



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN LABORATORIO
VIRTUAL PARA MEDIR CAÍDA DE PRESIÓN Y
OBTENER DATOS EN TIEMPO REAL USANDO
LABVIEW Y VISUAL BASIC PARA MECÁNICA DE
FLUIDOS.”**

**LÓPEZ CÁCERES LUIS ANTONIO
YEPEZ SHIGUANGO MILTON PLINIO**

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

RIOBAMBA – ECUADOR

2015

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS

2013-07-02

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

LUIS ANTONIO LÓPEZ CÁCERES

Titulada:

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN LABORATORIO VIRTUAL PARA
MEDIR CAÍDA DE PRESIÓN Y OBTENER DATOS EN TIEMPO REAL
USANDO LABVIEW Y VISUAL BASIC PARA MECÁNICA DE FLUIDOS”**

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

INGENIERO MECÁNICO

Ing. Marco Santillán Gallegos
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Jorge Lema Morales
DIRECTOR DE TESIS

Ing. Cristina Pomboza Floril
ASESOR DE TESIS

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS

2013-07-02

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

MILTON PLINIO YEPEZ SHIGUANGO

Titulada:

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN LABORATORIO VIRTUAL PARA
MEDIR CAÍDA DE PRESIÓN Y OBTENER DATOS EN TIEMPO REAL
USANDO LABVIEW Y VISUAL BASIC PARA MECÁNICA DE FLUIDOS”**

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

INGENIERO MECÁNICO

Ing. Marco Santillán Gallegos
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Jorge Lema Morales
DIRECTOR DE TESIS

Ing. Cristina Pomboza Floril
ASESOR DE TESIS

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: LUIS ANTONIO LÓPEZ CÁCERES

TÍTULO DE LA TESIS: “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN LABORATORIO VIRTUAL PARA MEDIR CAÍDA DE PRESIÓN Y OBTENER DATOS EN TIEMPO REAL USANDO LABVIEW Y VISUAL BASIC PARA MECÁNICA DE FLUIDOS”

Fecha de Examinación: 2015-01-23

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Mario Pástor Rodas PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Jorge Lema Morales DIRECTOR DE TESIS			
Ing. Cristina Pomboza Floril ASESOR			

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

RECOMENDACIONES: _____

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

Ing. Mario Pástor Rodas
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: MILTON PLINIO YEPEZ SHIGUANGO

TÍTULO DE LA TESIS: “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN LABORATORIO VIRTUAL PARA MEDIR CAÍDA DE PRESIÓN Y OBTENER DATOS EN TIEMPO REAL USANDO LABVIEW Y VISUAL BASIC PARA MECÁNICA DE FLUIDOS”

Fecha de Examinación: 2015-01-23

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Mario Pástor Rodas PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Jorge Lema Morales DIRECTOR DE TESIS			
Ing. Cristina Pomboza Floril ASESOR			

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

RECOMENDACIONES: _____

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

Ing. Mario Pástor Rodas
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

DERECHOS DE AUTORÍA

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

Luis Antonio López Cáceres

Milton Plinio Yopez Shiguango

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios fuente de toda sabiduría que me ha permitido culminar exitosamente esta etapa de mi vida.

A mi madre, cuyo esfuerzo y sacrificio se convirtieron en mi inspiración para perseverar hasta alcanzar esta meta.

A mi padre quién siempre me brindó su apoyo cuando más lo necesitaba.

Y a mis hermanos cuya experiencia y consejos fueron elementos fundamentales para terminar con éxito mi carrera.

Luis López Cáceres

A Dios quien es el creador de la ciencia y la sabiduría.

A mi madre que me ha inspirado, aconsejado y me ha acompañado en todos estos años de su hermosa vida para alcanzar la meta que toda madre anhela para sus hijos.

A mis hermanos quienes siempre me han guiado desde niño por el camino correcto y el apoyo moral que siempre me lo supieron brindar.

A mis compañeros, amigos que siempre han estado a mi lado y quienes les llevo en mi corazón por siempre.

Milton Yepez Shiguango

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por el don la vida y cuyos designios permitieron alcanzar esta meta.

A mi familia por su apoyo condicional, que se convirtió en el pilar fundamental de mi carrera.

Y expreso mi profundo agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, a mis compañeros, profesores y todas las personas que contribuyeron de cualquier manera en nuestro crecimiento personal y humano que permitieron culminar satisfactoriamente este objetivo de vida.

Luis Antonio López Cáceres

El más sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en especial a la Escuela de Ingeniería Mecánica, por brindarnos la oportunidad de obtener una profesión y ser personas útiles a la sociedad.

Y en especial para todos los amigos, compañeros y personas que nos apoyaron de una u otra manera para culminar con éxito una etapa de nuestras vidas.

Milton Plinio Yepez Shiguango

CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN	
1.1 Antecedentes	1
1.2 Justificación técnico- económica	1
1.2.1 <i>Justificación técnica</i>	1
1.2.2 <i>Justificación económica.</i>	2
1.3 Objetivos	2
1.3.1 <i>Objetivo general</i>	2
1.3.2 <i>Objetivos específicos.</i>	2
2. MARCO TEÓRICO	
2.1 Ecuación de la energía mecánica en sistemas hidráulicos	3
2.2 Influencia del flujo laminar y turbulento	6
2.3 Número de Reynolds.....	8
2.4 Pérdidas menores	9
2.4.1 <i>Coefficiente de resistencia de carga K</i>	9
2.4.2 <i>Descripción y funcionamiento de la válvula esférica</i>	10
2.4.3 <i>Pérdidas en la válvula esférica</i>	12
2.5 Instrumentación virtual	15
2.6 Transductores de presión.....	17
2.6.1 <i>Descripción</i>	17
2.6.2 <i>Dimensiones</i>	18
2.7 Medidor de flujo volumétrico	18
3. SOFTWARE	
3.1 LabView	20
3.1.1 <i>Introducción a la instrumentación virtual</i>	20
3.1.2 <i>Diseño de un programa de aplicación</i>	20
3.1.3 <i>Creación de instrumento virtual</i>	21
3.1.4 <i>Programación estructurada</i>	23
3.1.5 <i>Sistema de adquisición y procesamiento de datos</i>	24
3.1.6 <i>Generación de reportes</i>	25
3.2 Visual Basic	26
3.2.1 <i>Introducción</i>	26
3.2.2 <i>Historia</i>	26
3.2.3 <i>Concepto</i>	27
3.2.4 <i>Entorno</i>	27
3.2.5 <i>Programación con lenguaje Visual Basic</i>	30
3.2.6 <i>Constantes y variables</i>	30
3.2.7 <i>Tipos de datos</i>	31
3.2.8 <i>Eventos y funciones</i>	32
4. MONTAJE Y PROGRAMACIÓN	
4.1 Instalación del sistema de circulación.....	35
4.1.1 <i>Introducción</i>	35
4.1.2 <i>Condición inicial de la estructura</i>	35
4.1.3 <i>Requerimientos para el diseño del sistema hidráulico</i>	36

4.2	Selección del caudalímetro.	37
4.3	Selección de la válvula esférica	38
4.4	Selección de tubería.	39
4.5	Diseño del sistema de circulación	39
4.6	Montaje del sistema de alimentación	40
4.7	Instalación sensores de presión.	42
4.7.1	<i>Selección de los sensores de presión</i>	42
4.7.2	<i>Montaje de los transductores de presión</i>	43
4.8	Programación LabView.	43
4.8.1	<i>Diseño electrónico</i>	44
4.8.2	<i>Tarjeta de adquisición de datos NI-USB DAQ6008</i>	44
4.8.3	<i>Conexión eléctrica de los transductores de presión</i>	46
4.8.4	<i>Ecuación real transductores de presión</i>	46
4.8.5	<i>Diseño del entorno gráfico.</i>	49
4.8.6	<i>Panel frontal LabView</i>	49
4.8.7	<i>Adquisición de datos</i>	49
4.8.8	<i>Programa de medición de diferencia de presiones</i>	52
4.9	Programa Visual Basic	55
5.	EXPERIMENTACIÓN E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	58
5.1	Pruebas en tiempo real	58
5.1.1	<i>Puesta en funcionamiento del banco hidráulico.</i>	59
5.1.2	<i>Adquisición de datos</i>	59
5.1.3	<i>Datos experimentales</i>	60
5.1.4	<i>Interpretación de resultados</i>	63
6.	GUÍA DE OPERACIÓN, MANTENIMIENTO Y GUÍA DE LABORATORIO	
6.1	Plan de operación	66
6.1.1	<i>Antes de la operación</i>	66
6.1.2	<i>Puesta en marcha</i>	66
6.1.3	<i>Durante la operación</i>	66
6.1.4	<i>Después de la operación</i>	67
6.2	Plan de mantenimiento	67
6.2.1	<i>Plan de seguridad.</i>	67
6.3	Guía de laboratorio	68
7.	ANÁLISIS DE COSTOS	
7.1	Costos directos.	69
7.2	Costos indirectos.	71
7.3	Costo total.	71
8.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
8.1	Conclusiones	73
8.2	Recomendaciones	74

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

PLANOS

LISTA DE TABLAS

		Pág.
1	Tipos de datos	31
2	Funciones de conversión de datos	33
3	Relación entre voltaje y corriente.	45
4	Datos experimentales del transductor de presión 1	47
5	Datos experimentales del transductor de presión 2	48
6	Datos experimentales para apertura de 90°	60
7	Datos experimentales para apertura de 75°	60
8	Datos experimentales para apertura de 60°	60
9	Datos experimentales para apertura de 45°	60
10	Datos experimentales para apertura de 30°	60
11	Datos experimentales para apertura de 15°	61
12	Costo de materiales y accesorios	69
13	Costo directo por maquinaria y equipos	70
14	Costo directo por mano de obra	70
15	Valor total de costo directo	71
16	Total costo indirecto	71
17	Costo total	72

LISTA DE FIGURAS

		Pág.
1	Representación de la ecuación general de la energía.....	5
2	Esquema válvula esférica.....	6
3	Representación de flujo laminar y turbulento de un fluido.	7
4	Perfil de velocidades en una sección longitudinal de una válvula esférica	7
5	Partes principales de una válvula esférica de tres cuerpos.	10
6	Válvula de bola con actuador neumático.....	11
7	Funcionamiento válvula bola.....	11
8	Variación flujo a través de una válvula esférica a diferentes ángulos de apertura (a. 75°; b. 60°; c. 45°; d. 30°; e. 15°).....	12
9	Coeficientes de pérdida de válvula esférica a diferentes tamaños y aperturas	13
10	Gráfica de coeficiente de pérdidas vs % de apertura de una válvula esférica de 1.25 in.....	14
11	Coeficiente de pérdidas de carga en función del ángulo de apertura.....	15
12	Esquema de funcionamiento instrumentación virtual laboratorio de pérdidaa en válvula esférica	16
13	Esquema de funcionamiento efecto piezoeléctrico.....	18
14	Dimensiones sensor presión Kobold SEN-86.....	18
15	Medidor de flujo GPI.....	19
16	Esquema funcionamiento caudalímetro tipo turbina	19
17	Panel frontal.....	21
18	Ventana frontal.	22
19	Ventana diagrama de bloques.	22
20	Ventana Programming	23
21	Herramienta de adquisición de datos NI-DAQmx.....	24
22	Esquema de adquisición de datos	25
23	Herramienta Report Generation.....	25
24	Entorno Visual Basic	27
25	Cuadro de herramientas de Visual Basic 2010	28
26	Condición inicial del Banco Generador de Vórtice	35
27	Sistema de adquisición de datos previo	36
28	Banco hidráulico	37
29	Medidor de flujo GPI modelo G2.	38
30	Llave de paso esférica T-136 de 2 cuerpos.....	39
31	Esquema diseño hidráulico.	40
32	Colocación accesorios.....	41
33	Instalación sistema hidráulico.....	41
34	Sensor de presión Kobold SEN 8601	43
35	Instalación sensores de presión.....	43
36	Diagrama de bloques del proceso de adquisición de datos.....	44
37	Tarjeta de adquisición de datos NI-USB DAQ6008.....	45
38	Placa de transformación eléctrica	46
39	Esquema de conexión eléctrica del transductor de presión Kobold SEN 8601.	46
40	Ecuación transductor de presión 1	47
41	Ecuación transductor de presión 2	48
42	Panel frontal del programa en LabView	49

