombas centrífugas.....	119
Figura 68.	Puesta en marcha del variador y bomba de 1.5 hp	120

Figura 69.	Variador de velocidad Danfoss VLT HVAC Drive	120
Figura 70.	Conexión horizontal Proline Promag 50W	122
Figura 71.	Eliminar vibraciones.....	122
Figura 72.	Calibración Proline Promag 50W	123
Figura 73.	Presión de succión y de descarga	124
Figura 74.	Diagrama de Moody	127
Figura 75.	Pérdidas por recorrido	128
Figura 76.	Codos y accesorios	129
Figura 77.	Línea de pruebas de caídas de presión por tipos de codos y accesorios.....	130
Figura 78.	Expansión súbita	130
Figura 79.	Contracción súbita	131
Figura 80.	Válvula de globo	131
Figura 81.	Válvula de mariposa	132
Figura 82.	Válvula de bola	132
Figura 83.	Válvulas de compuerta	133
Figura 84.	Válvula de retención	133
Figura 85.	Línea de pruebas de caídas de presión por tipos de válvulas	133
Figura 86.	Cálculo de pérdidas de presión en válvulas.....	135
Figura 87.	Pérdidas de presión por accesorios.....	137

1. LISTA DE ANEXOS

	Pag
ANEXO A. Ficha Técnica Sensor Electromagnético 50w	147
ANEXO B. Especificaciones Técnicas del Transmisor de temperatura	168
ANEXO C. Diseño del banco propuesto en Solidworks	169
ANEXO D. Medidas del banco propuesto para la medición de flujo	171
ANEXO E. Gráficas características de la bomba 1.5 hp.....	175
ANEXO F. Especificaciones Técnicas para el Medidor de Nivel	177
ANEXO G. Hoja De Calibración Sensor Electromagnético 50w	179
ANEXO H. Diagrama de Moody	183
ANEXO I. Especificaciones Técnicas de válvulas solenoides.....	185
ANEXO J. Especificaciones Técnicas del Transmisor de Presión	186
ANEXO K. Especificaciones Técnicas del Transmisor de Presión diferencial..	187

GLOSARIO

Intrínseco. Característico, esencial o natural de un cuerpo.

Longevidad. Se hace referencia a una vida de funcionamiento larga de un instrumento.

Cavitación. Es un evento no deseado en las bombas centrífugas, se identifica por el ruido en el interior y vibraciones de la bomba, es causado por la implosión de las burbujas de vapor, que se origina cuando hay un esfuerzo excesivo en la aspiración, teniendo como consecuencias: corrosión de las partes internas y disminución en la capacidad de la bomba centrífuga.

Nutativo. Es un micromedidor de agua potable de desplazamiento positivo.

Interpolación. Se basa en encontrar un dato dentro de un intervalo de valores, por medio de técnicas matemáticas.

Purga o Cebado. Terminó utilizado en la instalación y puesta en marcha de una bomba centrífuga, que significa eliminar el gas o vapor de la tubería de aspiración y del cuerpo. Si la bomba no está llena de agua antes de iniciar operación puede tener repercusiones en las partes internas que la componen.

Bicónica. Son antenas y/o circuitos de altas frecuencias y potencia, por ejemplo microondas.

Trazabilidad. Está definido por la ISO como: el resultado de una medida, que está relacionada con alguna referencia específica, normalmente estándares nacionales o internacionales a través de una serie de comparaciones todas con incertidumbres específicas.

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: DISEÑO DE UN BANCO DE ENSAYO PARA LA MEDICIÓN DE FLUJO DE AGUA BASADO EN LA NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 1063

AUTOR: ANDRES RICARDO LATORRE CARVAJAL

FACULTAD: FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

DIRECTOR: JUAN CARLOS MANTILLA SAAVEDRA

RESUMEN

Se propuso el diseño de un banco para la medición de flujo de agua bajo la norma NTC 1063, que abarca los aspectos de equipos, métodos de ensayos, especificaciones de los medidores y requisitos de instalación. El banco propuesto debe cumplir dos objetivos, el primero que puedan realizar ensayos de diferentes tecnologías para el sensado del flujo, estos medidores pueden ser mecánicos o electrónicos o una combinación de ambos, otra práctica que se puede realizar en el banco es la calibración de medidores por el aspecto metrológico que brinda la norma NTC 1063-3 con los dispositivo de referencia de calibrado. Como segundo objetivo el banco propuesto debe incluir un equipo para la demostración de pérdidas de presión debido a los diferentes recorridos del flujo, el efecto de la velocidad del caudal, efecto de diferentes materiales o rugosidades de la superficie, obstáculos producidos por válvulas y accesorios.

El diseño del banco se realizó con la herramienta de software Solidworks, las medidas de las tuberías, la ubicación de los accesorios, la instrumentación y la automatización requerida, se apoyó de la norma NTC 1063 junto con las recomendaciones del fabricante del medidor electromagnético Proline Promag 50w. Se investigó las características de los fluidos, las diferentes técnicas para la medición de flujo, se estudio la norma NTC 1063, Se realizaron cálculos de caídas de presión para obtener datos teóricos que es una de las prácticas de laboratorio que se pueden realizar en el banco propuesto y para más adelante estos resultados puedan ser comparados con los datos experimentales.

PALABRAS CLAVE: Flujo, Calibración, Metrología, Válvulas, Software, Solidworks, Instrumentación, medidor Electromagnético.

V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

ABSTRACT OF THESIS PROJECT

TITLE: DESIGN OF A TEST BENCH FOR MEASUREMENT OF FLOW BASED WATER COLOMBIAN TECHNICAL STANDARD NTC 1063

AUTHOR: ANDRES RICARDO LATORRE CARVAJAL

DEPARTAMENT: ELECTRONIC ENGINEERING

DIRECTOR: JUAN CARLOS MANTILLA SAAVEDRA

ABSTRACT

The proposal of a Design of a Test Bench for Measurement of Flow Water under the Standard NTC1063 includes features such as equipment, test methods, specifications of the flow meters and installation requirements. The suggested test bench must meet two objectives. The first goal is to perform tests from different technologies for flow sensing- these flow meters can be mechanical or electronic, or a combination of both; another practice that can be done on the test bench is the calibration of flow meters provided by the standard NTC 1063-3 along with the calibration reference device. The second goal of the proposed test bench is to include equipment for demonstration of pressure losses due to the different flow paths, effect of flow rate, effect of different materials or surface roughness, and obstacles produced by valves and fittings.

The design of the bench was carried out with Solidworks software, measures of pipes, location of fittings, as well as the instrumentation and automation required. It was supported by the Standard NTC 1063 and the manufacturer's recommendations of Proline Promag Electromagnetic Measurer 50w. We investigated the characteristics of the fluids, different techniques for measurement of flow, and the Standard NTC1063. Furthermore, calculations for pressure drops were made in order to obtain theoretical data that can be later compared with experimental data.

KEYWORDS: Flow, Calibration, Metrology, Valves, Software, Solidworks, Instrumentation, Electromagnetic Measurer.

V° B° THESIS DIRECTOR

INTRODUCCIÓN

Los procesos industriales han crecido con el tiempo de forma exponencial, desarrollando nuevos métodos para la obtención de productos. En la automatización se asigna una serie de tareas hechas por operadores humanos a un grupo de herramientas tecnológicas, para generar un aumento de la producción con mayor calidad, en menor tiempo, dinero y recursos no renovables, beneficiando así el rendimiento de las empresas.

Actualmente, al observar un proceso, se controlan un número significativo de variables, como son: la Presión, la Temperatura, el Nivel y el Caudal como variables primarias, las secundarias: la Densidad, la Humedad y la Velocidad etc.

El control del flujo o caudal posee una gran importancia en la mayoría de procesos para asegurar la calidad de los productos o en los negocios empresariales, ejemplo: Ecopetrol con la transferencia de custodia de hidrocarburos y/o biocombustibles que requieren el cumplimiento de normas, para lograr valores de exactitud, precisión y disminución de errores por incertidumbre.

La medición del flujo depende de varios factores, por ejemplo, las características hidráulicas, las vibraciones, la humedad, la temperatura y las propiedades del flujo, etc. que pueden afectar la exactitud y la confianza de la medida del instrumento. El proyecto busca familiarizar al estudiante en una tecnología que posee una evolución constante para la industria y que es muy común encontrar, como son los medidores de caudal, para que de esta manera tengan la oportunidad de manejar y conocer la arquitectura de la automatización e implementación con un ambiente metrológico, mediante la realización a futuro de prácticas en el banco de ensayos para la medición de flujo de agua basado en la norma NTC 1063 y el trabajo interdisciplinar de la facultad de Ingeniería Electrónica.

1. FLUJO

1.1. DEFINICIÓN Y GENERALIDADES

Los fluidos desempeñan un papel importante debido a que nos rodean por completo y siempre se está en una constante relación con ellos, por ejemplo: el océano, los ríos, la sangre que fluye por el sistema cardiovascular y el combustible de los vehículos. No solo se tiene flujo en líquidos también lo hay cuando se quiere transportar componentes gaseosos como son el oxígeno, la atmósfera, el nitrógeno etc. En la figura 1 se puede apreciar la distinta instrumentación y tubería que se necesita para control y transporte de fluidos. [1]



Figura 1: Monitoreo de flujo líquido y gas natural [2]

La mecánica de fluidos se encarga del estudio y el comportamiento, tanto en reposo como en movimiento de los fluidos, mientras la Hidráulica es una derivación de la mecánica de fluidos que analiza, experimenta con los movimientos y los equilibrios de los fluidos, especialmente con el agua. El objetivo de desarrollo de la tesis es proponer un diseño de un banco para la medición del flujo de agua, en el cual solo se estudiara este tipo de fluido. [1]

Existe gran variedad de sinónimos para llamar a la cantidad de líquido o gas que se desplaza desde un punto a otro, caudal, flujo o gasto. Para ser más explícitos decimos caudal cuando se habla de una considerable cantidad de líquido, por ejemplo, el caudal de río. Para flujo se hace mayor la referencia cuando se está midiendo en un conducto o tubería cerrada.

La Norma Técnica colombiana 1063 define el Caudal (flowrate). Como el cociente entre el volumen total de agua que pasa a través de un medidor y el tiempo que le toma a este volumen real en pasar. [3]

Como ya se mencionó anteriormente se puede encontrar que la medición de un flujo o caudal líquido para este caso agua, también se le es conocido como gasto hidráulico. En definición implica el movimiento o traslado de una cantidad de masa, o de volumen a través de un área a lo largo de una trayectoria, durante un intervalo de tiempo determinado.

Así el flujo tiene las unidades de masa o volumen por unidad de tiempo y se denota por la letra Q. Ver ecuación 1. [1]

Ecuación 1.
$$Q = \frac{m}{t} \quad \text{o} \quad Q = \frac{v}{t}$$

1.1.1. Clasificación de los fluidos. Encontramos flujo laminar o estacionario, flujo turbulento, flujo permanente o no permanente, así como flujo uniforme y no uniforme, ver figura 2. [1]

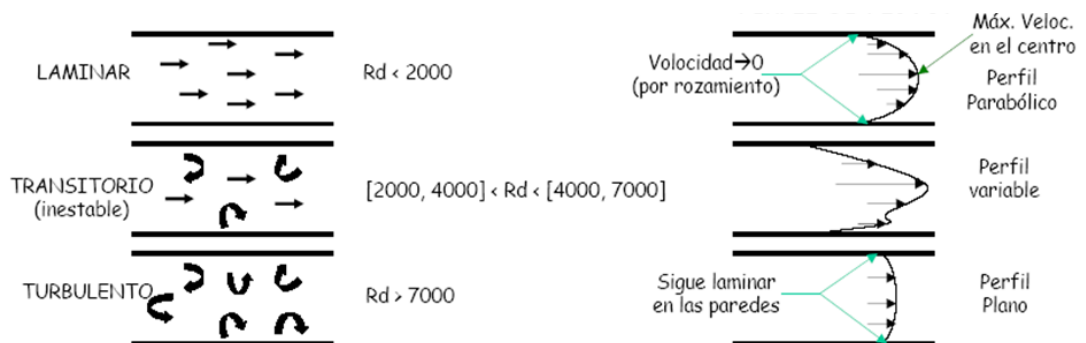


Figura 2: Perfil de los fluidos [1]

a. Flujo Laminar o Estacionario. Si un flujo posee una velocidad constante se dice que tiene un comportamiento estacionario y este hecho se debe a que las capas de moléculas del fluido se mueven una junto a otra uniformemente, siendo un movimiento ordenado. Cuando el fluido tiene mayor viscosidad mayor es su tendencia a tener un flujo laminar, como se muestra en la figura 3. [4]

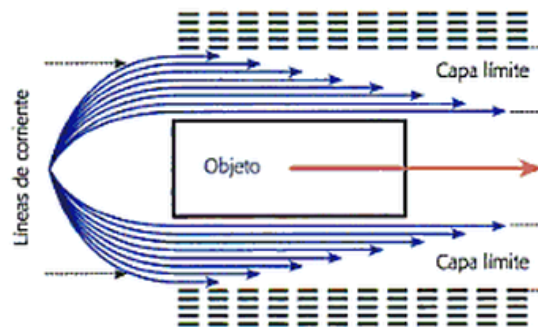


Figura 3: Representación de flujo laminar [4]

b. Flujo Turbulento. Se produce cuando llevamos a límite la máxima velocidad del fluido, dejando de comportarse linealmente permitiendo patrones irregulares y complejos ver figura 4, se caracteriza por círculos erráticos pequeños como si fueran remolinos, llamados corrientes parásitas o secundarias. El flujo turbulento normal es aquel que se presenta cuando la velocidad del fluido es mayor de 2000 número de Reynolds pero menor de 2500, en este estado pueden existir tanto laminar como turbulento. El flujo turbulento irregular es cuando la velocidad del fluido es mayor de 2500 número de Reynolds. [5]

c. Flujo Ideal. Se debe tener unas condiciones dadas para poder concluir que el comportamiento de un fluido es ideal como son: primero que no debe tener fricción en otras palabras su viscosidad es nula y que no es turbulento, por lo que no hay una conversión de energía mecánica en térmica durante su movimiento. Segundo el fluido es incomprensible esto quiere decir que ni su masa ni el volumen de él, pueden cambiar estando aun así bajo presión.

Si un fluido ideal esta inicialmente en reposo, se puede demostrar que todas las partículas deben continuar teniendo la misma energía mecánica total. Este tipo de fluido se llama potencial o irrotacional. [1]

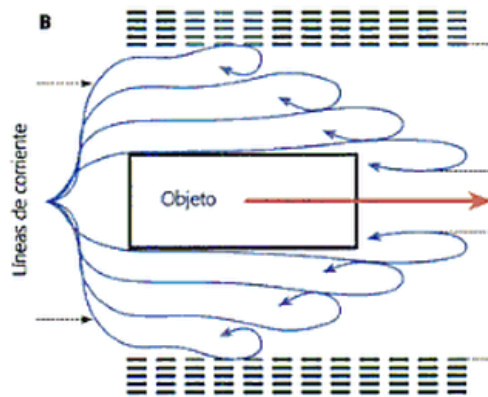


Figura 4: Representación de flujo turbulento [4]

d. Flujo Permanente y Uniforme. Un flujo es permanente siempre y cuando las mediciones en cualquier punto son iguales y no cambian con el tiempo, la misma definición se debe aplicar al sentir la densidad, la presión y la temperatura en el fluido, y no es permanente cuando la medida en algún punto cambia con el tiempo.

Ejemplo si bombea agua con un flujo constante a través de una tubería pero si varía con el tiempo el flujo ya no se comportaría permanentemente. Un flujo uniforme cuando en cualquier punto del fluido el vector velocidad es idéntico tanto en magnitud, dirección y sentido en un instante dado. [1]

2. EQUIPOS Y MÉTODOS PARA LA MEDICIÓN DE FLUJO

2.1. CARACTERÍSTICAS DE LOS MEDIDORES DE CAUDAL

Los medidores de flujo poseen una serie de características que los diferencian, aunque puedan parecer comunes a todos los sensores, estas particularidades pueden ser eléctricas tales como impedancia de salida y de entrada, el consumo de energía y la señal eléctrica que representa la variable medida. Operativas como: repetición en la medida, precisión, linealidad e histéresis y Ambientales: a manera de temperatura, humedad, polvo etc. [6]

Algunos medidores son construidos específicamente para un cierto tipo de fluido, si es para gases o líquidos, algunos operan para ambos tipos de fluidos.

La capacidad entre sus rangos de medidas Q_{max}/Q_{min} . Se debe conocer de manera precisa: el caudal máximo, mínimo y el nominal de los caudalímetros, temperatura y presión de trabajo para tomar una buena elección del instrumento. [6]

2.1.1. Terminología. Se usa para distinguir algunas características de los sistemas, se tomo como ejemplo la hoja de datos del sensor electromagnético de flujo, ver figura 5, diámetro 1½" [inch] Proline Promag 50W-53W, ver anexo A. [8][22]



Figura 5: Sensor electromagnético de flujo Proline Promag 50W [22]

- **Campo de medida (range).** Son los intervalos de medida del instrumento en lo que es capaz de operar, en el caso de sensor de flujo electromagnético esta 0.5 – 2.44 l/s. [8]
- **Alcance (span).** Es la diferencia entre los valores superiores e inferiores del campo de medida, siguiendo con el ejemplo 1.94 l/s. [8]
- **Error.** Diferencia entre el valor leído por el sensor y el valor real de la variable. [8] [9]
- **Precisión.** Son los límites de error cometidos por el instrumento, estando en condiciones normales de trabajo y viene dado en porcentaje ej: $\pm 0.5\%$, que indica que el valor real del caudal puede variar como máximo en un cero punto cinco por ciento del valor suministrado por el equipo. [8]
- **Zona muerta (dead zone o dead band).** Determina el rango de valores reales en los cuales el instrumento no varía su medida. [9]
- **Sensibilidad.** Es la relación a medida que crece la lectura del instrumento y el incremento real de la variable, está dada en porcentaje del campo de medida. [9]
- **Repetibilidad.** Es donde se muestra la capacidad del instrumento de reproducir la señal de salida, para una misma entrada de la variable real bajo las mismas condiciones de trabajo, se mide bajo la desviación máxima que se produce respecto al valor real de los valores medidos. Ver figura 6. Repetibilidad e Histéresis. [9]
- **Histéresis.** Es la diferencia máxima en los valores de salida para una misma señal de entrada, recorriendo la escala de manera ascendente y descendente, ver figura 6. Repetibilidad e Histéresis. [9]

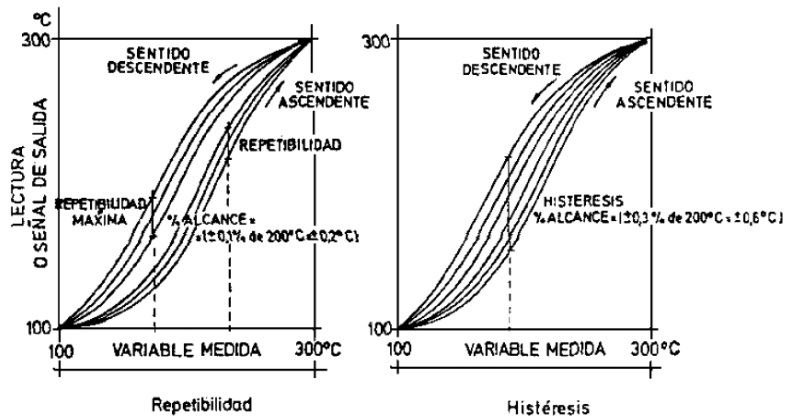


Figura 6: Repetibilidad e Histéresis [9]

2.1.2. Clasificación de los Medidores de flujo. Se Tienen dos grandes grupos, los medidores volumétricos y los medidores másicos o caudal masa.

Sistema	Elemento	Transmisor
Medidores volumétricos	Presión diferencial Placa-Orificio. Tobera, Tubo Venturi, Tubo Pitot Tubo Annubar.	conectados a tubos U o a elementos de fuelle o de diafragma Equilibrio de Fuerzas o Silicio Difundido
	Área Variable Rotámetro.	Equilibrio de Movimientos. Potenciométrico. Puente de Impedancias.
	Velocidad Vertedero con flotador en canales abiertos. Turbina. Sonda ultrasónica	Potenciómetro. Piezoeléctrico
	Fuerza Placa de Impacto	Equilibrio de Fuerzas. Galgas Extensiométricas.
Tensión Inducida	Medidor Magnético	Convertidor Potenciométrico

Continúa...

	Desplazamiento Positivo	Disco Giratorio. Pistón Oscilante. Pistón Alternativo. Medidor Rotativo. Medidor de Paredes Deformables.	Generador Tacométrico o Transductor de Impulsos. " "
	Torbellino	Medidor de frecuencia de termistancia o condensador o ultrasonidos	"" Transductor de resistencia
	Oscilantes	Válvula Oscilantes	Transductor de Impulsos

Tabla 1: Clasificaciones de los Medidores Volumétricos [9]

	Sistema	Elemento	Transmisor
Medidores de Caudal Masa	Compensación de presión y temperatura de medidores volumétricos		
	Térmicos	Diferencia de temperaturas en dos sondas de resistencias	Puente de Wheatstone
	Momento	Medidor axial. Medidor axial de doble turbina	Convertidor de Par
	Fuerza Coriolis	Tubo en Vibración	Equilibrio de Fuerzas
	Presión Diferencial	Puente hidráulico	Equilibrio de Fuerzas

Tabla 2: Clasificaciones de los Medidores Caudal Masa [9]

2.2. EVALUACION DE LAS DIFERENTES TÉCNICAS

Dependiendo de los requerimientos, las exigencias y los procesos de la industria, algunos dispositivos o medidores son más utilizados que otros. Por ejemplo la selección del medidor puede escogerse por precisión, economía, robustez y espacio. Se estudiarán eventualmente los siguientes métodos ya que son prácticamente los más utilizados en la medición de agua potable en la industria como son: [10]

- **Medidores Volumétricos.** Sistemas de presión diferencial Placa-Orificio, tobera, Tubo Venturi y Pitot. Sistema de área variable rotámetros. Sistema de velocidad turbina, ultrasónicos. Por tensión inducida los electromagnéticos.
- **Medidores Másicos.** Momento angular y Fuerza Coriolis.

A pesar de la gran cantidad de métodos ya existentes, se puede ver en la figura 7. Instrumentación implementada en la industria. Que son los más implementados y a pesar de que es una gráfica de 1992, la industria no actualiza sus equipos ya que eso le impone muchos riesgos como costos e incertidumbre nuevos en sus procesos. [10]

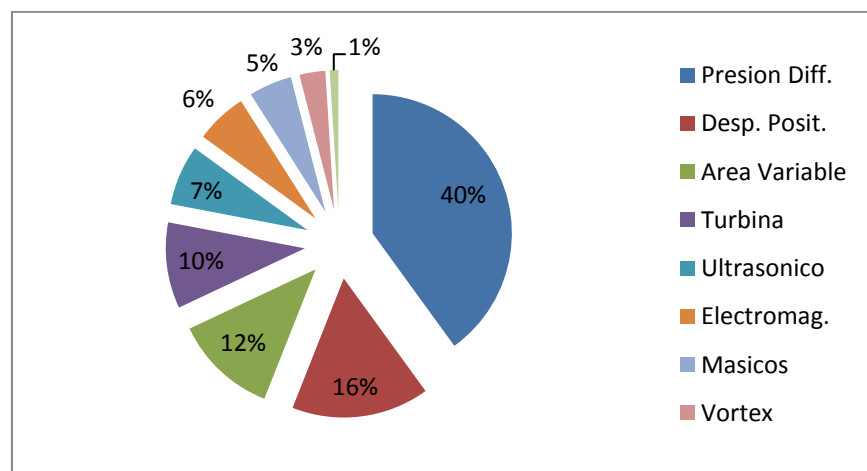


Figura 7: Instrumentación con mayor aplicación en la industria [10]

2.2.1. Área variable rotámetros. Son medidores de área variable, pero utilizan el mismo principio de presión diferencial que es la relación entre la energía cinética y la energía debido a la presión del fluido, solo que el área es constante y solo cambia la presión debido a que está en función del caudal. En los rotámetros la restricción del área cambia al mismo tiempo que el caudal, en este caso la presión permanece constante.

En la figura 8. Imagen frontal de un rotámetro, se puede observar que está conformado por un tronco cónico, que por lo general siempre es de cristal y que en su interior encontramos un flotador.

El fluido pasa por su extremo inferior haciendo que este se mueva de forma ascendente, hasta que la fuerza producida por la presión diferencial de las caras superior e inferior del flotador sean parejas. Indicando la medida de caudal que está circulando por la tubería. [10]

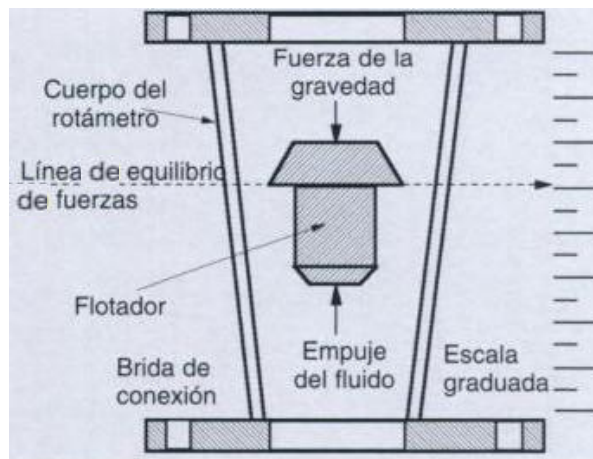


Figura 8: Imagen frontal de un Rotámetro [10]

En conclusión los rotámetros están diseñados para que funcionen como un balance de fuerzas, en que la fuerza de impacto y arrastre hace que ascienda el flotador de modo que se incremente el área anular para el paso del fluido, haciendo que se reduzca la elevación del flotador. El equilibrio se establece cuando la fuerza ascendente se iguala con el peso del flotador llamada así fuerza descendente.

La posición equilibrada del flotador da con referencia una medida directa del caudal que está pasando, como se observa en la figura 9. En su cuerpo cónico de cristal esta marcado la escala de medida. [10]



Figura 9: Rotámetro serie 700 de Acrylic Tuve [11]

Ventajas	Limitaciones
Bajo Coste.	No es recomendable para altas presiones.
Simplicidad.	Debe ser instalado verticalmente.
Idóneo para Caudales Pequeños.	Capacidad limitada para caudales muy altos.
Caída de Presión Constante y muy Pequeña.	Se debe utilizar directamente en fluidos muy limpios.
Rango de Caudal 10:1.	El polvo o suciedad sobre el cristal dificulta la lectura.
Lectura Lineal del Caudal.	Las versiones estándar no disponen de sistemas de transmisión.

Tabla 3: Ventajas y Limitaciones de los Rotámetros [10]

2.2.2. Presión Diferencial. Este método es una de las más utilizadas por la industria, existen una variedad de elementos de medida basados en este principio como son: placas de orificio con sus diversas formas, Tubos Venturi, Toberas, Tubo Pitot, Tubos Annubar etc. son los más utilizados por ser instrumentos económicos y simples. El método de presión diferencial consta básicamente por dos elementos. [12]

- Elemento primario. Que produce una pérdida de carga relacionada con la velocidad.
- Segundo elemento o transmisor. Son un conjunto de varios accesorios que brindan una medida de la presión diferencial y que está conectada con las unidades del proceso (medición del flujo).

Concluyendo, el flujo es proporcional a esta caída de presión debido al obstáculo provocado por la placa de orificio, ver ecuación 2.

$$\text{Ecuación 2.} \quad Q = K(\Delta P)^{1/2}$$

Siendo k una constante que engloba el coeficiente de descarga más unos factores de corrección por variaciones en el número de Reynolds, expansión etc. ΔP es la diferencia de presión causada por la restricción por donde viaja el fluido y como se observa hay una raíz en la ecuación que me indica una limitante en el rango de medida del caudal. [12]

Los medidores de flujo basados por el método de presión diferencial son regidos por las ecuaciones de continuidad, ecuaciones 3 y de Bernouilli, ecuaciones 4. Aplicadas tanto en aguas arriba y aguas abajo del medidor.

$$\text{Ecuación 3.} \quad V1 * A1 = V2 * A2$$

Siendo: V, la velocidad del fluido y A, la sección de tubería por donde viaja el fluido.

$$\text{Ecuación 4.} \quad \frac{p1}{\gamma} + \frac{v1^2}{2g} + h1 = \frac{p2}{\gamma} + \frac{v2^2}{2g} + h2$$

Esta ecuación solo se cumple para fluidos incompresibles, siendo $\gamma = \rho * g$. Un fluido incompresible es cuando la densidad del fluido es constante en el tiempo y tiene la característica de oponerse a la compresión, bajo cualquier condición ejemplo el agua, ver figura 10. [12]

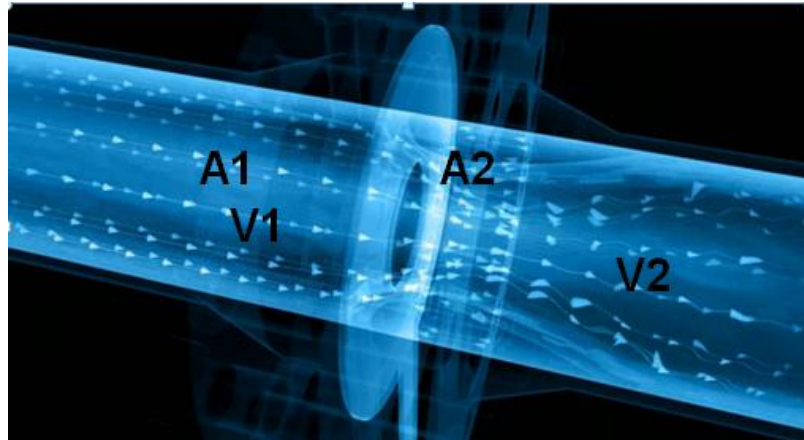


Figura 10: Aplicación de la ecuación de continuidad [7]

Para todos los diseños por el método de presión diferencial se cumple la ecuación 2. Para la selección entre los diferentes medidores basados en este principio el criterio más importante es la caída de presión no recuperable.

a. Placas de orificio. Uno de los más utilizado entre las derivaciones de placas de orificio es la concéntrica con aristas vivas. Ver la figura 11. Este elemento hace una restricción al paso del fluido, haciendo aumentar la velocidad y disminuyendo al mismo tiempo la presión, haciendo que la suma de la energía potencial, energía cinética y la energía interna permanezca constante. [10]

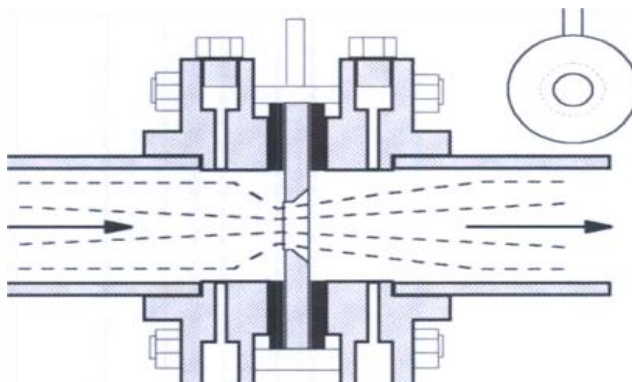


Figura 11: Placa de orificio concéntrica con aristas vivas [10]

La recuperación en la caída de presión debido al obstáculo, es recobrada aproximadamente a 8 diámetros de tubería. Ver figura 12. Para la ubicación de algún accesorio aguas arriba mínimo a 14 D y aguas abajo mínimo 5 D.

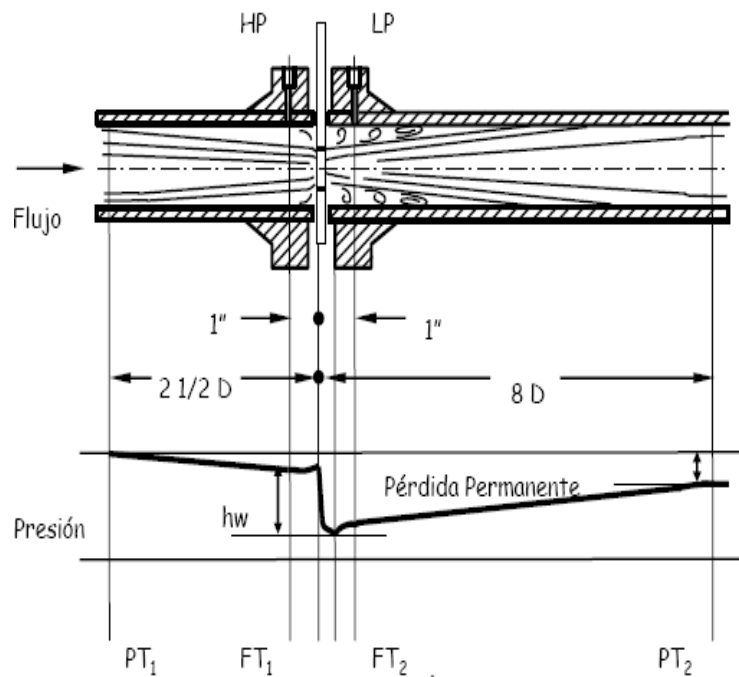


Figura 12: Perfil de recuperación de presión [10]

- **Tipos de placas de orificio.** Se encuentran varias derivaciones (ver figura 13), el más utilizado son los Concéntricos es decir el orificio de la placa es circular y centrada, otros tipos de placas son:

Excéntricos, el orificio de la obstrucción es circular pero no está centrada con la tubería o concéntrica. Segmental, es un orificio cuya forma geométrica es un segmento circular tangente en un punto a la circunferencia interna a la tubería y su ventaja es que no acumula sólidos aguas arriba de la placa. [12]

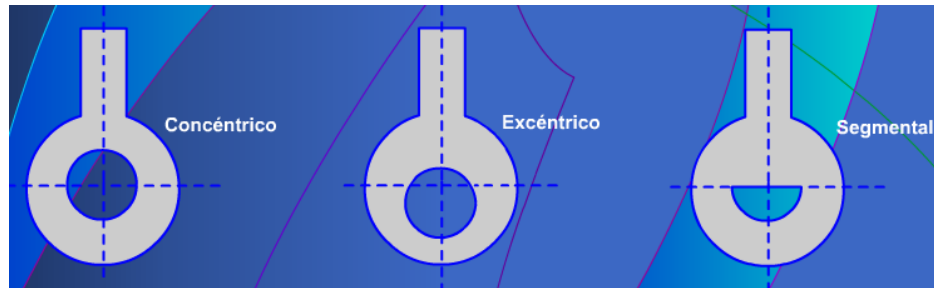


Figura 13: Tipos de placas de orificio [12]

- **Toma de presión.** Se tienen 4 métodos para la toma de la medida de del caudal entre estas tenemos ver figura 14:

1. Toma en la brida, es uno de los más utilizados por su comodidad ya que las tomas están taladradas en las bridas que soportan las placas. [12]

2. Tomas radiantes, la toma anterior o de alta presión se sitúa a 1 diámetro de tubería y la toma posterior se coloca a $\frac{1}{2}$ diámetro de tubería.

3. Tomas en la vena contraída, la toma de alta presión esta a 1 diámetro de la tubería aguas arriba de la placa mientras que la de baja presión no tiene una ubicación fija, esta debe situarse en un punto en donde la vena alcance su diámetro más pequeño, lo cual depende de la razón de los diámetros β .

4. Tomas en la tubería, las tomas anteriores y posteriores están situadas a 2.5 y 8 diámetros de tubería, se emplea cuando se quiere aumentar el rango de medida de un caudalímetros. [12]

Su error es más de un 50% comparado a los otros tipos de tomas.

Antes de solicitar a un fabricante una placa de orificio hay que tener una serie de conceptos para realizar los cálculos como algunas características del líquido, el lugar donde se instalará, material de la tubería, temperatura, etc.

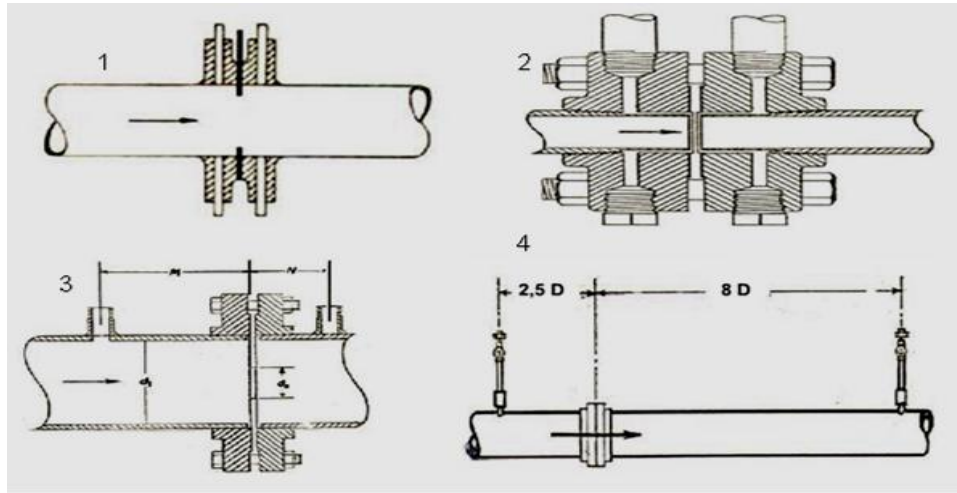


Figura 14: Tomas de presión para la medición de caudal [12]

- **Número de Reynolds.** El comportamiento de un fluido depende de las magnitudes de la inercia y la fricción. La fricción es dominante cuando nos encontramos corrientes con baja velocidad que tienden a producir flujo laminar.

Ahora, sí las fuerzas inerciales son grandes es porque la velocidad es alta, tendiendo a producir flujo turbulento.

El número de Reynolds no tiene dimensiones y está constituido por la relación entre la inercia y viscosidad, ver ecuación 5: [10]

Ecuación 5.
$$Rp = \frac{\rho VD}{\mu}$$

Siendo ρ = La densidad del liquido
 V = Velocidad del paso
 D = Diámetro de la tubería
 μ = Viscosidad del producto.

- **Relación Beta.** Es la relación que hay entre el diámetro interior de la tubería y el diámetro del orificio de restricción. Unos valores bajos de β hace que incremente la diferencia de presión, disminuyendo la capacidad de medida del instrumento. [10]
- **Coeficiente de Descarga.** Hasta ahora ningún instrumento con el principio de presión diferencial sigue con exactitud la ecuación de Bernouilli. El coeficiente de descarga C, es la relación entre los caudales reales que son hallados experimentalmente en función de la relación Beta con número de Reynolds y los caudales teóricos.
- **Recuperación de presión.** Cuando el fluido pasa por el obstáculo de la placa de orificio hay una caída de presión que después se eleva aguas abajo. Pero parte de esa caída de presión no se recupera ya que la energía es disipada por las turbulencias.

Los tubos Venturi tienen una caída de presión no recuperable muy baja por tal razón los fabricantes encarecen los precios.

- **Factor de expresión.** Para los fluidos compresibles se utiliza en el cálculo de elementos primarios el factor de expresión ϵ . Esta característica tiene en cuenta la variación de la energía interna de un fluido que acompaña a las variaciones en términos de energía cinética y potencial. Para líquidos el factor de expansión vale uno.