43	Herramienta DAQ Assist	50
44	Configuración inicial del asistente NI-DAQ Assistant	50
45	Diagrama de conexión puertos analógicos.	51
46	Configuración de la adquisición de datos	51
47	Procesamiento de señal adquirida	52
48	Nido de formulación	54
49	Ciclo Case agrupación de señales	54
50	Generación de datos	55
51	Formato de presentación	56
52	Visualización programa en Visual Basic	56
53	Pulsador de encendido de la PC	58
54	Verificación funcionamiento sensores antes de la prueba	58
55	Válvula reguladora de caudal del banco hidráulico	59
56	Caudalímetro en funcionamiento	59
57	Datos experimentales para válvula esférica "Reporte Excel" N°1	61
58	Coefficiente de resistencia K vs Ángulo de Apertura "Reporte Excel" N°1	61
59	Coefficiente de resistencia K vs Caudal "Reporte Excel" N°1	62
60	Pérdida de carga vs Velocidad "Reporte de Excel" N°1	62
61	Coefficiente de resistencia K vs Número de Reynolds. "Reporte de Excel"	63
62	Variación coeficiente de pérdida de válvula esférica de acuerdo al .cambio de ángulo de apertura	64

SIMBOLOGÍA

Q	Caudal	m^3/s
V	Velocidad media en una sección	m/s
z	Altura respecto a un nivel de referencia	m
u	Energía interna de un fluido	J
γ	Peso específico	N/m^2
ρ	Densidad	kg/m^3
V	Volumen de la sustancia	m^3
μ	Viscosidad dinámica	Pa.s
ν	Viscosidad cinemática	m^2/s
P	Presión en un punto de la sección de tubería	Pa
E ₁	Energía disponible en un punto inicial	J
E ₂	Energía disponible en un punto final	J
H _A	Energía que se agrega a un fluido	m. c. a.
H _R	Energía que entrega un fluido	m. c. a.
H _r	Pérdida de energía entre dos puntos	m. c. a.
D	Diámetro interno de la tubería	m
N _r	Número de Reynolds	adimensional
K	coeficiente de pérdida de carga	adimensional

LISTA DE ABREVIACIONES

SI	Sistema Internacional de Unidades
API	American Petroleum Institute
ISO	International Organization for Standardization
DAQ	Adquisición de datos

LISTA DE ANEXOS

- A** Hoja de datos tarjeta DAQ NI USB 6008
- B** Coeficientes de pérdidas para algunos de los componentes más comunes utilizados en los sistemas de tuberías
- C** Hoja de datos del medidor de flujo GPI G2
- D** Hoja de datos transductor de presión Kobold SEN-86/87
- E** Requerimientos de instalación y rangeabilidad de caudalímetros
- F** Guía de selección de caudalímetros
- G** Guía de operación medidores de flujo GPI
- H** Hoja de datos técnicos y procesos del banco de pérdidas en válvula esférica
- I** Fichas de registro de mantenimiento banco de pérdidas en válvula esférica
- J** Guía de laboratorio
- K** Facturas

RESUMEN

El diseño e implementación de un laboratorio virtual para medir la pérdida de energía en una válvula esférica mediante la adquisición de datos en tiempo real utilizando los software LabView y Visual Basic, tiene como objetivo automatizar la recopilación de datos experimentales y teóricos para obtener el coeficiente de pérdidas de carga .

Al observar que los datos de presión y caudal provenientes de medidores de presión y caudalímetros se tomaban manualmente, se vio la necesidad de optimizar los equipos del Laboratorio de Mecánica de Fluidos, hecho que dio lugar a trabajar en el diseño, implementación y experimentación de un interfaz que reciba datos a través de dos sensores de presión ubicados antes y después de la válvula, que en forma paralela medirá volumen de flujo mediante un medidor tipo turbina.

Una vez determinados los principales componentes para construir el sistema hidráulico, se instalaron dos transmisores de presión KOBOLD SEN-9601 y un medidor de flujo tipo GPI G1, que envían datos a la tarjeta de adquisición de datos NI 60001 encargada de procesarlos para transmitirlos a un PC que trabaja en interfaz utilizando los softwares específicos.

Los resultados obtenidos en la experimentación muestran una clara tendencia de aumento del coeficiente de pérdidas de energía a medida que se cierra la válvula esférica mientras en forma paralela disminuye el caudal; el objetivo de la investigación se cumplió al sistematizar la adquisición de datos, abriendo la posibilidad de realizar nuevas investigaciones que den solución a la disminución de la pérdida de presión.

El estudio se complementa con la guía de Laboratorio, un plan de mantenimiento y las tablas de registro que orientarán un mejor funcionamiento del procedimiento.

ABSTRACT

The design and implementation of a virtual laboratory for measuring the energy loss in a ball valve through the acquisition of data in real time using the LabView and Visual basic software, has as objective to automate the collection of experimental and theoretical data for obtaining the losses coefficient of charge.

On noticing the pressure and flow data from pressure meters and flow meter were manually taken. It saw the need to optimize equipment laboratory of Fluid Mechanics. Fact which led to work on the design, implementation and testing of an interface that receives data through two pressure sensors located before and after the valve, which will measure in parallel way flow volume by a turbine-type meter.

Having identified the main components to build the hydraulic system, it was installed two pressure transmitters Kobold SEN-8601 and a flow meter GPI G2, which send data to the card of data acquisition NI 6008 in charged of processing to be transmitted to a PC that works in an interface using specific soft wares.

The results obtained in the experimentation show a clear trend of increase of the coefficient of energy loss as the ball valve is closed while in parallel way the flow rate decreases, the research objective was fulfilled to systematize data acquisition, opening the possibility for further research to provide solutions to lower pressure loss.

The study is complemented by laboratory guide, a maintenance plan and log tables to guide better performance of the procedure.

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

Hace unos años atrás los laboratorios de Mecánica de Fluidos consistían en bancos de pruebas experimentales de tipo manual e instrumentos convencionales las mismas que se podían realizar ensayos reales pero que presentaban dificultades en la precisión y tiempo de procesamiento de datos.

En la actualidad el avance tecnológico ha provocado un gran avance en el campo de la simulación lo que ha hecho posible reemplazar los antiguos métodos de enseñanza, por otros que propenden al uso de la informática y la electrónica moderna.

En virtud de que existe una gran gama de paquetes de programación como LabView, Visual Basic, P-SIM, Automation Studio, Scada, Sysquake entre otros, que facilitan los procesos de simulación y de procesamiento de datos de los diversos experimentos que se realizan en la facultad se vuelve imperante modernizar los Laboratorios de Mecánica de Fluidos de la escuela aprovechando que existe estas herramientas informáticas y la infraestructura básica para automatizar el banco de pruebas analógico existente.

Entonces con el presente trabajo se implementará un equipo donde se va a desarrollar una aplicación directa de la pérdida de energía en un accesorio lo cual se obtendrá por vía analítica y vía experimental. Los datos de medición y caudal serán entregados por instrumentos electrónicos y con la ayuda de software como Visual Basic y LabView, y estos datos se observarán en la pantalla de una PC.

1.1 Justificación técnico- económica

Justificación técnica. A través de este proyecto se pretende aplicar los fundamentos de la asignatura, desarrollar la modelación matemática, aplicar los conceptos básicos de instrumentación, utilizar y conocer los diferentes programas que permita realizar este proyecto e instalar un banco de pruebas que permita obtener datos más precisos.

Justificación económica. En el laboratorio en el cual este proyecto va a ser desarrollado, ya se dispone de una infraestructura básica de un banco de pruebas para generar el vórtice forzado y existe un espacio disponible previsto para complementar el proyecto de simulación de pérdidas de energía en una válvula esférica mediante LabView y programación en Visual Basic y que también se dispone de una tarjeta de adquisición de datos, CPU y monitor para dicho objetivo propuesto en el proyecto. Se debe señalar que lo importante de estos laboratorios virtuales es que ayuda a realizar prácticas a bajos costos, ya que con la simulación se ahorran costos con el tiempo además de obtener mayor precisión.

1.2 Objetivos

1.2.1 *Objetivo general.* Diseñar e implementar un laboratorio virtual junto a un sistema de adquisición de datos en tiempo real, para medir caída de presión de una válvula esférica usando LabView y Visual Basic para el Laboratorio de Mecánica de Fluidos.

1.2.2 *Objetivos específicos:*

Elaborar un programa de simulación por medio de LabView y Visual Basic para medir pérdidas de presión de energía de una válvula esférica y obtener el coeficiente de resistencia al flujo.

Elaborar un interfaz hombre-máquina (HMI) para la obtención de datos experimentales en tiempo real por medio del programa LabView.

Desarrollar guías de laboratorio tanto para las cátedras de Mecánica de Fluidos e Instrumentación para poder determinar el coeficiente de pérdidas en una válvula esférica y aprender el programa LabView.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Ecuación de la energía mecánica en sistemas hidráulicos

El estudio de la mecánica de los fluidos nos conduce al estudio de la pérdida de energía en sistemas hidráulicos, la base de esto es el estudio de la ecuación general de la energía llamada también la ecuación de la Primera Ley de la Termodinámica.

La Primera Ley de la Termodinámica parte de la ley física de la “conservación de la energía”, indica que energía que entra es igual a energía que sale más la energía almacenada en un sistema o volumen de control. A las energías que entran y salen se les puede denominar como energía de transición, siendo éstas el calor y el trabajo mientras que las energías cinética, potencial e interna constan como energías almacenadas.

La ecuación fundamental de la Primera Ley de la Termodinámica para un volumen de control se expresa como:

$$\frac{dQ}{dt} - \frac{dW}{dt} = \frac{\partial}{\partial t} \int_{VC} \left(\frac{v^2}{2} + gz + u \right) \rho \cdot dV + \int_{CS} \left(\frac{v^2}{2} + gz + u \right) \rho \vec{V} \cdot d\vec{A} \quad (1)$$

$\frac{\partial}{\partial t} \int_{VC} \left(\frac{v^2}{2} + gz + u \right) \rho \cdot dV$ = rapidez de variación de la energía almacenada en el interior del volumen de control

$\int_{CS} \left(\frac{v^2}{2} + gz + u \right) \rho \vec{V} \cdot d\vec{A}$ = flujo neto por unidad de tiempo de energía almacenada que atraviesa la superficie de control.

Dónde

$\frac{dQ}{dt}$ = Variación de calor respecto al tiempo.

$\frac{dW}{dt}$ = Variación de trabajo de cualquier tipo de naturaleza respecto al tiempo.

v = Velocidad de flujo.

g = Aceleración de la gravedad.

z = Altura.

u = Energía interna.

dV = Diferencial de volumen.

$d\vec{A}$ = Diferencial de área.

Una forma simplificada de esta ecuación es la denominada Ecuación de Bernoulli que se obtiene de la ecuación 1 bajo ciertas condiciones impuestas como que no existe transferencia de calor ni tampoco trabajo por unidad de tiempo así como que se supondrá despreciable la variación de la energía interna. Entonces se tiene la ecuación de la forma:

$$\frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{v_2^2}{2g} = \frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{v_1^2}{2g} = \textit{constante} \quad (2)$$

En la figura 1 se muestra el esquema de un sistema hidráulico que permite visualizar los principales términos como son E_1 y E_2 que indican la energía en esos puntos. Además las energías agregadas, removidas y perdidas (h_A , h_R y h_L), obteniéndose la ecuación de balance de energía mecánica en sistemas hidráulicos de la siguiente manera:

$$E_1 + h_A - h_R - h_L = E_2 \quad (3)$$

Dónde:

h_A : Energía que se agrega al fluido con un dispositivo mecánico, como una bomba.

h_R : Energía que se remueve del fluido por medio de un dispositivo mecánico, como un motor del fluido

h_L : Pérdidas de energía del sistema por la fricción en las tuberías, o pérdidas menores por válvulas y otros accesorios. (MOTT, 2006)

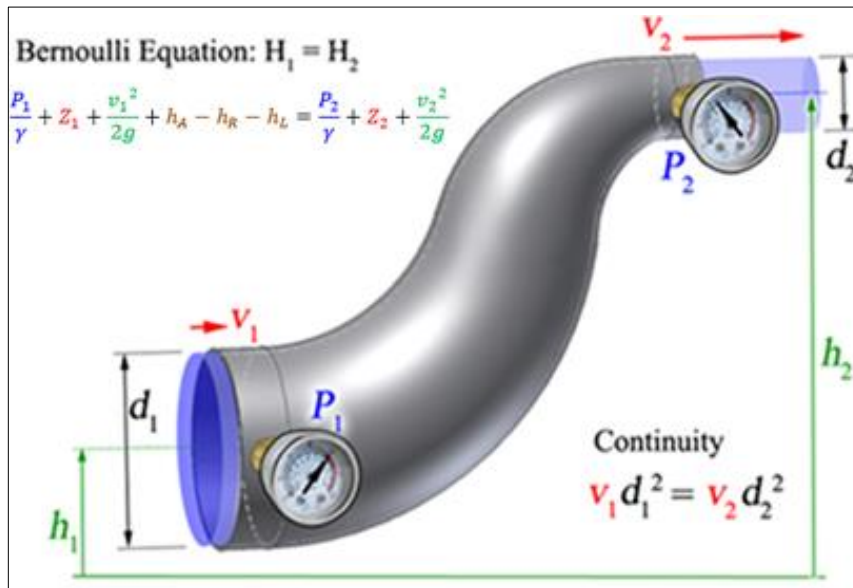
La energía que posee el fluido en cada punto de su trayectoria es:

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{v_1^2}{2g} + h_A - h_R - h_L = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{v_2^2}{2g} \quad (4)$$

Cada término de la ecuación 4 representa una cantidad de energía por unidad de peso de fluido que circula por el sistema.