Dado que el objetivo de esta tesis no es desarrollar completamente los cálculos de una placa de orificio, se puede obtener mayor información de la “Norma ISO 5167 y del libro Flow Measurement Engineering Handbook de Miller”.

En la tabla 4. Se puede observar todos los datos requeridos para la cotización y solicitud de una placa de orificio. [10]

General	Posición	
	Sigla	
	Línea	
	Materia De Lineal	
	Diámetro Interior	
Condiciones De Servicio	Fluido/Estado	
	Caudal Normal	
	Caudal F.E	
	Presión	
	Temperatura	
	Fact. Comp. A 0° Y 760 Mm Hg	
	Viscosidad A Temp. De Servicio	
	Peso Molecular	
	Peso Esp. En Cond. De Servicio	
	Peso Esp. Ref Del Agua A 15°	
Datos De Calculo	Materia De La Placa	
	Espesor De La Placa	
	Orificio De Venteo/Drenaje	
	Salida	
	Bridas Según STD	
	Bridas Tipo	
	Δp	
	Orificio Calculado (D)	
	Elemento Sensor	
	D/D	
	Rango	
	Factor De Lectura	
Resultados Del Calculo	Número De Reynolds	
	Factor De Expansión	
	Relación De Los Diámetros	
	Coeficiente De Descarga	
	Diámetro De Los Orificio	

Tabla 4: Hoja de cálculos de placas de orificios del fabricante [12]

En la tabla 5, se puede observar algunas ventajas y limitaciones que tienen este tipo de instrumento y en la figura 15, un medidor actual de Endress + Hauser.



Figura 15: Medidor de placas de orificio [13]

Ventajas	Limitaciones
No posee componentes móviles.	Aplicable solo a caudales 4:1
Se tiene gran variedad de tamaños y rangos de medidas.	En la ecuación 2. Relación cuadrática entre el cambio de presión y el caudal.
Son aplicados tanto a gases y líquidos.	Tiende a tener un error relativamente bajo exactitud.
Ampliamente establecidos por la industria.	Hay pérdida de presión no recuperable.
No necesita calibración del elemento.	La viscosidad perturba el rango del flujo a medir.
Simplicidad.	La instalación del instrumento puede ser costosa.

Tabla 5: Ventajas y limitaciones de una placa de orificio [10]

b. Tobera. Como se observan en la figura 16. Tiene un angostamiento de la sección, dependiendo puede ser mucho más gradual que el de la placa, normalmente tiene un perfil de un cuarto de elipse. Respecto a la placa de orificio, se puede destacar que la Tobera permite caudales un 60 % superior a la placa de orificio bajo en las mismas condiciones de trabajo, en la figura 17 se puede ver el comportamiento de flujo a través de la tobera. [12]

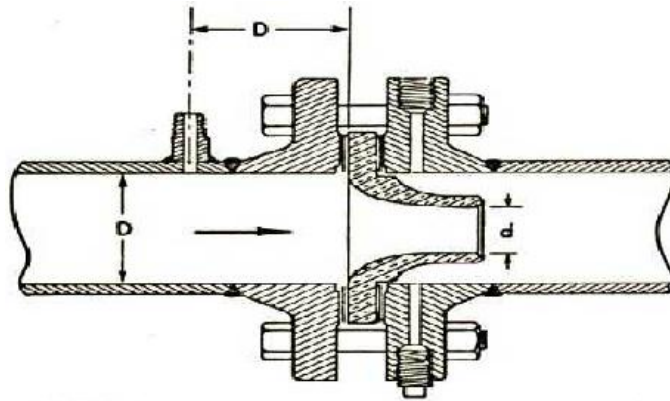


Figura 16: Tobera [12]

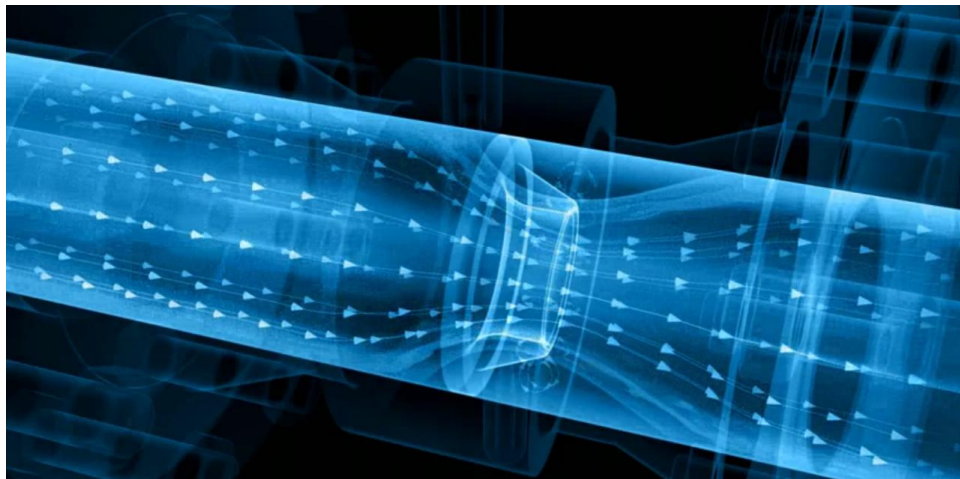


Figura 17: Comportamiento del fluido [7]

Es una gran ventaja el hecho de tener una obstrucción gradual, ya que permite medir el flujo de líquidos con materiales suspendidos, pero se debe tener cuidado cuando en el fluido se encuentra un gran porcentaje de sólidos ya que se puede obstruir. Se debe instalar en caso de sólidos en línea vertical y de flujo descendente. [12]

Otra gran ventaja de las toberas es que se puede emplear también en fluidos alta velocidad pero no viscosos y donde normalmente la erosión o la cavitación harían un daño en los de placa de orificio.

Las tomas de presión son: la toma anterior o de alta presión esta a una distancia de 1 diámetro tubería de la entrada de la Tobera, la toma posterior o de baja presión se ubica a $\frac{1}{2}$ diámetro de la salida de la Tobera. En la tabla 6. Se puede apreciar unas ventajas y desventajas en comparación a los medidores basados en presión diferencial [12]

Ventajas	Limitaciones
Aplicable a gases y líquidos	El desmontaje del equipo, es dificultoso.
Son auto-limpiantes en caso de sólidos suspendidos.	No permite el drenaje de la tubería en posición horizontal
Menor costo que un tubo Venturi.	
Más fuerte y resistente al desgaste. Que el de placa de orificio	

Tabla 6: Ventajas y limitaciones Tobera [12]

c. Presión diferencial tubo Venturi. Se aplica el mismo concepto que se vio anteriormente, el cual consiste en medir el flujo a partir de la lectura de la presión diferencial entre dos puntos en diferentes secciones de tuberías en un sistema, ver figura 18.

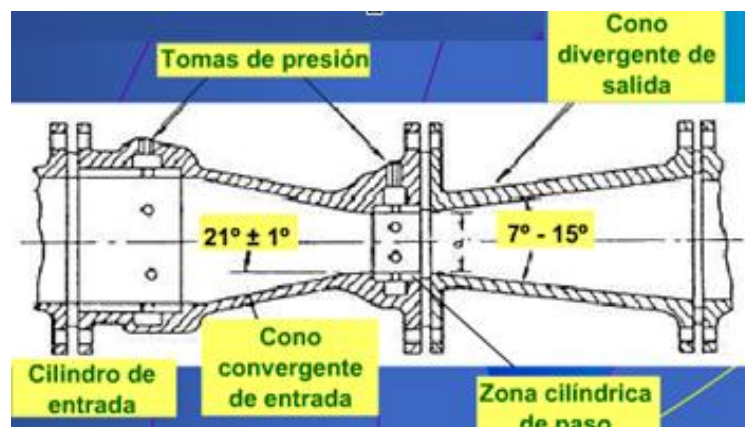


Figura 18: Componentes del tubo Venturi [12]

El tubo Venturi se usa mayormente en sistemas de distribución de agua y está formado por una reducción del diámetro o estrechamiento central y dos secciones cónicas empalmadas con el conductor, provocando mayor velocidad del fluido en la zona central llamada vena. [12]

El tubo Venturi igual para toda la familia de sensores de presión diferencial están regidos por la norma estándar internacional ISO 5167, la cual nombra 3 tipos diferentes:

- Tubo Venturi clásico con la sección convergente fundida.
- Tubo Venturi clásico con una sección convergente mecanizada.
- Tubo Venturi con sección convergente de chapa soldada.

Cuando el cono de salida del tubo Venturi posee un ángulo de 15° es llamado cono largo mientras que el de 7° se conoce como cono corto, en la figura 19 se puede observar los requerimientos necesarios para el cálculo y diseño de un Venturi. [12]

Not registered user	Volumetric Flow, Q_v (m ³ /s):	Will be computed
Click to Calculate	Mass Flow, Q_m (kg/s):	Will be computed
Solve for:	Differential Pressure (N/m ² , Pa):	146.12816152926078
Flowrate	Throat Diameter, d (m):	0.15
	Pipe Diameter, D (m):	0.24
Select Meter Type and Liquid:	Ratio, d/D :	Will be computed
Water at 70 F, 20 C	Density (kg/m ³):	998.2
Cast Iron convergent section	Kinematic Viscosity (m ² /s):	1.0E-6
	Discharge Coefficient, C :	Will be computed
Select Units for each Variable:	Reynolds Number based on d :	Will be computed
Q_v in m ³ /s	Reynolds Number based on D :	Will be computed
Q_m in kg/s	Throat Velocity (m/s):	Will be computed
Pressure in N/m ² or Pa	Pipe Velocity (m/s):	Will be computed
Diameters in meters	Throat Area (m ²):	Will be computed
Density in kg/m ³	Pipe Area (m ²):	Will be computed
Visc in m ² /s; Vel in m/s; Area in r	© 1999 LMNO Engineering, Research, and Software, Ltd.	

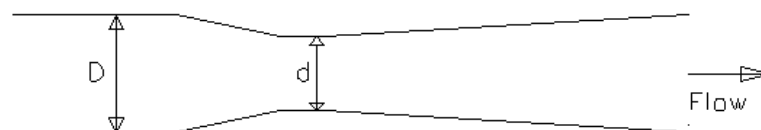


Figura 19: Requerimientos mínimos para el cálculo del tubo Venturi [15].

Para su instalación se debe tener un largo tramo continuo con tubería recta aguas arriba y aguas abajo del instrumento para que así el fluido tenga un comportamiento uniforme, mejorando la medida tanto en precisión y exactitud del Venturi.

Bajo condiciones ideales un tubo Venturi puede tener un error de $\pm 0.5\%$ de la lectura, en la tabla 7 se pueden ver algunas ventajas y desventajas del instrumento. [14]

Ventajas	Limites
Permite mediciones de cuales 60 % más que los de placa de orificio bajo las mismas condiciones.	Gran tamaño del equipo
Perdida de carga de 10 a 20% de la presión diferencial.	Coste del instrumento elevado hasta 20 veces el de una placa de orificio.
Es de gran precisión.	Es esencial que el flujo sea lineal.
Permite fluidos con sólidos.	Los sólidos abrasivos influyen en su forma de medición, perdiendo exactitud.

Tabla 7: Ventajas y limitaciones del tubo Venturi [14]

d. Tubo Pitot. Se basa en un tubo hueco de sección circular de pequeño diámetro y doblado en L, cuyo eje se alinea con la longitudinal de la tubería como se observa en la figura 20.

Para la toma de la presión diferencial en el tubo Pitot se mide en un punto la presión estática y la presión total, obteniendo así la presión dinámica que es proporcional al cuadrado de la velocidad, es uno de los métodos más antiguos que se tiene para medir la presión diferencial y velocidades. [12]

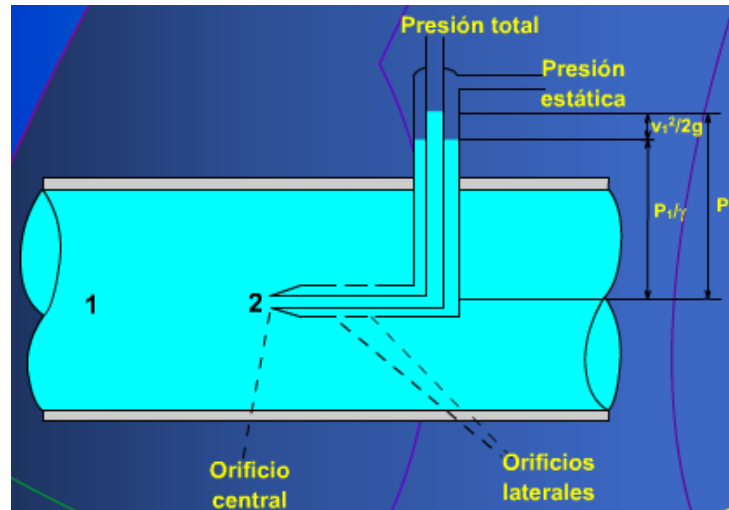


Figura 20: Toma de medida del tubo Pitot [12]

En la figura 20, el orificio central es para tomar la medida de la presión total, por otra parte los orificios laterales se usan como presión estática. La ecuación 6 es la que rige el sistema pero introduciendo un coeficiente C de velocidad, que tiene en cuenta la irregularidad de las reparticiones de las velocidades en el fluido y otros parámetros como la rugosidad de la tubería etc. de esta misma ecuación se puede deducir la velocidad, ver ecuación 7. [12]

Un segundo diseño para la toma de las medidas de presiones, es el instrumento presentado por Endress + Hauser ver figura 21. [12]

Ecuación 6.
$$\frac{P_2}{\gamma} = \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g}$$

Ecuación 7.
$$V_1 = C * \left((P_2 - P_1) * \frac{2g}{\gamma} \right)^{\frac{1}{2}}$$

El tubo Pitot tiene un defecto el cual es muy sensible a los cambios de velocidad del fluido en la sección de la tubería, por tal hecho solo es empleado para fluidos laminares y disponiendo de un gran tramo recto de tubería en la línea que está instalado.

Como la medida del flujo se obtiene de un solo punto, lo cual tiene incidencia en la precisión dando unos rangos entre 1,5 a 4 %, la más baja entre la variedad de sensores por el método de presión diferencial. [12]

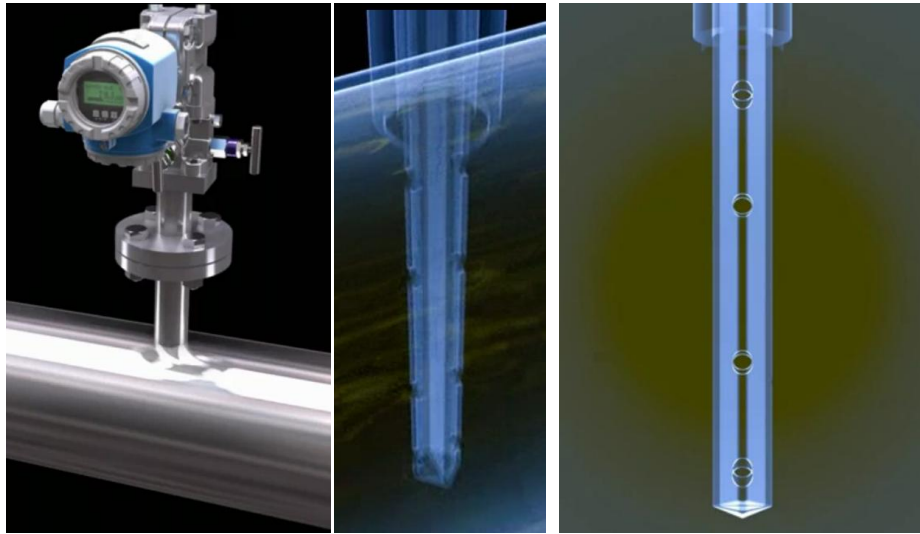


Figura 21: Medidor Pitot de Endress + Hauser [7]

El tubo Pitot es uno de los elementos más económicos, disponibles, con gran variedad de tamaños y sencillos. Es usado normalmente para la medición del flujo de aire, para indicar el flujo de grandes conductos y prácticamente de cualquier fluido gracias a un método de integración. [12]

En la tabla 8 se pueden apreciar algunas ventajas y desventajas de este tipo de medidor. [12]

Ventajas	Limites
Bajo costo y fácil instalación y movilidad.	Dificultad para medir velocidades bajas del aire.
Pérdida de carga bastante bajas.	Sus conductos para la toma de presión son fáciles de ensuciar.
Es apto para tuberías de gran tamaño.	Uso industrial limitado.
Aplicable tanto a fluido líquidos y gases limpios.	A presiones muy altas en líquidos se puede llegar a romper la sonda.

Tabla 8: Ventajas y limitaciones del tubo Pitot [12]

2.2.3. Medidores de Velocidad.

a. Medidor tipo turbina. Este tipo de instrumento está basado en un rotor que gira proporcional a la velocidad del fluido que está circulando. El fluido que circula a través de la tubería ejerce una fuerza de arrastre en el motor forzándolo a girar entre los conos anteriores y posteriores sin necesidad de utilizar rodamientos axiales ya que representaban una desventaja porque ejercían una fuerza de rozamiento, ver figura 22. [16]

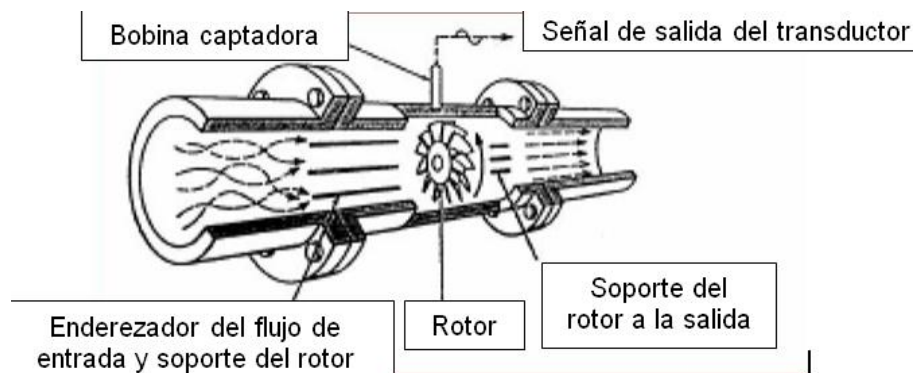


Figura 22: Medidor tipo turbina [17]

Para captar la señal de la turbina existen dos tipos de convertidores. Los inductivos el cual se lleva un imán permanente en el rotor, creando un campo magnético y que produce una corriente que es captado por una bobina externa, la frecuencia que se genera esta en el orden de 250 a 1200 ciclos y es proporcional a la velocidad del fluido.

Un segundo método es por Reluctancia. El cual por medio del giro producido por las palas individuales del rotor se determina la velocidad del fluido, que está en medio de un campo magnético, que es provocado por un imán permanente situado en una bobina captadora en el exterior. [16]

Esta señal hace que varíe la reluctancia del circuito magnético, cambiando el flujo magnético e induciendo una corriente alterna en la bobina captadora. Siendo esta señal proporcional a la velocidad del fluido.

En la tabla 9 se observar las ventajas y desventajas de los medidores turbina. [16]

Ventajas	Desventajas
Está diseñado para eliminar cualquier desgaste interno con el balanceo hidrodinámico del rotor.	Algunos medidores se deben instalar de tal modo queden sin fluido, ya que el choque con el agua a alta velocidad contra la turbina la podría dañar.
Pérdida de carga de 10 a 20% de la presión diferencial.	Costo de mantenimiento.
Es de gran precisión.	Es esencial que el flujo sea lineal.
Permite fluidos con sólidos.	Los sólidos abrasivos influyen en su forma de medición, perdiendo exactitud.

Tabla 9: Ventajas y limitaciones de los medidores de turbina [17]

En la figura 23. Se puede apreciar el medidor de caudal tipo turbina para químicos de GPIFlowMeters, el cual está diseñado para estar expuesto al Cloro, Soda Caústica o ácido sulfúrico etc. solo tiene dos partes movibles. [18]



Figura 23: Medidor de caudal tipo turbina de la serie G2 Modelo PVDF [18]

b. Medidor tipo ultrasónico. Consiste en la medición de la velocidad del fluido por una relación ultrasónica. El instrumento mide el caudal por diferencia de velocidades de sonidos captadas por sensores que pueden estar distribuidos de diferentes maneras ver figura 24. El sonido puede viajar con el fluido o en sentido contrario a éste. [16]

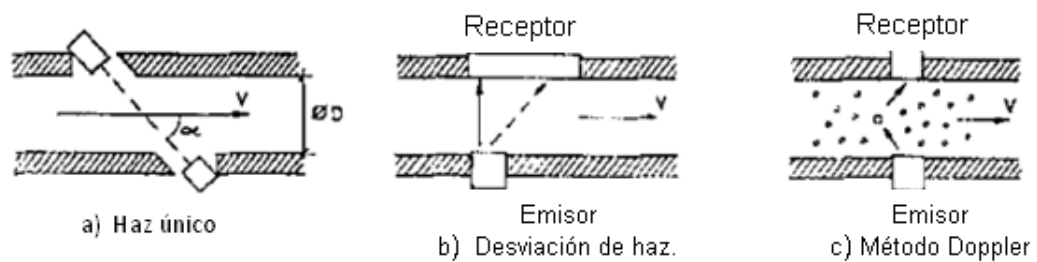


Figura 24: Ubicación de sensores para localización del sonido [16]

Una cuarta opción diferente mostrada en la figura 24, es que el mismo sensor después de enviar la señal ultrasónica, puede cambiar a receptor para recibir el eco del ultrasonido llamado método difuso. Como se observa en la figura 25. [17]

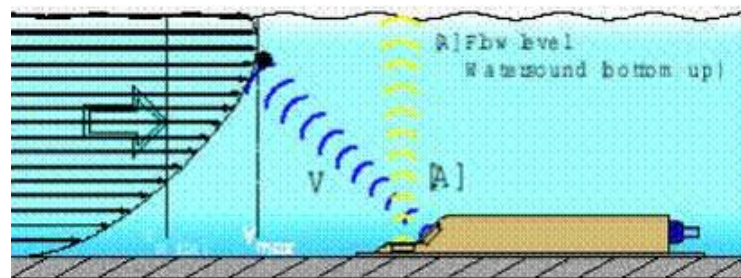


Figura 25: Sensor ultrasónico difuso [17]

El emisor ultrasónico transmite pulsos cortos o código de pulsos, en el medio a medir siendo líquido o gaseoso, las partículas o burbujas reflejan los pulsos hacia el receptor llamados ecos, siendo digitalizado y guardado como un primer escaneo de un perfil de ecos.

En la figura 26, se observa el medidor ultrasónico de Endress + Hauser y en la figura 27, se asume que aplican el mismo concepto pero la diferencia radica que para asegurar una exactitud mayor utilizan 6 sensores de ultrasonido difuso. Repartidos en dos grupos en los extremos de la tubería, donde el primero emite al costado derecho y al mismo tiempo el derecho al izquierdo. Creando un perfil de ecos más preciso. [7]



Figura 26: Medidor ultrasónico de Endress + Hauser [7]

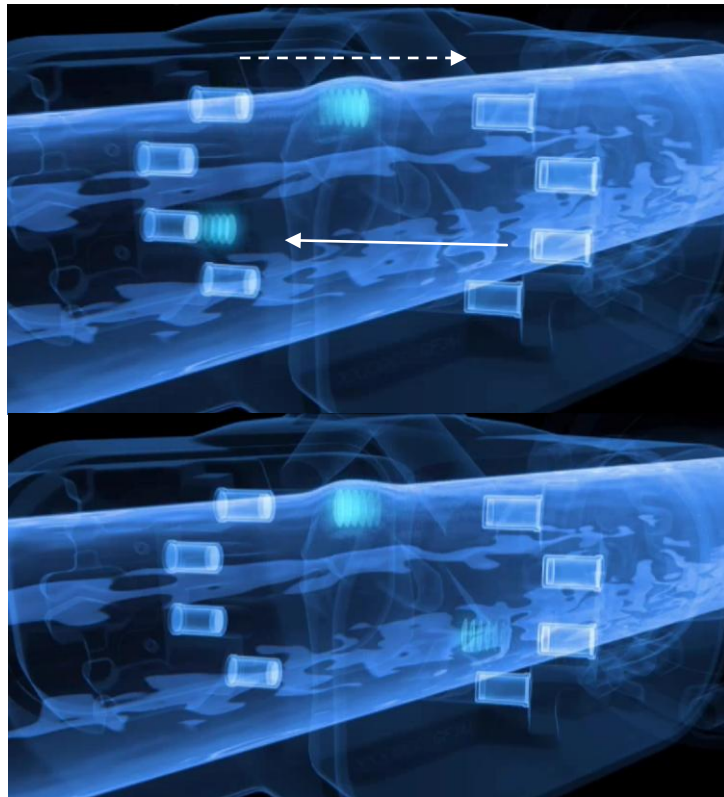


Figura 27: Método difuso [7]

Los ecos están entre un intervalo de 0.5 y 4 milisegundos después otro pulso ultrasónico es enviado y su eco producido por las mismas partículas que se han desplazado, vuelve a ser digitalizado y guardado en una serie llamada segundo scan, ver figura 28. [17]

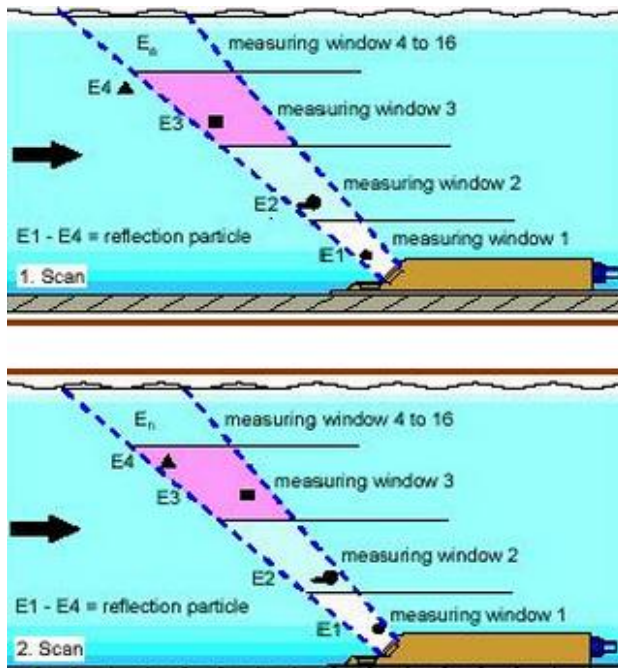


Figura 28: Proceso de escaneos del sensor ultrasónico difuso [17]

Con los ecos recolectados por los receptores y registrados, se determina la posición de las partículas o burbujas, con la variación de tiempo de vuelo del ultrasonido entre el primer escaneo y el segundo, se puede calcular el tiempo que tarda la variación de espacio o posición recorrido por la partícula en la sección transversal del flujo ver figura 29. [17]

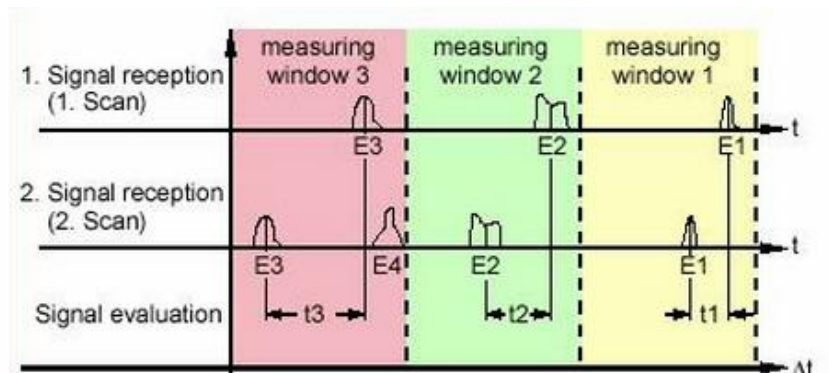


Figura 29: Registro y correlación transversal [17]

El perfil obtenido por los escaneos es estudiado por el método de correlación transversal ver figura 30, la cual permite determinar las diferencias características entre el escaneado 1 y el segundo, estas diferencias temporales entre los perfiles podrán convertirse directamente en velocidad, ya que tienen una relación con su variación de posición de las partículas en el tiempo. [17]

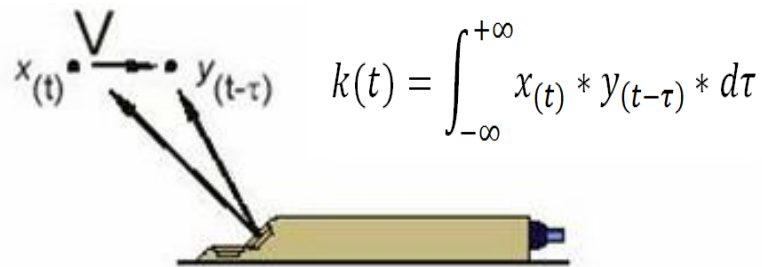


Figura 30: Método de correlación transversal [17]

Para obtener una mayor precisión este proceso es repetido entre unas 250 y 2000 veces por segundo, calculado para unos 16 puntos situados a distancias diferentes ganando sus velocidades puntuales en tiempo real mediante un procesamiento digital de 24 bits/50Mhz. Por cada punto se obtiene un vector velocidad, ver figura 31 y con este método se puede garantizar grandes exactitudes.

En la tabla 10 se podrán estudiar algunas de las ventajas y limitaciones de los medidores ultrasónico y en la figura 32, Medidor ultrasónico Proline Prosonic Flow 93 de Endress + Hauser, un modelo más sencillo utilizando las técnicas de haz único o de desviación de haz. [17]

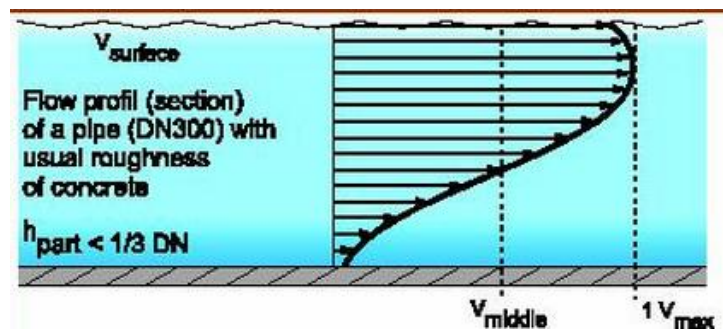


Figura 31: Vector velocidad para la indicación del flujo [17]

Ventajas	Limites
Se puede usar tanto en tuberías pequeñas como de gran tamaño y no necesariamente en tubería llena ej. A secciones medias o tubería de forma irregular.	Algunas espumas producidas por el fluido pueden absorber la señal ultrasónica.
Sensor económico con referencia a su gran precisión. No es necesario calibración adicionales o correcciones en su medición	La presencia de partículas o vapor de aire puede interferir la señal de los medidores de tipo no intrusivo
Fácil montaje.	Su costo es relativamente alto para tuberías de diámetro pequeño.
Medida en tiempo real. No recibe perturbaciones por voltajes o temperatura	

Tabla 10: Ventajas y limitaciones de los medidores ultrasónicos [16]



Figura 32: Medidor ultrasónico Proline Prosonic Flow 93 [19]

2.2.4. Medidor por tensión inducida tipo electromagnético. Para que exista un campo magnético debe haber un medio conductor para nuestra aplicación, este medio puede ser líquido ejemplo agua. Basado en la ley de Faraday que establece que la tensión inducida a través de un conductor moviéndose perpendicularmente a través de un campo magnético, es proporcional a la velocidad del conductor. La ecuación 8, es la fórmula que Faraday propuso. [16]

$$\text{Ecuación 8.} \quad E_s = KBlv$$

En donde: E_s = Tensión generada por el conductor.
K = Constante.
B = Densidad del campo magnético.
L = Longitud del conductor.
V = Velocidad de movimiento.

Bajo el principio de que la tensión inducida en el conductor es perpendicular tanto a la velocidad del conductor como en vector del campo magnético B.

El fluido que debe ser conductor pasa a través de un campo magnético producido por un grupo de bobinas, que están sujetadas en el exterior de la tubería ver figura 33. [7]

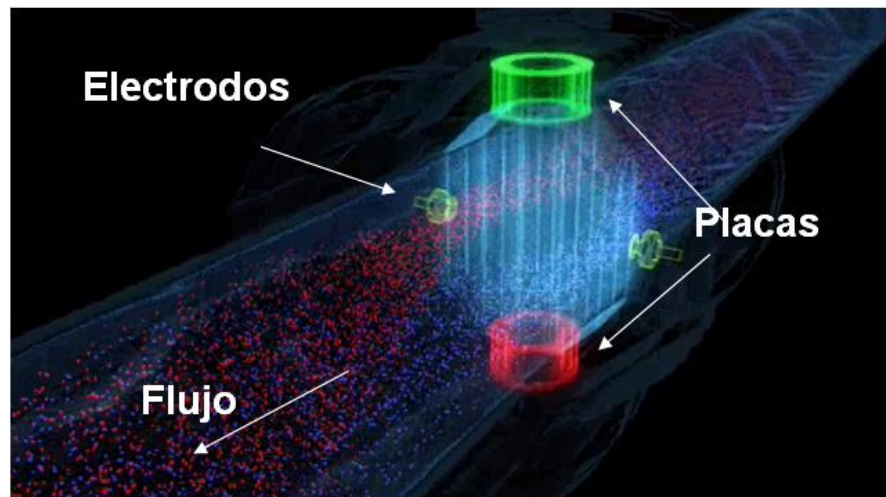


Figura 33: Conductor líquido a través de un campo magnético [7]

La señal generada es tomada por dos electrodos nivelados con la superficie interior de la tubería y completamente opuestos. Esta señal generada no solo depende de la velocidad del fluido sino también de la densidad del campo magnético, la tensión y por la temperatura como se observan en las ecuaciones 9 y 10. [16]

Ecuación 9.
$$Q = v * \frac{\pi D^2}{4}$$

Ecuación 10.
$$Q = K * \frac{E_s}{B} * D$$

Como es difícil mantener parámetros como la temperatura y la conductividad constantes, la señal generada debe ser comparada en el receptor con una tensión llamada "tensión de referencia E_r " y como las dos señales son procedidas por el campo magnético B , tenemos que La tensión de la línea, las variaciones de temperatura y de conductividad no influyen en la medición de la medida ver figura 34 y 35. [16]

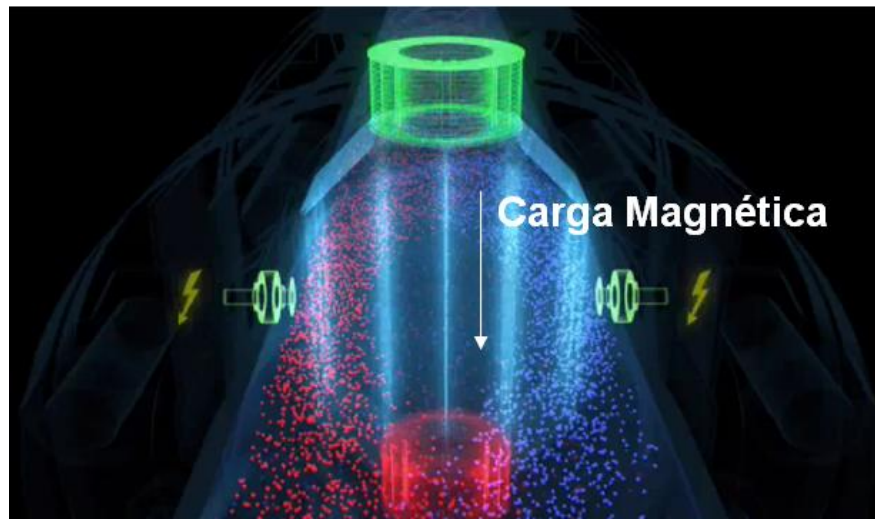


Figura 34: Campo magnético [7]

En la figura 35, se puede observar las conexiones del elemento de medida. La señal de medida E_r es adquirida de un arrollamiento colocado en las bobinas de campo que generan el flujo magnético. [16]

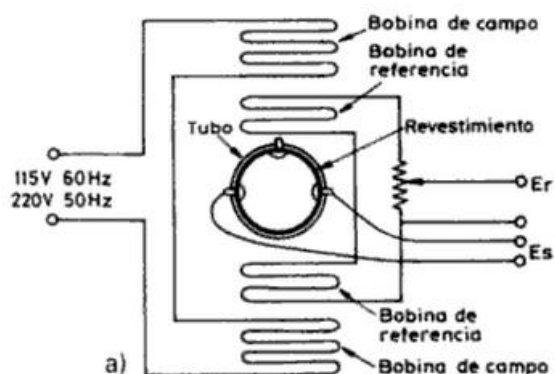


Figura 35: Adquisición de la señal de medida E_r [16]

El valor de E_r se toma de tal modo que la relación E_s / E_r sea constante en todos los instrumentos de flujo. De este modo se facilita el reemplazo con otro medidor electromagnético. Teniendo en cuenta un inconveniente, las características propias de los líquidos, los receptores solo pueden medir en líquidos con una conductividad mayor a 3 micromhos/cm. Haciendo algunos cambios en los receptores se pueden medir caudales de líquidos con una conductividad de 0.05 micromhos/cm. [16]

Otra mejora que realizan algunos fabricantes es excitar las bobinas que producen el campo magnético a bajas frecuencias obteniendo así un aumento de la precisión y la estabilidad. Una segunda opción es alimentar las bobinas con tensión continua pero con periodos de corta duración, logrando un medidor con menor gasto de energía, costo más bajo, su instalación más sencilla y menos sensibles a los problemas de recubrimiento de electrodos pero su respuesta es más lenta, notando una gran desventaja para algunos tipos de controles. [16]

Como tercera opción como se puede ver en la figura 36. Alimentación de las bobinas. Se puede alimentar la bobina del campo magnético con dos sondas superpuestas, una de baja frecuencia permitiendo estabilidad del cero y otra de alta frecuencia haciéndola inmune al ruido de baja frecuencia producido por reacciones electroquímicas, líquidos de alta viscosidad y baja de conductividad. [16]

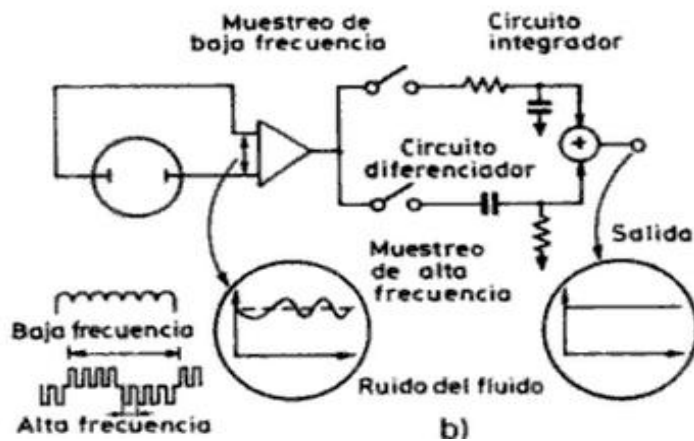


Figura 36: Alimentación de las bobinas [16]

Los medidores electromagnéticos están formados por dos elementos, primario por donde circula el fluido a sensor y secundario los que toman la señal formada por el caudal y la transforman en una señal compatible para la utilización en la industria como se muestra en la figura 37. Elementos del medidor electromagnético y en la figura 38, diagrama en bloques. [12]

Elementos primarios.

- **Bobinas y núcleo ferromagnético.** Son los encargados de producir el campo electromagnético. Las bobinas pueden estar instaladas sin alguna conexión en el tubo donde se hará la medición o integrados al tubo, este podría ser hecho de material magnético.
- **Tubo donde se hace la medición.** Su materia de fabricación puede variar desde plástico, cerámica, aluminio, latón o acero inoxidable. Una condición debe ser que los materiales metálicos deben tener un reabastecimiento para evitar cortocircuitos con la señal obtenida de los electrodos.

Elementos secundarios: transmisor.

- Sus funciones es amplificar y tratar la señal de los electrodos, la señal de referencia, dar una señal proporcional al caudal y eliminar las perturbaciones de fuerzas electromotriz parásitas. [12]

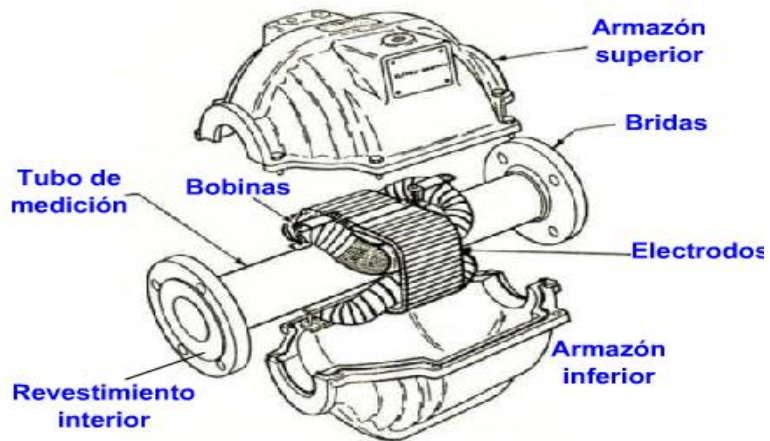


Figura 37: Elementos del medidor electromagnético [12]

- Compensar, las señales de alimentación, frecuencia, intensidad del campo magnético en el elemento primario, como ya se han nombrado antes.

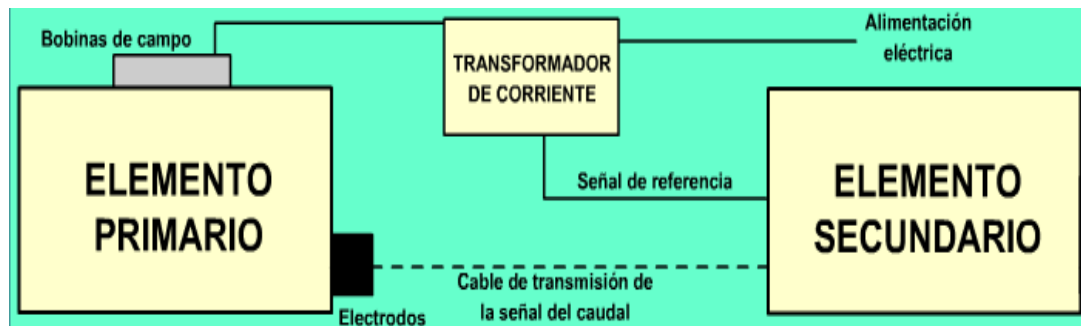


Figura 38: Diagrama en bloques [12]

Los electrodos son lo único que están en contacto con el fluido y el campo magnético, están compuestos por uno o varios pares de polos o placas capacitivas, mediante ellas se detecta la tensión inducida. Esta señal está en el orden de los milivoltios, por lo que se debe ser ampliada para poder ser manipulada. [12]

En la tabla 11. Tipos de materiales de los electrodos. Se ve las diferentes clases de electrodos que se pueden implementar, como se ha mencionado antes los electrodos están en contacto con el fluido por lo tanto debe ser compatible con sus

propiedades químicas, el más común es acero inoxidable 316. En la tabla 12 se observaran algunas ventajas y desventajas de este tipo de material. [12]

Material	Resistencia a la corrosión	Resistencia a la abrasión
Acero inoxidable 316	alta	media
Hastelloy	alta	media
Platino	Muy alta	Baja
Monel	alta	media
Tantalio	alta	media
Titanio	alta	alta

Tabla 11: Tipos de materiales de los electrodos [12]

La Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga adquirió el medidor electromagnético Proline Promag 50W de Endress + Hauser, como se observa en la figura 39. El cual es empleado para la medición de flujo de líquidos en agua o aguas residuales. En la tabla 13 y en tabla 14. Están los datos mínimos que exige el fabricante para la solicitud del instrumento, dado por medio de la empresa Colsein, en estas tablas se puede ver que se precisa saber entre otras cosas: la composición del flujo a medir, características de la tubería y del ambiente donde va estar ubicado etc. [22]



Figura 39: Medidor electromagnético Proline Promag 50W [22]

Ventajas	Desventajas
No genera pérdidas de presión en el fluido, recomendado a procesos que fluyen por gravedad o en fluidos Cercanos al punto de vaporización.	Algunos fluidos a medir pueden tener depósitos que quedan sobre los electrodos y la medición sería errónea
Se aplica tanto a flujo laminar como turbulento porque no depende de la viscosidad.	Su costo es relativamente alto.
La tubería puede ser de material no conductor la cual es ventajosa para evitar o resistir la corrosión.	No es utilizable en gases por la baja conductividad.
Permite la medición de caudales bidireccionales.	
No tiene partes móviles, por lo que es confiable y de bajo mantenimiento	
La precisión es relativamente alta	

Tabla 12: Ventajas y limitaciones de los medidores magnéticos [20]

Para entender mejor los requerimientos solicitados por el fabricante para el medidor electromagnético, se especificaran algunos de estos parámetros. Estos datos requeridos son de ayuda para confirmar, tanto por el fabricante como la parte interesada si este es el instrumento indicado para la aplicación o el proceso, debido a los diferentes métodos ya mencionados, las ventajas y desventajas etc. a continuación se explica algunos parámetros de las tablas 13 y 14.

- **Abrasividad.** es un componente o una sustancia que tiene como objetivo actuar sobre otro tipo de materiales, ya sea para triturar, moler o molienda, hacer un corte o pulir. [23]
- **Viscosidad.** Si algún fluido no tiene viscosidad es un fluido ideal. La viscosidad es la oposición a deformarse.

Lista de Verificación para Aplicaciones de Medición de Caudal			
Nombre:	Andres Latorre - Juan Mantilla		
Compañía:	UPB- seccional Bucaramanga		
Dirección:	Km 7 vía Piedecuesta		
Ciudad:	Bucaramanga		
Teléfono:	6796220		
Fax:	6798221		
e-mail:	arlc631@yahoo.es – juan.mantilla@upb.edu.co		
Aplicación			
Visualización		X	
Dosificación			
Registro			
Totalización			
Control			
Datos del producto:			
Sustancia		Agua Potable	
Conductividad en $\mu\text{S}/\text{cm}$:		5000– 50000	
Viscosidad (unidades):			
Densidad (unidades):		0,99568	
Abrasividad (unidades):		si__ no_X_	
Sólidos suspendidos		si__ no_X_	_____%
Datos del Proceso:			
Rata de Flujo (min./norm./max.):	0.2 m3/h / 11 m3/h /14 m3/h		
Temperatura (min./norm./max.)	20 °C /24 °C /30.9°C		
Presión psi. (min/norm/máx.):	5 psi /50 psi /100psi		
Datos de la Tubería:			
Diámetro:	1"		
Materiales:	Acero inoxidable		
Schedule:			

Tabla 13: Datos solicitados por el fabricante [22]

Lista de Verificación para Aplicaciones de Medición de Caudal			
Montaje del equipo			
Interior:		X	
Intemperie:			
Conexión al proceso:			
Limpieza en sitio:			
SIP			
CIP		X	
Datos Técnicos:			
Grado de protección IP:	IP67		
Clasif. eléctrica zona (Ex):			
Tensión de alimentación:	120 Vac o 24 Vdc		
Señal de salida:	4-20 mA		
Precisión:			
Información adicional:	las conexiones del instrumento sea flanchado clamps		

Tabla 14: Características del instrumento [22]

- Grados de protección IP.** Son utilizados en los equipos eléctricos y electrónicos en general de uso industrial y hacen referencia al estándar internacional IEC 60529. Especifica que protecciones tienen los contenedores que resguardan estos equipos. Ejemplo IP67 donde IP identifica el estándar International Protection. El primer dígito en este caso el 6 me dice que tiene protección contra el polvo y el 7 que resguarda frente a líquidos normalmente agua. [23]
- Conexión del instrumento.** Dependiendo los requerimientos del proceso, el medidor puede venir para ser vinculado por varios tipos de conexiones, las más conocidas son por bridas ver figura 40 o conexión por flanchado Clamps, ver figura 41.

Las conexiones por flanchado Clamps son más ventajosas a la hora de hacer mantenimiento y reubicación, ya que permite un acceso más rápido al sensor o medidor. [22]



Figura 40: Conexión por bridas Proline Promag 50W [22]

En el capítulo 4. Ingeniería de detalle del banco de ensayo para la medición de flujo y pérdidas de presión. Se profundizará sobre el medidor electromagnético Proline Promag 50w, los datos del proceso de la tabla 11, la placa de características técnicas del medidor, además de la información técnica del fabricante y puede verse en numeral 2.1.1 los rangos de trabajo del instrumento. (Ver anexo A). [22]



Figura 41: Conexión por flanchado clamps [24]

2.2.5. Medidores másicos. A diferencia de los medidores volumétricos que miden en caudal en unidades de volumen por tiempo ejemplo m^3/h , los instrumentos másicos miden directamente el caudal pero en unidades de masa como Kg/h y básicamente tenemos tres clases: [10]

- Medidores de volumen con corrección automático de densidad incorporada.
- Medidores de masa directamente.
- Medidor de flujo másico por dispersión térmica.

Para calcular el caudal masa, algunos medidores hacen la conversión adquiriendo o midiendo los siguientes parámetros: el volumen, la temperatura y la presión del fluido que se está evaluando, un ejemplo son los medidores de placa de orificio agregando algo de instrumentación para la toma de la temperatura y la presión, haciendo así todo un solo conjunto.

a. Momento Angular. Otros medidores consiguen directamente el caudal en masa. Entre ellos podemos nombrar los de tipo de momento angular como se muestra la figura 42, que está construido por dos rotores por donde fluye el caudal, donde el primero de los rotores se hace girar a una velocidad constante para brindar una velocidad angular al fluido y el segundo rotor permanece fijo. Alcanzándose un par de torsión en el segundo rotor y siendo proporcional al caudal en masa. [10]

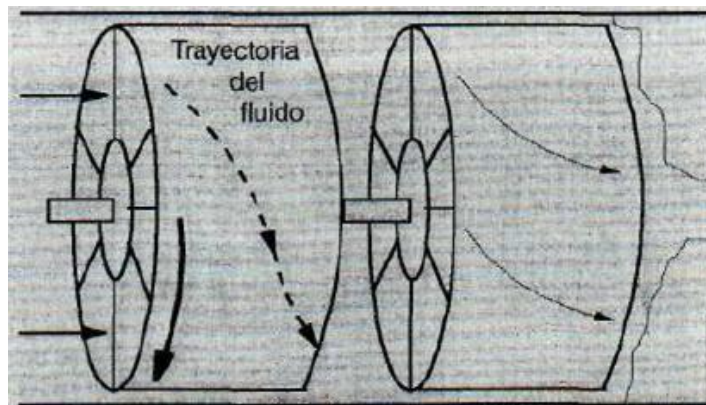


Figura 42: Medidor másico de momento angular [10]

b. Efecto Coriolis. Otro tipo de medidor muy conocido y que mide directamente el flujo másico ver figura 43, son los que están basados en el efecto Coriolis, esta teoría dice que si un objeto se mueve en un sistema de coordenadas que rota con una velocidad angular, este experimenta una fuerza Coriolis proporcional a la masa y velocidad del objeto, así como la velocidad angular del sistema. [10]



Figura 43: Medidor Coriolis Promass F200 de Endress + Hauser [7]

Siguiendo la segunda ley de Newton la cual establece que en un sistema donde la fuerza que interviene sobre un cuerpo de masa (m) y es trasladado con una aceleración (a), está gobernada por la ecuación 11.

$$\text{Ecuación 11.} \quad F = m * a$$

Pero esta ley cambia por el intercambio de velocidades que sufre el fluido al entrar en un bucle con forma de U, cuya velocidad lineal sigue siendo (v), pero en el bucle el fluido tendrá una velocidad angular (w), proporcionando la siguiente aceleración llamada Coriolis. Ecuación 12. Y reemplazando en la ecuación 11 se obtiene la fuerza Coriolis definida por la ecuación 13. [10]

$$\text{Ecuación 12.} \quad a_{cor} = 2 * v * w$$

$$\text{Ecuación 13.} \quad F_{cor} = 2 * m * v * w$$

Un ejemplo práctico es la tierra porque ella es un sistema de coordenadas rotacional y si un objeto se dejara caer desde una gran altura en dirección vertical, al tocar la tierra se habrá desviado de su posición teórica. Ahora sin un objeto que va desde una trayectoria vertical en nuestro caso una tubería recta, el efecto de

desplazamiento lateral haría que el objeto ejerciera una fuerza contra la pared del tubo en U. si se cambia el objeto por un fluido, la fuerza Coriolis producida contra las paredes del tubo sería proporcional a la masa de caudal y el momento angular, ver la ecuación 14 par creado, en la figura 44, se puede observar el funcionamiento del medidor de efecto Coriolis [10]

$$\text{Ecuación 14. } M = 2 * f * r = 4m * v * w * r = 4 * w * r * Q$$

Ahora como la fuerza de torsión del tubo descrita por la ecuación 15. Donde K_s es la constante de elasticidad del tubo y θ el ángulo de torsión del tubo es igual al par creado respecto al eje R-R como se indica en la figura 44. Obtenemos la ecuación 16 que nos indica directamente el caudal másico. [16]

$$\text{Ecuación 15. } T = K_s * \theta$$

$$\text{Ecuacion 16. } Q = \frac{K_s * \theta}{4wr}$$

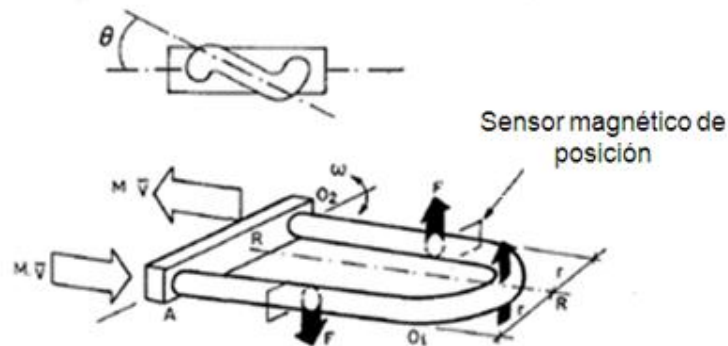


Figura 44: Medidor Coriolis [16]

En la figura 44, Medidor Coriolis se puede notar que hay dos sensores magnéticos de posición que están situados en el centro del tubo y además hace referencia a dos intervalos de tiempo, uno del movimiento hacia abajo del tubo y el otro del movimiento hacia arriba, en la figura 45, el medidor de Endress + Hauser utiliza tres sensores magnéticos pero con el mismo fin. De este modo se puede determinar el ángulo θ , ya que las diferencias de las ondas captadas por los sensores se traducen en impulsos, que alimentan un integrador que a su vez carga un condensador proporcionando el ángulo de torsión.

Pero como θ es muy pequeño y tiene una relación con las diferencias de tiempo de los sensores. Ver ecuación 17. Se tiene como conclusión que se puede obtener el caudal masa en función del tiempo y las características propias del tubo sin tener en cuenta la frecuencia de vibración del tubo w . [16]

Ecuacion 17.
$$Q = \frac{K_s * L}{8r^2} * \Delta t$$

La medida del caudal por esta técnica se hace sin las perturbaciones de la temperatura, presión y densidad del fluido. El tubo está libre de cualquier obstrucción por lo que lo hace perfecto para circular fluidos con sólidos. Un detalle fundamental es la característica física del tubo ya que este debe aguantar la fatiga de las vibraciones, corrosión y erosión del fluido. La precisión por este método es de un $\pm 0.3\%$. No necesariamente el tubo de ser forma de U o Ω , también puede ser en S, Z o de hélice. [16]

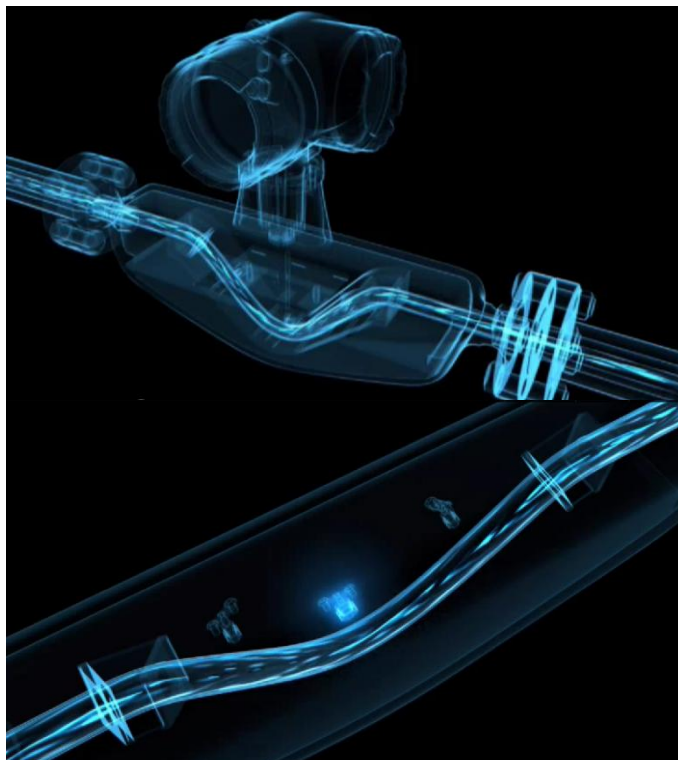


Figura 45: Medidor Coriolis Promass F200 de Endress + Hauser [7]

El medidor de efecto Coriolis dispone de transmisor inteligente que les facilita su calibración, el cambio rápido de ubicación y el rango de la medida. Ver la tabla 15 donde se identifican algunas ventajas y desventajas de este tipo de medidor.

Ventajas	Desventajas
Alto nivel de exactitud y su Salida lineal.	Pérdida de carga es media.
Rango de medida alto, 25:1	Su costo es relativamente alto.
La medida del caudal es directa sin necesidades de compensaciones.	No es práctico para tuberías de gran tamaño. Porque es muy voluminoso.
No tiene partes móviles, por lo que es confiable y de bajo mantenimiento.	No es apto para caudales elevados.
Permite la medición de caudales másicos de líquidos difíciles de medir como : adhesivos, nitrógeno líquido etc.	

Tabla 15: Ventajas y limitaciones medidores Coriolis [10]

c. Dispersión térmica. Es una técnica relativamente simple, el flujo en términos de masa es determinado por el efecto del cambio de la temperatura. Los principios físicos son: la elevación de la temperatura del fluido al pasar por el sensor calentado o al pasar por una cilindro metálico a una temperatura constante llamada termopozo y la pérdida de calor debido al movimiento del fluido. [30]

Para el termopozo la temperatura es elevada por medio de un Heater interno (una resistencia térmica), que contiene un sistema muy preciso de regulación de potencia, para mantener la temperatura constante. El Heater está aislado del sensor de temperatura las cuales son dos RTDs, una mide la temperatura del proceso y la otra del termopozo ver figura 46. [30]

El flujo que transcurre a través de los sensores, produce una variación en la temperatura, de tal modo que esta diferencia es inversamente proporcional a la rata de flujo existente, es decir, al aumentar el flujo la diferencia de temperatura decae. [30]

A partir de lo anterior se tiene dos alternativas, la primera es mantener la diferencia de temperatura constante, en este caso el flujo se computa partiendo del cambio de potencia requerida en el heater, para mantener la diferencia entre las medidas captadas por las RTDs. [30]



Figura 46: Termopozo [30]

Como segunda opción es mantener la potencia del heater constante, por lo tanto la diferencia de temperatura captadas por las RTDs variará y esta sería la base para el cálculo del flujo másico. En la figura 47, se puede observar el medidor térmico de la empresa Endress + Hauser AG. [30]

En conclusión el concepto central de esta técnica es medir la propiedad de absorción de calor de los fluidos. Este método es usado principalmente en gases ver figura 48.

El criterio para la absorción de temperatura es el calor específico C_p del gas, se ha demostrado en la industria el C_p es independiente de la presión y la temperatura, la cual es proporcional a la densidad y por consiguiente a la masa. [30]

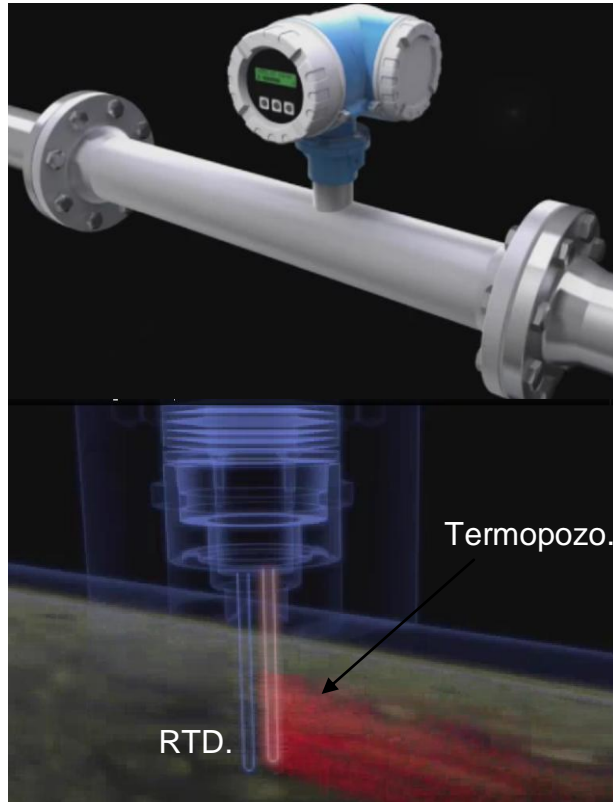


Figura 47: Medidor térmico Endress + Hauser AG [7]

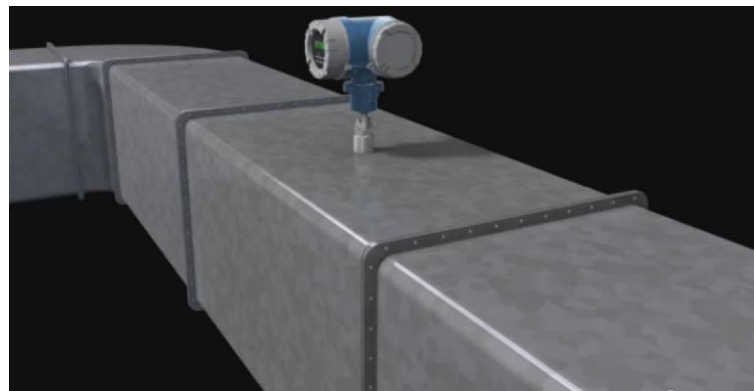


Figura 48: Aplicación principal en Flujos gaseosos [7]

3. NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 1063

3.1. DEFINICIÓN Y ESTUDIO DE LA NTC 1036.

Las normas técnicas colombianas son un instituto colombiano, el cual se encuentra certificado por ICONTEC, su función es dar soporte y evolución al productor y protección al consumidor. La NTC-1063 establece los criterios para la selección de medidores de flujo de agua en conductos cerrados a sección llena, medidores para agua potable fría o caliente, retoma referencias normativas externas, requisitos metrológicos, especificaciones de los instrumentos, requisitos de instalación, equipos y métodos de ensayos, accesorios asociados, requisitos especiales para medidores y la operación inicial de los medidores nuevos o reparados con el propósito de garantizar mediciones constantes, exactas y lecturas confiables de los instrumentos. [25]

La norma técnica colombiana NTC 1063 está dividida en tres partes: especificaciones, requisitos de instalación, equipos y métodos de ensayos. Cada parte tiene sus referencias normativas basadas en: organización internacional de estandarización (ISO), La organización internacional de metrología legal (OIML) y la guía técnica colombiana (GTC). Otros aspectos abarcados por esta norma son la terminología, los requisitos de pérdida de presión para los medidores de flujo para agua potable. Esta norma es aplicable para medidores basados en técnicas o principios electrónicos, eléctricos y mecánicos o con algún dispositivo electrónico utilizados para medir el flujo de volumen real del agua potable fría o caliente. [3]

Las referencias normativas son indispensables para la industria como para el consumidor, ya que de estas damos mayor veracidad a nuestras medidas ya sea para un nivel nacional o internacional, por ejemplo las OIML que es La organización internacional de metrología legal la cual encierra las unidades de medida, los resultados de una medida y de los mismos instrumentos que realizan dichas medidas. Dando un ejemplo son los envases en donde se empacan una gran variedad de productos, en donde uno de los parámetros que se le dan a un consumidor son el volumen que pueden llevar o el peso del producto en dicho envase. Son estos controles los que son necesarios a un nivel legal llevado a cabo por el gobierno. [23]

3.2. NTC 1063-1 ESPECIFICACIONES DE LOS MEDIDORES DE FLUJO PARA AGUA.

Se debe hacer la aclaración que esta norma solo corresponde a medidores de flujo de agua. Independientemente de la tecnología existente y que estén definidos como instrumentos de medición de flujo en donde estén continuamente midiendo el volumen del agua que fluye a través de los conductos cerrados a sección llena. [3]

3.2.1. Términos y definiciones. La norma NTC 1063-1 hace referencia que algunos términos y definiciones se obtuvieron de documentos como OIML V1. Algunos términos solo se asocian a equipos electrónicos. [3]

- **Caudal (Flowrate).** Q . Cociente entre el volumen real del agua que pasa a través del medidor del agua, y el tiempo que le toma a este volumen pasar a través del medidor de agua.
- **Volumen real (Actual Volumen).** V_a . Volumen total de agua que pasa a través del medidor de agua, libremente del tiempo que le toma.
- **Volumen indicado (Indicated Volumen).** V_i . Volumen de agua indicado por el medidor, que corresponde al volumen real.
- **Error máximo permisible (Maximum Permissible Error).** **EMP.** Los valores extremos del error relativo de la indicación del medidor de agua, permitidos en esta norma.
- **Condiciones de operación nominales (Rated Operating Conditions, ROC).** **CON.** Situación de uso que dan el rango de valores de los factores de influencia, para los cuales se requiere que los errores de indicación del medidor estén dentro del EPM.
- **Condiciones limite (Limiting Conditions, LC).** **CL.** Condiciones extremas, relacionados con el caudal, la temperatura, la presión, la humedad y la interferencia electromagnética, IEM, que debe soportar un medidor de agua sin sufrir daño, y sin degradación de sus errores de indicación, cuando se opera posteriormente dentro de sus CON.

NOTA 1. Lo anterior hace referencia a condiciones límites (CL) superior e inferior

NOTA 2. Las condiciones límites (CL) para almacenamiento, transporte y operación pueden ser diferentes.

- **Error relativo (Relative Error).** Error de indicación dividido por el volumen real, expresado como un porcentaje.
- **Error de indicación (Error of Indication).** Volumen indicado menos el volumen real.
- **Caudal permanente (Permanent Flowrate).** Q_3 . Mayor caudal dentro de las CON a la cual se requiere que el medidor de agua opere de manera satisfactoria dentro del error máximo permisible. [3]
- **Caudal de sobrecarga (Overload Flowrate).** Q_4 . Máximo caudal al cual el medidor de agua debe operar durante un periodo de tiempo corto dentro de su EMP, mientras mantiene su desempeño metrológico cuando opera posteriormente dentro de sus CON.
- **Caudal mínimo (Minimum Flowrate).** Q_1 . El menor caudal al cual se requiere que el medidor de agua opere dentro del EMP.
- **Caudal de transición (Transitional Flowrate).** Q_2 . Caudal que ocurre entre el caudal permanente, Q_3 , y el caudal mínimo, Q_1 , que divide el rango de caudal en dos zonas, la “zona superior” y la “zona inferior”, cada una caracterizada por su propio EMP.
- **Temperatura de trabajo mínima admisible (Minimum Admissible Working Temperature, MAT). TtmA.** Temperatura mínima que puede soportar un medidor de agua permanente a una presión interna dada, sin deterioro de su desempeño metrológico. [3]

- **Temperatura de trabajo máxima admisible (Maximum Admissible Working Temperature, MAT). TtMA.** Temperatura máxima que puede soportar un medidor de agua permanente a una presión interna dada, sin deterioro de su empeño metrológico. [3]

NOTA. TtmA y TtMA son respectivamente los límites superior e inferior de las CON para la temperatura de trabajo.

- **Presión de trabajo mínima admisible (Minimum Admissible Working Pressure, AP). PtmA.** Presión mínima que un medidor de agua puede soportar en forma permanente dentro de las CON, sin deterioro de su desempeño metrológico.
- **Presión de trabajo máxima admisible (Maximum Admissible Working Pressure, MAP). PtMA.** Presión máxima que un medidor de agua puede soportar en forma permanente dentro de las CON, sin deterioro de su desempeño metrológico.

NOTA. PtmA Y PtMA son respectivamente los límites superior e inferior de las CON para la presión de trabajo.

- **Temperatura de trabajo (Working Temperature). T_t.** Temperatura promedio del agua en la tubería, medida aguas arriba y aguas abajo del medidor de agua. [3]
- **Presión de trabajo (Working Pressure). P_t.** Presión promedio del agua en la tubería, medidas aguas arriba y aguas abajo del medidor de agua. [3]
- **Perdida de presión (Pressure Loss). Δp.** Pérdida de presión a un caudal dado, causada por la presencia del medidor en la tubería.
- **Medidor en línea (In-Line Meter).** Tipo de medidor de agua colocado directamente en un conducto cerrado por medio de las conexiones (roscadas o bridadas) suministradas.
- **Medidor combinado (Combination Meter).** Tipo de medidor de agua en línea, que comprende un medidor de grandes caudales, y un medidor de pequeños caudales y un dispositivo de la conmutación que, dependiendo

de la magnitud del caudal que pasa a través del medidor, dirige automáticamente el flujo a través del medidor pequeño o del grande, o de ambos. [3]

NOTA. La lectura del medidor se obtiene de dos totalizadores independientes o de un totalizador, que suma los valores de ambos medidores de agua.

- **Medidor completo (Complete Meter).** Medidor que no tiene un transductor de medida separable (incluido el sensor de flujo) ni calculadora (incluido el dispositivo indicador).
- **Medidor compuesto (Combined Meter).** Medidor que tiene un transductor de medida separable (incluido el sensor de flujo) y calculadora (incluido el dispositivo indicador).
- **Sensor de flujo. Sensor de volumen (Flow Sensor).** (volumen sensor). Parte del medidor de agua (tal como el disco, el pisto, el volante, el elemento de la tubería o la bobina electromagnética), que registra el caudal o el volumen de agua que pasa a través del medidor.
- **Transductor de medida (Measurement Transducer).** Parte del medidor que transforma el flujo o el volumen de agua que se va a medir, en señales que se pasan a la calculadora. [3]

NOTA 1. Se puede basar en principios mecánicos, eléctricos o electrónicos. Puede ser autónomo o puede utilizar una fuente de energía externa.

NOTA 2. Para los propósitos de esta norma, el transductor de medida incluye el sensor de flujo o volumen.

- **Calculadora (Calculator).** Parte del medidor que recibe las señales de salida del(los) transductor(es) y posiblemente de los instrumentos de medición asociados, los transforma en resultados de la medición, y si es apropiado, almacena los resultados en la memoria hasta que se utilicen. [3]

NOTA. Además, la calculadora debe estar en capacidad de comunicarse en ambos sentidos con los dispositivos auxiliares.

- **Dispositivo indicador (Indicating Device).** Parte del medidor que visualiza los resultados de la medición, ya sea en forma continua o solicitud. [3]

NOTA. Un dispositivo de impresión que suministra una indicación al final de la medición no es un dispositivo de indicación.

- **Indicación primaria.** Indicación (visualizada, impresa o memorizada). Que está sujeta a control metrológico legal.
- **Dispositivo de ajuste (Adjustment Device).** Dispositivo incorporado en el medidor, que solamente permite que la curva de error se desvíe generalmente paralela a sí misma, con el fin de llevar los errores de indicación relativos dentro de los errores máximos permisibles.
- **Dispositivo de corrección (Correction Device).** Dispositivo conectado o incorporado al medidor para corregir automáticamente el volumen en las condiciones de medición, teniendo en cuenta el caudal y/o las características del agua que se van a medir (por ejemplo, temperatura y presión) y las curvas de calibración preestablecidas.

NOTA. Las características del agua se pueden medir usando instrumentos de medición asociados, o almacenarse en una memoria del instrumento.

- **Dispositivo auxiliar (Ancillary Device).** Dispositivo previsto para realizar una función particular, involucrado directamente en la elaboración, transmisión o visualización de los resultados de la medición. [3]

NOTA los principales dispositivos auxiliares son:

- Dispositivo de ajuste a cero.
- Dispositivo de indicación de la tarifa.
- Dispositivo de indicación de repetición.
- Dispositivo de impresión.
- Dispositivo de memoria.
- Dispositivo de control de tarifas.
- Dispositivo de preajuste.
- Dispositivo de autoservicio.

- **Instrumentos de medición asociados (Associated Measuring Instruments).** Instrumentos conectados a la calculadora, al dispositivo de corrección o al de conversión, para medir algunas magnitudes que son características del agua, con el fin de hacer una corrección y/o una conversión. [3]
- **Dispositivo electrónico (Electronic Device).** Dispositivo que emplea subensambles electrónicos y realiza una función específica.

NOTA 1. Usualmente los dispositivos electrónicos se fabrican como unidades separadas y están en capacidad de ser ensayados en forma independiente.

NOTA 2. Los dispositivos electrónicos, como se definen arriba, pueden ser medidores completos o partes de ellos.

- **Subensamble electrónico (Electronic Sub-assembly).** Parte de un dispositivo electrónico, que emplea componentes electrónicos y tiene una función propia reconocible.
- **Componente electrónico (Electronic Component).** La más pequeña entidad física que utiliza conducción por electrones o vacancias en semiconductores, gases o en el vacío.
- **Dispositivo de verificación (Checking Facility).** Dispositivo que está incorporado en un medidor de agua con dispositivos electrónicos y que posibilita que se detecten fallas significativas y se actúe de acuerdo con esto. [3]

NOTA. La verificación de un dispositivo de transmisión busca comprobar que toda la información que es transmitida (y solamente esa información), es recibida completamente por el equipo receptor.

- **Dispositivo de verificación automática (Automatic Checking Facility).** Dispositivo de verificación que opera sin intervención de un operador. [3]
- **Dispositivo de verificación automática permanente tipo P (Type P Permanent Automatic Checking Facility).** Dispositivo de verificación automática permanente que opera durante toda la operación de medición. [3]

- **Dispositivo de verificación automática intermitente tipo I (Type I Intermittent Automatic Checking Facility).** Dispositivo de verificación automática intermitente que opera a determinados intervalos de medición o por un número fijo de ciclos de medición. [3]
- **Dispositivo de verificación no automática tipo N (Type N Non-Automatic Checking Facility).** Dispositivo de verificación no automática que requiere la intervención de un operador.
- **Dispositivo de suministro de energía (Power Supply Device).** Dispositivo que alimenta a los dispositivos electrónicos la energía eléctrica requerida, usando una o varias fuentes de c.a. o' c.c.
- **Falla (Fault).** Diferencia entre el error de indicación y el error intrínseco de un medidor de agua.
- **Falla significativa (Significant Fault).** Falla cuya magnitud es mayor que la mitad del error máximo permisible en la "zona superior".

NOTA. Las siguientes no se consideran fallas significativas:

- Fallas que surgen de causas simultáneas y mutuamente independientes en el propio medidor de aguas o en sus dispositivos de verificación.
- Fallas transitorias que son variaciones momentáneas en la indicación, que no se pueden interpretar, memorizar o transmitir como un resultado de medición.

- **Magnitud de influencia (Influence Quantity).** Magnitud que no es el objeto de la medición, pero que afecta el resultado de ella. [3]
- **Condiciones de referencia (Reference Conditions).** Conjunto de valores de referencia o rangos de referencia o magnitudes de influencia para determinar el desempeño de un medidor de agua, o para la comparación de los resultados de las mediciones.
- **Error intrínseco inicial (Initial Intrinsic Error).** Error intrínseco de un medidor de agua que se determina antes de todos los ensayos de desempeño. [3]

- **Factor de influencia (Influence Factor).** Magnitud de influencia con un valor dentro de las CON del medidor de agua, como se especifica en la presente norma. [3]
- **Perturbación (Disturbance).** Magnitud de influencia que tiene un valor dentro de los límites especificados en esta norma, pero por fuera de las CON del medidor de agua.

NOTA. Una magnitud de influencia es una perturbación si para esa magnitud de influencia no se especifica las CON.

- **Primer elemento del dispositivo indicador (First Element Of The Indicating Device).** Elemento que, en un dispositivo indicador que comprende varios elementos, lleva la escala graduada con el intervalo de verificación de escala.
- **Intervalo de verificación de escala (Verification Scale Interval).** La división de escala de menor valor del primer elemento del dispositivo indicador.
- **Equipo bajo ensayo (Equipment Under Test). EBE.** Medidor de agua completo, subensambles de un medidor de agua o dispositivo auxiliar. [3]
- **Subensamble (Sub-Assembly).** Transductor de medida (incluido el sensor de flujo) y el dispositivo indicador (incluida la calculadora), de un medidor compuesto.
- **Caudal de ensayo (Test Flowrate).** Caudal promedio durante un ensayo, calculado de las indicaciones de un dispositivo de referencia calibrado, igual al cociente del volumen real que pasa a través del medidor de agua, dividido por el tiempo que le toma a ese volumen pasar a través del medidor de agua.
- **Diámetro nominal (Nominal Diameter).** Designación alfanumérica, de tamaño para componentes de un sistema de tubería, que se utiliza para propósitos de referencia. [3]

NOTA. Comprende las letras DN, seguidas por un número entero adimensional que está relacionado indirectamente con el tamaño físico del diámetro interno en mm, o el diámetro externo de las conexiones de los extremos.

- **Dispositivo de conversión (Conversión Device).** Dispositivo que convierte automáticamente el volumen medido en las condiciones de medición, a un volumen en las condiciones básicas, o a una masa, teniendo en cuenta las características del líquido (temperatura, presión, densidad, densidad relativa), medidas usando instrumentos de medición asociados, o almacenadas mediante un dispositivo de verificación automática que opera a intervalos de tiempo definidos. [3]

3.2.2. Características Técnicas.

Dependiendo del tipo de aplicación, el medidor puede ser colocado en línea, combinado o concéntrico. El tamaño de los medidores en línea puede variar dependiendo de su conexión, bien sea por brida las cuales deben cumplir con lo establecido por las normas NTC 4767 (ISO 7005-2) e ISO 7005-3 o conexión roscada la cual se deben verificar con las normas NTC 2147 (ISO 228-1). El tamaño de los medidores combinados, puede ser de una dimensión fija o ajustable por medio de un acople deslizante, el ajuste mínimo de la longitud total del medidor debe estar entre ± 15 mm en relación con el valor nominal de L, como se muestra en la tabla 16. Debido a la gran variedad de tamaños de los medidores combinados no se ha podido normalizar las dimensiones. [3]

Tamaño DN ^a	L preferido	L alternativas	W ₁ :W ₂
50	300	270, 432, 560, 600	220
65	300	650	240
80	350	300, 432, 630, 700	260
10	350	360, 610, 750, 800	350
125	350	850	350
150	500	610, 1 000	400
200	500	1 160, 1 200	400
^a DN: tamaños nominales de las conexiones con brida.			