Las unidades comunes del SI son N*m/N, o metros. Las unidades del sistema tradicional de Estados Unidos son lb-pie/lb, o pies.

Figura 1. Representación de la ecuación general de la energía.



Fuente:

http://www.learneasy.info/MDME/MEMmods/MEM23006A/fluid_mech/fluid_flow.html

Una vez obtenida la ecuación general de la energía se procede con el respectivo cálculo para los sistemas hidráulicos, la misma que dependerá de las condiciones de trabajo y de las condiciones del cliente.

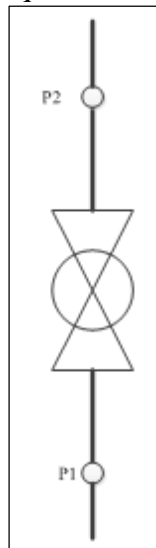
En tal razón la ecuación general se podría reducir como se mencionó anteriormente a las condiciones de trabajo por ejemplo, si no hay un dispositivo mecánico entre las secciones de estudio, los términos h_A y h_R serán igual a cero, pero lo que nunca va a desaparecer en un sistema hidráulico son las pérdidas por tubería y pérdidas por accesorios por más pequeñas que sean siempre existirán.

Los signos algebraicos tienen gran importancia porque el lado izquierdo de la ecuación (3) establece que en un elemento de fluido que tenga cierta cantidad de energía en la sección 1, podría ganar energía ($+h_A$), remover energía ($-h_R$) o perder energía ($-h_L$), antes de que alcance la sección 2. En esa sección se contiene una cantidad diferente de energía, como se indican en los términos en el lado derecho de la ecuación.

En caso de tener una válvula tipo esférica en un tramo de tubería como se indica en la figura 2, y realizando el balance de energía mecánica, se tiene:

$$h_L = \frac{P_1 - P_2}{\gamma} + (Z_1 - Z_2) + \frac{v_1^2 - v_2^2}{2g} \quad (5)$$

Figura 2. Esquema válvula esférica



Fuente: Autores

Teniendo en cuenta que las secciones transversales de la tubería son similares en ambos puntos de análisis y que la diferencia de alturas es despreciable, se obtiene la ecuación:

$$h_L = \frac{P_1 - P_2}{\gamma} \text{ [m.c.a.]} \quad (6)$$

H_L representa ahora la pérdida de presión en la válvula tipo esférica sujeto de análisis en el presente proyecto (MOTT, 2006).

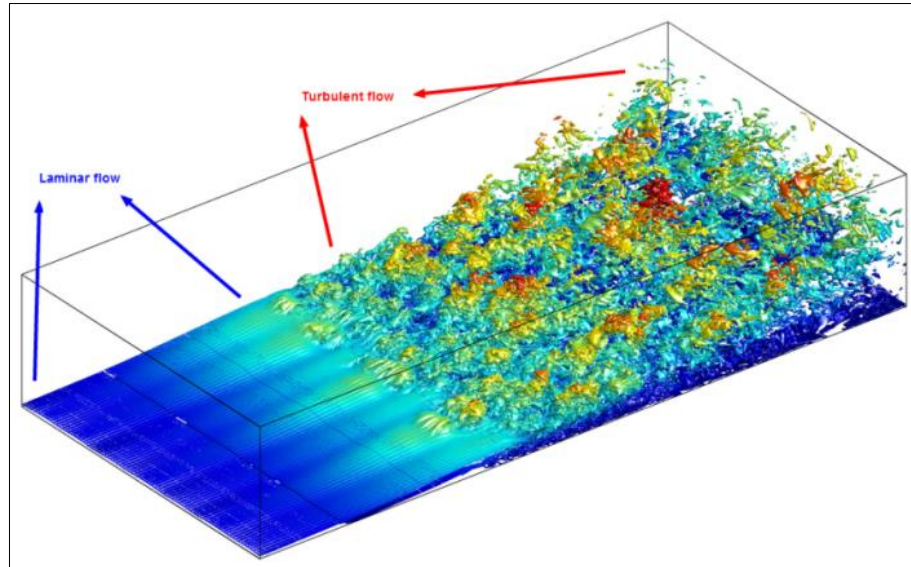
2.2 Influencia del flujo laminar y turbulento

Cuando se habla de flujo laminar se dice que las moléculas del líquido tienen una trayectoria paralela es decir en forma de capas o laminas, y para que este fenómeno suceda es necesario de dos factores importantes, como son la velocidad y la viscosidad.

Para que exista flujo laminar es necesario que fluya a velocidades bajas o tener una viscosidad alta para que se formen capas o láminas paralelas entre las moléculas.

El flujo turbulento se da por el movimiento intenso de las partículas en diferentes direcciones de forma irregular, debido a las altas velocidades por las tuberías que circula y por la viscosidad baja que posee dicho fluido, como por ejemplo el agua como se puede observar detalladamente en la figura 3.

Figura 3. Representación de flujo laminar y turbulento de un fluido.

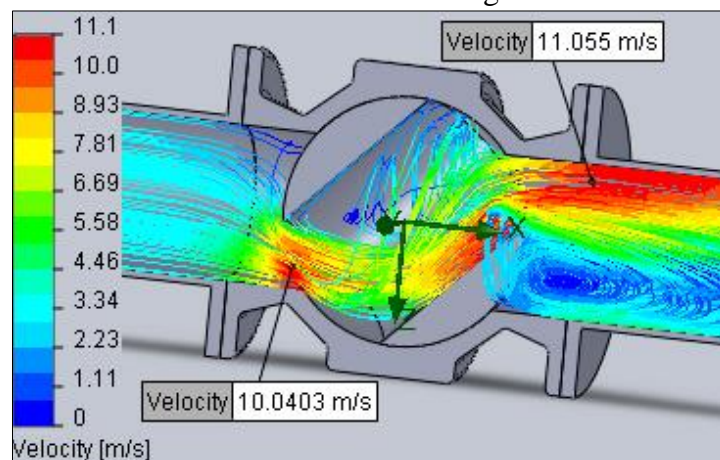


Fuente: <http://f1framework.blogspot.com/2012/08/f1-aero-glossary.html>

En las tuberías no siempre existe una continuidad del flujo por la presencia de los accesorios (válvulas, contracciones, ensanchamientos, codos, etc.) por lo que existe el denominado flujo de entrada en el cual el perfil de velocidad varía en el espacio. Esta variación puede darse por cambios de sección o cambios de dirección.

Esta variación en el flujo de la tubería, provoca también pérdidas las cuales se denominan comúnmente pérdidas menores o secundarias. Estas pérdidas dependen principalmente de la geometría del accesorio y serán mayores a medida que los cambios de geometría sean más bruscos y menores a medida que los cambios sean más suave. (RAMIREZ, 2012)

Figura 4. Perfil de velocidades en una sección longitudinal de una válvula esférica



Fuente: PEREIRA Ana y otros, CFD for hydrodynamic efficiency and design optimization of key elements of SHP, p. 943

En el caso de las válvulas esféricas existe un fenómeno de contracción donde aumenta la velocidad del flujo a la entrada y en el cierre de la válvula, en el interior el fluido se mueve de manera irregular y a la salida de la válvula en la parte inferior se generan vórtices, estos fenómenos de alta turbulencia explican la caída de presión al estar las moléculas en mayor contacto y provocar calor. Un análisis gráfico de este fenómeno se puede apreciar en la figura 4.

2.3 Número de Reynolds

Reynolds es un número adimensional estudiado para caracterizar el tipo de flujo que transporta una tubería, la misma que está relacionada con la densidad del fluido, su viscosidad, el diámetro de tubería y la velocidad de flujo.

Por eso la ecuación de Reynolds se expresa de la siguiente manera:

$$N_R = \frac{vD\rho}{\mu} = \frac{vD}{\nu} \quad (7)$$

La ecuación se puede interpretar de las dos maneras debido a que $\nu = \frac{\mu}{\rho}$

Dónde:

v : Velocidad media del fluido [L/T].

D : Diámetro de la tubería [L].

ρ : Densidad del fluido [M/L³].

μ : Viscosidad dinámica del fluido [M/L*T].

ν : Viscosidad cinemática del fluido [L²/T].

Realizando el análisis dimensional se tiene:

$$N_R = \frac{\frac{L}{T} * L * \frac{M}{L^3}}{\frac{M}{L*T}} = ADIMENSIONAL$$

El número de Reynolds tiene una relación directa con el caudal y al estar éste relacionado con la pérdida de presión es objeto de análisis de este estudio.

2.4 Pérdidas menores

Otra forma de pérdidas de energía que se asocia en el sistema hidráulico son debido a la resistencia que producen accesorios como son codos, té, válvulas, etc., a las que dominan pérdidas menores o pérdidas por accesorios.

Estas pérdidas de energía se producen por varios factores como la fricción de los líquidos al pasar por los accesorios, el cambio de dirección y el tipo de flujo. Las pérdidas se establecen experimentalmente y son directamente proporcionales a la velocidad del fluido dependiendo de también de un factor de corrección denominado como coeficiente de resistencia o K, este es propio de cada accesorio y depende básicamente de sus dimensiones

2.4.1 Coeficiente de resistencia de carga K. El coeficiente de resistencia K representa una constante de proporcionalidad entre la pérdida de carga y la carga de velocidad en un accesorio por lo tanto es un número adimensional. La magnitud del coeficiente de resistencia depende de la geometría del accesorio y a veces de la velocidad de flujo.

Para determinar el coeficiente se parte de la siguiente ecuación.

$$h_L = K(v^2/2g) \quad (8)$$

Dónde:

h_L : Pérdida menor (N*m/N o m).

K: Coeficiente de resistencia de pérdida de carga (adimensional).

v: Velocidad promedio del flujo en una sección de tubería (m/s).

Cuando se compara las ecuaciones 6 y 8 se obtiene la siguiente relación:

$$K = \frac{(P_1 - P_2)}{\gamma} * \frac{2g}{v^2} \quad (9)$$

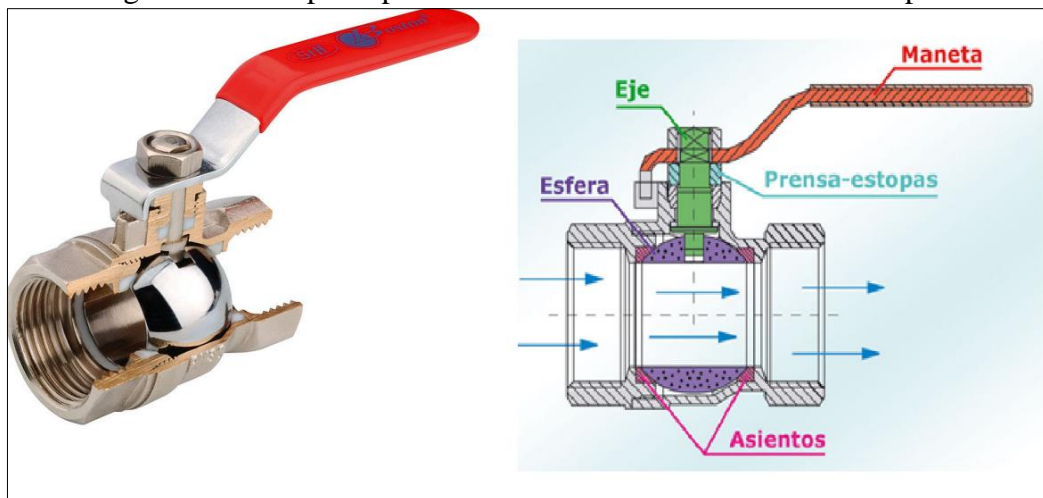
Esta ecuación se utilizará en este trabajo para obtener el coeficiente de resistencia de la válvula de esférica, a partir de la medición de diferencia de presiones antes y después del accesorio.

2.4.2 Descripción y funcionamiento de la válvula esférica. Una válvula esférica, conocida también como de “bola” es un tipo de llave de paso que sirve para regular el flujo a través de un conducto y se caracteriza porque el mecanismo regulador situado en el interior tiene forma de esfera perforada.

Se abre mediante el giro del eje unido a la esfera o bola perforada, de manera que permite el paso del fluido cuando está alineada la perforación con la entrada y la salida de la válvula. Cuando la válvula está cerrada, el agujero estará perpendicular a la entrada y a la salida. La posición de la manilla de actuación indica el estado de la válvula (abierta o cerrada).