Tabla 16: Medidor con conexión con bridas en los extremos [3]

- **Perdida de presión.** Dentro de las condiciones nominales (CON), no debe exceder 0.063 MPa (0.63 bar), involucrando los accesorios con filtros o tamiz que sea parte del medidor. El fabricante debe seleccionar las clases de pérdida de presión de la serie R-5 de la NTC 1144 (ISO 3:1973). [3]

3.2.3. Requisitos metrológicos. Todos los medidores deben ser asignados de acuerdo al caudal permanente Q_3 , en metros cúbicos por hora y una relación entre Q_3 y el caudal mínimo Q_1 . Para el caudal permanente Q_3 se debe seleccionar la siguiente tabla 17. Dependiendo la situación se puede extender a valores mayores o menores de la serie.

De la serie R 5 de la NTC 1144 (ISO 3: 1973)				
1,0	1,6	2,5	4,0	6,3
10	16	25	40	63
100	160	250	400	630
1 000	1 600	2 500	4 000	6 300

Tabla 17: Q_3 expresado en (m^3/h) [3]

3.2.4. Rangos de medición. Está definido por la relación de Q_3/ Q_1 . Y deben ser escogidos de la serie R 10 de la NTC 1144 (ISO 3: 1973), los cuales se muestran en la tabla 18.

10	12,5	16	20	25	31.5	40	50	63	80
100	125	160	200	250	315	400	500	630	800

Tabla 18: Relación de Q_3/ Q_1 [3]

3.2.5. Relación entre el caudal permanente (Q_3) y el caudal de sobrecarga (Q_4). Se encuentra definido por la ecuación 18. [3]

$$\text{Ecuación 18.} \quad \frac{Q_4}{Q_3} = 1.25$$

3.2.6. Relación entre el caudal de transición (Q_2) y el caudal mínimo (Q_1).

Para determinar esta relación primero debemos definir el caudal de transición de acuerdo a la ecuación 19. O siempre que la relación entre $Q_3/ Q_2 \geq 5$ pueden tomarse los siguientes valores: (1,5); (2,5); (4); (6,3). [3]

$$\text{Ecuación 19.} \quad \frac{Q_2}{Q_1} = 1.6$$

3.2.7. Caudal de referencia. Está definido por la ecuación 20.

$$\text{Ecuación 20.} \quad 0.7 * (Q_2 + Q_3) \pm 0.03 * (Q_2 + Q_3)$$

3.2.8. Error máximo permisible (EMP). Se pueden encontrar varios errores en los ensayos para medidores de flujo de agua. El error máximo permisible en servicio debe ser el doble de los errores máximos permisibles en la zona inferior del caudal y de la zona superior del caudal. [3]

- **EMP para flujo en la zona superior de caudal.** Sea este positivo o negativo, con niveles de caudales comprendidos entre el caudal de transición (Q_2) (incluido) y el caudal de sobrecarga (Q_4) es: 2% para agua a una temperatura \leq a 30°C y 3% para agua a una temperatura $>$ 30 °C.
- **EMP para flujo de la zona inferior de caudal.** Los caudales comprendidos entre el mínimo (Q_1) y el de transición (Q_2) (excluido) es 5% para agua a una temperatura dentro de los CON, siendo positivo o negativo.
- **Error relativo (ϵ).** Es expresado como un porcentaje mediante la siguiente ecuación 21.

$$\text{Ecuación 21.} \quad \epsilon = \frac{(v_i - v_a)}{v_a} * 100$$

En donde: V_i es el volumen indicado.
 V_a es el volumen real.

- **Signo de error.** Si en un momento dado todos los errores, teniendo en cuenta que estén dentro del rango del medidor de agua, tienen el mismo signo al menos uno de estos errores debe ser inferior a la mitad (EMP). [3]

- **Flujo inverso.** No todos los medidores están diseñados para medir flujo inverso, por tal razón el fabricante debe especificar esta característica. En caso de ser verdadero el volumen del flujo inverso se debe restar del volumen indicado, o se debe registrar por separado. El mismo EMP debe ser aplicado tanto al flujo directo como al inverso. Teniendo como advertencia de que el medidor no tenga la capacidad de medir flujo inverso, el diseño de este debe impedir o debe estar en capacidad de soportar este flujo accidental sin deterioro. [3]
- **Requisitos de EMP para cambios de temperatura y presión.** Dentro de las CON del medidor de agua todos los requisitos de error máximo permisible (EMP) se deben cumplir para todos los cambios de temperatura y presión.
- **Medidores de agua con calculadora y transductor de medidas separados.** Cuando estos transductores y calculadora son separables e intercambiables pueden ser objeto de aprobaciones de estándares separados. Los EMP de la combinación calculadora y transductor de medida no debe exceder los valores de EMP para flujo en la zona inferior de caudal y zona superior de caudal descritos anteriormente, por ejemplo ver la figura 49, que es el mismo sensor electromagnético pero para ser monitoreado remotamente.[3]



Figura 49: Medidor magnético Proline Promag 53W [8]

3.2.9. Condiciones de operaciones nominales (CON). Entre las condiciones para los medidores es definida por el tipo de medidor o la técnica para la medición de flujo. Se tienen en cuenta parámetros como la presión admisible del agua, la presión interna, la temperatura del agua, rango de trabajo de la humedad ambiente, el rango de presión de trabajo, rango de temperatura ambiente, rango de trabajo de la fuente de alimentación. [3]

a. Temperatura del agua. Debe ser medida en la entrada del medidor, y debe corresponder con las indicaciones del fabricante del instrumento, ver anexo B especificaciones.

b. Clases de presión de los medidores. Entre las clases se encuentran dos tipos. La presión admisible del agua la cual debe ser medida aguas arriba de la entrada del medidor para la evaluación P_{tMA} y aguas abajo de la salida del medidor para la evaluación P_{tmA} . La presión mínima admisible, P_{tmA} debe ser de 30 Kpa (0,3 bar), si sobre pasa este valor debe corresponder a la siguiente serie ISO escogidos por el fabricante.

El segundo tipo es la presión interna, donde el medidor de agua debe estar en capacidad de resistir dicha presión, la cual debe someterse a ensayo como lo establece NTC 1063-3 (ISO 4064-3). [3]

c. Rango de presión de trabajo. Los instrumentos deben funcionar a un rango de presión mínimo de 1 MPa (10 bar), excepto para medidores con un tamaño de 500mm o superior y su presión de trabajo mínimo debe ser de 0,6 MPa (6 bar).

d. Rango de trabajo de temperatura ambiente. El rango de temperatura ambiente debe ser de +5 °C a +55 °C. Los medidores con dispositivos electrónicos y nivel de severidad de clase 3 deben de operar en un rango de temperatura ambiente de -25 °C a +55 °C. [3]

e. Rango de trabajo de humedad ambiente. Está definido entre 0% a 100% a 40 °C y mínimo 93% a 40 °C para dispositivos de lectura remotos.

f. Rango de trabajo de la fuente de alimentación. Aquellos medidores de agua eléctricos o electrónicos que requieran una fuente de alimentación externa su rango de tensión es de -15% al +10% de la tensión nominal de la fuente ya sea de corriente alterna o corriente continua y $\pm 2\%$ de la frecuencia nominal de una fuente de alimentación de c.a. [3]

g. Sensibilidad del medidor en el perfil de flujo. El fabricante debe especificar qué clase de sensibilidad tiene en instrumento para soportar los cambios de velocidad anormales del flujo como se describe en la norma NTC 1063-3 (ISO 4064), si se debe seleccionar algún acondicionamiento de flujo, incluido el dispositivo de corrección y los tramos rectos que deben estar definidos por el fabricante, de la misma manera el fabricante debe suministrar los dispositivos correctores adecuados y las longitudes rectas, que conforman la parte integral del patrón de aprobación.

3.2.10. Requisitos para medidores electrónicos o con dispositivos electrónicos. La practicidad de estos instrumentos es que permite traer un dispositivo de ajuste tales como:

- **Dispositivo de corrección.** Su función es la corrección de los errores lo más posible a cero, todo los parámetros que no son medidos deben ser corregidos e incluidos en la calculadora en el inicio de las actividades de medición. De igual manera se debe cumplir con los errores máximos permisibles (EMP).
- **Calculadora.** Para la elaboración de indicadores que están sujetos a control metrológico legal, como ejemplo una tabla de cálculo o polinomio de corrección, debe estar presentes en la calculadora en el inicio de las actividades de medición. La calculadora puede estar equipada con interfaces que permiten el acople de equipo periférico. Cuando se usan estas interfaces, el hardware y el software del medidor de agua continuaran funcionando correctamente y sus funciones metrológicas no se deben afectar. [3]

- **Dispositivos indicador electrónico.** Son accesorios que permiten la visualización continua del volumen durante el periodo de medición pero no es obligatoria, ver figura 50. Sin embargo, la interrupción de la visualización no debe interrumpir la acción de los dispositivos de verificación, si los hay. [3]



Figura 50: Medidor magnético Proline Promag 50W [22]

- **Dispositivos auxiliares.** Los módulos nombrados a continuación se usan para detectar anticipadamente la señal indicada del medidor de flujo, antes de que esté sea visible claramente en el dispositivo indicador. Del mismo modo debe cumplir EMP. [3]
 - Dispositivo de ajuste a cero.
 - Dispositivo de indicación de tarifa.
 - Dispositivo de impresión.
 - Dispositivo de memoria.
 - Dispositivo de preajuste.
 - Dispositivo de autoservicio.

3.2.11. Requisitos técnicos de los medidores de agua. Entre las características más comunes se pueden nombrar los materiales y construcción de un medidor, límites de fatiga, ajustes de los medidores, dispositivos de protección, dispositivos de sellado electrónico, dispositivo indicador, medidores equipados con equipos electrónicos.[3]

- **Materiales y construcción de un medidor.** Se deben fabricar de materiales con la resistencia y durabilidad necesaria. Que no se vean afectados hostilmente por las variaciones en la temperatura del agua, ya definidos dentro del rango de temperatura de trabajo.
- **Límites de fatiga.** Se debe demostrar que el medidor de flujo de agua está en capacidad de satisfacer los requisitos de límite de fatiga apropiados de acuerdo con el caudal permanente, Q_3 y el caudal de sobrecarga Q_4 , del medidor. Para medidores con capacidad de medir el flujo inverso, de igual modo se debe corroborar.
- **Ajuste de los medidores de agua.** Es un dispositivo que permite la desviación de la curva de error generalmente paralela a sí misma, con el fin de llevar los errores dentro del EMP. Si el dispositivo de ajuste está montado en la parte exterior del medidor de agua, se deben tomar medidas para el sellado o marcas de verificaciones y dispositivos de protección, a excepción de los medidores volumétricos.
- **Dispositivos de protección y marcas de verificación.** Los medidores de agua deben incluir dispositivos de protección que se pueden sellar para asegurar que, tanto antes como después de la instalación correcta del medidor de agua, no sea posible el desensamble o modificación del medidor y/o su dispositivo de ajuste o de corrección.
- **Dispositivos de sellado electrónico.** Se hace referencia al acceso del medidor en donde se puede llegar a influir en la medida y que debe estar protegido, donde solo personal con autorización pueda manipularlo. Como seguridad se debe guardar en la memoria o registro de la última intervención. El registro debe incluir la fecha y un elemento característico que identifique a la persona autorizada que hace la intervención. La

trazabilidad de la última intervención se debe asegurar al menos durante dos años. Si es posible memorizar más de una intervención.

- **Dispositivo indicador.** Las características más importantes son: que permita una lectura rápida, sencilla, una indicación visual confiable y sin retraso de la medida del flujo. El dispositivo indicador debe incluir un elemento visual para ensayo y calibración, además puede incluir elementos adicionales para ensayo y calibración por métodos diferentes, por ejemplo para ensayo y calibración automáticos. El dispositivo indicador puede ser digital o análogo o una combinación de ambos. Según numeral 6.6 de la norma NTC 1063-1. [3]
- **Medidores de agua equipados con dispositivos electrónicos.** Estos dispositivos deben estar diseñados y fabricados de manera que no ocurran fallas significativas cuando hallan perturbaciones descritas en la norma NTC 1063-3 (ISO 4064-3). Entre los equipos tenemos: dispositivos de verificación, dispositivo indicador electrónico, fuente de alimentación donde se describe tres tipos: Fuente de alimentación externa, Batería no reemplazable y Batería reemplazable.

En el caso que la fuente de alimentación externa fallara no se debe perder la indicación de volumen en el medidor y debe seguir siendo accesible al menos durante 1 año. En las baterías no reemplazables el fabricante debe asegurar que el tiempo de vida indicado de la batería, garantice que el medidor funcione correctamente al menos durante un año adicional al tiempo de vida operacional del medidor y en la batería reemplazable, el fabricante debe dar reglas precisas para su reemplazo y la fecha de sustitución de la batería se debe indicar en el medidor. [3]

Las propiedades y parámetros del medidor no se deben ver afectados por la interrupción del suministro de energía al reemplazar la batería. Cuando se vaya a reemplazar la batería se puede llevar a cabo de manera que no sea necesario romper el sello metrológico legal. La batería debe estar protegida por un dispositivo contra manipulación no autorizada, como por ejemplo un sello autorizado por el fabricante del medidor o autoridad de control. Como alternativa si la ruptura del sello metrológico legal es necesaria, el organismo nacional de metrología puede exigir que el

reemplazo del sello lo realice el mismo organismo, u otro organismo aprobado.

- **Ensayos de desempeño para medidores de agua con dispositivos electrónicos.** Para cada medidor debe ser clasificado en tres niveles de seguridad de acuerdo con las condiciones ambientales climáticas y mecánicas: la clase B para medidores fijos instalados en una edificación, clase C para medidores fijos instalados en exteriores y clase I para medidores móviles. Se puede hacer una solicitud de patrón que indique condiciones ambientales específicas en la documentación suministrada por el servicio de metrología, el fabricante debe informar al usuario acerca de las condiciones recomendadas para las que está hecho o diseñado el medidor. Los medidores de flujo de agua con dispositivos electrónicos se dividen en dos clases de medio electromagnético: clase E1 residencial, comercial e industrial liviano clase E2 industrial. Las condiciones de referencia para los ensayos de desempeño deben ser, ver tabla 19. [3]

Temperatura ambiente del aire	20 °C ± 5 °C
Humedad relativa del ambiente	60 % ± 15 %
Presión atmosférica del ambiente	86 kPa a 106 kPa
Tensión de potencia	Tensión nominal (U_{nom}) ± 5 %
Frecuencia de potencia	Frecuencia nominal (f_{nom}) ± 2 %
Agua	potable

Tabla 19: Condiciones de referencia para los ensayos [3]

Durante cada ensayo, la temperatura y la humedad relativa no deben variar más de 5°C o 10 % respectivamente dentro del rango de referencia. Los ensayos se especificarán y se ampliará en los numerales aplicables de la norma NTC 1063-3 (ISO 4064-3).

3.2.12. Rotulado descriptivo. Los medidores deben estar marcados en forma clara e indeleble con la siguiente información, ya sea agrupada o distribuida en la caja, el cuadrante del dispositivo indicador, la placa de identificación o la tapa del medidor siempre y cuando no sea separable: [3]

- Unidad de medición: metro cúbico.
- Valor del Q_3 , Q_3/Q_1 , Q_2/Q_1 (Si no es igual a 1.6), y la clase de pérdida de presión en donde se diferencia de $\Delta p = 0,063$ MPa (0,63 bar).

Ejemplo: $Q_3 = 25$, $Q_3/Q_1 = 200$, $Q_2/Q_1 = 2,5$, $\Delta p 10$

En donde: $Q_3 = 25 \text{ m}^3/\text{h}$
 $Q_3/Q_1 = 200$ (puede estar representado por R200)
 $Q_2/Q_1 = 2,5$
 $\Delta p 10 = 0,01 \text{ MPa (0,1 bar)}$

- Nombre o marca registrada del fabricante, ver figura 51.



Figura 51: Registro del fabricante del Proline Promag 50W [22]

- Año de fabricación y número de serie (lo más cerca posible del dispositivo indicador).
- El medidor debe venir con la dirección de la flecha que indica el movimiento del fluido y debe ser visible fácilmente en cualquier circunstancia.
- Presión máxima admisible si excede 1 MPa (10 bar), o para $DN \geq 500$, 0,6 MPa (6 bar)
- La letra V o H, si el medidor solo se puede operar en posición horizontal.
- La clase de temperatura, donde se diferencia T30.
- Señal de aprobación de patrones de acuerdo con los reglamentos nacionales.

Para medidores de agua con dispositivos electrónicos, deben tener las siguientes inscripciones: [3]

- Clases sobre sensibilidad a las irregularidades en el campo de velocidad.
- Nivel de seguridad ambiental, climática y mecánica.
- Clases de EMC.
- Señales de salida para dispositivos auxiliares (tipo/niveles) si los hay.
- Para una fuente de alimentación externa la tensión y la frecuencia.
- Para una batería no reemplazable, la última fecha en que se debe reemplazar el medidor.

Los ítems anteriormente descritos son reunidos y resumidos de la norma NTC 1063-1(primera actualización 2007-07-03), medición de flujo de agua, parte 1: especificaciones. Para dar como estudio las características, requisitos metrológicos, requisitos técnicos, errores y tipos de medidores etc. Para dar sustentación al diseño del banco para la medición de flujo de agua. [22]

3.3. NTC 1063-2 REQUERIMIENTOS DE INSTALACIÓN.

La segunda entrega de la norma NTC 1063 medición de flujo de agua en el conducto cerrado a sección llena, como objetivo principal es dar los criterios para selección de medidores ya sean sencillos, combinados o concéntricos independientemente de sus accesorios asociados, sean nuevos o reparados, para así garantizar mediciones exactas y lecturas confiables. Esta norma es aplicable para medidores que funcionen en base a principios eléctricos o electrónicos, métodos mecánicos y en combinación de ambas técnicas. [25]

Entre los temas a describir son: criterios para la selección, información del fabricante, accesorios asociados, instalación, calidad del agua, medidores electromagnéticos, medidores paralelos o en grupo, seguridad de operación, perturbaciones hidráulicas, primera operación de medidores nuevos como reparados, protección del medidor, seguridad del personal y de los usuarios.

3.3.1. Términos y definiciones. Se recomienda leer los términos y definiciones de la norma NTC 1063-1 o el capítulo 3.2.1 de este libro y los siguientes. [22] [25]

- **Operación en paralelo.** Operación de dos o más medidores agrupados entre si y conectados a una fuente común y a una descarga común.
- **Operación de medidores múltiples.** Operación de varios medidores agrupados entre sí, cuyas entradas se encuentran conectadas a una fuente común, o sus salidas se encuentran conectadas a una descarga común, pero no las dos cosas a la vez.

3.3.2. Criterios de selección para medidores de flujo de agua. Dependiendo las condiciones generales tales como: las características metrológicas, los tamaños de los medidores, las condiciones de operación de instalación, las clases ambientales exigidas y otros criterios: [25]

- La presión de suministro disponible.
- Las características físicas y químicas del agua.

- La pérdida de presión tolerable a través del medidor.
- Los caudales Q_1 y Q_3 del medidor (tal como se encuentran definidos en el numeral 3 de la NTC 1063-1 o ver numeral 3.2.3), deben ser compatibles con las circunstancias de caudal esperado en las instalaciones, incluida la dirección del flujo.
- La utilidad del tipo de medidor con respecto a las condiciones de instalación conocidas.
- La tubería y espacio disponibles para instalar el medidor y los accesorios.
- La posibilidad de que se depositen sustancias de la solución dentro del medidor.
- La continuidad del suministro de energía del medidor de agua (en donde sea aplicable).

Hay que hacer la aclaración que cuando se usan medidores combinados es necesario asegurarse que los caudales “de cruce” sean diferentes y por supuesto menores de los caudales de operación normales. [25]

3.3.3. Información que debe suministrar el fabricante. La información brindada por el fabricante debe ser suficiente para que permita la selección e instalación correcta del instrumento, de manera que los factores de dominio no conduzcan a fallas o inconformidades basadas en las características metrológicas ya definidas. [25]

El fabricante debe brindar con determinación todos los factores que influyen o que afectan el error de identificación y el estado con el que se diseñó el medidor individual. Para cada factor de influencia, el fabricante debe indicar las condiciones de operación nominales oportunos y aplicables al instrumento.

3.3.4. Accesorios asociados. Entre las generalidades para la instalación de un medidor de agua se puede incluir los siguientes accesorios. [25]

a. Aguas arriba del medidor. Ver figura 52.

- Un grifo o válvula, preferiblemente con una indicación de la dirección de operación de la válvula.
- Dispositivo corrector de perfil de flujo y/o tramo recto de tubería, colocado entre la válvula y el medidor.
- Un filtro colocado entre la válvula de cierre y el medidor, considerando lo anterior.
- Medios de sellamiento entre la conexión del medidor de agua y la línea de suministro de agua, para detectar cualquier eliminación no autorizada del instrumento.

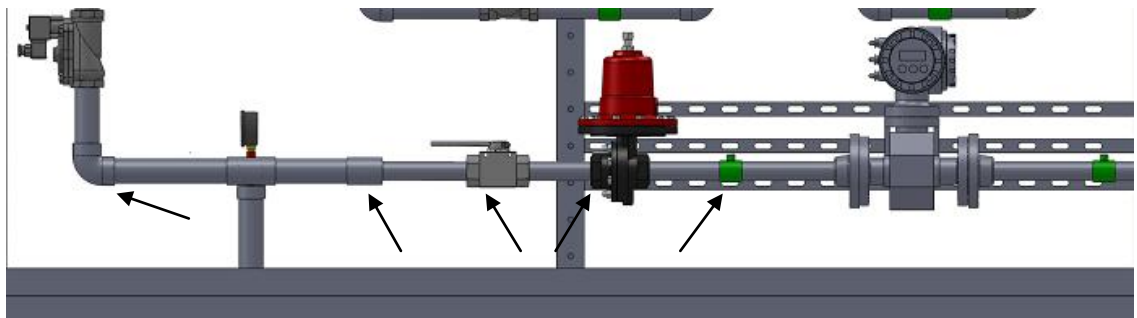


Figura 52: Accesorio aguas arribas [22]

b. Aguas abajo del medidor.

- Un accesorio de longitud ajustable que permita una fácil instalación y eliminación del medidor de agua. Este dispositivo está recomendado especialmente para medidores con $Q_3 \geq 16 \text{ m}^3/\text{h}$. [25]
- Un accesorio que incluya una válvula de drenaje, que puede ser utilizado con el propósito de monitorear la presión y llevar a cabo la esterilización y el muestreo de agua.

- Para medidores con $Q_3 > 4,0 \text{ m}^3/\text{h}$, un grifo o válvula; esta válvula debe operar de la misma manera que la válvula que se encuentra aguas arriba. [25]
- En caso que se requiera, una válvula de retención, excepto para aplicaciones de flujo birideccional.

3.3.5. Instalación de los medidores de agua. Entre las diferentes técnicas empleadas para la medición del flujo de agua, sean medidores mecánicos o electrónicos o que funcionen individual o en grupo deben ser cómodamente accesibles a la lectura o indicación del instrumento, por ejemplo sin usar un espejo o una escalera, de la misma manera debe ser su instalación, mantenimiento, extracción y para el desensamble del mecanismo en el sitio si es necesario. [25]

Es necesario que para medidores de agua con una masa superior a 25 kg, se debe predecir un acceso fácil al sitio de instalación con el propósito de permitir la instalación o el desmonte del medidor así como también un espacio suficiente, iluminación adecuada y el piso debe encontrarse libre de obstáculos (parejo, rígido y no resbaloso). Para medidores con Q_3 mayores iguales a $16 \text{ m}^3/\text{h}$, se deben tener todos los accesorios especificados en el numeral 3.3.4. En todos los casos se debe evitar la contaminación particularmente si el instrumento se instala en un foso (este debe encontrarse provisto de un sumidero o sistema de drenaje para retirar el agua) o en suficiente altura con relación al piso.

a. Requisitos específicos.

- Para garantizar una buena operación y una longevidad del instrumento, debe estar lleno siempre de agua.
- El medidor debe estar protegido contra golpes o vibraciones y si es necesario el medidor ha de ser instalado sobre una base o soporte.
- El instrumento debe ser privado de daños por temperaturas extremas del agua o ambientales.

- Si hay la posibilidad que entre aire al medidor o grupo de medidores de agua, se debe incorporar o instalar una válvula de liberación de aire aguas arriba y/o aguas abajo de acuerdo con el manual del fabricante.
- La orientación del medidor debe ser acorde con su clase. Como ya sea nombrado antes el fabricante debe identificar claramente los límites.
- Se debe proteger el instrumento a posibles daños ocasionados por la corrosión ambiental externa.
- No se debe utilizar el medidor y sus accesorios como puesta a tierra de otros elementos diferentes de su propio sistema, con el fin de minimizar el riesgo para el personal operativo, para cumplir este objetivo debe haber una derivación permanente para el medidor y sus accesorios asociados.
- Deben tomarse precauciones para evitar daños en el instrumento causados por condiciones hidráulicas desfavorables tales como: cavitación, pulsación y golpe de ariete.
- Las condiciones de instalación y ambientales deben cumplirse para que el medidor de agua permanezca bajo sus condiciones de operación nominal. Otras condiciones deben ser contempladas tales como: temperatura del agua, humedad relativa, presión del agua, calidad del agua, descargas electrostáticas, campos magnéticos continuos, perturbaciones electromagnéticas y cualquier otra condición mecánica, química, climática, eléctrica o hidráulica que no sea conveniente.

b. Calidad del agua. Se debe instalar un filtro aguas arriba del medidor para que se mantenga la medición en dado caso que hayan partículas suspendidas en el agua. [25]

c. Instalación de medidores electromagnéticos. Para tener una medición exacta e impedir la corrosión galvánica en los electrodos, el medidor y el fluido deben estar conectados eléctricamente al mismo potencial. Esto puede significar poner a tierra el agua (se debe seguir las instrucciones del fabricante). En tuberías no conductoras, o en tuberías aisladas del fluido, se deben interponer anillos

metálicos para puesta a tierra, entre la tubería y el elemento primario del medidor. Estos deben estar enlazados eléctricamente al elemento secundario y ambos deben estar conectados a tierra.

En una tubería para fluidos, conductora pero sin aislamiento, sin recubrimiento interno no conductor, los puntos de conexión del elemento primario del medidor deben estar enlazados eléctricamente al elemento secundario y ambos deben estar conectados a tierra.

Cuando el fluido no se puede poner a tierra por razones técnicas, el medidor se puede conectar sin poner a tierra el potencial del fluido, pero solamente cuando el modelo del medidor y las instrucciones del fabricante lo permiten. Para otros requisitos de medidores electromagnéticos, se aplica la norma ISO 6817. [25]

3.3.6. Perturbaciones hidráulicas. A gran medida los medidores son sensibles principalmente a perturbaciones del fluido aguas arriba causando errores considerables y desgastes prematuros, también son perceptivos a perturbaciones aguas abajo pero estas no influyen a gran medida (casi despreciables). [25]

a. Tipos de perturbaciones. Encontramos que un flujo puede tener dos tipos de perturbaciones: distorsión de perfil de velocidad y remolinos.

La distorsión de perfil de velocidad es producida por un obstáculo que bloquea parcialmente la tubería por ejemplo, la presencia de una válvula cerrada parcialmente, una válvula de mariposa, una válvula de retención, un orificio, un regulador de flujo o presión, etc.

De muchas maneras los remolinos se pueden generar, por ejemplo, por dos o más curvas del tubo en diferentes planos, por bombas centrifugas, por la entrada tangencial de la línea de alimentación a la línea principal en la que está instalado el medidor de agua, etc.

b. Técnicas para eliminar perturbaciones. Hay gran variedad de circunstancias que pueden causar las perturbaciones en el flujo y algunas de estas son muy complejas, uno de los accesorios fundamentales es la utilización de correctores de flujo. [25]

Para la distorsión de perfil de velocidad se puede eliminar cuidadosamente con los procedimientos de instalación y recomendaciones del fabricante. Cuando el instrumento esta en servicio es esencial asegurarse que las válvulas aguas arriba y aguas abajo estén completamente abiertas. Lo más recomendable es que estas válvulas sean de tipo que no causen perturbaciones en el fluido mientras estén abiertas.

Para mayor practicidad es que las secciones rectas de tubería de diámetro, D , sean del mismo diámetro del medidor y que tengan longitudes de $10 D$ y $5 D$ aguas arriba y aguas abajo del instrumento respectivamente. La norma NTC 1063-2 aclara que es solo un acuerdo práctico, ya que cuando más larga sea la tubería aguas arriba es mejor. [25]

Cuando se quieran instalar dispositivos tales como: una válvula de retención, orificio, regulador de presión o flujo, etc. Siempre van a crear una perturbación del perfil de flujo, sin importar que el medidor tenga una longitud de tubería de $10 D$. Siempre que sea posible, estos dispositivos se deben instalar aguas abajo del instrumento y en extremos muy lejanos de sección recta de tubería.

Dos o más curvas en diferentes planos se deben instalar aguas abajo del medidor o si están ubicadas aguas arriba mover lo más lejos posible el medidor.

Se puede usar dispositivos de corrector de flujo compatibles aguas arriba del medidor, para poder reducir la longitud de rectas de tubería nombradas anteriormente, pero teniendo en cuenta las instrucciones del fabricante. En la figura 53, se presta atención a las aplicaciones de flujo bidireccional. [25]

Donde: 1) línea de alimentación
 2) línea principal

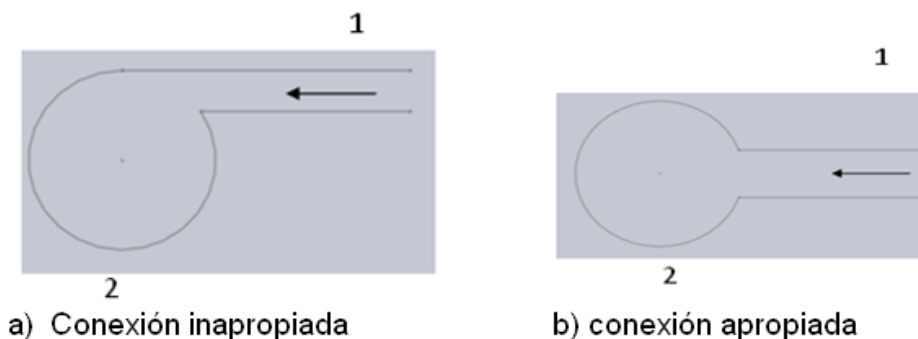


Figura 53: Conexión de la línea de alimentación de agua a la línea principal [25]

3.3.7. Primera operación de medidores de flujo de agua. Se debe asegurar la limpieza de la tubería de alimentación y el área circundante para evitar la posibilidad de ingresos al medidor de agua. Esto se debe hacer tanto para medidores nuevos o reparados. Después de haberse realizado la instalación se debe dejar entrar agua en la red lentamente y con los orificios de purga de aires abiertos de tal manera que el aire conducido por la tubería no llegue a causar un aumento en la medida de velocidad u originando posibles daños. [25]

a. Protecciones generales.

- Escarcha. Hace referencia para evitar el congelamiento del medidor, pero sin restringir su acceso.
- Calor húmedo y calor seco.
- Inundación o agua de lluvia. Choques o vibraciones transmitidos desde la instalación o inducidos por ella. El instrumento no debe verse afectado de acuerdo con las instrucciones del fabricante, estas perturbaciones deberían ser eliminadas antes de la instalación del medidor.
- Flujo de agua inverso. Se debe disponer una protección contra el flujo inverso cuando el diseño del medidor le impide medir el flujo en ambas direcciones, en donde el flujo inverso puede causar la incapacidad de permanecer dentro del error máximo permisible o el deterioro del medidor. [25]

- Condiciones hidráulicas. Cavitación, sobrepresión y golpe de ariete.
- Temperaturas excesivas de agua o aire ambiente.
- Esfuerzo y desequilibrio inducido por la instalación. El instrumento no debe ser sometido a esfuerzos causados por la desalineación de los tubos y accesorios o por la falta de soportes adecuados.
- Corrosión externa electrolítica o ambiental.
- Fraude intencional. En todas las transacciones comerciales se debe instalar un dispositivo de protección para así sellar el instrumento en la tubería de entrada, para evitar la sustitución o remoción del medidor sin que el dispositivo del medidor quede visiblemente dañado.
- Perturbaciones electromagnéticas.
- Descarga electrostática.
- Estallidos eléctricos.
- Reducción de potencia de corta duración.
- Variación de tensión de potencia.
- Vibración sinusoidal.

b. Anclaje de la tubería. Se debe asegurar que ninguna parte de la instalación se pueda desplazar por la fuerza o por el empuje del agua, ya sea en operación normal. La tubería aguas arriba y aguas abajo deben estar sujetadas adecuadamente, en la figura 54 el banco propuesto cuenta con unas rejillas horizontales para sujetar los accesorios y el medidor, además el armazón tiene huecos verticales que cumplen con la misma función. [25]

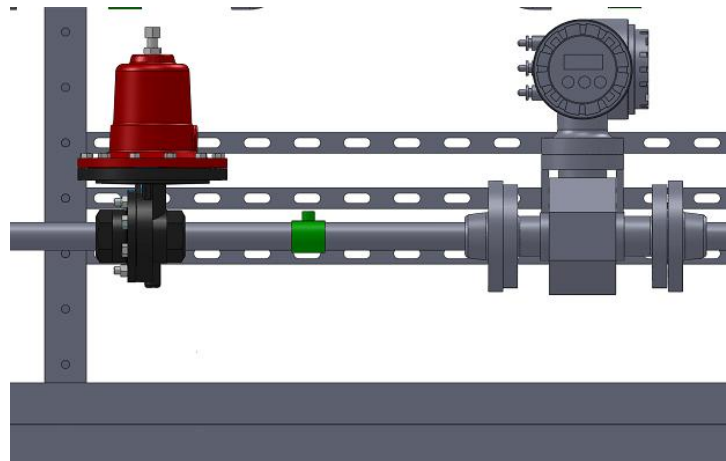


Figura 54: Anclaje de la tubería [22]

3.4. NTC 1063-3 EQUIPOS Y MÉTODOS DE ENSAYO

El objetivo es poder establecer los métodos de ensayo tanto para medidores concéntricos, combinados, basados en principios eléctricos o electrónicos e instrumentos que funcionen en base a técnicas mecánicas. Requisitos comunes a todos los ensayos, requisitos preliminares, calidad del agua, condiciones de referencia, ensayos para determinación de errores de indicación, principio y descripción del banco de ensayo, tubería, dispositivo de referencia de calibrado, lectura del medidor, ensayos de la temperatura del agua, ensayos de presión interna, ensayo de inversión del flujo, interpretación de los resultados, preparación, procedimiento de ensayo (medidores en línea y concéntricos), ensayos de pérdida de presión, ensayo de desgaste acelerado, ensayo de flujo continuo y discontinuo, ensayo de desempeño de medidores de agua eléctricos, mecánicos o mecánicos con dispositivos electrónicos, programa de ensayo para aprobación de patrones, ensayo para verificación inicial e informes de ensayo. [26]

3.4.1. Términos y definiciones.

- **Caudal de conmutación de medidores combinados con flujo decreciente. (combination meter changeover flowrate with decreasing flow). Q_{x1} .** Caudal que ocurre cuando la caída de presión en el medidor combinado disminuye repentinamente en paralelo con una interrupción de flujo en el medidor de mayor tamaño y un incremento visible en el flujo del medidor más pequeño. [26]

- **Caudal de conmutación de medidores combinados con flujo creciente. (combination meter changeover flowrate with increasing flow). Q_{x2} .** Caudal que ocurre cuando la caída de presión en el medidor aumenta repentinamente en paralelo con el inicio del flujo en el medidor de mayor y una reducción visible en el flujo del medidor más pequeño. [26]
- **Error relativo. ε .** Error expresado como un porcentaje, definido por la ecuación 21:

Ecuación 21.
$$\varepsilon = \frac{(v_i - v_a)}{v_a} * 100$$

En donde

V_1 es el volumen indicado

V_a es el volumen real

- **Caudal de ensayo.** Caudal promedio calculado a partir de la indicación del dispositivo de referencia calibrado y la duración del ensayo. [26]

3.4.2. Requisitos y condiciones comunes a todos los ensayos. Para la realización de los ensayos se debe establecer antes un programa de ensayo escrito que incluya: una descripción de los ensayos para la determinación del error de la medición, la pérdida de presión y la resistencia al desgaste. En el ensayo se puede como alternativa definir algunos niveles de aceptación y definir cómo se pueden interpretar los resultados. [26]

En términos de la calidad del agua se debe llevar a cabo los ensayos con agua del acueducto público, si dado el caso el agua es recirculada se debe tomar, algunas medidas para prevenir que el agua residual en el medidor resulte perjudicial para el consumo humano.