Este tipo de válvulas no ofrecen una regulación precisa al ser de $\frac{1}{4}$ de vuelta. Su ventaja es que la bola perforada permite la circulación directa en la posición abierta con una pérdida de carga bastante más reducida que las de asiento, y corta el paso cuando se gira la maneta 90° y cierra el conducto. En la figura 5 se puede evidenciar las partes principales de una válvula esférica de tres cuerpos.

Figura 5. Partes principales de una válvula esférica de tres cuerpos.



Fuente. http://es.wikipedia.org/wiki/V%C3%A1lvula_de_bola

Las válvulas de bola manuales pueden cerrarse rápidamente, lo que puede producir un golpe de ariete, para evitar este problema derivado de la acción humana, se pueden equipar a las válvulas con un servomotor ya sea neumático, hidráulico o motorizado que permita un movimiento más preciso y controlado del accesorio.

En la figura 6 se puede observar una válvula esférica con actuador neumático.

Figura 6. Válvula de bola con actuador neumático.

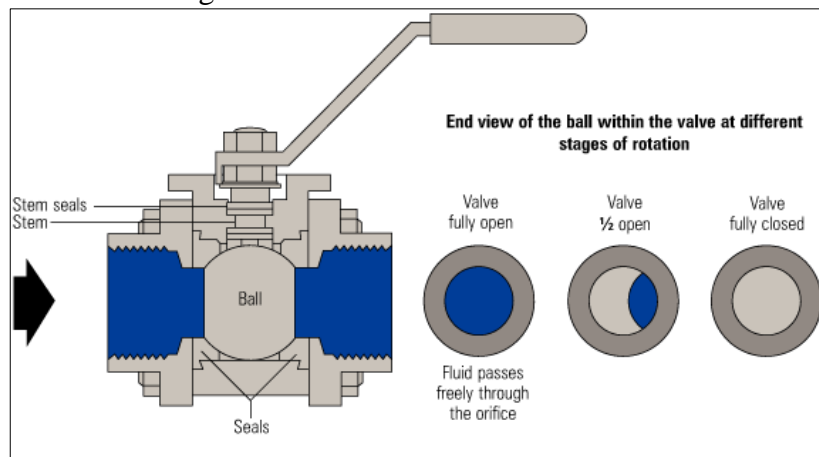


Fuente: <http://www.directindustry.es/prod/burkert-fluid-control-systems/valvulas-bola-actuador-neumatico-404-504156.html>

De acuerdo al tipo de conexión que posee la válvula, esta puede ser de una, dos o tres piezas. Las válvulas con cuerpo de una sola pieza son siempre de pequeña dimensión y paso reducido, este tipo de construcción hace que la válvula tenga un precio reducido. Las válvulas con cuerpo de dos piezas suelen ser las más utilizadas porque permite su reparación. Las válvulas de tres piezas permiten desmontar fácilmente la bola o esfera y el vástago ya que están situados en la pieza central. Esto facilita la limpieza de sedimentos y permite el reemplazo de partes deterioradas sin tener que desmontar los elementos que se conectan con la válvula.

Las válvulas de tres piezas permiten desmontar fácilmente la bola, el asiento o el vástago ya que están situados en la pieza central. Esto facilita la limpieza de sedimentos y reemplazo de partes deterioradas sin tener que desmontar los elementos que conectan con la válvula. El funcionamiento de la válvula esférica se representa en la figura 7.

Figura 7. Funcionamiento válvula bola

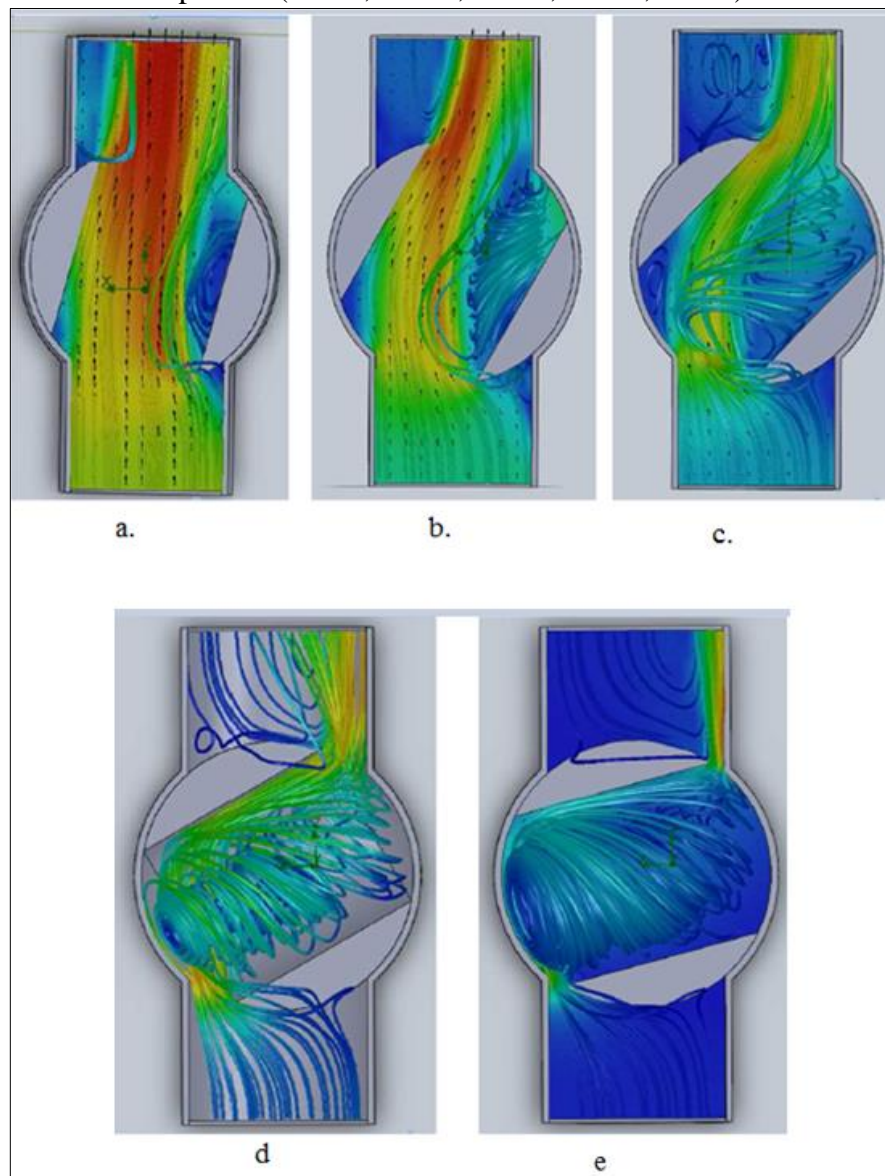


Fuente: <http://chemicalfiles.blogspot.com/>

2.4.3 Pérdidas en la válvula esférica. Diversos estudios realizados sobre las válvulas esféricas han dado luz a las causas de las pérdidas de energía en estas, siendo las principales la geometría por donde pasa el fluido, la generación de vórtices y la velocidad de flujo que lo atraviesa.

Gracias al avance tecnológico reciente se ha comenzado a utilizar paquetes de simulación y análisis matemático que han permitido estudiar el comportamiento de los fluidos a través de una válvula esférica logrando establecer que sucede a diferentes ángulos de apertura de la válvula como se observa en la figura 8. (IULIAN, y otros, 2013)

Figura 8. Variación flujo a través de una válvula esférica a diferentes ángulos de apertura (a. 75°; b. 60°; c. 45°; d. 30°; e. 15°)



Fuente: IULIAN y otros, Hydrodynamic studies on spherical valve, pg. 32

Se puede observar que a medida que se cierra la válvula las líneas de flujo que en un inicio son paralelas empiezan a variar a una forma turbulenta con formación de vórtices en los espacios superior e inferior de la cavidad interna de la válvula, al mismo tiempo ocurre disminución de la velocidad de flujo del fluido que atraviesa la válvula y el aumento de la diferencia de presiones antes y después de la misma.

El análisis del comportamiento de válvulas esféricas se realiza principalmente en válvulas de gran tamaño utilizadas en centrales hidroeléctricas donde es importante establecer la variación de presión y velocidad para poder disminuir efectos negativos sobre los sistemas hidráulicos como la cavitación y la pérdida de presión en estos sistemas. (PEREIRA, y otros, 2010)

En lo referente a válvulas comerciales los estudios están enfocados a establecer la relación entre la velocidad de flujo y las pérdidas de presión representadas en el coeficiente de pérdidas de energía K, la presencia de vórtices es una constante pero otros fenómenos como la cavitación no son relevantes al no existir altas presiones de trabajo en estos sistemas.

Al respecto vale nombrar el estudio realizado por el Departamento de Ingeniería Mecánica de Bangladesh que determinó el coeficiente de pérdidas K en válvulas esféricas comerciales de plástico donde se determinaron los valores a varias aperturas y velocidad de flujo además de un análisis gráfico obteniéndose los siguientes resultados para el coeficiente K representados en la figura 9. (HAQUE, y otros, 2010)

Figura 9. Coeficientes de pérdida de válvula esférica a diferentes tamaños y aperturas

Valve size (inch)	20% opening	40% opening	60% opening	80% opening	100% opening
1	10.053	7.737653	4.254527	2.060703	0.577162
1.25	7.7608	3.551338	2.467594	1.510441	0.823355
1.5	8.2550	5.157206	2.430777	2.143154	2.011030

Fuente: Haque y otros, Study of different types of valves & determination of minor head loss for various openings of locally available plastic valve, p. 606

Para realizar una comparación se pueden citar los datos estándares internacionales de coeficiente de pérdidas K que existen y que se puede encontrar fácilmente en libros e internet, se debe acotar que existen valores solo para estos ángulos de apertura en específico (total, 60° y 30°):

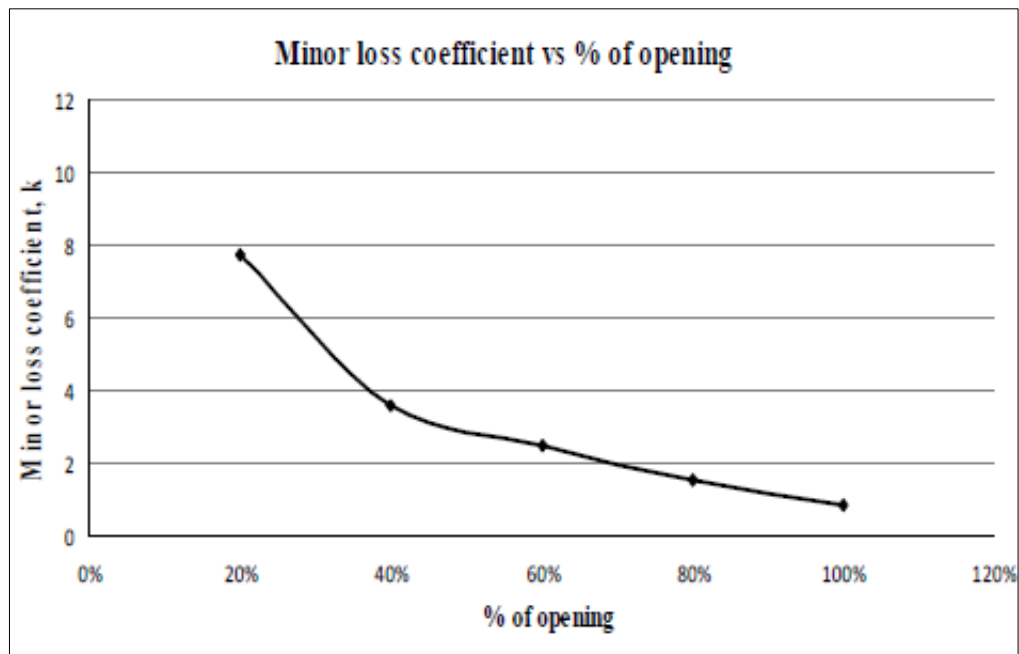
Tabla 1. Coeficiente de resistencia de válvula esférica o de bola

BallValve, Fully Open	0.05
BallValve, 1/3 Closed	5.5
BallValve, 2/3 Closed	200

Fuente: http://www.engineeringtoolbox.com/minor-loss-coefficients-pipes-d_626.html

El análisis gráfico mostró los siguientes resultados para el coeficiente de pérdidas de carga K vs % de apertura de válvula (fig. 10):

Figura 10. Gráfica de coeficiente de pérdidas vs % de apertura de una válvula esférica de 1.25 in

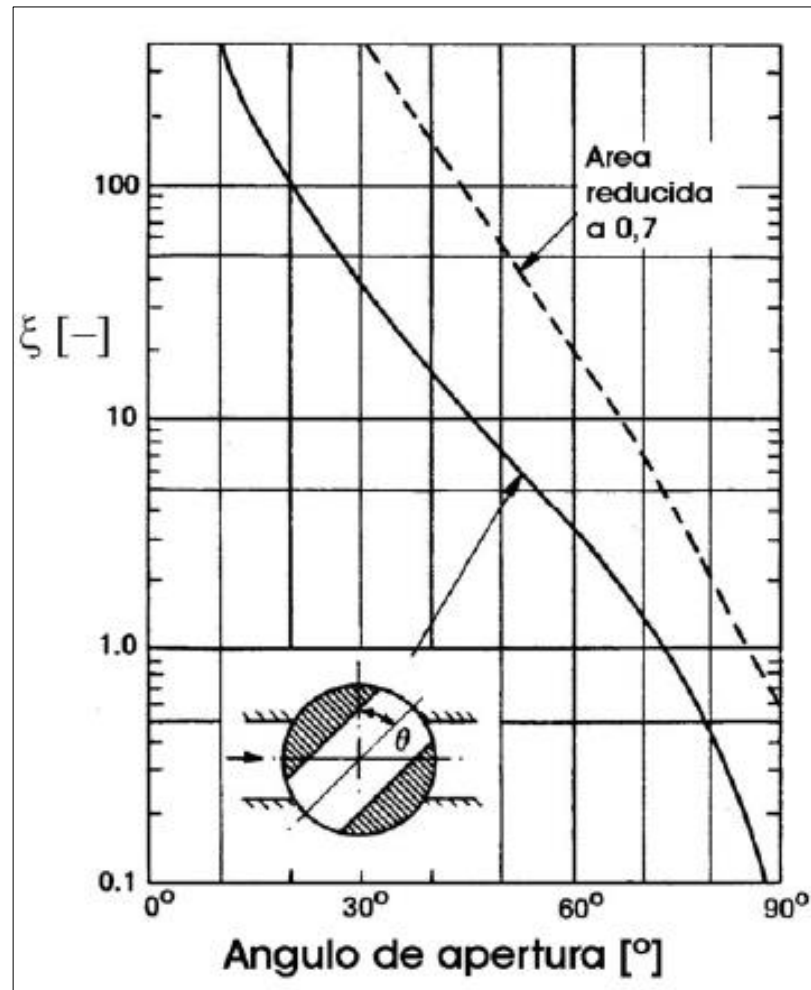


Fuente: HAQUE y otros, Study of different types of valves & Determination of Minor Head Loss for various openings of locally available plastic valve, p. 607

Otras gráficas proporcionan más datos al respecto, como la de la figura 11, se puede observar una tendencia al incremento del coeficiente de pérdidas de carga a medida que se cierra la válvula.

El aporte de este trabajo se centrará en encontrar los datos para una válvula comercial y realizar la comparación gráfica con los datos estándar además del apoyo a la educación mediante la instrumentación virtual, posteriores estudios podrán establecer el análisis matemático y de simulación que permitan esclarecer de mejor forma las razones de estas pérdidas con base al presente trabajo realizado.

Figura 11. Coeficiente de pérdidas de carga en función del ángulo de apertura.



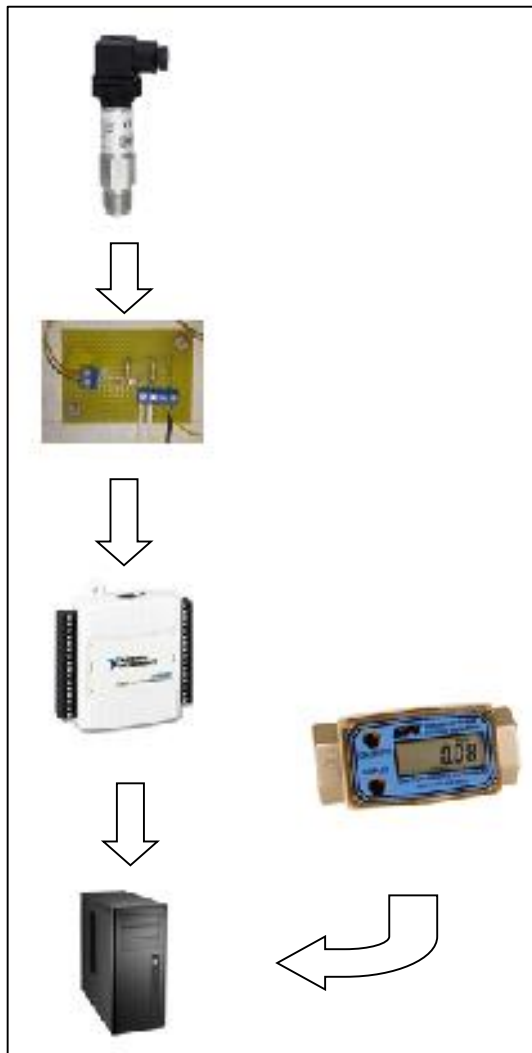
Fuente:

http://ftp.ehu.es/cidirb/profs/inpibbeg/material/10_11_abacos/10_11_04_perdidas_carga_ABACOS.pdf

2.5 Instrumentación virtual

En el campo industrial el área de la instrumentación es importante para el control y operación de procesos consiguiendo exactitud al momento de evaluar parámetros como: presión, temperatura, caudal, nivel, etc., más en la actualidad se ha combinado las técnicas de programación y software especializado que nos permite vincular lo mejor de la instrumentación y de la programación para crear elementos que permiten simular el funcionamiento de los antiguos sensores analógicos y obtener datos de manera más precisa y práctica, con control desde lugares remotos o que permitan un mejor uso de los equipos.

Figura 12. Esquema de funcionamiento instrumentación virtual Laboratorio de pérdidas en válvula esférica



Fuente: Autores

En este proyecto se vincula los instrumentos analógicos (medidor de caudal) y los electrónicos siguiendo el esquema de la figura 12.

Los transmisores de presión envían una pequeña señal eléctrica en el rango de 4-20 mA la cual es transformada a voltaje cumpliendo la Ley de Ohm que indica que $V = IR$ siendo utilizadas un par de resistencias de 100 ohmios por cada transmisor. Estas señales pasan a la tarjeta de adquisición de datos que se encarga de recibir primero, y luego enviar las señales a la PC que contiene el software que a su vez permite configurar y trabajar con estos datos. De manera paralela se introduce al programa los datos de velocidad de flujo que indica el medidor de flujo volumétrico tipo turbina.

Los elementos principales del sistema son:

- Transductor de presión.
- Medidor de flujo.
- Tarjeta de adquisición de datos.
- Pc con programas LabView y Visual Basic.

2.6 Transductores de presión

Un transductor de presión es un dispositivo que transforma la presión en una señal de energía eléctrica de valor pequeño, ya sea de voltaje o de corriente eléctrica.

Los Transductores de presión existen de diferentes tipos y se clasifican según el principio de funcionamiento las mismas que son:

- Transmisores electrónicos de equilibrio de fuerzas.
- Resistivos.
- Magnéticos
- Capacitivos.
- Extensométricos.
- Piezoeléctricos.

Para este proyecto se trabajará con un sensor marca Kobold modelo SEN-9601 debido a su escala y coste.

2.6.1 Descripción. Los sensores de presión modelo SEN-86 marca Kobold son sensores de presión económicos con un elemento de presión cerámico de película gruesa.

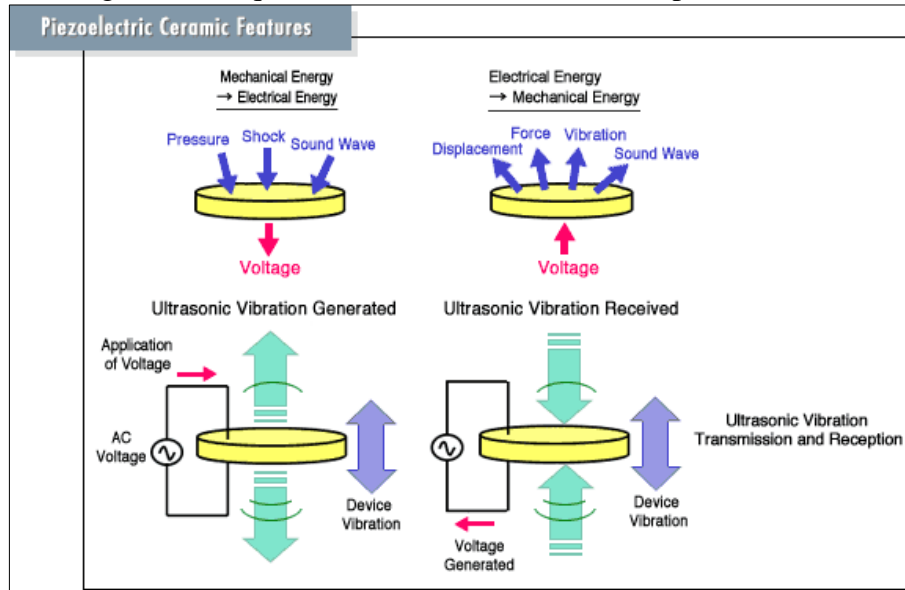
Sus características físicas son su exactitud, confiabilidad y diseño compacto, los materiales y la tecnología usados hacen de estos sensores de presión insensibles a los medios químicamente agresivos y a la carga mecánica.

Particularmente, los sistemas hidráulicos son sus picos de presión rápidos y altos son por lo tanto aplicaciones preferidas.

Su funcionamiento se basa en el efecto piezoeléctrico directo que indica que a través de una fuerza externa se logra un desplazamiento de cargas lo que induce una corriente de

desplazamiento y ésta a su vez crea un campo eléctrico que se trasforma en una señal eléctrica de salida, en la figura 13 se puede observar una descripción de este fenómeno.

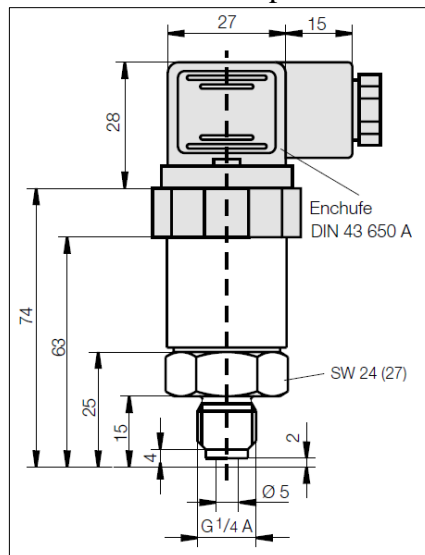
Figura 13. Esquema de funcionamiento efecto piezoeléctrico



Fuente: http://www.nec-tokin.com/english/product/piezodevaice1/piezo_tech.htm

2.6.2 Dimensiones

Figura 14. Dimensiones sensor presión Kobold SEN-86



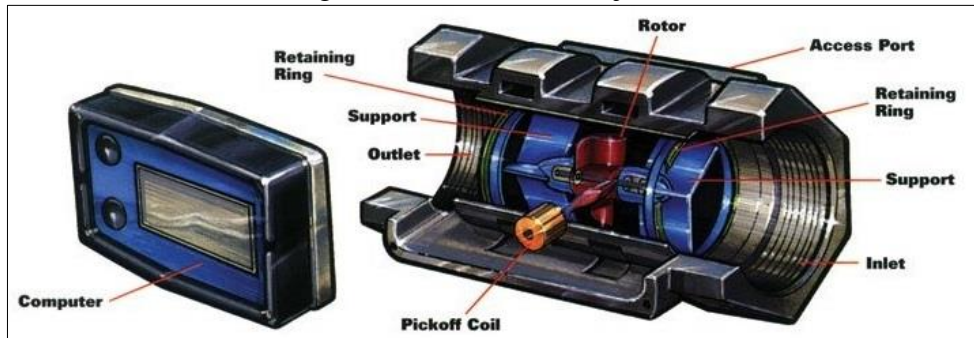
Fuente: Catálogo Kobold SEN-86.

2.7 Medidor de flujo volumétrico

Los medidores volumétricos son instrumentos electrónicos que sirven para determinar el caudal en volumen de un fluido. En este proyecto se utiliza un medidor de flujo tipo turbina de la marca GPI tal como se indica en la figura 15, en razón de que se tenía uno

en disponibilidad en el laboratorio, el mismo que consta de un rotor con álabes, semejante a una turbina, que se instala en el centro de la tubería y gira con una velocidad angular que es directamente proporcional al flujo.

Figura 15. Medidor de flujo GPI

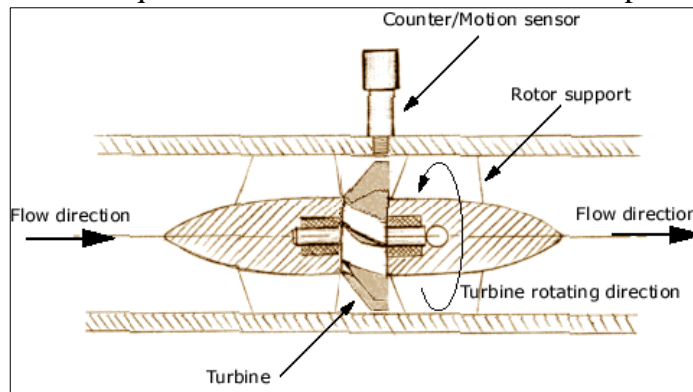


Fuente: <http://forbergscientific.blogspot.com/2011/08/gpi-stainless-steel-turbine-liquid.html>

Este medidor puede instalarse en cualquier orientación deseada siempre y cuando se tenga cuidado de mantener el medidor lleno de líquido según la guía de operación del medidor (ver anexo G) y las normas de instalación citadas en el anexo F (API 2334, ISO 2715).