El agua no debe contener ninguna sustancia que deteriore el medidor incluyendo su funcionamiento. No debe contener burbujas de aire.

a. Otras condiciones de referencia. Estas condiciones dadas a continuación no son aplicables para la calibración, más adelante se especificaran los errores de medición de indicación (calibración), o puede verse en el numeral 11.3 de la NTC 1063-3. Para los medidores o durante la aprobación de patrones que están siendo ensayados deben mantenerse en los siguientes valores: [26]

- Caudal: $0,7 \times (Q_2 + Q_3) \pm 0,03 \times (Q_2 + Q_3)$
- Intervalos de temperatura ambiente: 15 °C a 25 °C
- Intervalo de humedad ambiente relativa: 45 % al 75 %

NOTA. Cuando las condiciones de temperatura ambiente y humedad relativa exceden los parámetros anteriores se debe tener en cuenta la secuela sobre el error de indicación (válido únicamente para los ensayos patrón de aprobación y no para calibración). [26]

- Intervalo de presión atmosférica ambiente: 86 kPa a 106 kPa
- Tensión de suministro de energía (redes c.a): tensión nominal (U_{nom}) \pm 5 %
- Frecuencia de suministro de energía: frecuencia nominal (f_{nom}) \pm 2 %
- Tensión de suministro de energía (batería): $U_{bmin} \leq V \leq U_{bmax}$
- Temperatura de trabajo del agua: véase la NTC 1063-1 (ISO 4064-1:2005), 5.4.1 tabla 5.
- Presión de trabajo del agua: 200 kPa (2 bar)

Durante cada ensayo la temperatura y la humedad relativa no pueden variar más de 5 °C o 10% correspondientemente dentro del intervalo de referencia. [26]

3.4.3. Ensayo para determinar los errores de indicación de los medidores. La NTC 1063 determina los errores de indicación de los dispositivos o instrumentos para la medición de flujo por el método denominado “recolección”, en el cual la cantidad de agua que pasa a través del medidor es recogida en uno o más recipientes y luego se determina su cantidad, calculando su volumen o su masa. Se puede utilizar otras técnicas diferentes siempre y cuando se respete el nivel de exactitud establecida en la norma. [26]

La verificación del error de indicación consiste en comparar la lectura del medidor que se ensaya contra las de un dispositivo de referencia calibrado.

a. Precauciones durante el ensayo. Las operaciones del banco para la medición de flujo deben garantizar que el agua que pasa a través de los medidores debe ser igual al que se mide en el dispositivo de referencia. Se debe purgar el aire de la tubería de interconexiones y el medidor. Se debe evitar los efectos de vibración y de los golpes.

b. Configuraciones especiales para la instalación de los medidores. Dependiendo el tipo de instrumento, haciendo referencia también a los métodos que utilizan para la medición de flujo. La NTC 1063 se basa en las recomendaciones del documento GTC 123 (OIML D4). [26]

- **Necesidades de tramos rectos de tubería o dispositivos correctores de flujo.** Los cuales son necesarios para que la exactitud de los medidores de agua no volumétricos puedan verse afectados por alguna perturbación aguas arriba o aguas abajo causadas por: codos, tees, válvulas o bombas, etc. para contrarrestar estos efectos, el medidor que se ensaya debe instalarse entre tramos rectos de tubería, bajo la condición que los diámetros internos de la tubería ya sean aguas arriba o aguas abajo deben ser los mismos al diámetro interno de los extremos de conexión del instrumento. Dado el caso se puede instalar un dispositivo de corrector de flujo. [26]
- **Medidores de agua tipo volumétricos.** Estos medidores son los que comprenden cámaras de medición con paredes móviles por ejemplo de pistón oscilante y disco nutativo, son considerados insensibles a las

condiciones de instalación aguas arriba, por lo tanto no hay recomendaciones especiales.

- **Medidores de tipo velocidad.** Este tipo de instrumento son sensibles a las perturbaciones de flujo, dando a lugar errores significativos. En donde las condiciones de instalación no se han definido claramente, seguir instrucciones del fabricante. [26]
- **Medidores de inducción electromagnética.** Esta clase de medidor es muy posible que se vea afectada por la conductividad del agua con que se está haciendo la prueba. Es recomendable que el agua de ensayo tenga una conductividad dentro del intervalo de valores especificados por el fabricante.
- **Otros principios de medición.** Dependiendo de la clase del medidor este puede requerir o no accesorios para el acondicionamiento del flujo para los ensayos de exactitud. Si de ser necesario se debe seguir las especificaciones del fabricante durante los ensayos y estas recomendaciones deben ser anexadas en los documentos de aprobación de patrones. [26]
- **Inicio del ensayo y determinación de los errores.** Como ya se había mencionado anteriormente se debe seguir todas las precauciones adecuadas para evitar perturbaciones y teniendo en cuenta la reducción de incertidumbres resultantes de la operación de los componentes del banco de prueba durante el ensayo. Véase la NTC 1063-3 los numerales 5.4.5.2 y 5.4.5.3 para mayores detalles.

Para reducir las incertidumbres encontramos dos métodos, el primero consiste en ensayos con lecturas tomadas con el medidor en reposo: el flujo se establece abriendo una válvula aguas abajo del medidor y posteriormente cerrándola, después la medida del instrumento debería ser leída después de cerrar el registro. Se mide el tiempo entre la apertura de la válvula y el cierre. El error de indicación del medidor varía en los cambios del flujo (curva del error de medición). En caso de duda es aconsejable incrementar el volumen y duración del ensayo o comparar los resultados

con los obtenidos mediante otros métodos, especialmente con el siguiente. [26]

Segundo. Ensayos con las lecturas tomadas bajo condiciones de caudal estables y desviación de flujo. Se debe leer la medida del instrumento una vez que se han establecido las condiciones de flujo. Un interruptor o un mecanismo desvían el flujo a un recipiente calibrado en el instante que comienza la medición y luego se desvía en la dirección opuesta al final de ella. El medidor sigue dando lecturas mientras esté en marcha la prueba y deben ser registradas. La medida del instrumento esta sincronizado con el movimiento del interruptor de flujo.

3.4.4. Dispositivo de referencia para la calibración. Cuando se lleva a cabo una prueba de calibración de medidores de flujo se encuentran dos dispositivos de referencia calibrados. [26]

a. Incertidumbre total del volumen real. La incertidumbre del volumen real no debe exceder al 1/5 del EMP aplicable para la aprobación del patrón y 1/3 del EMP para la verificación inicial y las posteriores. La evaluación y la expresión deben estar de acuerdo a ISO 5168 y la guía ISO para la expresión de la incertidumbre en la medición (GUM), con un factor de cobertura k de 2. [26]

b. Volumen mínimo. Se hace referencia al volumen del recipiente calibrado. El volumen mínimo depende de los requisitos por los efectos de inicio y de finalización del ensayo y el diseño de dispositivo de indicación (división de la escala de verificación véase la NTC 1063-1).

3.4.5. Lecturas del medidor. Para medidores análogos se acepta que el error máximo de interpolación para la escala no exceda la mitad de una división de escala por observación. Para dispositivos digitales en donde la indicación con cambios discontinuos de la escala de verificación, el error total debe ser de un dígito. [26]

3.4.6. Errores intrínsecos de la indicación. En el procedimiento de ensayo se deben determinar los siguientes errores. El error en cada caudal se debe medir por lo menos dos veces. [26]

- ✓ Entre Q_1 y $1,1 Q_1$
- ✓ Entre $0,5 (Q_1 + Q_2)$ y $0,55 (Q_1 + Q_2)$ (para $Q_2 / Q_1 > 1,6$)
- ✓ Entre Q_2 y $1,1 Q_2$
- ✓ Entre $0,33 (Q_2 + Q_3)$ y $0,37 (Q_2 + Q_3)$
- ✓ Entre $0,67 (Q_2 + Q_3)$ y $0,74 (Q_2 + Q_3)$
- ✓ Entre $0,9 Q_3$ y Q_3
- ✓ Entre $0,95 Q_4$ y Q_4

Para cada uno de los casos anteriores:

- 1) El medidor a ensayar debe ser probado sin los dispositivos suplementarios, si es que los hay.
- 2) Durante el ensayo se debe mantener todos los demás factores que puedan influir en las condiciones de referencia.
- 3) Mida los errores de indicación en otros caudales, si se requiere dependiendo la forma de la curva de error.
- 4) Calcule el error relativo para cada caudal.

Los criterios de aceptación para cada uno de los distintos caudales no deben exceder los errores máximos permisibles (EMP). Si el error obtenido en uno o más mediciones es mayor al EMP se debe repetir el ensayo. El ensayo es declarado satisfactorio si dos de los tres resultados están dentro del EMP y la media aritmética de los resultados para los tres ensayos a ese mismo flujo es menor o igual al EMP. Si los errores del medidor tienen el mismo signo al menos uno de estos errores no debe exceder la mitad del EMP. [26]

3.4.7. Irregularidades en los ensayos en el campo de velocidad. Se debe hacer la acotación, ya que se ha demostrado que algunos tipos de medidores de agua como por ejemplo, instrumentos que involucran cámaras de medición con paredes móviles tales como pistones de oscilación o medidores de disco nutativo, son insensibles a condiciones de instalación aguas arriba, para estos casos este ensayo no es aplicable. [26]

El objetivo de los ensayos es verificar que el medidor cumpla los requisitos de sensibilidad en el perfil de flujo, como ya se había nombrado anteriormente véase en el numeral 3.3.9 (g.). [22] [26]

Otro objetivo es medir los efectos en el error de indicación de los medidores de flujo de agua aun en presencia de perturbaciones aguas arriba y aguas abajo. [26]

Los dispositivos de perturbación tipo 1 y 2 como se ilustra en la figura 55. Perturbaciones de flujo. Se usan en los ensayos para crear campos de velocidad, especialmente remolinos hacia la izquierda y hacia la derecha respectivamente. Este tipo de perturbación se encuentra usualmente aguas abajo de dos curvas de 90° conectadas directamente en ángulo recto. Un accesorio de perturbación tipo 3 crea un perfil de velocidad proporcionado que se encuentra habitualmente aguas abajo de una unión de tubería que sobresale o de una válvula de compuerta no abierta completamente.

a. Preparación y procedimiento de ensayo.

- Teniendo los accesorios 1, 2 y 3 especificados en el anexo B 1063-3, determinar el error de indicación del medidor a un caudal entre $0,9 Q_3$ y Q_3 , para cada una de las condiciones de instalación especificadas en la figura 55. [26]
- En el transcurso de cada ensayo todos los demás factores se deben mantener a condiciones de referencia.
- Para medidores en donde el fabricante ha especificado tramos de instalación del tubo recto de al menos $15 \times DN$ aguas arriba y $5 \times DN$ aguas abajo del medidor, no se permite correctores de flujo externo.

- Cuando el fabricante especifica un tramo de tubería recta de 5 x DN aguas abajo del medidor solo se debe llevar a cabo los ensayos 1, 3 y 5 de la figura 55.
- En aquellos ensayos en donde se va a usar instaladores con correctores de flujo externo el fabricante debe especificar el modelo del corrector así como también características técnicas y posición de instalación.
- Los dispositivos dentro del medidor de agua que tienen funciones de enderezamiento de flujo no se deben considerar como un corrector en el contexto de estos ensayos.

b. Criterios de aceptación. El error de indicación del medidor no debe exceder el EMP aplicable para ningún ensayo en campo de velocidad.

c. Interpretación de los resultados. Si es un ensayo único el medidor aprobará el ensayo si el error de la medición no excede el EMP seleccionado, o si es un ensayo por duplicado (que se deba repetir), el programa debe especificar las reglas que se deben aplicar para entrelazar los errores obtenidos, de la misma manera el instrumento aprobará si el error resultante no excede el EMP escogido. [26]

3.4.8. Ensayos de pérdida de presión. Se debe asegurar que la pérdida de presión del medidor no exceda 0,063 MPa (0,63 bar) para cualquier caudal dentro del intervalo Q_1 a Q_3 . Se debe medir la presión estática diferencia Δp como lo indica la figura 56. Primero en ausencia del medidor y posteriormente con instrumento. Para ampliar la información puede ver los numeral 7 de la NTC 1063-3. [26]

Se debe tener cuidado con una diferencia entre los diámetros de las tuberías de conexión, ya que estas pueden dar una incertidumbre no aceptable con la precisión deseada.

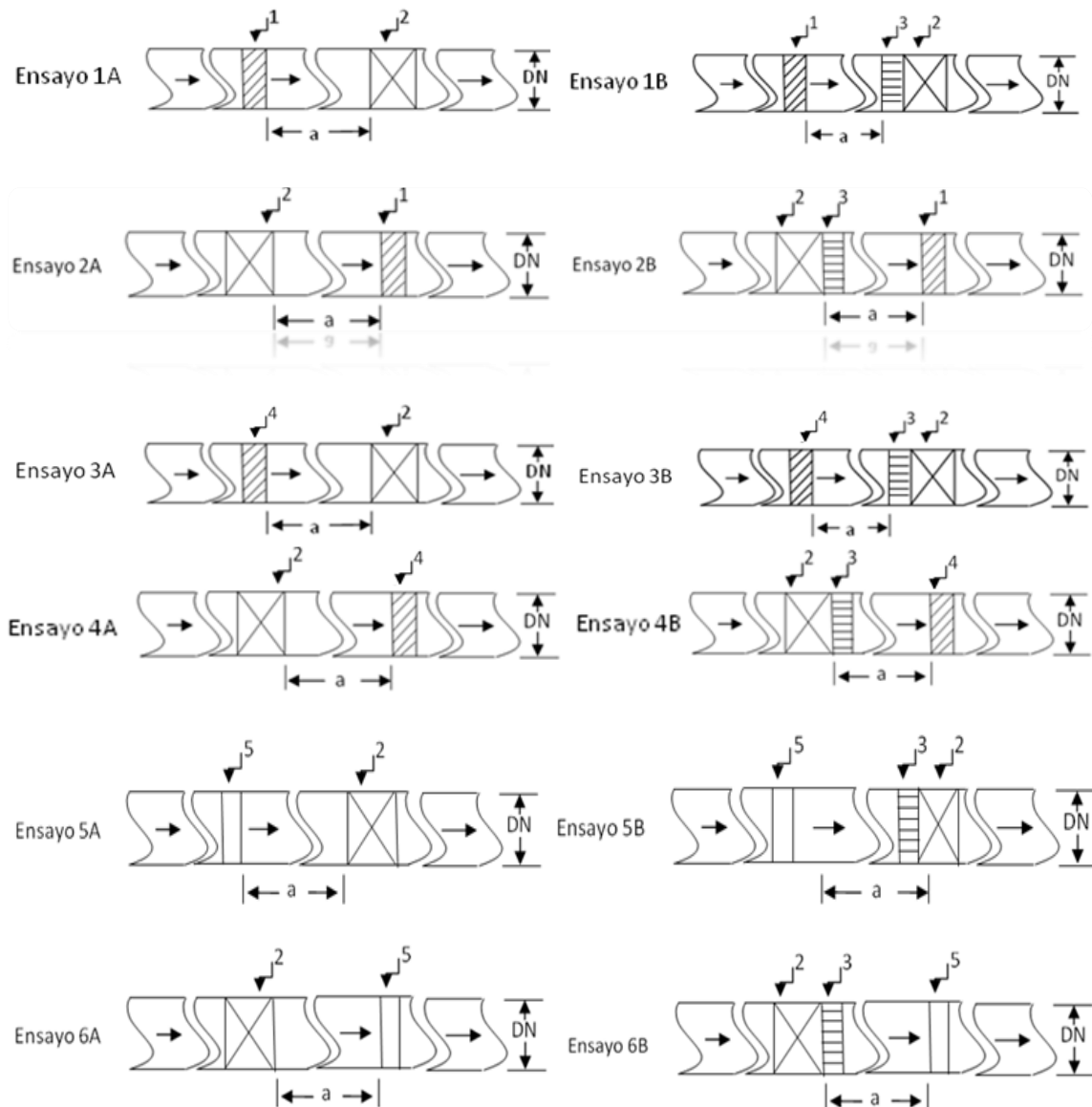


Figura 55: Diagrama de conexiones de perturbaciones de flujo [26]

Convenciones.

1. Perturbador tipo 1. Generador de remolinos hacia la izquierda.
2. Medidor. 3. Dispositivo corrector.
4. Perturbador tipo 2. Generador de remolinos hacia la derecha.
5. Perturbador tipo 3. Perturbador de flujo de perfil de velocidad.
- a. Tramo recto.

Para contrarrestar estos efectos o discontinuidades hidráulicas se debe seguir las recomendaciones del fabricante y las tuberías aguas arribas y aguas abajo deben tener un diámetro nominal interno que correspondan con el mismo del medidor.

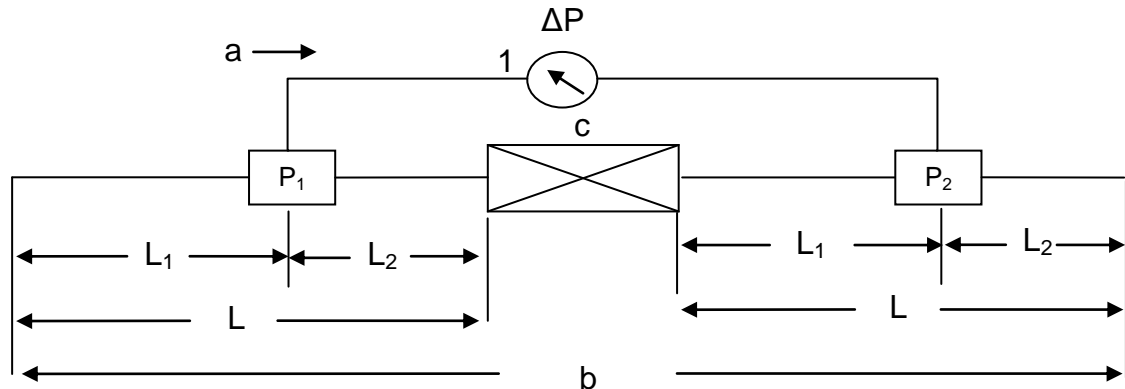


Figura 56: Esquema para el ensayo de pérdida de presión [26]

Convenciones.

- 1. Manómetro diferencial.
- C Medidor de agua.
- P_1 y P_2 Derivaciones de presión.
- a Dirección del flujo.
- b Sección de la medición.

$L \geq 15 D$; $L_1 \geq 15 D$; $L_2 \geq 15 D$, en donde D es el diámetro interno de la tubería

a. Procedimiento de ensayo. Primero se debe determinar las pérdidas de presión por tramos de tubería ver figura 56. Se mide la presión aguas arribas y aguas abajo (Δp_1) antes de los ensayos con el medidor. Se hace uniendo las caras de los tubos aguas arribas y aguas abajo, evitando que sobresalgan uniones en el diámetro interno del tubo. [26]

Como segundo paso se debe medir y calcular el Δp real de un medidor de agua. A los mismos caudales con que se hicieron la prueba anterior, con las mismas derivaciones de presión y el mismo dispositivo de medición de presión pero con el medidor de flujo de agua preparado en la tubería, obteniendo un Δp_2 . Para calcular la presión real Δp se debe seguir la ecuación 22. [26]

$$\text{Ecuación 22.} \quad \Delta P = \Delta p_2 - \Delta p_1$$

Si se solicita, el valor obtenido se puede cambiar a la pérdida de presión correspondiente por ejemplo, a Q_3 del medidor de agua por referencia a la ecuación 23 formula cuadrática.

Ecuación 23

$$\text{pérdida de presión } Q_3 = [(Q_3)^2 / (\text{caudal de ensayo})^2] * \text{pérdida de presión medida}$$

Si se ha determinado que la pérdida de presión del medidor seguirá la ecuación 23, la pérdida de presión se debe ensayar solamente a flujo Q_3 .

Si se sospecha que ocurre un pico de pérdida de presión por debajo a Q_3 , la pérdida de presión se debe determinar entre Q_1 - Q_3 , comenzando en Q_1 e incrementando el flujo en un máximo de $0,1 \times Q_3$. Después de alcanzar Q_3 , el flujo se debe reducir en un máximo de $0,1 \times Q_1$.

b. Criterios de aceptación. Como ya se ha nombrado anteriormente la pérdida de presión del medidor no debe exceder 0,063 Mpa (0.063 bar), a cualquier caudal entre Q_1 y Q_3 . [26]

3.5. ENSAYO PARA MEDIDORES DE FLUJOS DE AGUA ELECTRÓNICOS Y MECÁNICOS CON DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS NTC 1063-3.

Cada ensayo indica las condiciones de referencia para determinar el error intrínseco, estas pruebas son adicionales a los ya mencionados en el numeral 3.4.8 y son aplicados a instrumentos completos, de partes separables o que requiera dispositivos auxiliares. Para ampliar la información puede ver el numeral 9 de la NTC 1063-3. [26]

3.5.1. Requisitos generales. Para cada prueba se indica las condiciones de ensayo típicas (condiciones climáticas y mecánicas), a las que están expuestos los medidores. [26]

- **Clasificación ambiental.** Los medidores con dispositivos electrónicos están divididos en tres clases: [26]
 - Clase B: Para medidores fijos instalados en edificaciones.
 - Clase C: Para medidores fijos instalados en exteriores.
 - Clase I: Para medidores móviles.
- **Ambientales y electromagnéticos.**
 - Clase E1: Residencial, comercial e industrial liviano.
 - Clase E2: Industrial.

a. Equipos bajo ensayos. Para propósito del ensayo, el medidor se debe clasificar como caso de A a E, de acuerdo con la tecnología descrita en los numerales 3.5.1.b a 3.5.1.d y se debe aplicar con los siguientes requisitos:

- Caso A: No se exige ensayo de desempeño.

- Caso B: El equipo bajo ensayo es el medidor completo; el ensayo se debe llevar a cabo con agua en el sensor de volumen o flujo.
- Caso C: El equipo bajo ensayo es el transductor de medición; el ensayo se debe llevar a cabo con agua en el sensor de volumen o flujo.
- Caso D: El equipo bajo ensayo es la calculadora electrónica, incluido el dispositivo indicador o dispositivo auxiliar; el ensayo se debe llevar a cabo con agua en el sensor de volumen o flujo. [26]
- Case E: El equipo bajo ensayo es la calculadora electrónica, incluido el dispositivo indicador o dispositivo auxiliar; el ensayo se debe llevar a cabo con señales sin agua en el sensor de volumen o flujo. [26]

b. Medidores volumétricos y medidores de agua tipo turbina.

- El medidor no cuenta con dispositivos electrónicos: caso A.
- El transductor de medición y la calculadora electrónica, incluido el dispositivo indicador están en el mismo alojamiento: caso B.
- El transductor de medición está separado de la calculadora electrónica y cuenta con dispositivos electrónicos: caso A. [26]
- El transductor de medición está separado de la calculadora electrónica y cuenta con dispositivos electrónicos: Caso C. [26]
- La calculadora electrónica, incluido el dispositivo indicador, está separado del transductor de medición, y no es posible la simulación de las señales de medición: caso D. [26]
- La calculadora electrónica que incluye el dispositivo indicador está separada del transductor de medición y es posible la simulación de las señales de medición: caso E. [26]

c. Medidores de flujo de agua electromagnético.

- El transductor de medición y la calculadora electrónica, incluido el dispositivo indicador están en el mismo alojamiento: caso B. [26]
- El sensor de flujo o volumen, compuesto solamente del tubo, el espiral y los dos electrodos del medidor, no tiene dispositivos electrónicos adicionales: caso A.
- El transductor de medición, que incluye el sensor de flujo o volumen, está separado de la calculadora electrónica y en un alojamiento: caso C.
- La calculadora electrónica, incluido el dispositivo de indicación, está separada del transductor de medición y no es posible la simulación de las señales de medición: caso D.

d. Medidores ultrasónicos, medidores Coriolis, medidores fluidicos, etc.

- a) El transductor de medición y la calculadora electrónica, incluido el dispositivo indicador están en el mismo alojamiento: caso B.
- b) El transductor de medición está separado de la calculadora electrónica y cuenta con dispositivos electrónicos: Caso C.
- c) La calculadora electrónica, incluido el dispositivo de indicación, está separada del transductor de medición y no es posible la simulación de las señales de medición: caso D.

3.5.2. Ensayo bajo un ambiente climático y mecánico.

a. Calor seco (sin condensación). Las condiciones de ensayo se deben aplicar como se indica en la tabla 20. La disposición del ensayo debe estar de acuerdo con la IEC 60068-2-2 y la orientación sobre las disposiciones de ensayo se da en la IEC 60068-3-1 e 60068-1. [26]

Clase de ambiente	B; C; I
Nivel de severidad (véase OIML D11)	3
Temperatura del aire	55 °C ± 2 °C
Duración	2h
Números de ciclos por ensayo	1

Tabla 20: Factor de influencia [26]

- **Resumen del procedimiento del ensayo.**
 - No se requiere acondicionamiento previo.
 - Mida el error de la indicación del equipo bajo ensayo al caudal de referencia y a las siguientes condiciones de ensayo:
 - 1) A la temperatura del aire de referencia, de 20 °C ± 5 °C, antes de acondicionamiento del equipo bajo ensayo.
 - 2) A una temperatura del aire de 55 °C ± 2 °C, después que el equipo bajo ensayo se ha asegurado a esta temperatura durante 2h.
 - 3) A la temperatura del aire de referencia de 20 °C ± 5 °C, después de la recuperación del equipo bajo ensayo.
 - Cuando se mide el error de indicación, siga el numeral 3.4.6. Errores intrínsecos de la indicación.
 - Aplique las condiciones de referencia del ensayo, a menos que se especifique algo diferente.
 - Compute el error relativo de indicación para cada condición del ensayo.

Los criterios de aceptación del ensayo son: Que el error indicado del equipo bajo ensayo, a las condiciones de ensayo, no debe exceder el EMP de la “zona superior”. [26]

b. Ensayo frío. Esta prueba se debe ejecutar según la tabla 21. La disposición del ensayo debe estar de acuerdo con la IEC 60068-2-1, IEC 60068-3-1 e IEC 60068-1. [26]

Clase ambiental	B	C; I
Nivel de severidad (véase OIML D11)	1	3
Temperatura del aire	5 °C ± 3 °C	-25 °C ± 3 °C
Duración	2h	
Numero de ciclos de ensayo	1	

Tabla 21: Factores de influencia del ensayo frío [26]

- Resumen del procedimiento.
 - No requiere acondicionamiento antes del ensayo.
 - Medir el error de la indicación del medidor bajo prueba a caudal de referencia (real o simulado) y a la temperatura del aire de referencia. [26]
 - Fijar la temperatura del aire a – 25 °C (nivel crítico o severidad 3), o + 5 °C por un periodo de 2 h.
 - Medir el error de indicación del quipo bajo ensayo al caudal de referencia (real o simulado) a una temperatura a – 25 °C o a +5 °C (nivel crítico o severidad 1).
 - Medir el error de la indicación del medidor bajo prueba a caudal de referencia (real o simulado) y a la temperatura del aire de referencia, después de que el medidor se halla recuperado.
 - Calcule el error relativo a cada condición de ensayo.
 - Verifique que el equipo bajo ensayo este funcionando correctamente.

Se debe asegurar que todo el equipo bajo ensayo opere de forma designada y que el error relativo indicado del equipo bajo ensayo, a las condiciones de ensayo, no debe exceder el EMP de la “zona superior”.

C. Ensayo de vibración (aleatoria). Para la realización del ensayo debe estar preparado de acuerdo con la norma IEC 60068-2-64 e IEC 60068-2-47 y lo establecido en la tabla 22. [26]

Como criterio de aceptación del ensayo no se debe superar el EMP en la “zona superior”

Clase ambiental	1
Severidad de ensayo (OIML D11)	2
Intervalo de frecuencia	10 Hz a 150 Hz
Nivel de valor eficaz total	7 ms^{-2}
Nivel ASD 10 Hz a 20 Hz	$1 \text{ m}^2\text{s}^{-3}$
Nivel ASD 20 Hz a 150 Hz	-3 dB/Octava
Números de ejes ensayados	3
Duración del eje	2 min

Tabla 22: Perturbación [26]

- Procedimiento de ensayo.
 - Implementar el equipo bajo ensayo en un accesorio rígido, sin evitar su medio de montaje normal, de modo que la fuerza gravitacional actúe en el mismo sentido que lo haría en uso normal del instrumento. Si la fuerza gravitacional es insignificante y el medidor no está marcado como “H” (horizontal) o “V” (vertical), el equipo bajo ensayo se puede montar en cualquier posición.
 - Aplique vibraciones aleatorias en el rango de frecuencia de 10 Hz a 150 Hz, en tres ejes mutuamente perpendiculares, por turnos, durante un periodo de 2 min por eje.
 - De un tiempo de recuperación para el instrumento.
 - Revise el correcto funcionamiento del equipo bajo ensayo.

- Medir el error de la indicación del equipo bajo ensayo al caudal de referencia.
- Calcular el error relativo.

3.5.3. Pruebas bajo un ambiente electromagnético.

a. Descarga electrostática. Se basa en descargas electroestáticas, se realiza con lo instituido en la tabla 23 y la disposición del ensayo debe estar de acuerdo con las IEC 61000-4-2. Durante las mediciones de los errores el medidor se debe someter a caudal de referencia, ver numeral 9.4.1.5 de la NTC 1063-3. [26]

Clase ambiental	E1; E2
Tensión de ensayo (modo contacto)	6 kW
Tensión de ensayo (modo aire)	8 kW
Numero de ciclos por ensayo.	<p>En cada prueba del ensayo se debe aplicar al menos diez descargas durante la misma medicion o una medicion.</p> <p>Para descargas indirectas se debe aplicar un total de diez descargas en el acople horizontal, y un total de diez descargas para cada una de las diferentes posiciones del plano de acople.</p>

Tabla 23: Perturbación a descargas electrostáticas [26]

- **Resumen del procedimiento.**

- Medir el error de indicación del equipo bajo ensayo antes de aplicar las descargas electrostáticas.
- Cargue un condensador con una capacitancia de 150 pF por medio de una fuente de tensión c.c, luego se debe descargar el condensador a través del equipo bajo ensayo, por medio de una conexión de un terminal del armazón de soporte a tierra y el otro a una resistencia de 330 ohms. El ensayo incluye la penetración de la pintura de ser necesario. [26]

- Se mide el error de indicación del equipo durante la aplicación de las descargas electrostáticas.
- Calcular la falla significativa o el error, restando las dos mediciones de instrumento, obtenidos antes y después de aplicar las descargas electrostáticas. [26]
- **Criterios de aceptación.** Las diferencias entre el error relativo de la indicación de las descargas electrostáticas y el obtenido en condiciones de referencia no se debe exceder la mitad del valor EMP en la “zona superior”. Para los ensayos a un caudal cero, la indicación del medidor de agua no debe cambiar en más del valor del intervalo de la escala de verificación.

b. Otros ensayos bajo ambientes electromagnéticos. En síntesis a los medidores de agua hay que realizarles ensayos a condiciones de susceptibilidad electromagnética que consiste en someter al equipo a campos de radiofrecuencia indicados en la tabla 24. El ensayo se lleva por medio de 20 barridos principales con antena vertical y 20 barridos parciales con antena horizontal, la antena preferida es una antena bicónica para intervalos de frecuencia de 26 MHz a 200 MHz y una antena de periodicidad logarítmica para el intervalo de 200 MHz a 1 000 MHz. [26]

MHz	MHz	MHz
26	150	435
40	160	500
60	180	600
80	200	700
100	250	800
120	350	934
144	400	1 000

Tabla 24: Sensibilidad electromagnética [26]

Otro tipo de prueba que se realiza es campo magnético estático.

3.5.4. Ensayo de la fuente de alimentación. Hay gran variedad de pruebas de fuente de alimentación tales como: prueba de caída de tensión de c.a e interrupciones de corta duración, inmunidad sobre tensión, pruebas transitorias/estallidos eléctricos rápidos, variación de tensión de potencia de c.c e interrupción en la alimentación de la batería. Para ampliar información ver el numeral 9.4.3 al 9.5.6 de la norma NTC 1063-3. Se profundizará resumiendo el ensayo de variación en la tensión de potencia. [26]

a. Variación de potencia de c.a. El objetivo del ensayo es que el medidor cumpla bajo condiciones de desviaciones de la fuente de alimentación de la red principal de c.a. para la preparación del sondeo del medidor de agua debe estar de acuerdo a la norma IEC 61000-4-11 y para la realización de la prueba como se establece en la tabla 25.

Clase ambiental	E1; E2
Tensión de la red principal	Límite superior: $U_{nom} + 10\%$ Límite inferior: $U_{nom} - 15\%$
Frecuencia de red	Límite superior: $f_{nom} + 2\%$ Límite inferior: $f_{nom} - 2\%$

Tabla 25: Desviación estática de la tensión de la red [26]

Resumiendo el procedimiento el equipo se debe disponer a ensayos en la variación de tensión de potencia y posteriormente a las variaciones de frecuencia de la alimentación, el equipo bajo ensayo debe estar funcionando en sus condiciones de referencia. Se mide el error en la indicación del medidor bajo $U_{nom} + 10\%$ y límite de frecuencia superior $f_{nom} + 2\%$.

Como segundo paso se mide el error en la indicación del medidor bajo $U_{nom} + 15\%$ y límite de frecuencia inferior $f_{nom} - 2\%$. Se calcula un error relativo de la indicación del medidor en cada condición.

Como criterio de aceptación el error no debe exceder el EMP de la zona "superior".

3.5.5. Programa de ensayo para aprobación de patrones NTC 1063-3. Las pruebas que se describen a continuación se aplican tanto a medidores de agua completos o a sus partes separables presentadas para aprobaciones por separado. El número mínimo de medidores de agua a examinar en la prueba de patrones debe ser como se ilustra en la tabla 26. En la tabla 27 se mostrará cual ensayo de desempeño se aplicarán a todos los medidores de agua para la aprobación de patrones. [26]

Designación del medidor Q_3 (m ³ /h)	Número mínimo de medidores de agua por ensayar
$Q_3 \leq 160$	3
$160 < Q_3 \leq 1\,600$	2
$1\,600 < Q_3$	1
La autoridad de aprobación puede exigir que se presenten más medidores.	

Tabla 26: Número mínimo de medidores de agua por ensayar [26]

Ensayo	Numeral aplicable
Presión estática	6, NTC 1063-3
Error de la indicación	3.4.3 (5.8, NTC 1063-3)
Temperatura del agua	5.9 NTC 1063-3
Presión del agua	5.10 NTC 1063-3
Inversión del flujo	5.11 NTC 1063-3
Pérdida de presión	3.4.8 (7, NTC 1063-3)
Irregularidad en los campos de velocidad	3.4.7 (5.12, NTC 1063-3)
Desgaste discontinuo ^b	8.2 NTC 1063-3
Desgaste continuo a Q_3^b	1.1 NTC 1063-3
a. Solamente a. Para medidores con $Q_3 \leq 16$ m ³ /h y medidores combinados. b. Los errores de la indicación se miden nuevamente después de este ensayo.	

Tabla 27: Programa de ensayos [26]

En los numerales 10.3 y 10.4 de la norma NTC 1063-3, indican los ensayos para medidores de agua electrónicos, mecánicos con dispositivos electrónicos y sus partes separables, para la aprobación de los patrones.

3.6. INFORMACIÓN DE LOS INFORMES DE ENSAYOS NTC 1063.

Todo trabajo descrito en la norma 1063-3 sobre los equipos y métodos de ensayo sugiere que debe estar cubierto por un informe en donde se presente de forma clara, exacta y sin ambigüedad, los resultados de los ensayos y la información pertinente. Para los ensayos de aprobación de patrones (ver numeral 10 de la norma NTC 1063-3: 2007), los registros de las pruebas se debe mantener durante el tiempo que la aprobación sea válida. [26]

El informe sobre los ensayos de aprobación para un tipo de medidor y el registro referente a las pruebas de verificación iniciales debe contener:

- Una identificación precisa de laboratorio de donde se realizó el ensayo y del medidor probado.
- Los detalles exactos en las condiciones con que se realizaron las pruebas, incluida cualquier condición de ensayo especificada del fabricante.
- Los resultados y condiciones de los ensayos.

3.6.1. Datos de identificación de los ensayos que se debe incluir en todos los informes. El informe que se mostrará sobre los ensayos de aprobación de patrones para un modelo en particular y el registro concerniente a las pruebas de verificación inicial deben incluir: [26]

- La identificación del laboratorio donde se realizó el ensayo, como el nombre, dirección del laboratorio etc.
- Identificación del medidor al que se le está realizando las pruebas, año de fabricación, número de serie individual del medidor, nombre, marca registrada y dirección del fabricante.
- El medidor designado para caudal Q_3 y las pertinentes relaciones de Q_3/ Q_1 y Q_2/ Q_1 .
- En caso de aprobación de patrones el modelo particular.

a. Contenido de un informe de aprobación de patrones. En las tablas 28, 29 y 30 se muestra todos los datos que debe contener además de una o varias referencias de la norma NTC 1063-3. Adicionalmente a los informes después de ser expedidos se debe hacer un documento que contenga el texto siguiente: [26]

“suplemento del informe de ensayo – serial N_o...”

Este documento debe cumplir los requisitos pertinentes a los numerales anteriores.

Tipo de ensayo	Numeral aplicable	Información que se debe suministrar
Error de la medición	3.4.3 (5, NTC 1063-3)	La fecha de ensayo y el operador para cada referencia de flujo. - Caudal. - Presión del agua. - Temperatura del agua. - Características del dispositivo de referencia calibrado. - Lecturas indicadas del medidor y del dispositivo de referencia calibrado.
Presión.	6 NTC 1063-3	Registro de las indicaciones de cada presión y el tiempo en que se mantuvieron.
Pérdidas de presión.	3.4.8 (7, NTC 1063-3)	Para cada caudal. - Temperatura máxima del agua. - Caudal. - Presión aguas arriba del instrumento. - pérdidas de presión.

Tabla 28: Información que debe estar reunida en un informe de ensayo de aprobación de patrones [26]

Tipo de ensayo	Numeral aplicable	Información que se debe suministrar.
Desgaste acelerado	8 NTC 1063-3	El valor obtenido del error de la indicación, curvas de error tomadas antes y después, pero en un solo gráfico de manera que se establezca las variaciones en error de la indicación con respecto al error EMP.
Ensayos continuos	8.1 NTC 1063-3	<p>La programación de las pruebas realizadas al menos cada 24 h o una vez durante ese periodo más corto, si el ensayo se subdivide de la siguiente manera:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Presión de entrada del primer medidor. - Temperatura. - Caudal. - Lectura del medidor al principio y al final de la prueba.
Ensayos discontinuos	8.2 NTC 1063-3	<p>Pruebas realizadas al menos 24 h, una vez durante cada periodo más corto.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Temperatura. - Caudal. - Duración de las cuatro fases del ciclo de los ensayos discontinuos. - Número de ciclos. - Lecturas del medidor al principio y al final de la prueba.

Tabla 28: Información que debe estar reunida en un informe de ensayo de aprobación de patrones (final) [26]

Características reconocidas	Numeral aplicable	Información suministrada.
Material de construcción	3.2.11 (6.1, NTC 1063-1)	Nivel de conformidad con la NTC 1063-1
Marcas de verificación y dispositivos de protección	3.2.11 (6.4, NTC 1063-1)	Nivel de conformidad con la NTC 1063-1
Diseño del dispositivo de indicación	3.2.11 (6.6, NTC 1063-1)	Nivel de conformidad con la NTC 1063-1
Diseño del dispositivo de verificación	6.6.3 NTC 1063-1	Nivel de conformidad con la NTC 1063-1
Marcas e inscripciones.	3.2.12 (6.8, NTC 1063-1)	Nivel de conformidad con la NTC 1063-1

Tabla 29: Estudio del medidor de agua [26]

Ensayos	Numeral aplicable	Información suministrada.
Calor seco (sin condensación)	3.5.2 (9.3.1, NTC 1063-3)	Error de la indicación a alta temperatura.
Frío	3.5.2.b (9.3.2, NTC 1063-3)	Error de la indicación a baja temperatura.
Calor húmedo cíclico	9.3.3 NTC 1063-3	Error de la indicación después de la recuperación de la prueba del calor y ciclos de humedad.
Vibración (aleatoria)	3.5.2.c (9.3.4, NTC 1063-3)	Error de la indicación después de la recuperación de la prueba de vibración.
Choque mecánico	9.3.5 NTC 1063-3	Error de la indicación después de la recuperación de la prueba de vibración.
Descarga electrostática	3.5.3.a (9.4.1, NTC 1063-3)	Error de la indicación durante las descargas electroestáticas directas e indirectas.

Tabla 30: Datos que se deben suministrar en el informe de ensayo de aprobación de patrones [26]

Susceptibilidad electromagnética	3.5.3.b (9.4.2, , NTC 1063-3)	Error de la indicación durante la exposición a los campos electromagnéticos.
Campo magnético estático.	9.4.3 NTC 1063-3	Error de la indicación durante la exposición a los campos magnéticos estáticos.
Variación de tensión de potencia (c.a/ c.c)	3.5.4, 3.5.4a, (9.5.1, 9.5.5, 9.5.6, NTC 1063-3)	Error de la indicación durante variaciones en la tensión de alimentación.
Error en la indicación en las variaciones en la tensión de suministro	9.5.2 NTC 1063-3	Error de la indicación durante reducciones e interrupciones de potencia de corta duración.
Inmunidad a sobretensión	9.5.3 NTC 1063-3	Error de la indicación durante la aplicación de sobretensiones transitorias.
Estallidos	9.5.4 NTC 1063-3	Error de la indicación durante los picos de tensión.

Tabla 30: Ensayos para medidores electrónicos o dispositivos electrónicos. Datos que se deben suministrar en el informe de ensayo de aprobación de patrones (final) [26]

4. INGENIERÍA DE DETALLE DEL BANCO DE ENSAYO PARA LA MEDICIÓN DE FLUJO Y PÉRDIDAS DE PRESIÓN.

4.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL BANCO

El objetivo principal es diseñar un banco para la medición de flujo, que tenga la capacidad de realizar pruebas de calibración o ajustes de medidores de flujo, basados en las diferentes técnicas de medición vistos en el numeral 2. Como segunda función poder realizar prácticas de caídas de presión ya sea por recorrido, caídas por diferentes tipos de válvulas o diferentes tipo de materia o diferentes tamaños de tubería existentes en el mercado, etc. Sin tener que perder las características y condiciones de operaciones para realizar calibraciones o ajustes de los medidores de flujo de agua, respecto a los patrones y brindar una trazabilidad de las medidas obtenidas, ver anexo C diseño en Solidworks. [22]

4.1.1. Sistema de calibración. En el numeral 3.4.3. Ensayo para determinar los errores de indicación o numeral 5.5 de la NTC 1063-3, se tiene como primer método y como principio un volumen mínimo, que hace referencia al volumen de un recipiente calibrado por donde se hace circular el fluido en este caso agua potable, con unos sensores de nivel y con un dispositivo que lleve el tiempo, se puede calcular el flujo en unidades de m^3/min . Ver figura 57. [22]

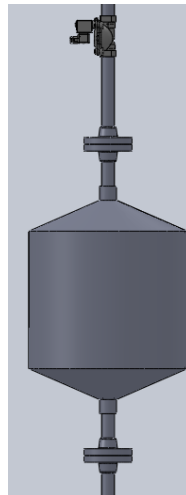


Figura 57: Volumen conocido y calibrado [22]

- **Segundo método sensor de referencia.** Se debe tener un dispositivo de referencia que no debe exceder 1/5 del EMP. Este instrumento se encuentra en serie al medidor al que se le realizarán los diferentes ensayos de desempeño, ver numera 3.5.5 y 3.6.1.a, ver figura 58. Entre las diferentes técnicas estudiadas en el numeral 2, los más aptos para ser patrones son: los medidores electromagnéticos para caudales volumétricos y para flujos másicos el medidor de efecto Coriolis. Ver el numeral 3.4.3. Ensayo para determinar los errores de indicación o numeral 5.5 de la NTC 1063-3.

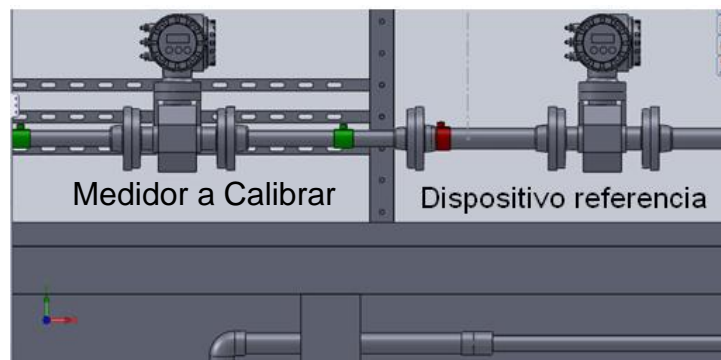


Figura 58: Dispositivo de referencia y medidor a calibrar [22]

- **Tercer método el pesado estático de la masa colectada de líquido.** Se basa en una modificación del primer método para calibración de medidores másicos, en donde el flujo que pasa por una tubería a sección llena y es recolectado en un recipiente de volumen conocido por unidad de tiempo es determinada gravimétricamente para definir el flujo másico, de allí el flujo volumétrico se obtiene de la medición de flujo másico sobre la densidad del fluido. [27]

El método gravimétrico para calibración está basado en la norma ISO 4185, másico sobre la densidad del fluido. El método gravimétrico de calibración se basa en la norma ISO 4185 Measurement of liquid flow in closed conduits, Weighing method. En la figura 59 se puede ver el diseño propuesto con la herramienta Solidworks. El P&ID se puede ver la instrumentación mínima que debe llevar el banco para la medición de flujo, ver numeral 4.2.

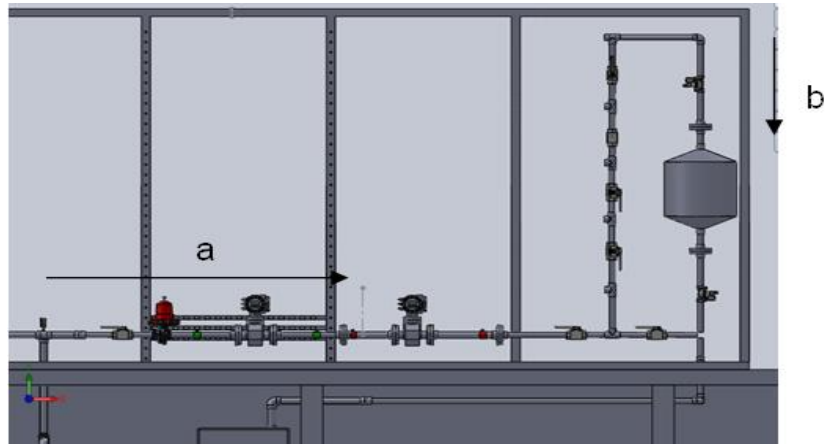


Figura 59: Método gravimétrico, a. Dirección del flujo y b. Caída libre [22]

4.1.2. Medidores de flujo que pueden ser evaluados. Los medidores de flujo representan una posición importante en la industria como: balance de pérdidas de componentes en un proceso o en los lazo de control de una planta o para llevar un registro de la calidad de los productos. En la tabla 31 se observa algunos ejemplos de las tecnologías que se pueden examinar en el banco para la medición de flujo y realizar la pertinente calibración. [27]

Tipo de medidor	Causa para realizar calibración.
Presión diferencial.	Las platinas con sus variedades de orificios se desgastan. Los Tubos Pitot se ensucian y en algunos casos Falla del transmisor.
Turbina	Los elementos internos se ensucian o son afectados por químicos, los rotores se desgastan. O Falla de los equipos Electrónicos.
Medidores magnéticos	En el revestimiento del electrodo se daña en el aislamiento, fallas electrónicas, etc.
Coriolis	Desgaste y cubrimiento de suciedad de las paredes internas de los tubos. Fallas electrónicas.
Ultrasónicos	Este tipo de medidor la calibración es necesaria antes de ponerlo en operación. Cambios en las propiedades de sonido del fluido. Fallas electrónicas.

Tabla 31: Causas para la calibración [27]

4.1.3. Banco propuesto. Se Puede dividir en dos partes: la primera consiste en un circuito cerrado de tuberías, tanques de alimentación o suministro de agua como tanque de volumen conocido calibrado, un sistema de bombeo, una bomba de 1.5 Hp y una de 1 HP en paralelo para la realización de pruebas a bajos y altos niveles de flujo, un lazo para la instalación de medidores a ser calibrados. La norma NTC 1063 recomienda que cuente con sistema de control para evitar errores y su funcionamiento sea automático sin evitar la asistencia humana para sus programas y puesta en marcha inicialmente ver figura 60. [22] [27]

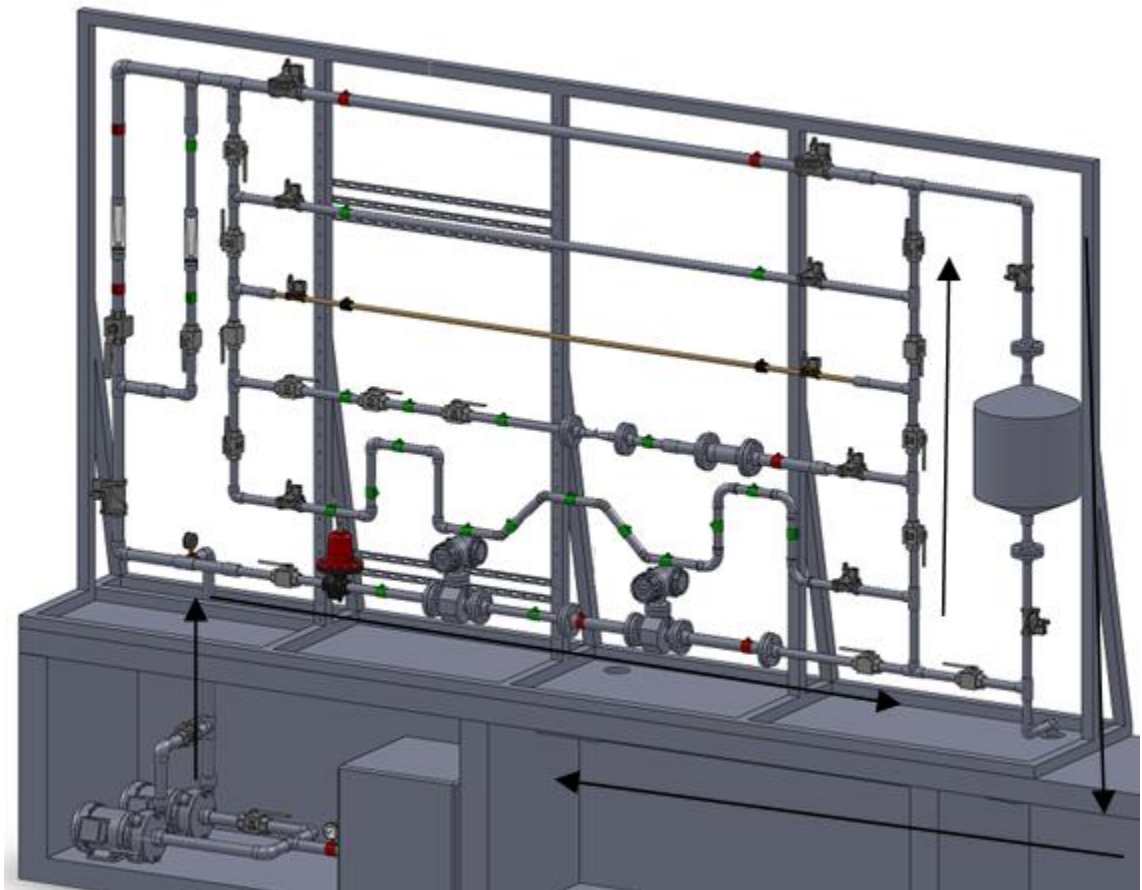


Figura 60: Lazo de calibración [22]

La segunda se basa en los ensayos de pérdidas de presión debido a pérdidas por circulación por diferentes tamaños de tubería como $\frac{1}{2}$ ', 1', 1½', pérdidas por diferentes tipos de válvulas de cierres, pérdidas por tramos con diferentes codos y ángulos y pérdidas por los diferentes tipos de medidores para la medición de flujo ver figura 61, para ampliar la información puede ver el numeral 4.2.3. [22] [28]

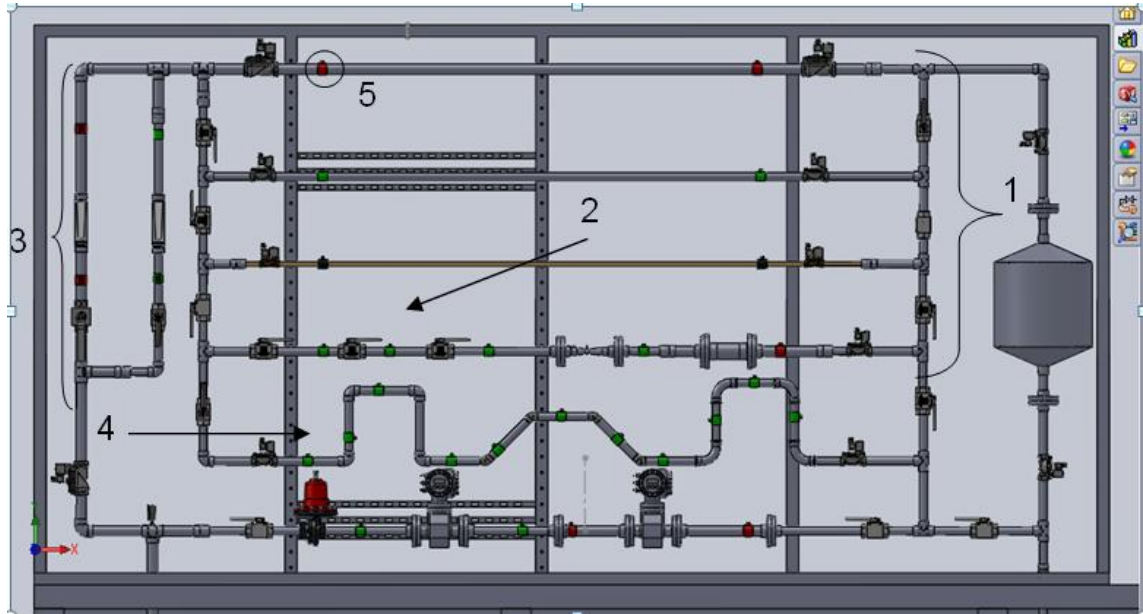


Figura 61: Ensayo de pérdidas de presión [22]

En donde:

1. Pérdidas por circulación.
2. Por diferentes clases de válvulas.
3. Rotámetros de diferente tamaño.
4. Tramos con diferentes codos y ángulos.
5. Cámaras anulares para las mediciones de presión en diferentes puntos.

El banco tiene la flexibilidad de reubicar los elementos a las opciones del usuario. Gracias a las perforaciones que tienen el armazón y las rejillas a las que están sujetas los diferentes dispositivos. Ver figura 62. En el anexo D está el banco propuesto con medidas.

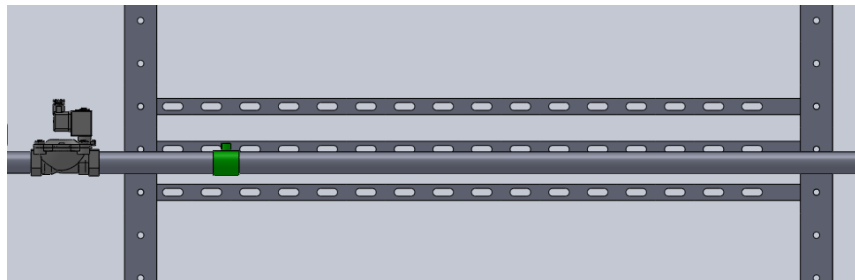


Figura 62: Rejillas para la ubicación de los diferentes dispositivos [22]

En la tabla 32. En forma de resumen, brindando las limitaciones y características generales del banco.

Características del banco de flujo	Descripción y rango.
Capacidad de calibración	Flujo volumétrico / flujo másico
Ensayos de pérdida de presión	Recorrido, accesorios, instrumentación
Métodos de calibración	Por sensor de referencia/ volumen conocido/ opcional método gravimétrico
Normas de referencia	NTC 1063, ISO 4064-1,2,3: 2005
Modos de operación	Control de flujo con bombeo controlado por Variador de velocidad
Tamaño de los medidores	1/2 in a 3 in
Flujo o caudal	Aproximadamente 0.5 lts/s a 3 lts/s
Velocidad del fluido.	Para caudal promedio de 2 lts/s : 1/2 in se tiene 18 m/s 1 in se tiene 4 m/s 1 1/2 in se tiene 2 m/s 2 in se tiene 1 m/s
Tipo de fluido.	Agua potable
Temperatura de trabajo	Temperatura ambiente
Presión de trabajo (Moto bomba ihm 15H-1.5tw)	1 Psi a 60 Psi
Condiciones para la realización del ensayo.	Tubería completamente llena y flujo desarrollado.
Material de la tubería y accesorios	Acero inoxidable
Capacidad del tanque de calibración	60 lt
Capacidad del tanque de abastecimiento	140 lt

Tabla 32: Características generales del banco [22]

En la tabla 33. Se tienen los cálculos de los caudales alcanzado a cada uno de los diámetros de las diferentes secciones de tubería respecto a varias velocidades de flujo. El número de Reynolds máximo se calculó con base en una velocidad de flujo máximo de 4 m/s, teniendo en cuenta que la densidad del agua como 1000 kg/m³ y la viscosidad cinemática del agua es de 1,002 x E-2 Ns/m² y viscosidad dinámica de 1,004 E-6 m²/s. [22] [27]

Diámetro de tubería		Área transversal	Velocidad de flujo 4 m/s	Velocidad de flujo 10 m/s	Número de Reynolds
in	mm	m ²	Caudal m ³ /h	Caudal m ³ /h	
0.5	12.7	0.000126677	1.82414692	4.56036731	50,698,602.79
1	25.4	0.000506707	7.2965877	18.2414692	101,397,205.6
1 1/2	38.1	0.001140092	16.4173223	41.0433058	152,095,808.4
2	50.8	0.002026830	29.1863508	72.965877	202,794,411.2

Tabla 33: Cálculos de flujo para diferentes tamaños de tubería [22]

4.2. Diagrama de instrumentación del banco de flujo.

Se tiene tres métodos de calibración, volumen de referencia, sensor de referencia que puede ser másico o volumétrico y el tercero derivado para caudales másicos el método gravimétrico, en la figura 63 se tiene el diagrama P&ID sin el método gravitacional y solo de la línea de calibración. En la figura 64 con el tercer método pero solo de la línea de calibración, en la tabla 34 esta una lista de la instrumentación requerida para la puesta en marcha del banco para la medición del flujo propuesto. [22]

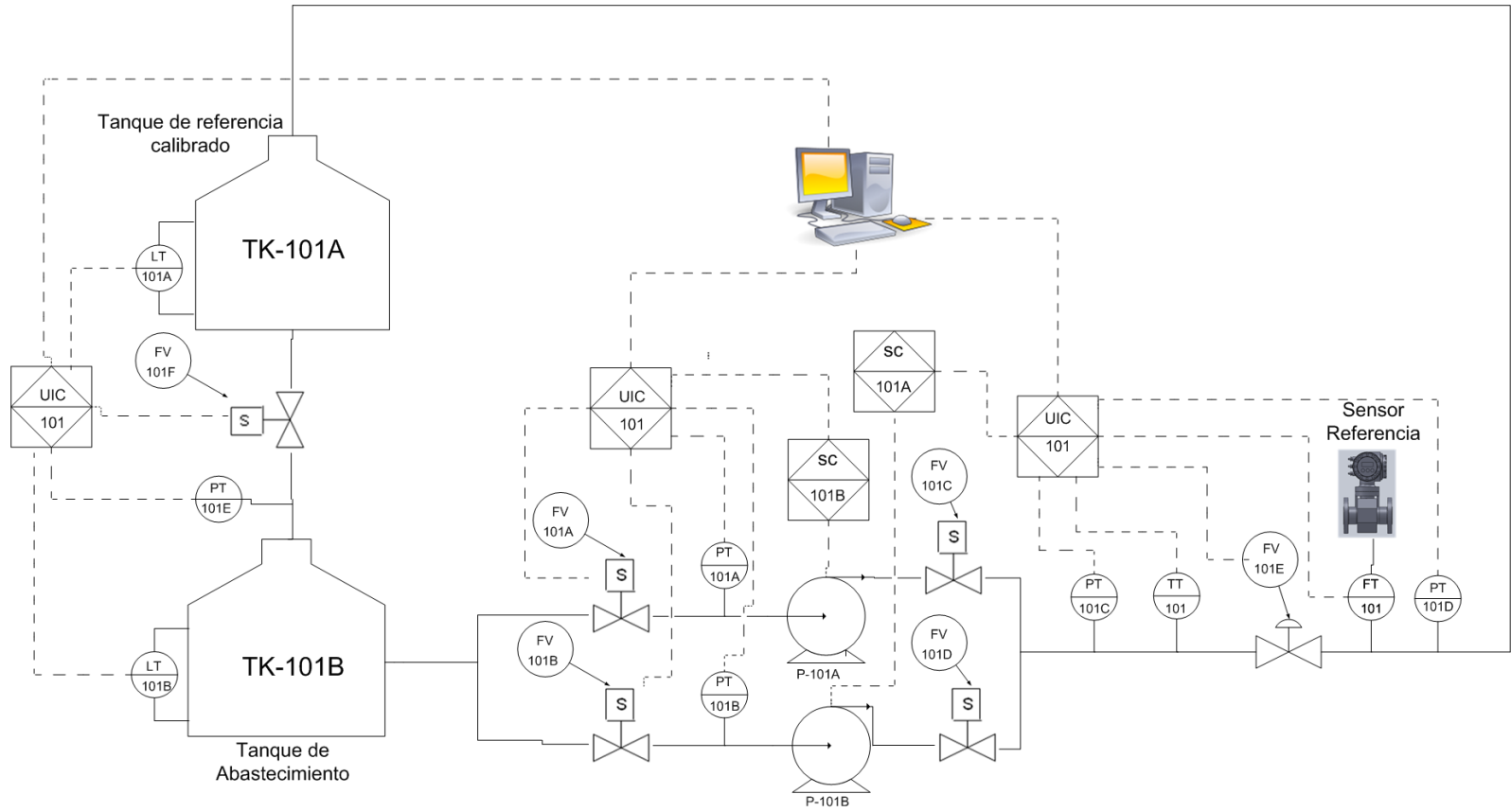


Figura 63: Diagrama P&ID línea de calibración [22]

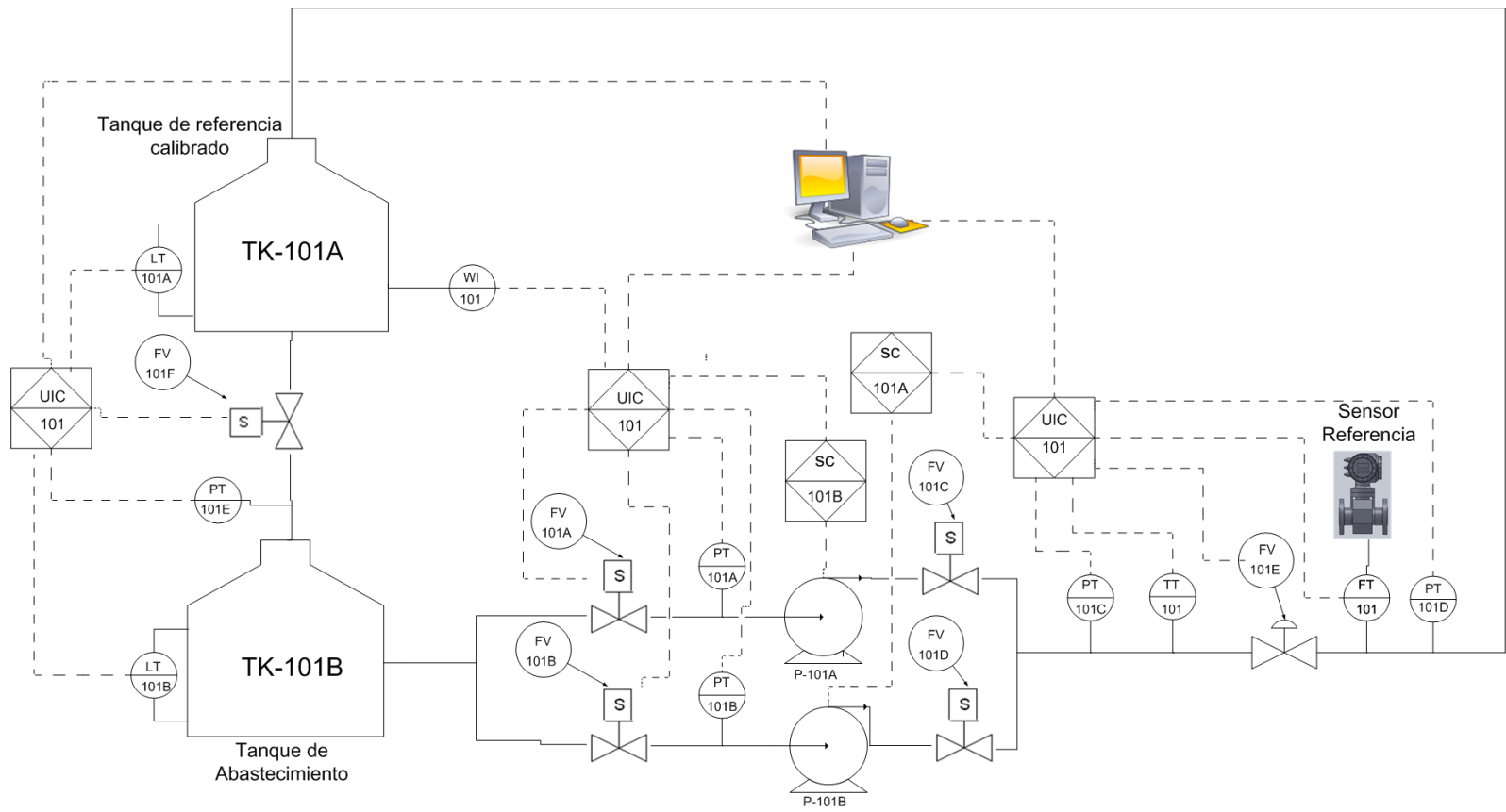


Figura 64: Diagrama P&ID con balanza para el ensayo del método gravimétrico línea de calibración [22]

4.2.1. Instrumentación Requerida.

Instrumento	Nombre	Ubicación	Función
LT-101A	Transmisor de nivel	Tanque de referencia calibrado	Determinar el nivel del agua durante el ensayo de calibración o pérdidas de presión.
LT-101B	Transmisor de nivel	Tanque de abastecimiento	Determinar el nivel del agua durante el ensayo de calibración o pérdidas de presión.
PT-101A	Transmisor de presión	Salida del tanque de abastecimiento	Determinar la presión de succión de la bomba 1.5 hp.
PT-101B	Transmisor de presión	Línea después de la bomba	Determinar la presión de succión de la bomba 1 hp.
PT-101C	Transmisor de presión	Línea después de la bomba	Determinar la presión de descarga de las bombas.
TT-101	Transmisor de temperatura	Línea después de la bomba	Determinar la temperatura del fluido.
FT-101	Trasmisor De flujo (electromagnético)	Línea después de la bomba y línea de ensayos.	Determinar el flujo, servir de referencia para calibrar o de setpoint de los lazos de control.
PT-101D	Transmisor de presión	Línea después de la bomba y después del sensor referencia	Determinar la caída de presión originada por el sensor de referencia.
PT-101E	Transmisor de presión	Salida del tanque de referencia	Determinar la caída de presión, que produce el obstáculo del tanque de referencia.
WI-101	Indicador de peso	Esta en tanque de referencia	Determina el peso recolectado por el agua.
UIC-101	Controlador indicador multivariable (PLC)	Lazo de control del ensayo	Controla el ensayo automatizado.
FV-101A	Válvula de flujo	Salida del tanque de abastecimiento	Cierre o apertura del flujo de agua hacia la bomba de 1.5 hp.
FV-101B	Válvula de flujo	Salida del tanque de abastecimiento	Cierre o apertura del flujo de agua hacia la bomba de 1 hp.

Instrumento	Nombre	Ubicación	Función
FV-101C	Válvula de flujo	Salida del tanque de abastecimiento	Determina que bomba está en funcionamiento.
FV-101D	Válvula de flujo	Salida del tanque de abastecimiento	Determina que bomba está en funcionamiento.
FV-101E	Válvula de flujo (proporcional)	Línea de ensayos.	Controlar o regular el flujo ante la entrada de la línea de ensayos.
FV-101F	Válvula de flujo	Línea de ensayos y después del tanque de referencia.	Cierre de la válvula cuando se llegue a un nivel determinado.
SC-101A y B	Variador de velocidad	Junto a las bombas centrífugas	Regular el flujo de entrada a la línea de calibración.

Tabla 34: Instrumentación del banco para ensayos de calibración (final) [22]

4.3. Descripción de los componentes del banco.

4.3.1. Línea de ensayo calibración.

a. Sistema generador de bombeo. Está constituido por dos bombas centrífugas de 1.5 hp y 1 hp, conectadas en paralelos y controlados por un variador de velocidad. La utilización de dos bombas se debe a que se requiere ensayos con bajos caudales, obtener una mayor eficiencia de las bombas y poder alcanzar flujos muy altos para evaluar los límites máximos de medición de flujo del sensor electromagnético ver figura 65 y figura 66 curva características de las de las bombas, ver anexo E. [22]

El variador de velocidad es necesario porque se requiere en las pruebas de los ensayos evaluar los medidores a diferentes caudales como son Q_1 , Q_2 , Q_3 , Q_4 , ver numeral 3.2.1, 3.3.5 y 3.4.6. En la figura 67, se puede ver la instalación de las bombas centrífugas.

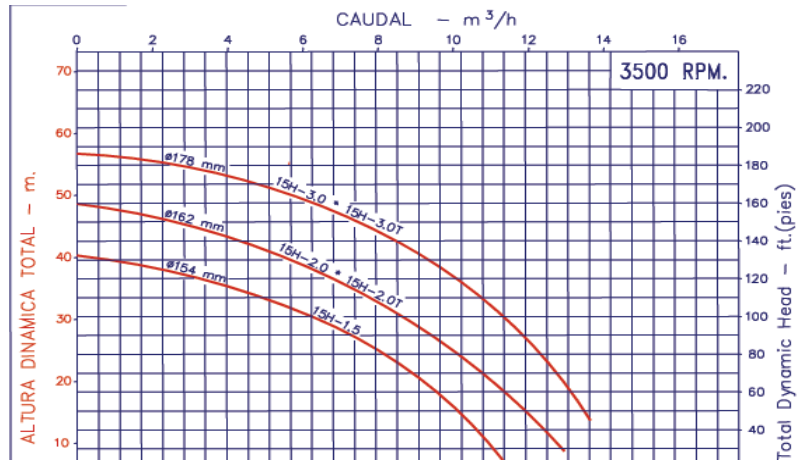


Figura 65: Curva características IHM 15H-1.5HP [29]

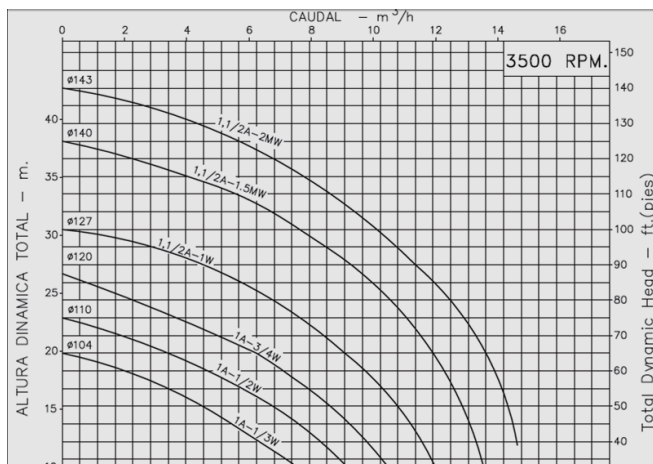


Figura 66: Curva características IHM 1hp [29]

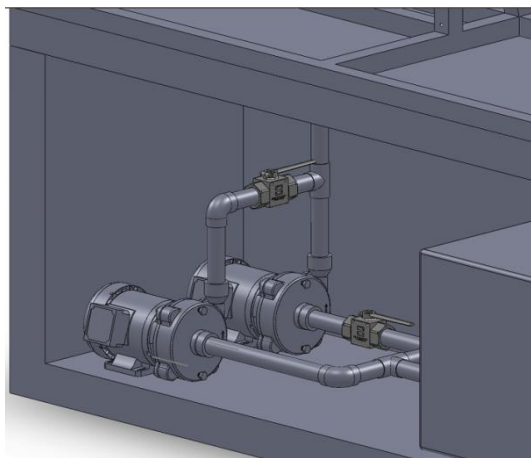


Figura 67: Instalación de las bombas centrífugas [22]

En la figura 68, se puede ver un montaje realizado en el edificio J de la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga, para la prueba del funcionamiento del variador de velocidad Danfoss VLT HVAC Drive ver figura 69 y la bomba de 1.5 Hp. [22]



Figura 68: Puesta en marcha del variador y bomba de 1.5 hp [22]



Figura 69: Variador de velocidad Danfoss VLT HVAC Drive [22]

b. Tanque de abastecimiento o almacenamiento. Es opcional que tenga un medidor de nivel que indique el nivel de agua en su interior, este tanque cuenta con la capacidad máxima de 140 litros y su material de fabricación puede ser plástico o acero inoxidable, puede contar con una válvula de purga en la parte baja del tanque, para que permita vaciarlo cuando el sistema no se encuentre en operación. Como el circuito de tubería es cerrado, el agua siempre retornara a este. [22]

Las dimensiones son 52, 52, 52 cm (HXWXL), se pueden hacer más largo el tanque para que la cabeza estática de la bomba no varíe mucho debido a las variaciones de nivel. El tanque propuesto es cerrado en su parte superior y estará solo provisto de algunas ranuras para ingreso de tubería. Las limitaciones para el diseño son el volumen que debe correr por la tubería, el volumen del tanque de calibración, la ubicación del tanque en el laboratorio de instrumentación que está en el edificio K y por último se debe dejar un nivel de agua adecuado para evitar que entre aire en la tubería o se produzca cavitaciones, ver anexo F medidor de nivel.

Como recomendación el tanque debe tener una lámina interna ubicada en el centro que permita estabilizar el movimiento del agua en su interior, ya que puede ser afectada por el chorro de agua proveniente de la descarga del tanque de referencia calibrado. [27]

c. Medidor de referencia. Como ya se ha descrito se puede tener 2 sistemas de referencia, el primero el de un volumen conocido, el segundo un medidor de referencia que puede ser el instrumento electromagnético Proline Promag 50W de Endress + Hauser, será utilizado para definir los puntos de referencia del flujo, además sirve como sensor del lazo cerrado de control de la bomba. Para su instalación se tomó como guía por el numeral 3.4.8 o la NTC 1063-3 numeral 7, donde hay mayor restricción para su puesta en marcha, mientras que el fabricante Endress + Hauser recomienda que la distancia mínima aguas arriba sea de 5 D (diámetro de la tubería) y aguas abajo 2 D antes de cualquier accesorio como se indica en la figura 70, si está en posición horizontal. [22] [8]

Se debe sujetar el sensor instalándole una base como indica la figura 71, o sujetándola al armazón de diseño del banco propuesto para evitar vibraciones que puedan interferir en la medida como ya se ha mencionado anteriormente.

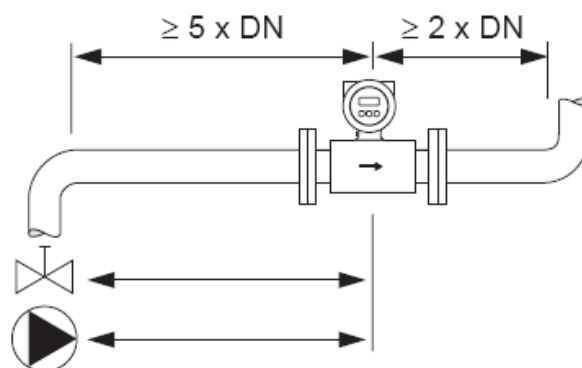


Figura 70: Conexión horizontal Proline Promag 50W [8]

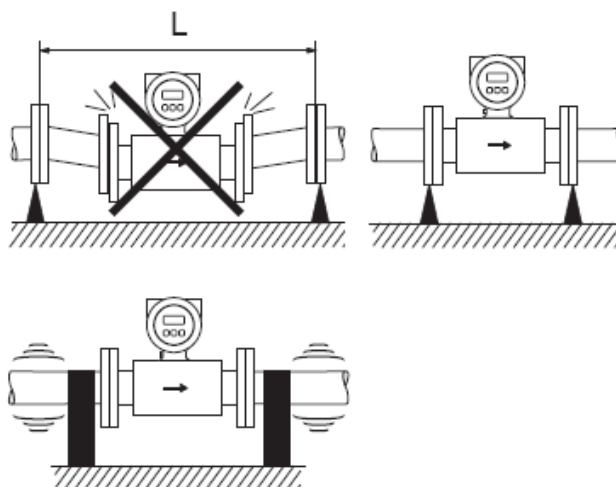


Figura 71: Eliminar vibraciones [8]

El sensor Proline Promag 50W tiene una alta precisión del 0.5% el numeral 3.5.5 se define las características y pruebas para la elección de patrones o numeral 10 de la NTC 1063-3. Por lo general debe ser igual o al menos 3 veces más preciso para cualquier medidor de flujo que se quiere ensayar.

El uso de este tipo de medidores como patrón de Referencias en el lazo de calibración, tiene la ventaja de no disponer de piezas móviles susceptibles de desgaste que pueden reducir la repetibilidad del sistema. En la figura 72 se tiene la calibración del dispositivo y en la tabla 35. Ver anexo G hoja de calibración del 50 W.

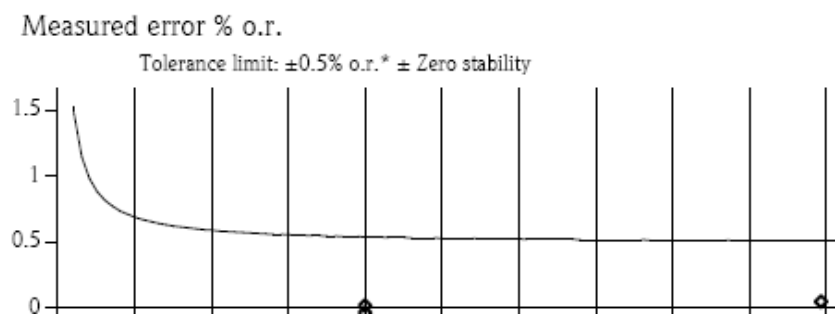


Figura 72: Calibración Proline Promag 50W [8]

Modelo	Diámetro in	Diámetro mm	Rango Flujo l/s	conexión
Proline Promag 50W	1"	25.4	0.5- 2.47	Brida.

Tabla 35: Resumen de las características principales Proline Promag 50W [8]

4.3.2. Descripción de los componentes del banco de ensayo de pérdidas o caídas de presión. Cuando un líquido o gas, en el caso del banco propuesto agua, fluye por una tubería, se producen unas series de pérdidas ya sean de energía o de carga, las razones de estas pérdidas, pueden ser varias, por ejemplo, debido a la fricción, a la reducción o ensanchamiento de la tubería, por perturbaciones en la tubería (válvulas etc.), o cambios de dirección del flujo. [22]

Las pérdidas son importantes y son casi siempre debido a la fricción, para analizar los desgastes de energía se necesita conocer el número de Reynolds que caracteriza el flujo de la naturaleza del fluido, ver el numeral 1 o el numeral 2.2.2. Los flujos con números de Reynolds bajo son lentos, suaves, en otras palabras flujo laminar y en los flujos turbulentos con números de Reynolds altos, son irregulares y rápidos.