Su funcionamiento se basa en el movimiento del líquido a través del medidor lo cual provoca la rotación de la turbina. Un sensor de proximidad externo detecta la rotación de la turbina detectando el movimiento de las partículas, la rotación de la turbina es lineal con respecto al caudal. La pantalla y módulo de control convierten la señal del impulso en un número visualizado,

Figura 16. Esquema funcionamiento caudalímetro tipo turbina



Fuente:

http://www.globalspec.com/learnmore/sensors_transducers_detectors/flow_sensing/turbine_flow_meters

CAPÍTULO III

3. SOFTWARE

3.1 LabView

3.1.1 *Introducción a la Instrumentación virtual.* LabView es un lenguaje de programación de tipo gráfico, de alta tecnología y con amplio uso en instrumentación. Ha sido desarrollado por la empresa National Instruments como lenguaje de programación que cuenta con una gran gama de estructuras que se pueden usar en la elaboración de cualquier programa que se desee en un sinnúmero de aplicaciones como automatización industrial, telemática, control automático.

Cada programa que se elabora en LabView se llama Instrumento Virtual (VI), el cual simula el accionar de un instrumento real de acuerdo a lo programado. El programa se guarda en el computador.

El instrumento virtual está ligado al concepto de software, se puede utilizar en cualquier proceso, instalación o laboratorio. Este software se ejecuta en un ordenador conectado a los elementos hardware necesarios como son las tarjetas de adquisición de datos, cables de conexión y canales de control. El instrumento virtual permitirá manejar el hardware mediante una interfaz gráfica de usuario que simulará al panel de mandos de los aparatos físicos habituales (multímetro, osciloscopio, etc.)

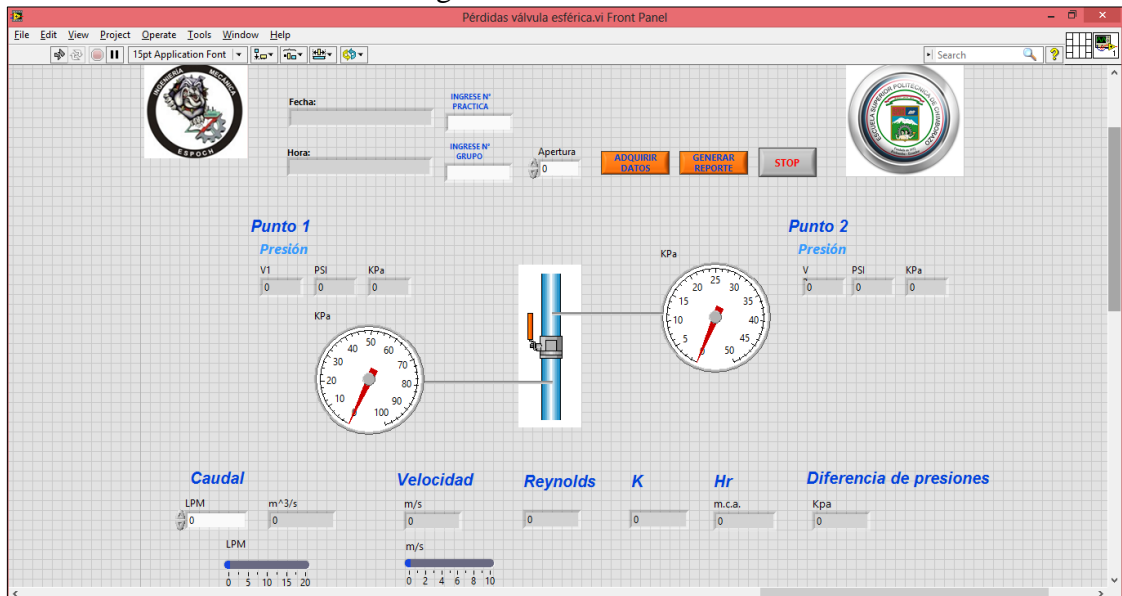
Observando los elementos gráficos de visualización y control que conforman el interfaz con el usuario, se analizan los estados de las entradas e interactuará con las salidas directamente o mediante la ejecución de las rutinas previamente programadas.

3.1.2 *Diseño de un programa de aplicación.* El programa de aplicación, también llamado instrumento virtual, consta de dos partes principales: la Interfaz de usuario, y la funcionalidad de la aplicación.

La interfaz de usuario permite la interacción de la aplicación con el usuario. Consta de controles e indicadores para visualización e introducción de datos.

El entorno de programación dispone de librerías de controles e indicadores creados que facilitan el trabajo al usuario como se puede observar en la figura 17.

Figura 17. Panel frontal.



Fuente: Autores

La funcionalidad de la aplicación es una de las características principales del programa y sirve para obtener datos del hardware de forma rápida y precisa al usuario. La funcionalidad del programa incluye tratamiento de señal, control del flujo de programa, control de errores, etc.

El lenguaje de programación utilizado es el LabView cuya programación es de tipo gráfico, es decir que a diferencia de otros lenguajes de programación escritos, éste reemplaza las líneas de códigos por herramientas gráficas.

El LabView permite crear instrumentos virtuales después de adquirir datos en tiempo real además de desarrollar una interfaz que permita la interacción simple y directa entre el usuario y el laboratorio.

3.1.3 Creación de instrumento virtual. Cuando se crea un objeto en el panel frontal, una terminal es creada en el diagrama de bloques. Estas terminales le dan acceso a los objetos del panel frontal del código creado mediante el diagrama de bloque.

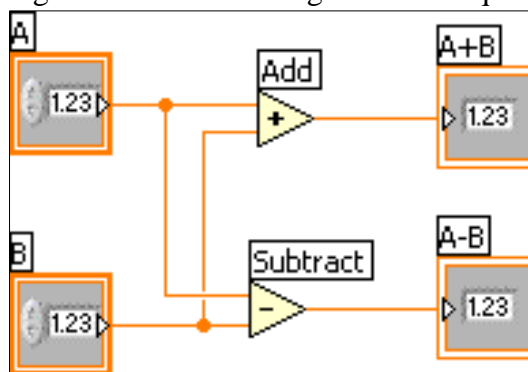
Cada terminal contiene información útil referente al objeto al cual corresponde en el panel frontal. Por ejemplo, el color y los símbolos proporcionan el tipo de dato como se observa en las figuras 18 y 19.

Figura 18. Ventana frontal.



Fuente: Autores

Figura 19. Ventana Diagrama de bloques.



Fuente: Autores

Al conectar los cables se debe tomar en cuenta que cada cable debe tener una (pero solo una) fuente (o control), y tener varios destinos o indicadores.

En adición de los terminales del panel frontal, el diagrama de bloques contiene funciones también. Cada función puede tener múltiples terminales de entradas y salidas. La conexión de estas terminales es una parte muy importante de la programación en LabView.

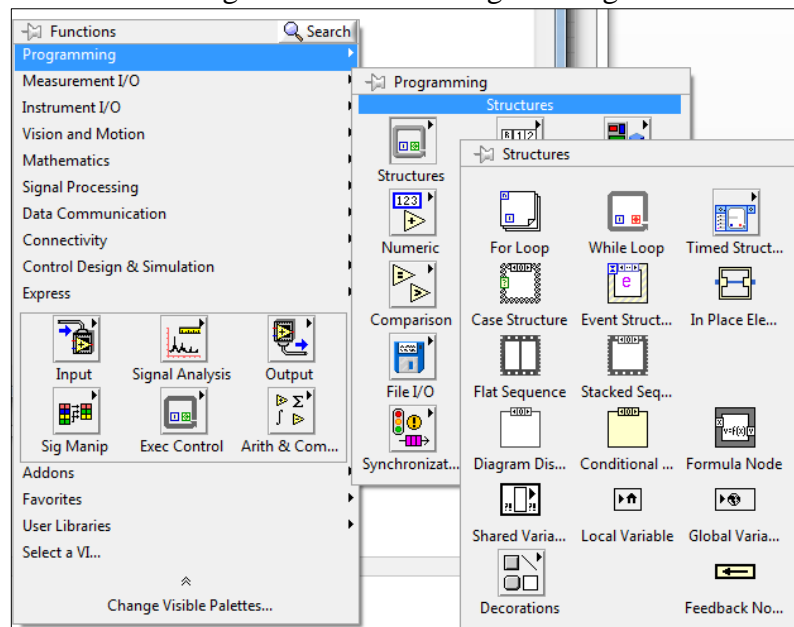
La herramienta para conectar o de cableado es utilizada para conectarse a los nodos de las funciones. Cuando se utiliza la herramienta de cableado, se “apunta” con el extremo del cable que cuelga del carrete que es donde se colocará el cable finalmente.

Una vez realizadas las conexiones se ejecuta el diagrama de bloque dependiendo del flujo de datos, el nodo se ejecuta solamente cuando tiene datos disponibles en todas sus terminales de entrada, y suministra datos a sus terminales de salidas solamente cuando termina su ejecución.

3.1.4 Programación estructurada. En el momento de programar, en la mayoría de casos es necesario ejecutar un mismo conjunto de sentencias un número determinado de veces, o que éstas se repitan mientras se cumplan ciertas condiciones. También existen casos donde se quiera ejecutar una u otra sentencia dependiendo de las condiciones fijadas o simplemente decidir que unas se ejecuten siempre antes que otras.

Las estructuras en LabView son representaciones gráficas de las expresiones de los lazos y casos similares a los de los lenguajes de programación basados en texto. LabView dispone de estructuras fácilmente diferenciables por su apariencia y disponibles en la opción *structures* del menú *functions* de la ventana *programming* (figura 20).

Figura 20. Ventana Programming



Fuente: Autores

Los principales tipos de estructuras en LabView son:

- *ForLoop*: ejecuta un subdiagrama un determinado número de veces.
- *WhileLoop*: ejecuta un subdiagrama hasta que una condición se cumple.
- *Case structure*: contiene múltiples subdiagramas, solamente uno de los cuales se ejecuta dependiendo del valor de entrada para la estructura.
- *Sequence estructura*: contiene uno o más subdiagramas, los cuales se ejecutan en un orden secuencial.
- *Formula Node*: realiza una operación matemática basada en una entrada numérica. A veces es preferible programar expresiones matemáticas con funciones basadas en

texto, en lugar de hacerlo con iconos porque además de tomar mucho espacio se puede ahorrar tiempo de trabajo al trabajar las ecuaciones en otros programas basados en texto.

Al momento previo de empezar a programar es indispensable definir las variables ya que al darles una nomenclatura adecuada ayudarán a facilitar el mismo. Las variables son imprescindibles en cualquier tipo de problemas, ya que permiten almacenar la información necesaria para su resolución.

En LabView todos los controles introducidos en el panel frontal generan una terminal en la ventana *Diagram* las cuales van a ser variables, identificables por el nombre asignado en la etiqueta. En las variables los datos se almacenan en algunos de los controles o indicadores existentes en el panel frontal del programa creado o también se puede escribir en uno de los controladores o indicadores.

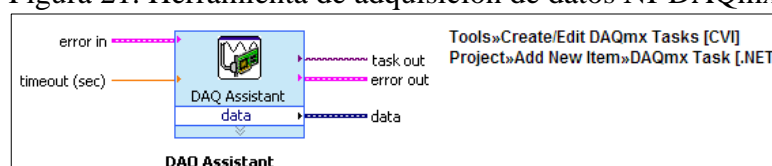
Escribir una variable tiene el mismo resultado que pasar un dato a la terminal, excepto que se puede escribir aún si es control, o leerlo aún si es un indicador.

3.1.5 Sistema de adquisición y procesamiento de datos. La adquisición de datos se realiza mediante la adecuación de las señales enviadas por los sensores hacia las tarjetas de adquisición de datos o DAQ.

Básicamente el sensor envía la señal física a un acondicionador de señal donde se transforma en una señal que pueda leer la tarjeta que a su vez está conectada al programa LabView. Existen diferentes tipos de entradas en las tarjetas que permiten obtener un amplio número de señales para ser procesadas y utilizadas en los programas.

La herramienta *NI-DAQmx* es de vital importancia en este proceso, tiene una amplia funcionalidad, acepta múltiples datos, simplifica los procesos gracias a su interfaz didáctica y facilita la sincronización de las señales gracias a la maximización del rendimiento que optimiza la adquisición de los datos.