En el banco propuesto se debe tener medidores de presión en la entrada de las bombas (presión de succión) y en las salidas (presión de descarga), con el fin de tener un control del funcionamiento de las bombas, los datos son comparados con sus gráficas características, ver numeral 4.3.1 a, ver figura 73. [22]

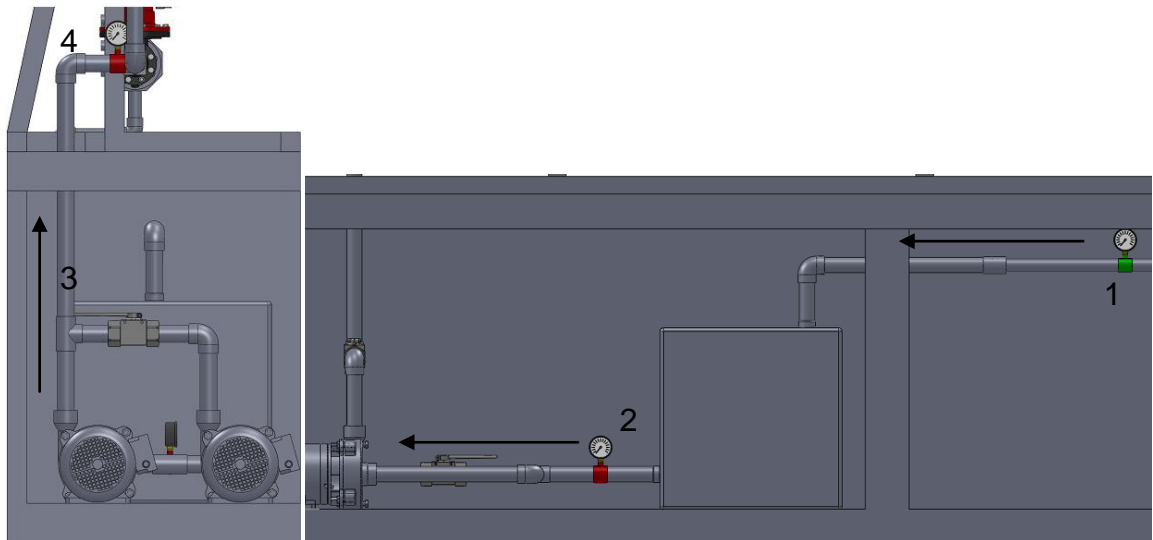


Figura 73: Presión de succión y de descarga [22]

Donde:

1. Medición de la presión al tanque de abastecimiento.
2. Medición de la presión de succión o de entrada de la bomba.
3. Dirección del flujo.
4. Medición de la presión de descarga de la bomba.

El ensayo de pérdidas de presión no afecta la línea de calibración y son datos necesarios. La medición de la presión absoluta como la temperatura en el banco propuesto son determinados solo para propósitos informativos, para verificar que se cumple los requisitos vistos de la norma NTC 1063, ya explicados en los numerales anteriores. Estas mediciones no afectan las velocidades de flujo, ni los coeficientes de descarga, ni las incertidumbres de la medición. [22]

Una práctica muy común en un laboratorio de pérdidas de presión es primero calcular teóricamente las diferentes caídas de presión, para luego compararlo con los datos experimentales, que se puede obtener de las cámaras anulares del banco propuesto ver numeral 4.3.2.d.

a. Pérdidas por circulación. Una componente de la pérdida de la energía es la fricción del fluido que circula a través de una tubería, la fricción es proporcional a la carga de velocidad del flujo y a la relación de la longitud del diámetro de la corriente. Lo anterior se expresa como la ecuación de Darcy: [31]

Ecuación 23.
$$h_L = f * \left(\frac{L}{d}\right) * \left(\frac{v^2}{2g}\right)$$

En donde:

h_L = Pérdida de energía debido a la fricción (N*m/N, m, lb-pie/lb o pies).

L = Longitud de la corriente de flujo (m o pies).

D = Diámetro de la tubería (m o pies).

v = Velocidad promedio del flujo (m/s o pies/s).

f = Factor de fricción (adimensional).

La ecuación 23, ecuación de Darcy es utilizada para el cálculo de pérdida de energía debido a la fricción en secciones rectilíneas largas ver figura 61, tubos redondos y para flujos tanto laminares como para flujos turbulentos. Se tiene una diferencia a la hora de evaluar los dos tipos de caudales y es el factor de fricción adimensional f. [31]

- **Pérdidas por fricción en flujo laminar.** Para el caso de ensayos con velocidades de flujos bajos, dando las características al flujo de ser laminar. Debido a la viscosidad del fluido se crea un esfuerzo constante entre sus capas, perdiendo energía por la fuerza de acción de fricción que hay que vencer. La ecuación de Hagen-Poiseuille, ver ecuación 24, involucra las propiedades del fluido como la viscosidad, peso específico, longitud y diámetro del tubo y la velocidad promedio del fluido. [31]

Ecuación 24.
$$h_L = \frac{32\eta Lv}{\gamma D^2}$$

En donde:

γ = Peso específico.

η = Viscosidad dinámica.

L = Longitud de la corriente de flujo (m o pies).

D= Diámetro de la tubería (m o pies).

v = Velocidad promedio del flujo (m/s o pies/s).

- **Pérdidas por fricción en flujo turbulento.** El flujo es caótico y varía de forma constante, por tal razón los datos de f deben ser obtenidos experimentalmente. En las pruebas se ha encontrado que f depende del número de Reynolds y la rugosidad relativa de la tubería. La rugosidad relativa es la relación entre el diámetro y la rugosidad promedio de la pared (ϵ), en la tabla 36 se puede ver los valores de la rugosidad promedio de tuberías y tubos existentes en el mercado, se debe hacer la aclaración que son valores para tuberías nuevas y limpias. El banco propuesto se implementará con tubería de acero. [31]

Material	Rugosidad ϵ (m)	Rugosidad ϵ (pies)
vidrio	liso	liso
Plástico	3.0×10^{-7}	1.0×10^{-6}
Tubo extruido (cobre, latón y acero)	1.5×10^{-6}	5.0×10^{-6}
Acero comercial o soldado	4.6×10^{-5}	1.5×10^{-4}
Hierro galvanizado	1.5×10^{-4}	5.0×10^{-4}

Tabla 36: Rugosidad de tubos comerciales [31]

Uno de los métodos más utilizados para evaluar el factor de fricción (f) es el diagrama de Moody, ver figura 74, la gráfica muestra el factor de fricción versus el número de Reynolds, con una serie de curvas paramétricas relacionadas con la rugosidad relativa D/ϵ . [31]

En conclusión acerca de la figura 74. Primero para un número de Reynolds dado si se acrecienta la rugosidad relativa, el factor de fricción decae. Segundo para una rugosidad relativa, el factor de fricción disminuye con el aumento del número de Reynolds, hasta alcanzar la zona de turbulencia completa. Tercero dentro de la zona de turbulencia, el número de Reynolds no tiene ningún resultado sobre el factor de fricción. Cuarto conforme se eleva la rugosidad relativa, también se

incrementa en número de Reynolds donde comienza la zona de turbulencia completa, para ver la gráfica de Moody mas detalla ver anexo H. [31]

En la tabla 37 se tiene los valores de factor de fricción y rugosidad relativa, con los valores obtenidos de la tabla 33, material de la tubería acero. En la figura 75 ensayos de pérdidas por circulación, los resultados de los cálculos se muestran en la tabla 38 y se hacen respecto a la ecuación 23, los datos de las tablas 33 y 37. [22]

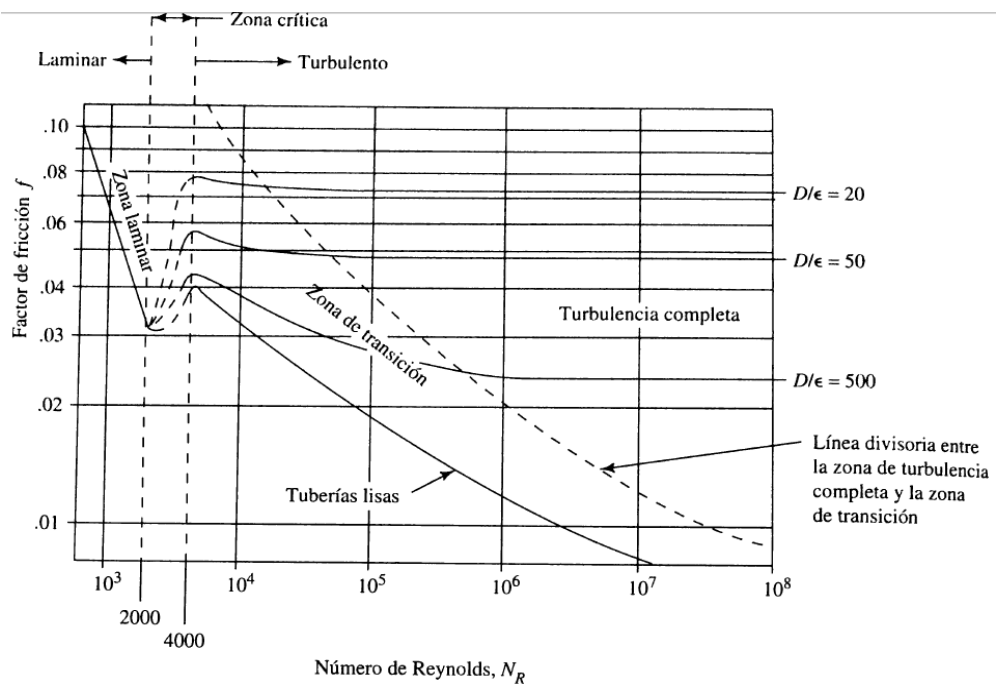


Figura 74: Diagrama de Moody [31]

Diámetro de tubería		D/ϵ	f
in	m		
0.5	0.0127	276.09	0.03-0.025
1	0.0254	552.173913	0.025
1 1/2	0.0381	828.26	0.025-0.02
2	0.0508	1104.35	0.02

Tabla 37: Factor de fricción y rugosidad relativa [22]

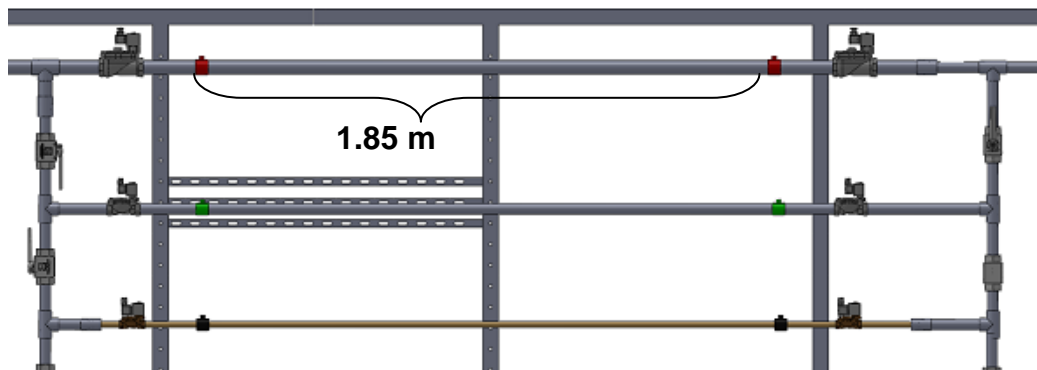


Figura 75: Pérdidas por recorrido [22]

Díámetro de tubería (m)	Velocidad de flujo (m/s)	Distancia (m)	h_L (Nm/N)
0.0127	4	1.85	3.27012695
0.0254	4	1.85	1.48642134
0.0381	4	1.85	0.8918528

Tabla 38: Pérdidas por recorrido [22]

En la tabla 38, a modo de ejemplo se puede interpretar que se pierde 3.27 Nm de energía por cada newton de agua, mientras se circula por 1.85 m de tubería en acero.

b. Pérdidas por tramos con diferentes codos y accesorios. Se tiene varias clases de codos, su función es de acoplamiento para la creación de diferentes trayectorias o para cambiar el tamaño de la tubería, los más conocidos son reductores, codo de 90° o codo de 90° pero de radio largo, codo a 45° y sus equivalentes pero conexión roscada, etc. ver figura 76. Se estudiarán algunos modelos de codos o elementos de tubería, sus coeficientes de resistencia y caídas de presión. En la figura 77 se muestra la línea de pruebas para diferentes tipos de accesorios y codos del banco propuesto para medición de flujo.

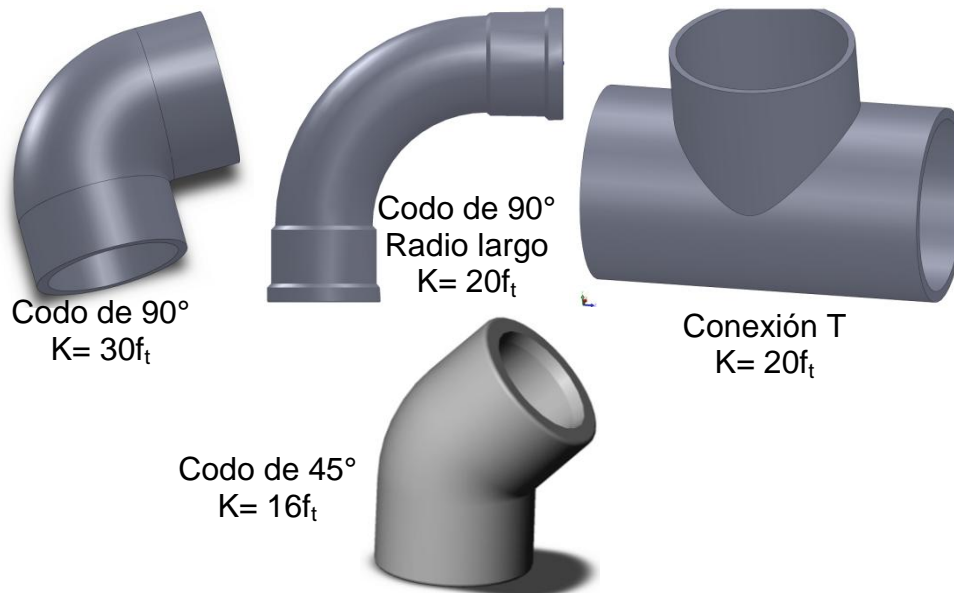


Figura 76: Codos y accesorios [22]

En el siguiente numeral 4.3.2.c se explica con profundidad los factores k , coeficiente de resistencia y f_t , factor de fricción ver tabla 39.

Tipo	Longitud equivalente en diámetro de tubería $\frac{L_e}{D}$
Codo a 90°	30
Codo a 90° de radio largo	20
Codo a 90° roscado	50
Codo a 45°	16
Codo a 45° roscado	26
Conexión T	20

Tabla 39: Relación de longitud equivalente para el factor K [31]

Y en el capítulo 4.3.2.d se hará un ejemplo de los cálculos de pérdida de presión en lazo de pruebas por diferentes clases de codos y accesorios.

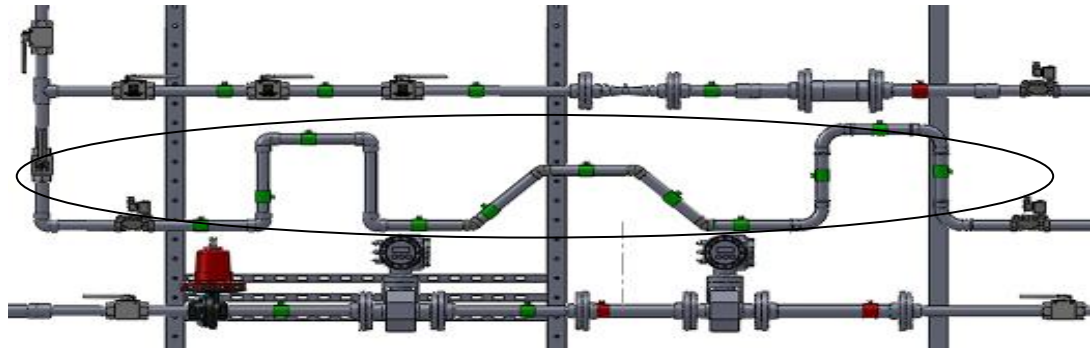


Figura 77: Línea de pruebas de caídas de presión por tipos de codos y accesorios [22]

- **Expiación súbita.** Se da cuando en el banco se tienen adaptadores para cambiar de diámetros diferentes, ejemplo, de 1 in a 1 ½ pulg. Las pérdidas se calculan por medio de la ecuación 25 y 26. En la figura 78 se explican los parámetros de las ecuaciones. V1 es la velocidad de entrada antes de la expansión. [31]

Ecuación 25.
$$h_L = K * \left(\frac{v_1^2}{2g} \right)$$

Ecuación 26.
$$K = \left(1 - \left(\frac{D_1}{D_2} \right)^2 \right)^2$$

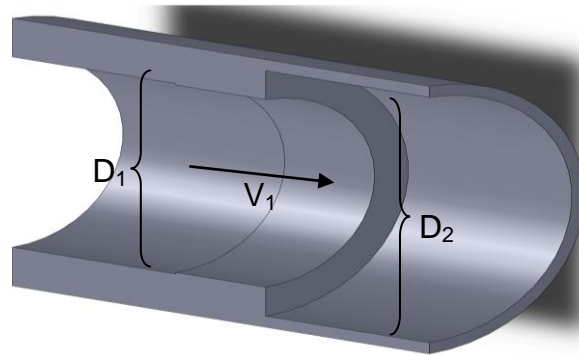


Figura 78: Expansión súbita [31]

Para el caso contrario en donde se reduce, ejemplo, de 1 ½ in a 1 in, la ecuación 25, la velocidad es la que se da después de la reducción. Ver figura 79. El factor k se obtiene de la misma manera ver ecuación 26. [31]

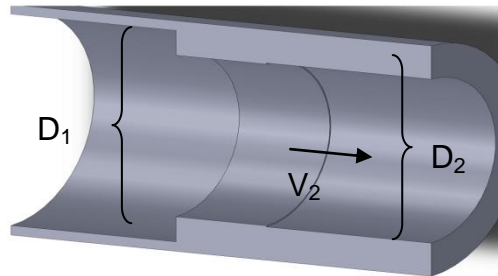


Figura 79: Contracción súbita [31]

c. Pérdidas por diferentes clases de válvulas. En el mercado actual se tiene una gran variedad de válvulas como son: válvulas de globo, ángulo, compuerta mariposa etc. En el anexo I se puede apreciar las especificaciones de una válvula solenoide, en las figuras 80 a la 84 se estudiarán algunos modelos, sus coeficientes de resistencia y caídas de presión. En la figura 85 se muestra la línea de pruebas para diferentes tipos de válvulas del banco propuesto para medición de flujo. Las funciones de una válvula son: la de abrir y cerrar el paso de flujos a través de la tubería, para regular la presión, ajustar el caudal y para dirigir el flujo por diferentes caminos. [31]

La válvula de globo es de varias vueltas, es ideal para estrangulación y cuando se es necesaria cierta resistencia a la circulación ver figura 80.



Figura 80: Válvula de globo [32]

La válvula de mariposa es de $\frac{1}{4}$ de vuelta, recomendado para cierre total o apertura total o un mínimo de flujo, ver figura 81, la constante K coeficiente de

resistencia, solo es apto para tamaños de 2 a 8 in. La válvula de bola son de $\frac{1}{4}$ de vuelta y muy necesaria cuando se necesita cierta resistencia a la circulación, ver figura 82.



Figura 81: Válvula de mariposa [32]



Figura 82: Válvula de bola. [32]

Válvula de compuerta es de vueltas múltiples, aplicable para cierre total o apertura total, cuando no se necesita la estrangulación del fluido, para control de flujo y resistencia mínimas, ver figura 83. Una válvula de retención es igual a la de globo, excepto que el disco se abre por la fuerza del fluido y se cierra por gravedad o por circulación inversa, aplicable cuando la caída de presión a través de la válvula no es problema, ver figura 84. [32]

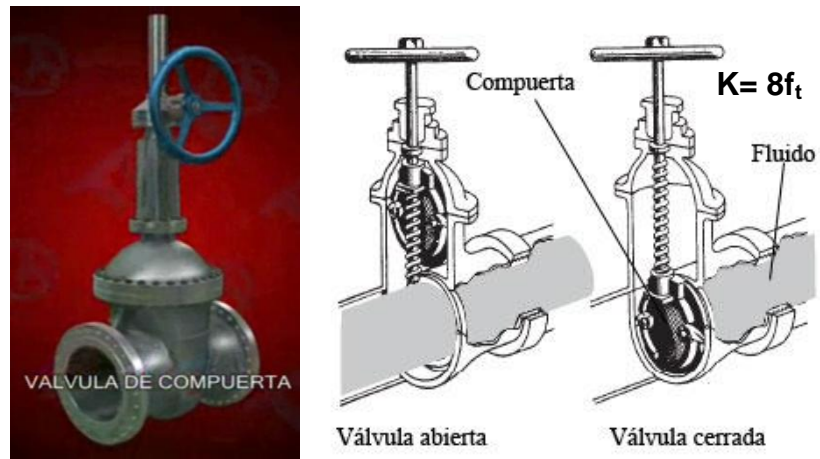


Figura 83: Válvulas de compuerta [32]

La constante K coeficiente de resistencia de la válvula de retención, depende si lleva colador provocando una mayor resistencia. [31]



Figura 84: Válvula de retención [32]

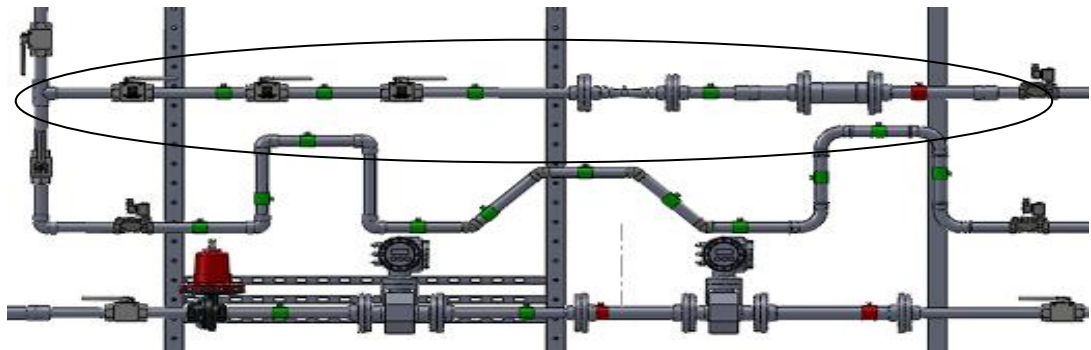


Figura 85. Línea de pruebas de caídas de presión por tipos de válvulas. [22]

La pérdida de energía que se tiene después de circular el flujo a través de las válvulas se puede calcular con la ecuación 25, pero para calcular el coeficiente de resistencia k es diferente, ver ecuación 27. [31]

$$\text{Ecuación 27.} \quad K = \left(\frac{L_e}{D}\right) * f_t$$

En la tabla 40 se puede apreciar la relación $\frac{L_e}{D}$, de longitud equivalente y se considera constante para algún tipo de válvula. L_e es la longitud recta de una tubería con un mismo diámetro nominal de la válvula. D es el diámetro interior. El término f_t es el factor de fricción de la tubería y se determina en la zona completa de turbulencia, ver el diagrama de Moody figura 74, donde el factor de fricción es independiente del número de Reynolds. En la tabla 41 se puede ver los factores de fricción para tubería de acero comercial, nueva y limpia. [31]

Tipo	Longitud equivalente en diámetro de tubería $\frac{L_e}{D}$
Válvula globo-abierta completa	340
Válvula de ángulo-abierta completa	150
Válvula de compuerta-abierta completa	8
“ ” 3/4 abierta	35
“ ” 1/2 abierta	160
“ ” 1/4 abierta	900
Válvula de verificación tipo bola	150
Válvula de mariposa-abierta completa 2 a 8 pulgadas	45
Válvula de pie tipo disco o bisagra	75

Tabla 40: Relación de longitud equivalente [31]

Tamaño nominal de la tubería (pulg)	Factor de fricción f_t
1/2	0.027
1	0.023
1 1/2	0.021
2	0.019

Tabla 41: Factores de fricción [31]

d. Cámara anulares. Son accesorios ubicados en el banco propuesto para la medición del flujo, para la obtención de caídas de presión por medio de manómetros o medidores de presión diferencial. Para obtener esta medida teóricamente se utiliza la ecuación 28, ecuación de energía de Bernoulli. Se mostrará a modo de ejemplo los cálculos de las caídas de presión que se podrían obtener el banco, por válvulas ver figura 86, por recorrido, y diferentes codos. Primero se tiene una válvula de globo completamente abierta de 1 pulg y 1½ pulg. En la tabla 42 se muestran los resultados obtenidos. [22] [31]

$$\text{Ecuación 28.} \quad \frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{V_1^2}{2 \cdot g} - h_L = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2 \cdot g} - h_L$$

Donde: la suma de estos tres términos se denomina carga total.

- $\frac{P_1}{\gamma}$ = Es la carga de presión.
- Z = Es la carga de elevación (altura).
- $\frac{V_1^2}{2 \cdot g}$ = Es la carga de velocidad.

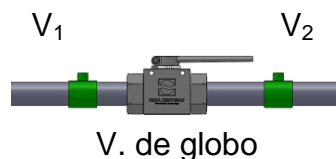


Figura 86: Cálculo de pérdidas de presión en válvulas [22]

Donde $V = V_1 = V_2 = 4$ m/s velocidad promedio y $Z = Z_1 = Z_2$

Velocidad del flujo	Tamaño de la tubería	Flujo m ³ /h	Longitud equivalente $\frac{L_e}{D}$	Rugosidad del tubo ϵ	Tubería en Acero f _t	Rugosidad relativa D/ε
4 m/s	1 in (0.0254 m)	7.30	340	1.5 X 10 ⁻⁴	0.023	552.17
4 m/s	1 ½ in (0.0381 m)	16.42	340	1.5 X 10 ⁻⁴	0.021	828.26

.....continúa

Coeficiente De resistencia K	Perdidas de energía h_L	Densidad del agua ρ	Peso Especifico $\gamma = \rho * g$ (kN/m ³)	Caída de presión $p_1 - p_2$ (N/m)	Caída de presión $p_1 - p_2$ (psi)
7.82	6.38	1000 kg/m ³	9800	62560	9.07
7.14	5.83	1000 kg/m ³	9800	57120	8.28

Tabla 42: Caídas de presión [22]

Para obtener P1-P2, se despejó de la ecuación 28 y se simplificó la expresión, ver ecuación 29. La interpretación es que se cae la presión 9.07 Psi al pasar el agua por la válvula de globo completamente abierta debido a su estructura interna y en una tubería de 1 pulg, esta medida se puede verificar experimentalmente en el banco con los medidores de presión, ver el anexo J o anexo K, Especificaciones Técnicas del Transmisor de presión o de presión diferencial. [22]

Otro punto de vista es que a mayor diámetro de tubería las pérdidas son menores. En las prácticas de laboratorio de caídas de presión los cálculos son de gran importancia, porque dan una idea al estudiante de que debe esperar en los ensayos, después de obtener los datos teóricos se deben hacer los cálculos de errores con los datos logrados experimentalmente.

- **Caídas de presión por recorrido.** Anteriormente se calculó las pérdidas de energía debido a la rugosidad del material del tubo, ver numeral 4.3.2.1, ahora se calcularán las pérdidas de presión con la ecuación 28, de la misma manera la velocidad es 4 m/s, $Z = Z_1 = Z_2$ y los datos son de la tabla 38. Simplificando la expresión de la ecuación 28, se obtiene la ecuación 29. Los resultados se pueden apreciar en la tabla 43. [22]

$$\text{Ecuación 29.} \quad P_1 - P_2 = \gamma * h_L$$

Diámetro de tubería (m)	Velocidad de flujo (m/s)	Distancia (m)	Pérdidas de energía h_L (Nm/N)	Caída de presión $P_1 - P_2$
0.0127 (1/2 in)	4	1.85	3.27012695	4.65
0.0254 (1 in)	4	1.85	1.48642134	2.11
0.0381 (1 ½ in)	4	1.85	0.8918528	1.27

Tabla 43: Pérdidas por recorrido [22]

Como conclusión se puede ver que a medida que incrementamos el diámetro de la tubería, las pérdidas de presión por fricción son menores. [22]

- **Pérdidas de presión por accesorios.** En la figura 87 se tiene instalado dos tipos de codos muy utilizados de 90° y 45°, como se observa se están instalados a diferentes alturas, la caída de presión se puede obtener por la ecuación 30, derivada de la ecuación de energía de Bernoulli. [22]

Ecuación 30.

$$P_1 - P_2 = \gamma * [(Z_1 - Z_2) + h_L]$$

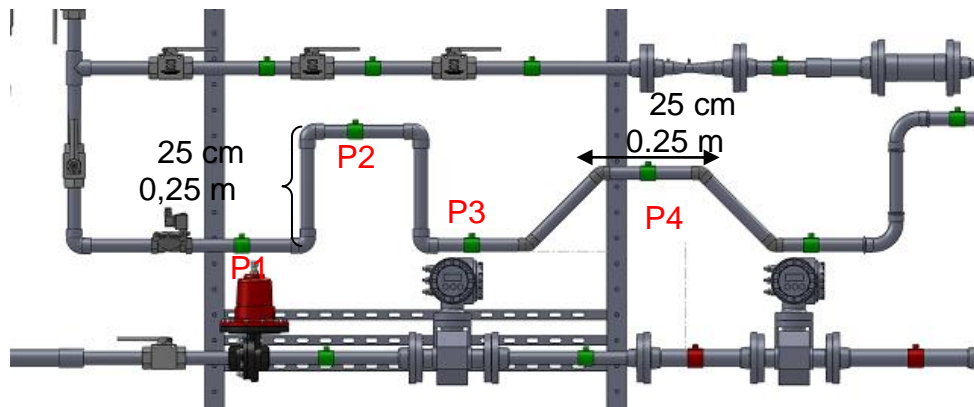


Figura 87: Pérdidas de presión por accesorios [22]

Como se observa en la figura 87, se tiene un ensayo de codos de 45°, 90° y 90° de radio largo. En cada sección se tiene por lo mínimo dos codos para realizar un cambio en el recorrido del fluido por lo tanto hay 2 veces las pérdidas de energía (h_L).

Longitud equivalente $\frac{L_e}{D}$	Velocidad 4 m/s	Peso Especifico 9800 (kN/m^3)	Coefficiente resistencia K	Pérdidas energía h_L	$2 \cdot h_i$	p1-p2 (psi)	p3-p4 (psi)
Codo 90° 30	Tubería 1 in	Z1-Z2 0.25	0.69	0.56	1.13	1.156	-
Codo 45° 16	Tubería f_t 0.023	Z1-Z2 0.22	0.368	0.3	0.6	-	0.7395

Tabla 44: Pérdidas de presión por codos de 90° y 45° [22]

En total la caída de presión de p1-p4 es igual a p1-p2 más la de p2-p3 más la de p3-p4, pero la de p2-p3 es igual a la de p1-p2 porque no varía la velocidad del fluido, tampoco el tipo de conexiones ni la variación de la altura.

$$P1-P4= 3.052 \text{ Psi.}$$

Como era de esperarse al ser menor el coeficiente de resistencia el codo de 45° es mucho menor la caída de presión. El banco propuesto cuenta con la facilidad de realizar ensayos y pruebas de laboratorio para varios accesorios ya que estos se pueden reubicar, modificar sus distancias, gracias a la libertad del armazón y control de diferentes caudales por el sistema de control del variador de velocidad en la bomba.

RECOMENDACIONES.

Para poder garantizar una trazabilidad del banco para la medición de flujo, se ha de obtener y de realizar periódicamente las calibraciones del tanque de volumen conocido, los transmisores de presión, temperatura y nivel para medidores volumétricos, y sensor de referencia, para el caso de medidores másicos además de las anterior se le debe adicionar la calibración de la balanza que pesa el tanque de volumen conocido.

Para la realización de pruebas de calibración, el banco propuesto debe estar lo mayor posiblemente automatizado, para evitar errores humanos, Poner una o más purgas de aire y filtros para poder disminuir las fuentes de errores e incertidumbres.

No se debe realizar mantenimiento alguno o evaluación de los elementos de control o cambios de accesorios mientras el sistema se encuentre encendido, ya que esto implica riesgos para la integridad del operario.

Para asegurar el correcto funcionamiento del sensor electromagnético 50w, solo si es necesario introducir un instrumento para determinar la conductividad del agua y así satisfacer las condiciones del fabricante.

Se debe asegurar la estructura o el armazón del banco propuesto para evitar o disminuir las perturbaciones por vibraciones, debido a la presión del flujo, si es necesario asegurar aguas arriba y aguas abajo el instrumento a calibrar y el sensor de referencia, no instalar válvulas de retención, orificio o regulador de presión por debajo de 10D aguas arriba ya que puede crear perturbaciones en el perfil de flujo.

El banco debe ser instalado en un lugar con iluminación, ventilación y evitar peligros relacionados con instalaciones eléctricas, los medidores y sus accesorios no se deben poner como puesta a tierra eléctrica de otros elementos diferente a su propio sistema. Antes de poner en operación el banco propuesto o cuando se haga mantenimiento o instalación de componentes nuevos, se debe lavar bien todos los accesorios de tubería para que no quede suciedad y así proteger los electrodos del medidor magnético Proline Promag 50w.

CONCLUSIONES

El diseño del banco para la medición de flujo, se empezó bajo las condiciones iniciales de que la altura no sobrepasara los 3 m, de ancho 0.75 m y de largo 6 m. Otra restricción era que el banco contemplara ensayos de pérdidas de presión causados por diferentes factores, sin afectar las pruebas indicadas por la norma NTC 1063 para los medidores de flujo. El banco propuesto se diseñó en 2 zonas, una zona de calibración que respeta las indicaciones de la norma NTC 1063, ejemplo que los medidores a ser ensayados se deben instalar mínimo a 15 diámetros aguas arriba y a 10 diámetros aguas abajo antes de alguna perturbación (por presencia de codos o válvulas). La segunda zona pérdidas de presión, separada por la elección de una válvula de la línea de calibración, contempla ensayos de pérdidas de presión por diferentes tipos de válvulas de cierre, por accesorios de tubería como codos y ángulos, por recorridos en tubería de 1/2", 1" y 1 1/2", cada una separadas entre sí, teniendo la facilidad de escoger distintos recorridos para el flujo a conveniencia del usuario. Las medidas del banco propuesto son: altura 2.3 m, ancho 0.75 y de largo 4.5 m, dejando un espacio de 1.5 m para la ubicación del sistemas de control.

Con el desarrollo del banco propuesto el estudiante tendrá la capacidad de interactuar con los diferentes instrumentos existentes en el mercado, leer su ficha técnica, método de funcionamiento, las protecciones que se debe tener a la hora de instalar el medidor, ejemplos, protecciones al flujo inverso, corrosión externa etc. Conocer los requisitos mínimos para la evaluación y selección de un medidor como: presión, características físicas y químicas del agua, espacios disponibles, tipo de alimentación, señal de salida de la variable medida etc. Reconocer los componentes principales que causen errores en la medición y fuentes de incertidumbre.

La norma NTC 1063-2, señala que un error en la indicación del medidor es producido por las perturbaciones hidráulicas, debido a esto el cuerpo o el armazón del banco donde se instalará la tubería y los medidores, se diseñó de forma robusta para poder anclar la tubería y evitar las perturbaciones por vibraciones debido al empuje del agua, logrando disminuir la incertidumbre en la medición. El diseño cuenta con dos bombas centrífugas de 1 Hp y 1,5 Hp que se deben instalar debajo del armazón y ser ancladas al piso debido a la gran vibración que poseen.

Las bombas son de diferentes potencias para obtener diversos niveles de flujo y así determinar zonas muertas de la indicación del medidor. Al tener una sola bomba por medio del variador de velocidad, se puede obtener gran variedad de caudales pero al forzarla a producir bajos flujos se crea una mayor vibración y un ruido interno superior. La norma NTC 1063 recomienda que el banco propuesto debe estar lo mayor posible automatizado, por esta razón en el diseño se ve un gran número de electroválvulas, que pueden ser accionadas por un PLC, el control del flujo se logra por medio de dos variadores de velocidad que controlan las bomba centrifugas. El Set Point lo impondría el sensor de referencia que da una señal análoga proporcional al caudal de medida entre 4 a 20 mA. Un variador de velocidad sustituye una frecuencia, tensión y corriente alterna con valores fijos a una tensión, corriente y frecuencia variables en la alimentación de la bomba.

Se revisó las diferentes técnicas para la medición de caudal, cada una tiene sus ventajas y desventajas, en el caso del medidor de efecto Coriolis su costo es elevado, para el medidor de presión diferencial tipo Tobera su desmontaje es dificultoso, algunos métodos solo son aplicables a gases como el medidor másico térmico. En algunos procesos los medidores no pueden ser invasivos, los más recomendados son los medidores ultrasónicos y los magnéticos. El medidor electromagnético Proline Promag 50w, alcanza ser usado como patrón de referencia para el lazo de calibración como se indica en la NTC 1063-3, gracias a su alta precisión del 0.5%, para obtener este objetivo y seguir con la trazabilidad del laboratorio se debe cumplir con los ensayos de aprobación. Ver el numeral 3.5.5 y siguiendo siempre las recomendaciones del fabricante para su debida instalación.

Se realizó cálculos de pérdidas de presión, en diferentes accesorios, válvulas y recorridos, cada uno provocan pérdidas, ya sea por la rugosidad interna de la tubería que puede variar por los distintos materiales de que estén hechas o por la arquitectura interna de las válvulas. Los distintos medidores de flujo también provocan caídas de presión y la norma NTC 1063 es muy precisa al decir que la máxima caída de presión de un medidor no debe exceder 0,063 MPa (0.63 bar) a cualquier caudal entre Q_1 y Q_3 ver numeral 3.4.8. En el numeral 2.2.2 medidores de presión diferencial, se mostró que estas caídas de presión son recuperables en un gran porcentaje a una distancia determinada aguas abajo, de igual modo pasa con los accesorios y válvulas.

BIBLIOGRAFIA

- [1] VALERA NEGRETE Y JOSE PEDRO AGUSTIN, Apuntes de física general, 1 ed. 2005 universidad nacional autónoma de México, p.232-235.
- [2] MAGNETROL, aplicación de gas y fluido [página de internet]. En: <http://mx.magnetrol.com/applications.aspx?application=223&button=32> [consultada 2012-07-08]
- [3] NORMAS TÉCNICAS COLOMBIANAS NTC1063-1. Especificaciones, tercera actualización editada 2007-07-03.
- [4] MIKEL IZQUIERDO, Biomecánica y Bases Neuromusculares de la Actividad Física y el Deporte, 2008 editorial medica panamericana, 311p.
- [5] HUGO RAMOS Y PABLO ESTRELLA, física 2, 2009 editorial Cengage Learning, p. 210-212.
- [6] CAUDAL, Sensores de Caudal [página de internet]. En: <http://www.dte.uvigo.es/recursos/caudal/index.html> [consultada 2012-07-08]
- [7] ENDRESS + HAUSER, [página de internet]. En: <http://www.youtube.com/user/EndressHauserAG?feature=watch>. [Consultada 2012-07-08]
- [8] ENDRESS + HAUSER, Sensor Electromagnetic Flow Measuring System, Technical Information, Proline Promag 50W-53W. Julio Del 2012.
- [9] MAVAINSA INSTRUMENTACION [documento electrónico]. En: http://www.mavainsa.com/documentos/10_instrumentacion.pdf . Consultada [2012-07-09], p. 2-5.
- [10] J. ACEVEDO SANCHEZ, Instrumentación, 2006, edición Díaz de Santos, p. 5-16.

- [11] INSTRUMATIC Rotámetros series 700 [documento electrónico]. En: <http://instrumatic.com.co/portal/images/PDFS/flujo/rotametros.pdf>. Consultada [2012 - 07-18], p. 1.
- [12] DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA ELECTRÓNICA. [Página de internet]. En: <http://www.dte.uvigo.es/recursos/caudal/index.html> consultada [2012-07-19].
- [13] AUTOMATION SIEMENS. Medidor de presión diferencial [página de internet]. En: <http://www.automation.siemens.com/w1/automation-technology-differential-pressure-flow-meter-sitrans-f-o-18687.htm>. Consultada [2012-07-18].
- [14] CONAGUA TUBOS VENTURI. [Documento electrónico] En: http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/tubos_venturi.pdf. Consultada [2012-07-21], p 2-5.
- [15] LMNO de Ingeniería, Investigación y Software Ltd. [Página de internet]. En: <http://www.lmnoeng.com/venturi.htm>. Consultada [2012-07-21].
- [16] ANTONIO CREUS SOLÉ, Instrumentación Industrial 2005, 7 ed, Barcelona, España: Marcombo p. 104-188
- [17] INDUSTRIA Y NEGOCIOS. [Página de internet]. En: <http://www.industriaynegocios.cl/Academicos/AlexanderBorger/Docts%20Docencia/Seminario%20de%20Aut/trabajos/trabajos%202003/Sem%20Aut%20%20Caudal/web-final/Medidores%20por%20Velocidad.htm>, consultada [2012-07-24].
- [18] GPIFLOWMETERS. [Página de internet]. En: <http://www.youtube.com/watch?v=Sca29I-IMAg>. Consultada [2012-07-26].
- [19] ENDRESS + HAUSER. Medidor ultrasónico proline prosonic flow 93. [Página de internet]. En: <http://www.es.endress.com/eh/sc/europe/es/es/home.nsf/#page/id/CF0618F81223BD3CC1257313004F3CD4>. Consultada [2012-07-27].
- [20] UNIVERSIDAD TECNOLOGÍA NACIONAL, investigación de los sensores de caudal.[documento electrónico]. En: http://www.investigacion.frc.utn.edu.ar/sensores/Caudal/Principios/Caudal_Sensores.pdf, consultada [2012-07-27]

- [21] ENDRESS + HAUSER, Medidor electromagnético Proline Promag 50W, [página de internet]. En: <http://www.es.endress.com/eh/sc/europe/es/es/home.nsf/#product/53P>. Consultada [2012-07-30].
- [22] LATORRE CARVAJAL, Andrés Ricardo. Diseño de un Banco de Ensayo para la Medición de Flujo de Agua Basado en la Norma Técnica Colombiana NTC 1063. Bucaramanga, 2012, 210p. Trabajo de Grado (Ingeniero Electrónico). Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga. Facultad de Ingeniería Electrónica.
- [23] WIKIPEDIA. Enciclopedia Libre [página de internet] En: <http://es.wikipedia.org>. Consultada [2011-08-03]
- [24] COMERCIO INDUSTRIAL. Conexiones por clamps [página de internet] En: <http://www.comercioindustrial.net/productos.php?id=biolok&mt=juntas%20bio%20ok%20garlock>. Consultada [2011-08-03]
- [25] NORMAS TÉCNICAS COLOMBIANAS NTC1063-2. Requisitos de instalación, tercera actualización editada 2007-07-03, 2p.
- [26] NORMAS TÉCNICAS COLOMBIANAS NTC1063-3. Equipos y métodos de ensayo, tercera actualización editada 2007-07-03, 2p.
- [27] CLAVIJO HERNANDEZ, Nohora Rocio. Diseño de prototipo de banco automático de flujo para calibración de medidores de flujo. Bogotá, 2010, trabajo de grado (Especialización en Automatización de Procesos Industriales). Universidad de los Andes facultad de ingeniería departamento de ingeniería eléctrica y electrónica.
- [28] G.U.N.T. portafolio de equipo para ingeniera. Banco de Prácticas Pérdidas por Circulación. Consultado [2011-08-03]
- [29] IGNACIO GÓMEZ. IHM comercializadora de bombas centrifugas [página de internet] En: <http://www.igihm.com/curvas/980040CU.pdf>. Consultada [2011-08-03]

[30] MEDICIÓN DE VARIABLES. [Página de internet]. En: <http://medirvariables.blogspot.com/>. Consultada el [2011-08-03]

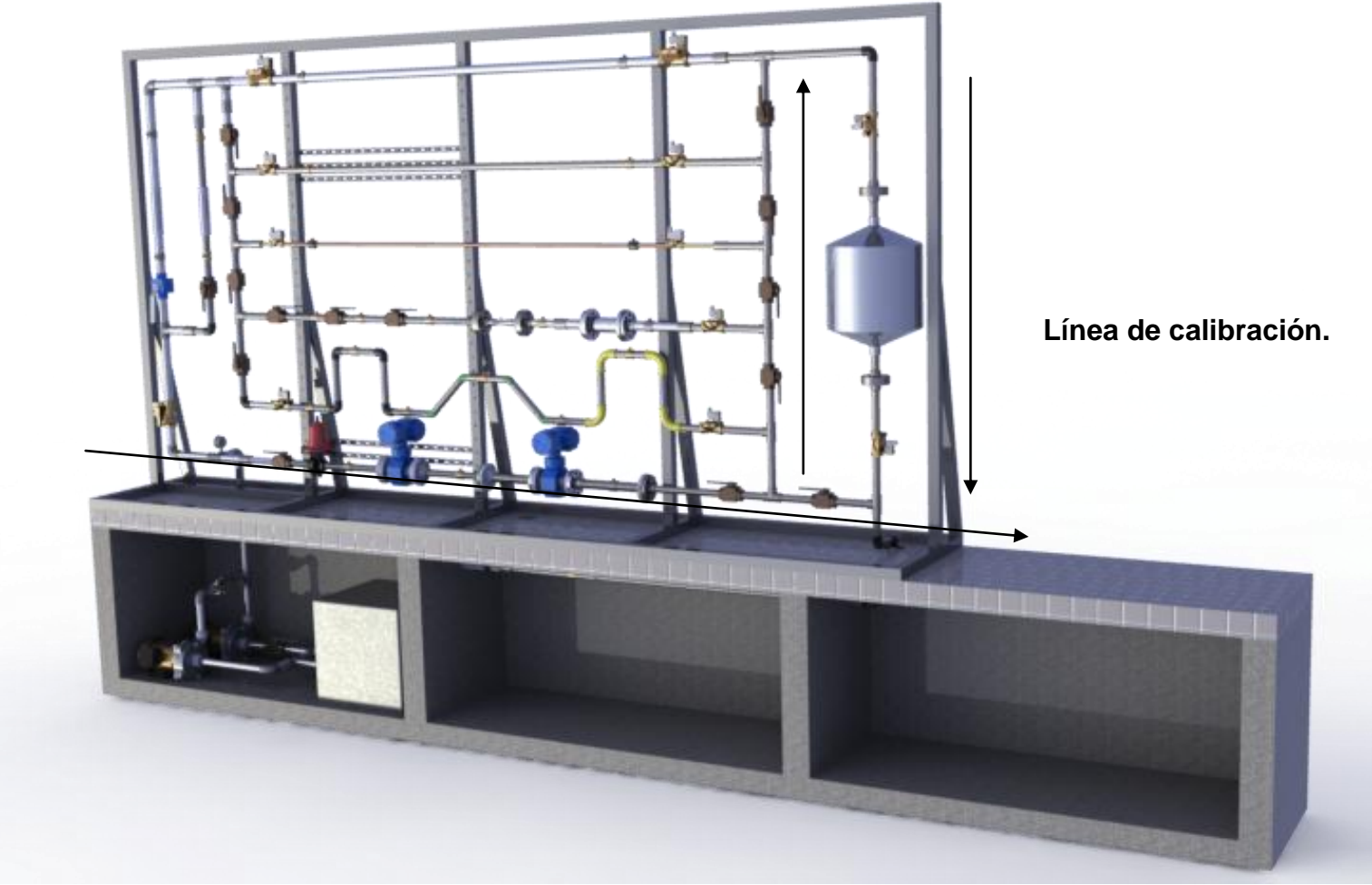
[31] ROBERT L. MOTT. Mecánica de fluidos. Sexta edición 2006. Editoria Pearson Educación.

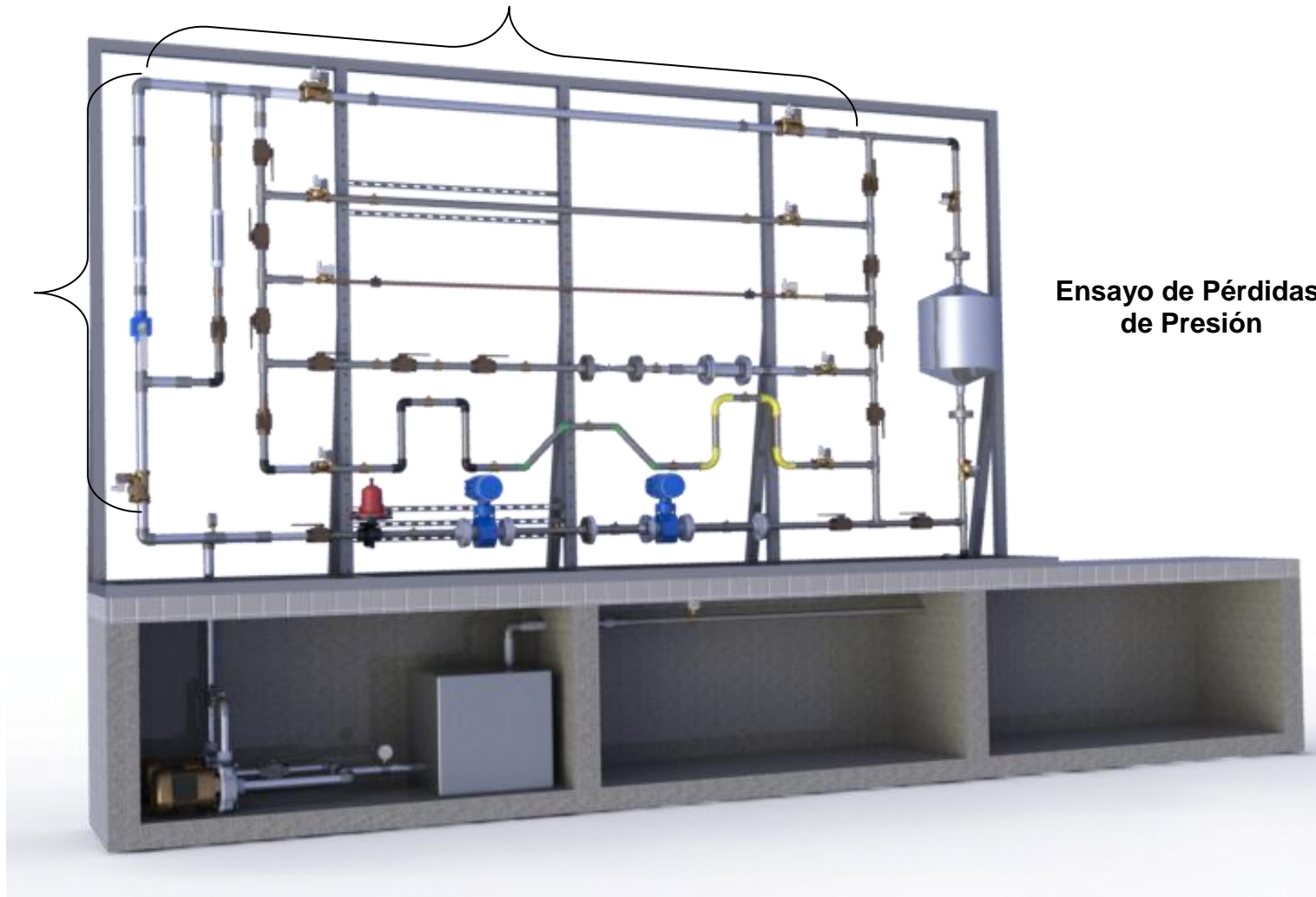
[32] VÁLVULA DE SIMULACIÓN. Página de internet. En: <http://www.youtube.com/watch?v=aRM3jbtrbW4&feature=plcp>. Consultada [2012-07-30].

ANEXOS

ANEXO A. FICHA TÉCNICA SENSOR ELECTROMAGNÉTICO 50W

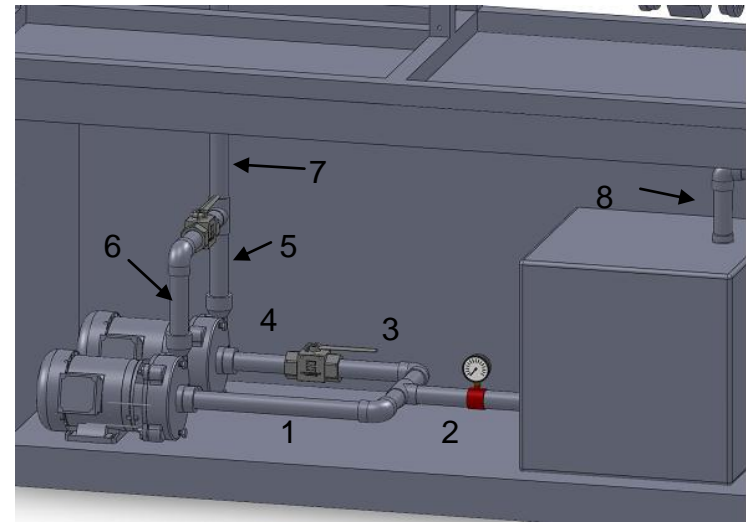
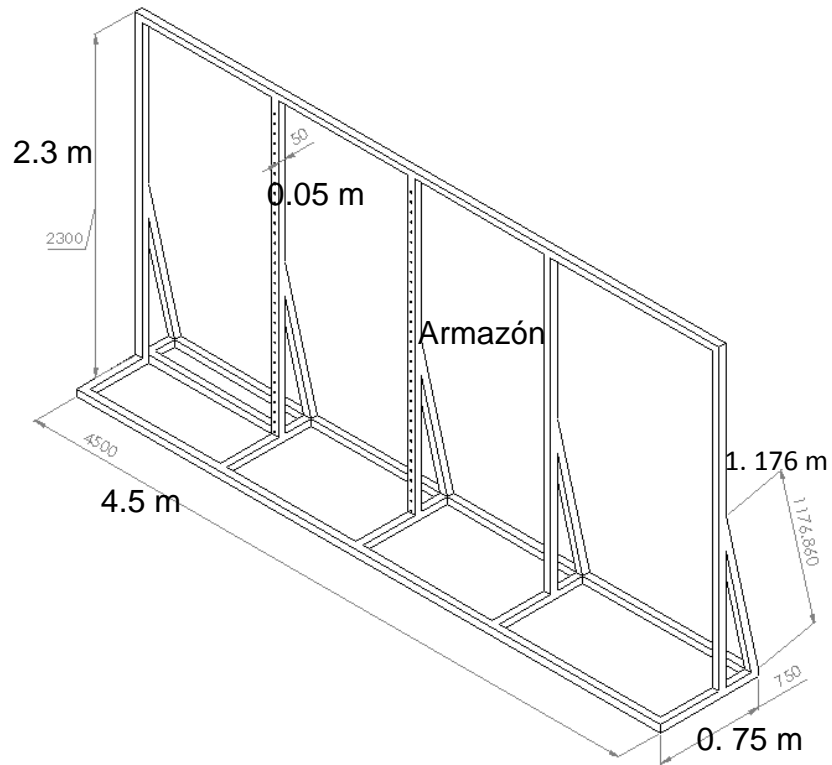
ANEXO C. Diseño del banco propuesto en Solidworks.



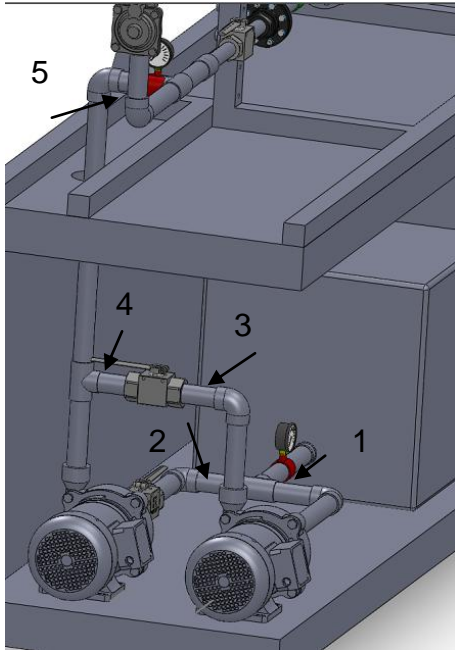


**Ensayo de Pérdidas
de Presión**

ANEXO D. Medidas del banco propuesto para la medición de flujo.

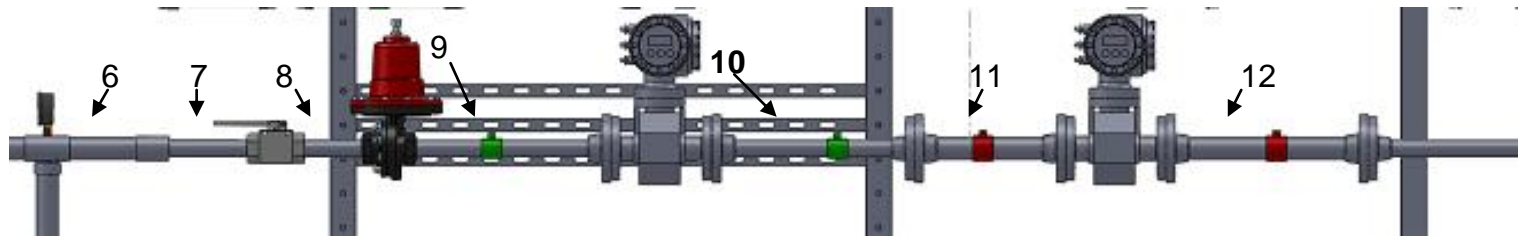


Ubicación	Medida (m)	Ubicación	Medida (m)
1	0.45	5	0.21
2	0.30	6	0.2
3	0.19	7	0.64
4	0.175	8	0.25

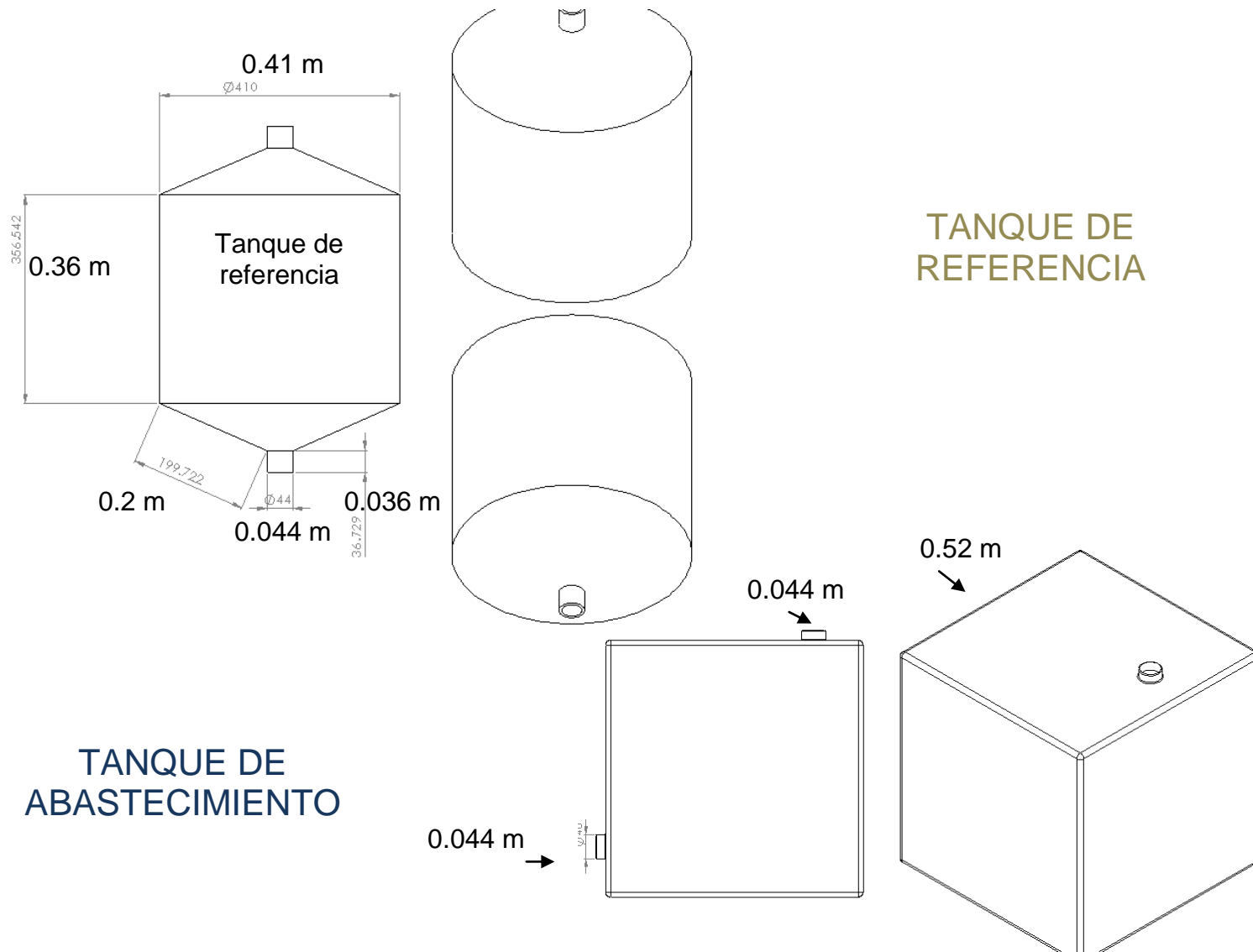


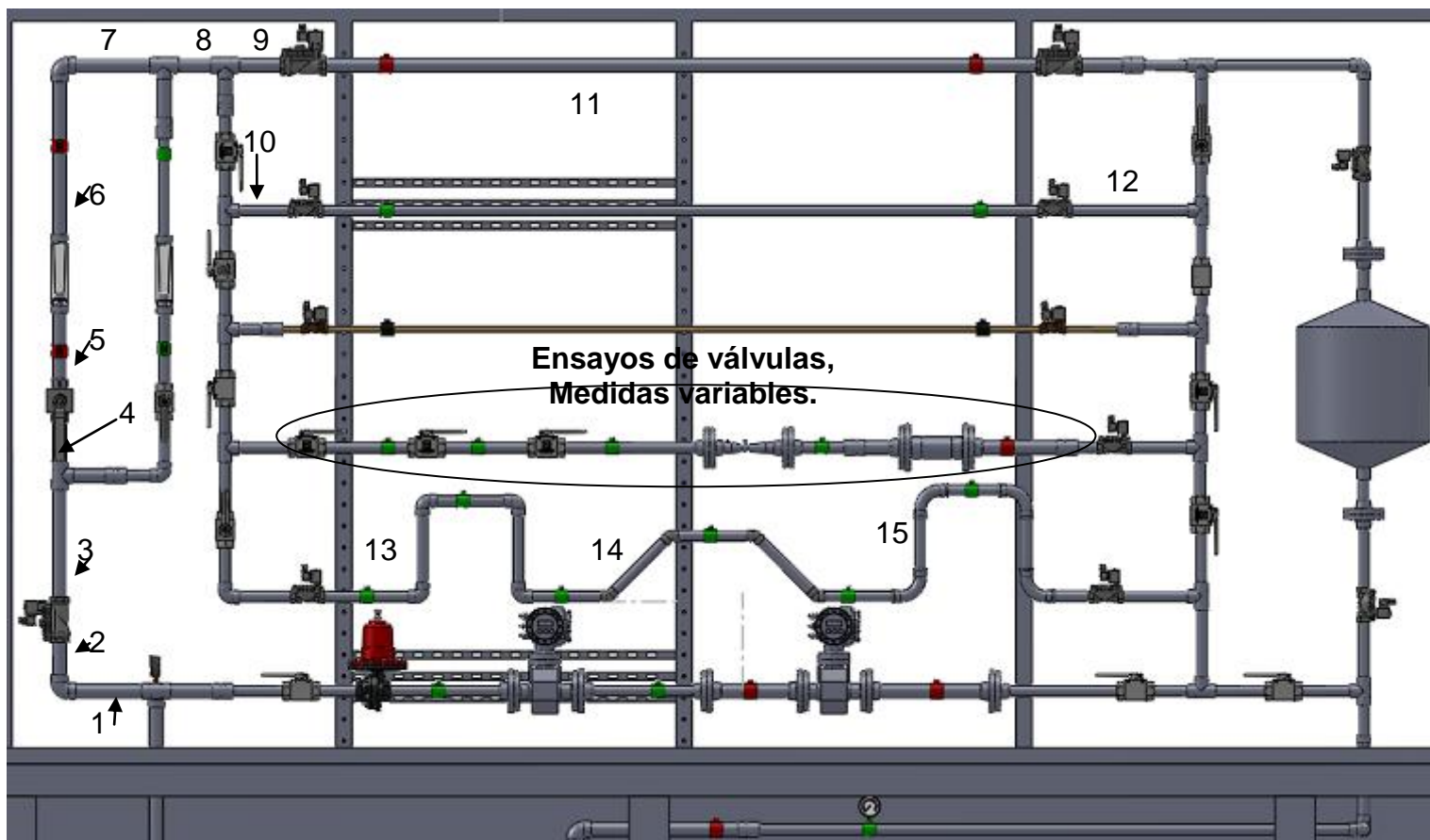
Ubicación	Medida (m)	Ubicación	Medida (m)
1	0.13	5	0.13
2	0.136	6	0.18
3	0.12	7	0.2
4	0.15	8	0.15

Ubicación	Medida (m)	Ubicación	Medida (m)
9	0.40		
10	0.40		
11	0.40		
12	0.30		



Línea de calibración.





Ubicación	Medida (m)	Ubicación	Medida (m)	Ubicación	Medida (m)
1	0.25	6	0.52	11	2.25
2	0.15	7	0.275	12	0.39
3	0.385	8	0.15	13	0.25
4	0.17	9	0.18	14	0.25
5	0.25	10	0.20	15	0.2

ANEXO E. Gráficas características de la bomba 1.5 hp.

ANEXO F. Especificaciones Técnicas para el Medidor de Nivel.

Diseño de un Banco de ensayo para la medición de flujo de agua basado en la norma técnica NTC 1063			Documento:
			Página:
GENERAL	1	Numero de Proyecto	
	2	Sitio	Laboratorio de Instrumentación
	3	Servicio	Medición de nivel en tk calibrado
	4	Numero de Referencia P&ID	
	5	Cantidad	1 unidad
ESPECIFICACIONES DE LA SONDA	6	Tecnología	Sonda de presión para medición de Nivel
	7	Presión	Manométrica
	8	Alimentación	115/220 VAC, 60 Hz
	9	Salida	4-20 mA, 2 hilos
	10	Electrónica	STE 110 with Desiccant indicator
	11	Rango de presión	0 - 300 psi
	12	Sobrepresión permitida	4X
	13	Exactitud	±0.1% FS
	14	Material del sensor	Titanio
	15	Enclosure de la electronica	Aluminium Nema 4X
	16	Conexión de presión	Depth cone with radial inlet holes
	17	Tamaño del sensor	0.69" Diameter,
	18	Longitud de cable	10 ft
	19	Material del cable	Vented polyurethane cable
	20	Protección de Ingreso	NEMA 6 (IP68) to 2300 feet of water.
	21	Repetibilidad	±0.1% F.S. BSL for all ranges
	22	Inmunidad RF	80 to 1000 MHz @10 V/m
	23	Temperatura de operación	-5° to +140°F (-20° to +60°C)
	24	Lighting Arresters	No
	25	Clasificación de Área	Class I, Div. 1, Groups A, B, C, D
	26	Fabricante	GE Sensing - Druck
	27	Modelo	PTX1830 con STE 110
	28	Aprobaciones	FM, CSA and UL Approved

ESPECIFICACIONES DEL INDICADOR	29	Exactitud	0,02% FS
	30	Display	-19999 to +20999
	31	Actualización del Display	10 per second
	32	Alimentación	90-132/200-264 Vac
	33	Temperatura de Operación	-10_C to 60_C
	34	Humedad ambiental	0 to 90% RH non-condensing
	35	Interface	RS232 o Hart
	36	Protección de Ingreso	IP65
	37	Aprobaciones	Meets CE requirements for safety, EMC immunity and emissions
	38	Modelo	DPI 282
	39	Fabricante	GE Sensing - Druck

Final.

ANEXO G. Hoja De Calibración Sensor Electromagnético 50w.

ANEXO H. Diagrama de Moody.

ANEXO I. Especificaciones Técnicas de válvulas solenoides.

		Diseño de un Banco de ensayo para la medición de flujo de agua basado en la norma técnica NTC 1063	Documento:
			Páginas:
GENERAL	1	Número de Proyecto	
	2	Sitio	Laboratorio de Instrumentación
	3	Servicio	Líquido (agua)
	4	Número de referencia P&ID	
ESPECIFICACIONES DEL EQUIPO	5	Tamaño de la válvula	0,5 in a 4 in
	6	Tipo de la válvula	Solenoides de Acción directa
	7	Material del cuerpo de la válvula	Bronce / aluminio / 316 SS
	8	Rango de presión de la válvula	5 a 125 psi
	9	Construcción	Normalmente abierta
	10	Tipo de actuador	ON - OFF
	11	Forma	2 vías
	12	Tipo de conexión	Roscada
	13	Voltaje de operación	115/220 VAC, 60 Hz
	14	Cv factor	Por el fabricante
	15	Caída de presión de la válvula (psi)	5 psi
	16	Capacidad nominal	gpm
	17	Presión de operación	Hasta 150 psi
	18	Temperatura máxima de fluido	60 C
APROBACIONES	19	Temperatura de evaporación	100 C
	20	Aprobaciones	UL Y CSA
Notas:			

ANEXO J. Especificaciones Técnicas del Transmisor de Presión.

Diseño de un Banco de ensayo para la medición de flujo de agua basado en la norma técnica NTC 1063			
G e n e r a l	1	Function. <input type="checkbox"/> Trans <input type="checkbox"/> Recorder <input checked="" type="checkbox"/> Indicator <input type="checkbox"/> Blind <input type="checkbox"/> Other _____	
	2	Housing. Case: <input checked="" type="checkbox"/> M. STD <input type="checkbox"/> Other R: _____ Mtl: Aluminio Color: <input checked="" type="checkbox"/> M.STD	
	3	Mounting enclosure. <input type="checkbox"/> Flush <input type="checkbox"/> Surface <input checked="" type="checkbox"/> Yoke <input type="checkbox"/> Other _____	
	4	Class: <input checked="" type="checkbox"/> Enc. Class nema 4x <input type="checkbox"/> Explosion Proof <input type="checkbox"/> Other: Fm Approved _____	
	5	Environ m. <input type="checkbox"/> Amb. Temp _____ F Relative Hum. _____ lb H2O/Lb de aire	
	6	Power Supply. <input type="checkbox"/> 110 v 60 Hz <input type="checkbox"/> 24 Vdc _____ Amp: _____ Wire Type _____ wire	
	7	Elect Conn. <input type="checkbox"/> 3/4" NPT <input type="checkbox"/> F <input type="checkbox"/> M POWER: _____ WIRE CONN: TERMINAL STRIP	
	8	Chart <input type="checkbox"/> CIRC. <input type="checkbox"/> STRIP. <input type="checkbox"/> FLOD. _____ Time Marks _____ Chart Size: _____	
	9	Chart Drive. HR: _____ 12 _____ 24 _____ 36 _____ 48 _____ Speed: _____ Elec. <input type="checkbox"/>	
	10	Ind. Or Type <input type="checkbox"/> Circ <input type="checkbox"/> Other Lcd Display _____ Dial Diam: _____ Accuracy: _____	
10	Rec. Sc _____		
S E N S I T O R	11	Application <input type="checkbox"/> Gage Press <input type="checkbox"/> Vacuum <input checked="" type="checkbox"/> Absolute <input type="checkbox"/> Differential Presurre _____	
	12	Element typ <input checked="" type="checkbox"/> DIAPHRAGM <input type="checkbox"/> HELIX <input type="checkbox"/> BOURDON <input type="checkbox"/> BELLOWS <input type="checkbox"/> Other _____	
	13	Material: BODY: 316SS ELEMENT: 316LSS	
	14	Process <input type="checkbox"/> 1/4 IN NPT <input type="checkbox"/> F <input type="checkbox"/> M 1/2 IN NPT <input type="checkbox"/> F <input type="checkbox"/> M <input type="checkbox"/> Other _____	
	15	Conn. LOCATION: <input type="checkbox"/> BOTTOM <input checked="" type="checkbox"/> BACK <input type="checkbox"/> Other _____	
X M T T R	16	Out Signal <input checked="" type="checkbox"/> 4-20 mA <input type="checkbox"/> 10-50 mA <input checked="" type="checkbox"/> OTHER: _____ HART PROTOCOL _____	
	17	Action <input type="checkbox"/> DIRECT <input type="checkbox"/> REVERSE	
	18	Protection <input type="checkbox"/> RFI <input type="checkbox"/> INV. POLARITY <input type="checkbox"/> VIBRATION <input type="checkbox"/> SHOCK OTHER: _____	
	19	Performance: ACCURACY: (+/-) 0.075% OF CALIBRATED SPAN REPETEABILITY: INCLUDED IN ACCURACY	
	20	Physical SPAN ADJ: <input type="checkbox"/> EXT. <input type="checkbox"/> INT ZERO ADJ: <input type="checkbox"/> Ext <input type="checkbox"/> INT PLUG IN ELECTRONIC <input type="checkbox"/> FACTORY ADJUST <input checked="" type="checkbox"/> DAMPING ADJ. _____	
O p t i o n s	21	Diaphragm seal MTL: _____ TOP HOUSING MTL: _____ FILL FLUID: _____ CONN. _____ <input type="checkbox"/> Capillary LENGHT: _____ MTL: _____ <input type="checkbox"/> ARMOR DIAMETER: _____ CONN. SIZE: _____	
	22	Switch TYPE: _____ QUANTITY/FOR: _____	
	23	Accesories <input checked="" type="checkbox"/> VALVE MANIFOLD <input type="checkbox"/> VENT/DRAIN (316SS) <input type="checkbox"/> ADJ. DAMP	
	24	Fabricante _____	

ANEXO K. Especificaciones Técnicas del Transmisor de Presión diferencial.

Diseño de un Banco de ensayo para la medición de flujo de agua basado en la norma técnica NTC 1063																
General	1	Tag Funtion	<input checked="" type="checkbox"/>	Record	<input type="checkbox"/>	Indicate	<input type="checkbox"/>	Control	<input type="checkbox"/>	Blind	<input type="checkbox"/>	Trans	<input type="checkbox"/>	Integ	<input type="checkbox"/>	Other
	2		<input type="checkbox"/>	M.std		Nom. Size:				Color		<input checked="" type="checkbox"/>	M.std	<input type="checkbox"/>	Other	
	3	Case Mounting	<input type="checkbox"/>	Flush	<input type="checkbox"/>	Surface	<input checked="" type="checkbox"/>	Yoke	<input type="checkbox"/>	Other						
	4	Enclosure Class	<input type="checkbox"/>			General Purpose	<input type="checkbox"/>		Wheatherproof	<input type="checkbox"/>		Explosion Proof				
	5		<input type="checkbox"/>						For Use In Intrinsically Safe System			Class:				
	6	Power Supply	<input checked="" type="checkbox"/>	110 v	60 hz		<input type="checkbox"/>	Other ac	<input type="checkbox"/>	24 Vdc	<input type="checkbox"/>	Volts				
	7	Chart	<input type="checkbox"/>	12 in	Circ.		<input checked="" type="checkbox"/>	Other		Range:				No		
	8	Chart Drive	<input type="checkbox"/>	24 Hr	<input type="checkbox"/>	Other			<input type="checkbox"/>	Elec.	<input type="checkbox"/>	Spring	<input type="checkbox"/>	Other		
	9	Scale			Type:		Range	1	0-200	PSI		2		3		
XTMR	10	Transmitter output	<input checked="" type="checkbox"/>	4-20 mA		10-50 mA		3 - 15 Psi					Other			
Controller	11	Control modes		P=Prop (gain)		I=Integral (Auto Reset)		D= Derivate (rate)								
		sub:		S = slow		I	<input type="checkbox"/>	D	<input type="checkbox"/>		P	<input type="checkbox"/>				
				F = Fast		F	<input type="checkbox"/>	F	<input type="checkbox"/>		P	<input type="checkbox"/>		I	<input type="checkbox"/>	
				Other												
	12	Action		On Meas, Increase Output:				Increase	<input type="checkbox"/>	decreases	<input type="checkbox"/>					
	13	Auto-Man Switch	<input type="checkbox"/>	None	<input checked="" type="checkbox"/>	MFR STD		Other								
	14	Set Point Adj	<input type="checkbox"/>	Manual				External	<input checked="" type="checkbox"/>	Remote	<input type="checkbox"/>	Other				
15	Manual Reg.	<input type="checkbox"/>	None	<input checked="" type="checkbox"/>	MFR STD		Other									
16	Output	<input checked="" type="checkbox"/>	4-20mA				10 - 50 mA		<input type="checkbox"/>	3 - 15 Psi	<input type="checkbox"/>	Other				
17	Service	<input type="checkbox"/>	Flow	<input type="checkbox"/>	Level	<input checked="" type="checkbox"/>	Diff. Presure		<input type="checkbox"/>	Other						

18	Element type	<input checked="" type="checkbox"/> Diaphragm	<input type="checkbox"/> Bellows	<input type="checkbox"/> Mercury	Other _____
19	Material	Body _____	Element _____		
20	Rating	Overrange _____	4x _____	Body rating _____	
20	Diff range	<input checked="" type="checkbox"/> Fixed	Adj. Range _____	Set at _____	
22		Elevation _____	Supresion _____		
23	Process Data	Fluid _____	Max Temp _____	Max Press _____	
24	Process Conn	<input checked="" type="checkbox"/> 1/2 IN NPT	<input type="checkbox"/> Other _____		
25	Alarma Switches	Quantity _____	Form _____	Rating _____	
26	Funtion	<input type="checkbox"/> Means. Var	<input type="checkbox"/> Derivation	Contacts to _____	On inc meas
<p>Options</p> <input type="checkbox"/> Pressure element Range _____ Material _____ <input type="checkbox"/> Temp. Element Range _____ Type _____ <input type="checkbox"/> Filt reg. <input type="checkbox"/> Sup Gage <input type="checkbox"/> Output Gage Charts <input type="checkbox"/> Valve Manifold <input type="checkbox"/> Cond Pots <input type="checkbox"/> Adj. Damp. <input type="checkbox"/> Integral SQ TR .exst Other _____					

Final.