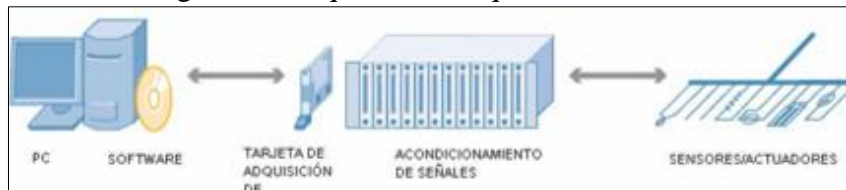
Figura 21. Herramienta de adquisición de datos NI-DAQmx.



Fuente: Autores.

En este proyecto se obtiene una señal eléctrica de corriente del sensor piezoeléctrico que se transforma en una señal de voltaje que puede ser leída por el sensor, esta señal a su vez se transforma mediante las ecuaciones del sensor en datos de presión que se visualizan en el panel frontal, mientras se utilizan los datos para obtener otros en la programación.

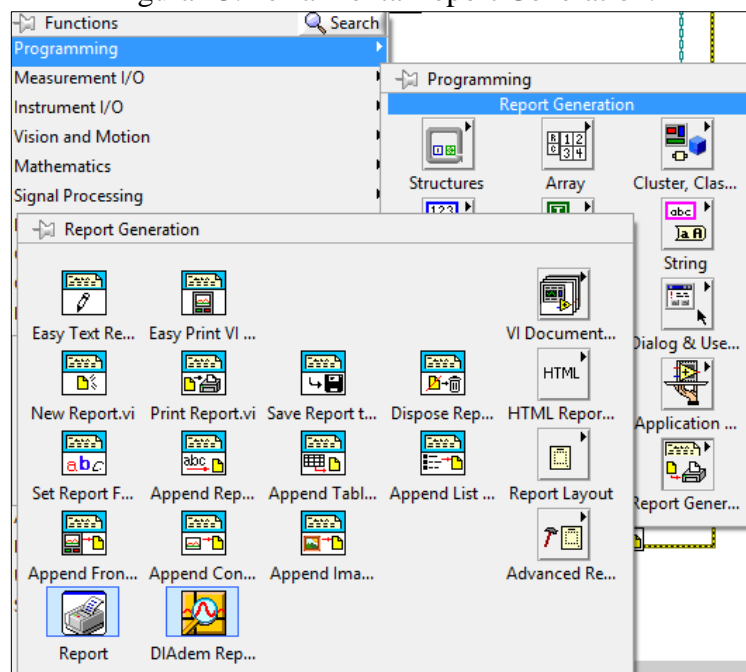
Figura 22. Esquema de adquisición de datos



Fuente: <http://www.eurodl.org/?p=archives&year=2000&article=91>

3.1.6 Generación de reportes. Una de la herramientas más útiles de LabView es el *Report Generation Toolkit* (figura 23) que permite vincular las aplicaciones a los programas de Office Microsoft como Word y Excel así como formatos estándar y HTML, así nuestros VI's se transforman en documentos con el objeto de visualizar los datos obtenidos mediante la adquisición de datos. El paquete de herramientas *Report* permite trabajar varias funciones útiles y fáciles de editar que permitirán elaborar documentos que muestren los resultados en tiempo real, guardar los archivos en rutas preestablecidas y realizar graficas incluso.

Figura 23.Herramienta Report Generation.



Fuente: Autores

3.2 Visual Basic

3.2.1 Introducción. Visual Basic es uno de los muchos lenguajes de programación que existen hoy en día en el entorno académico e industrial. Visual Basic en un principio fue considerado por los programadores avanzados como un lenguaje para principiantes por la sencillez que mostraba. Este lenguaje ha pasado por varias modificaciones hasta lo que hoy se conoce como Visual Basic. Este programa posee un entorno muy sencillo, el cual no necesita de un alto nivel de manejo por parte de quien lo quiera trabajar.

Por estas razones se escogió este programa para trabajar en este proyecto, su potencia, versatilidad y mejora continua a cargo de sus desarrolladores lo convierten en la herramienta ideal para convertirse en el complemento del programa de LabView mediante la comprobación de los datos experimentales con los teóricos.

3.2.2 Historia. Visual Basic es uno de los tantos lenguajes de programación que existen actualmente, este lenguaje nace del Basic creado originalmente por Dartmouth College, el cual tenía como propósito principal ofrecer un servicio a las personas que tuviesen interés en aprender un lenguaje de programación.

Este lenguaje pasó por varias modificaciones, como la del año 1978 con la que se estableció el Basic Estándar. Debido a la sencillez que presentaba este lenguaje, obtuvo el desprecio de programadores avanzados por considerarlo un lenguaje para principiantes. Además de esta modificación se encuentran el GW-Basic y Quick-Basic; actualmente se le conoce como Visual Basic en su versión más reciente 2014, que se incluyó en el paquete Visual Studio 6 de Microsoft. Esta versión de Visual Basic, combina su sencillez junco con un poderoso lenguaje de programación visual, que permite desarrollar programas de 32 y 64 bits para Windows.

A partir de estos cambios Visual Basic dejó de ser un lenguaje de programación para principiantes, se convirtió en una alternativa ideal para la creación de programas de cualquier nivel de desarrollo en Windows, con un amplio campo de aplicaciones en ingeniería.

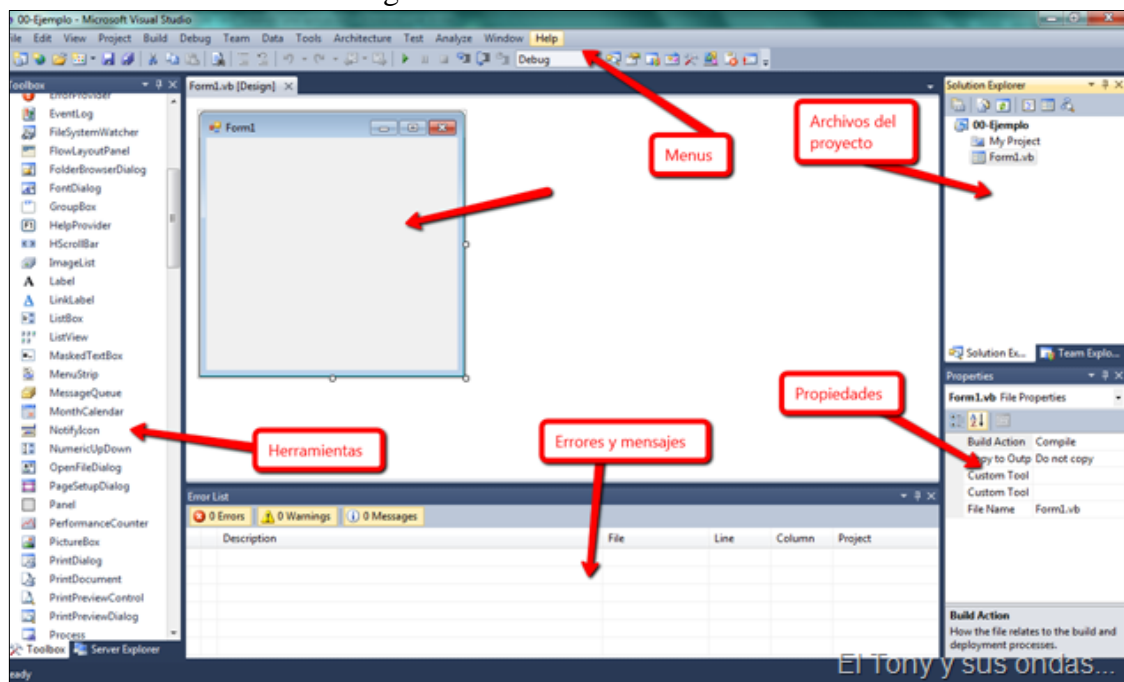
3.2.3 Concepto. Visual Basic es un lenguaje de programación creado por Microsoft Corp. que goza de gran popularidad. Las razones para ello son su potencia o capacidades, facilidad de uso y el permitir crear programas de aspecto y funcionamiento relacionados con el “entorno Windows”. Aparte de permitir crear programas de aspecto profesional, facilita el trabajo a la hora de utilizar o vincular aplicaciones tan extendidas como Microsoft Word, Excel o Access y PowerPoint.

El término “Visual” hace referencia a que el programador se mueve en un entorno gráfico e intuitivo. “Basic” se refiere al conocido lenguaje BASIC (Beginners All-Purpose Symbolic Instruction Code) del que se conservan diversas palabras claves e instrucciones. Aparte de esto, poco tiene que ver el Visual Basic con el antiguo lenguaje de programación ya que casi todo ha cambiado, en especial la forma de estructurar los programas.

3.2.4 Entorno

En el entorno de Visual Basic existen dos componentes principales que son la barra de herramientas y la barra de menús mediante las cuales se pueden dar entrada o salida a los datos. Este programa cuenta también con un área de trabajo o Formulario por defecto, en el cual se disponen para uso de los distintos controles o botones.

Figura 24. Entorno Visual Basic



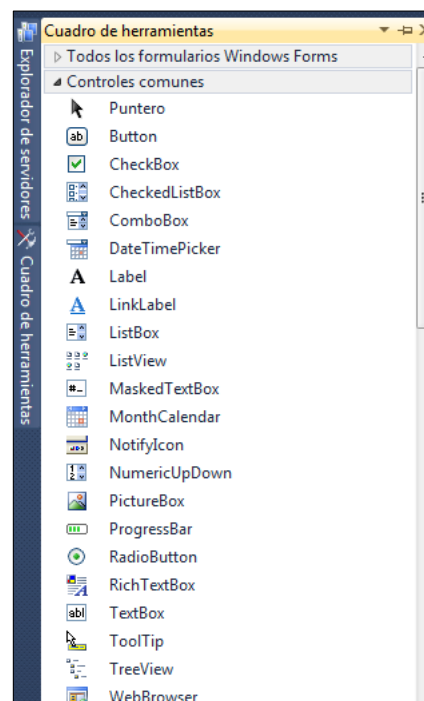
Fuente: <http://tony-valderrama.blogspot.com/2012/08/visual-basic-net-desde-cero-creando-una.html>

El aspecto es similar al de cualquier programa en entorno Windows, esto facilita el trabajo en Basic. Analizando la pantalla inicial, se tiene una barra de menús donde muchos de sus componentes son conocidos por ser comunes a muchos programas: Archivo, Edición, Ver, etc. En cambio otros componentes no son tan comunes como por ejemplo Proyecto, Depuración, Datos, Complementos. Bajo la barra de menús se encuentra una barra de herramientas con algunos iconos conocidos como Abrir, Guardar, Cortar, Copiar, Pegar y otro. Si se posiciona el ratón sobre ellos aparecerá una etiqueta con su función: Agregar formulario, Editor de menús, Iniciar (F5), Explorador de proyectos.

En el lado izquierdo de la pantalla se encuentra una caja o cuadro de herramientas con distintos iconos, estos corresponden a objetos prefabricados que se usan cuando se está programando. Posicionándose sobre ellos con el ratón, aparecerá una etiqueta descriptiva que detalla a cada elemento, sus funciones y codificación.

Entre las herramientas más comunes se encuentra: *Puntero*, *PictureBox*, *Textbox*, *Label*, *Frame*, *CommandButton*, *GroupBox*, etc., tal como se observa en la figura 25.

Figura 25. Cuadro de herramientas de Visual Basic 2010



Fuente: Autores

Las herramientas más utilizadas son:

- *Puntero*: sirve para quitar la selección del que hayamos pulsado por error.

- *PictureBox*: permite incluir gráficos.
- *Label (Etiqueta)*: sirve para poder poner mensajes o textos en la pantalla, pero no son editables por el usuario.
- *TextBox*: caja de texto, permite que el usuario pueda escribir directamente.
- *GroupBox*: es un contenedor para los demás controles.
- *CommandButton*: Botón de comando, permite que el usuario pueda pulsar botones y que realicen determinadas acciones
- *CheckBox*: caja de chequeo, permite tener opciones sobre las que el usuario confirma o niega.
- *OptionButton*: botón de opción, permite tener varias opciones de las cuales seleccionar una.
- *ComboBox*: caja combinada, permite tener varias opciones de las cuales seleccionar y ver una.
- *ListBox*: caja de lista, presenta una lista de opciones y permite seleccionar una o varias de dichas opciones
- *HScrollBar*: (Barra Horizontal de Scroll) se puede crear una barra de desplazamiento horizontal.
- *VScrollBar*: barra vertical de Scroll, permite tener una barra vertical para desplazamientos.
- *Timer*: es un controlador de tiempo.

En el lado derecho superior de la pantalla se tiene un pequeño árbol parecido al explorador de Windows y que en este caso se llama “Explorador de Proyectos” ó “Explorador de soluciones”, según la versión que se esté usando. La ventana lleva el título Proyecto-Proyecto1, WindowsApplication1 o similar.

En el centro de la pantalla se encuentra una ventana común en Windows, con el título de Form1 y unos botones de minimizar, maximizar y cerrar. Esta ventana se llama Formulario y es uno de los elementos importantes de la programación con Visual Basic. El formulario contiene los objetos y a través de él entran datos al programa y salen resultados del mismo. Los formularios son la base de los programas. El formulario puede tener una cuadrícula interior de pequeños puntos negros, así como unos cuadritos exteriores en los vértices y puntos intermedios. Se puede modificar el tamaño del formulario a discreción personal.

3.2.5 Programación con Lenguaje Visual Basic. El BASIC como lenguaje tiene una forma estándar, aunque las características de la computadora y los criterios de las empresas desarrolladoras se comenzaron a crear dialectos específicos ajustados a cada necesidad.

El BASIC posee un conjunto de normas semánticas y de reglas sintácticas claramente definidas que permiten elaborar un conjunto de indicaciones simples y precisas sin dejar lugar a incoherencias con el fin de que la computadora las ponga en ejecución.

El vocabulario está compuesto por un conjunto de palabras, apócope y siglas en idioma inglés. Como en un lenguaje natural, la unidad de información consiste en la oración que en este caso y en su mayoría son de tipo imperativo (órdenes), las mismas que se denominan “instrucción”.

El objeto de cada una de las instrucciones es "indicar" a la computadora para que realice una determinada (y generalmente simple) tarea.

Con la agrupación de un conjunto de instrucciones es posible realizar una actividad completa mediante el cumplimiento de pasos previos que al final cumplirán una tarea compleja con todas sus implicaciones. Este conjunto organizado de instrucciones se denomina programa.

Una instrucción en Visual Basic se compone por dos elementos: un comando (el verbo, la acción) y un conjunto de argumentos (datos). Por ejemplo:

```
Button1.Text = "Calcular"
```

Donde Button1.Text representa el comando que permite modificar el texto del Button1 y "Calcular" es el conjunto de datos visualizarse en este caso.

3.2.6 Constantes y Variables. Otro aspecto fundamental en la programación es el manejo de los datos, los cuales se agrupan en dos tipos principales:

Las constantes son elementos, números, fechas, cadenas de caracteres y expresiones que contienen operadores lógicos o aritméticos y mantienen un valor fijo durante la ejecución del programa.

Sus características son:

- Comenzar con una letra.
- Poseer un mismo nombre único.
- No tener más de 255 caracteres de longitud.
- No tener espacios.

Ejemplo:

Const Pi AsSingle = 3.141592654

Las variables son utilizadas para almacenar valores que pueden cambiar durante la ejecución de un programa, sus características y condiciones son:

- Iniciar con una letra.
- No tener espacios.
- Su longitud no debe superar los 245 caracteres.
- Poseer un nombre único dentro de su alcance.

Ejemplos:

Dim nombre As tipo

Dim contador As tipo

3.2.7 Tipos de Datos

Visual Basic clasifica las variables en función del tipo de dato que contienen, siendo las más usuales:

Tabla 1. Tipos de datos

Tipo de datos	Abreviatura	Memoria requerida	Rango de valores	Equivalencia usadas en pseudocódigo	Observaciones
Integer (Entero)	%	2 bytes ó 4 bytes según versión	- 32768 a 32767 ó -2.147.483.648 a 2.147.483.647 según versión	Entero	Uso en contadores, control de bucles etc.
Long (Entero largo)	&	4 bytes ó 8 bytes según versión	- 2147483648 a 2147483647 ó -9,2E+18 a 9,2E+18 según versión	Entero	Igual que integer pero admite un rango más amplio
Single (Decimal simple)	!	4 bytes	- 3,4·10 ³⁸ a 3,4·10 ³⁸	Real	Hasta 6 decimales o más según versión. También admite enteros

Double (Decimal doble)	#	8 bytes	- 1,79·10 ³⁰⁸ a 1,79·10 ³⁰⁸	Real	Hasta 14 decimales o más según versión. También admite enteros
Boolean (Booleano)	No tiene	2 bytes	True o False	Booleano	False es el valor predeterminado y va asociado a cero
String	\$	10 bytes + 1 byte por cada carácter	0 a 2·10 ⁹ caracteres	Alfanumérica	Texto de longitud variable
Variant (Object en otras versiones)	No tiene	Variable	Los del tipo double para números o los del tipo string para texto	No tiene	Admite números enteros, decimales o texto

Fuente:

http://www.aprenderaprogramar.com/index.php?option=com_content&view=category&id=37&Itemid=61

3.2.8 *Eventos y funciones*

3.2.8.1 *Eventos.* Un evento es una señal que comunica a una aplicación que ha ocurrido algo importante, El programa puede captar este evento y utilizar la información dentro de éste para tomar decisiones sobre otras operaciones.

Los eventos se declaran en clases, estructuras, módulos e interfaces mediante la palabra *event*.

3.2.8.1 *Funciones.* Una función es un procedimiento que devuelve un valor. Se clasifican en:

- Archivo.
- Matemáticas.
- Cadena.
- Hora/Fecha.
- Conversión de variable

En este trabajo se utilizaron las funciones matemáticas y de conversión.

Funciones matemáticas. Al igual que las funciones vistas para el manejo de cadenas de caracteres, existe una serie de funciones matemáticas las cuales permiten realizar cálculos dentro de un programa de Visual Basic. Estas proporcionan constantes y métodos estáticos para operaciones trigonométricas, logarítmicas y otras funciones matemáticas comunes.

Las funciones se agrupan en los siguientes grupos principales:

- Derivación de funciones trigonométricas: Atan(), cos(), sin(), tan().
- Cálculos generales: Exp(), log(), Sqrt().
- Valor absoluto: abs().
- Signo de expresión: sign().
- Ejecución de conversiones numéricas: Fix(), int().

Todas estas funciones se declaran precedido de la clase Math seguida de la función matemática deseada, por ejemplo:

```
Math.Log10((Rr / 3.7065))
```

Esto representa el logaritmo de base diez de una variable Rr dividido para una constante numérica 3,7065.

Funciones de conversión. Estas funciones se compilan en línea, es decir, el código de conversión forma parte del código que evalúa la expresión. A veces no se produce una llamada a un procedimiento para realizar la conversión, lo que mejora el rendimiento. Cada función convierte una expresión a un tipo de datos específico. (Microsoft, 2012)

El nombre de función determina el tipo de datos del valor devuelto, como se muestra en la tabla siguiente:

Tabla 2. Funciones de conversión de Datos

Nombre de la función	Tipo de datos devuelto	Intervalo de valores del argumento expression
CBool	Boolean (Tipo de datos, Visual Basic)	Cualquier expresión numérica, Char o String válida.
CByte	Byte (Tipo de datos, Visual Basic)	0 a 255 (sin signo); las partes fraccionarias se redondean. ¹
CChar	Char (Tipo de datos, Visual Basic)	Cualquier expresión Char o String válida; sólo se convierte el primer carácter de String; el valor puede estar comprendido entre 0 y

CAPÍTULO IV

4. MONTAJE Y PROGRAMACIÓN

4.1 Instalación del sistema de circulación

4.1.1 *Introducción.* Antes de realizar el montaje del sistema hay que aclarar que se lo hizo sobre la estructura del Banco Generador de Vórtice forzado, del cual se aprovechó su espacio restante y el equipo de comunicación de la tarjeta DAQ incluida parte de las conexiones eléctricas, una PC, monitor. En la figura 26 se puede observar la condición inicial de la estructura antes de realizar este trabajo.

Figura 26. Condición inicial del Banco Generador de Vórtice



Fuente: Autores

4.1.2 *Condición inicial de la estructura.* Entre lo más destacado de las condiciones iniciales de la estructura está la existencia de sistema de adquisición de datos que consta de una PC, en la parte posterior, una tarjeta de adquisición de datos NI-USB DAQ6008 con su respectivo cable de conexión y un monitor con conexión similar a la PC.

Adicional a esto existe un variador de frecuencia utilizado para controlar el movimiento del moto reductor que origina el movimiento del vórtice, y un panel de control de la bomba, PC y sensores de presión del mismo proyecto.

Figura 27. Sistema de Adquisición de datos previo



Fuente: Autores.

Uno de los requisitos para la utilización de esta estructura es que se debía preservar en lo posible el trabajo previamente establecido incluidas sus conexiones eléctricas e hidráulicas por lo que los pocos cambios realizados se enfocaron en la estética y la necesidad obligatoria para ello.

Otro aspecto de importancia para decidir utilizar la estructura previamente existente fue el aprovechar la subutilización de espacios de la tarjeta de adquisición de datos con el consiguiente ahorro de espacio en el laboratorio y de costos del proyecto.

Finalmente la existencia de un espacio adecuado para la instalación del sistema hidráulico requerido para el proyecto.

4.1.3 *Requerimientos para el diseño del sistema hidráulico.* Los requisitos para la elaboración del proyecto es el de tener una instalación con una válvula esférica o de globo acompañada de dos sensores de presión ubicados antes y después de la válvula para medir sus presiones respectivas, también es necesario instalar un medidor de flujo que permita visualizar los datos de caudal requeridos para los posteriores cálculos.

Una vez tomada la decisión de utilizar la estructura del Banco Generador de Vórtices y en vista del espacio existente se decidió instalar un sistema hidráulico en forma vertical, por estética y para mayor protección de los equipos preexistentes.

Para la alimentación hidráulica del sistema se optó por utilizar el banco hidráulico existente en el laboratorio conectando las entradas y salidas del mismo mediante mangueras. Con esto se economiza el diseño y construcción de un sistema de bombeo que hubiera implicado mayores gastos y espacio en el banco mismo. Además se aprovecha el equipo existente en el laboratorio como observamos en la figura 28.

Figura 28. Banco hidráulico



Fuente: Autores

Para la selección de la tubería primero se tuvo el requerimiento de seleccionar los instrumentos medidores y la válvula esférica para en lo posterior y en base a sus dimensiones y condiciones de funcionamiento, proceder a seleccionar la tubería adecuada.

4.2 Selección del Caudalímetro.

Para poder economizar costos, se aprovechó la existencia de un caudalímetro en el laboratorio de instrumentación, la misma que se procedió al análisis bajo la orientación de las normas ISO 2715 y API 2534 (ver anexo F) la misma que aplica indica que el instrumento es aplicable para líquidos limpios (agua) y una precisión de 0.1 a 1% f.s.d.

Tomando en cuenta estos factores se decidió utilizar un medidor de flujo de la marca GPI modelo G2A10N, aprovechando la existencia previa de uno de estos instrumentos en laboratorio.

De acuerdo a las condiciones previas se tiene que el flujo a medir sea agua corriente, a temperatura ambiente, con un caudal máximo de 20 LPM de acuerdo a mediciones previamente realizadas en el banco hidráulico, y un rango de precisión medio.

Figura 29. Medidor de flujo GPI modelo G2.



Fuente: <http://www.medidoresgpi.com/storage/catalogs/Medidores-De-Flujo-Industriales-Serie-G2.pdf>

Las especificaciones técnicas de este instrumento son:

- Material: Acero inoxidable 316.
- Modelo GPI G2
- Tipo: turbina
- Tamaño. 1 pulgada (25.4 mm)
- Rango de flujo: 5-50 GPM (18,9 – 190 LPM)
- Exactitud de lectura: \pm % 1.0
- Repetibilidad: \pm 0.1%
- Índice de presión 1200 PSI
- Rango de temperatura operativa: -40° F hasta +250° F (-40° C hasta +121° C)
- Factor K típico: 565
- Rango de frecuencia: 47 - 470 Hz a 5 - 50 GPM
- Tamaño del filtro recomendado: 38,1mm (1-1/2")
- Flujo máximo: 75 GPM (284 LPM)
- Materiales húmedos: Carcasa 316 Acero inoxidable
 Cojinetes: Cerámica
 Eje: Carburo tungsteno
 Rotor: PVDF
 Anillos: 316 Acero inoxidable

4.3 Selección de la válvula esférica

La válvula esférica se le selecciona porque es el objeto de estudio y recomendación por parte del director de tesis. La válvula esférica es de la marca Hidrinox modelo T-316.

Figura 30. Llave de paso esférica T-136 de 2 cuerpos



Fuente: <http://inco.com.uy/valvulas/>

Las características principales de la válvula son:

- Uso en agua, gasolina y gas.
- 1 pulgada de diámetro nominal.
- Cuerpo de acero inoxidable 316.
- Manija de acero inoxidable 304.
- Rango de temperatura: -60°F to 450°F.

4.4 Selección de tubería.

Una vez determinado el diámetro de la tubería acorde al diámetro del caudalímetro y de la válvula esférica se selecciona una tubería de acero inoxidable de 1 pulgada de diámetro. El material se escoge en base a sus propiedades anticorrosivas principalmente.

La longitud y accesorios a utilizarse se seleccionan en base al área disponible, la cual es aproximadamente 4.5 x 1 m, y el diseño del sistema

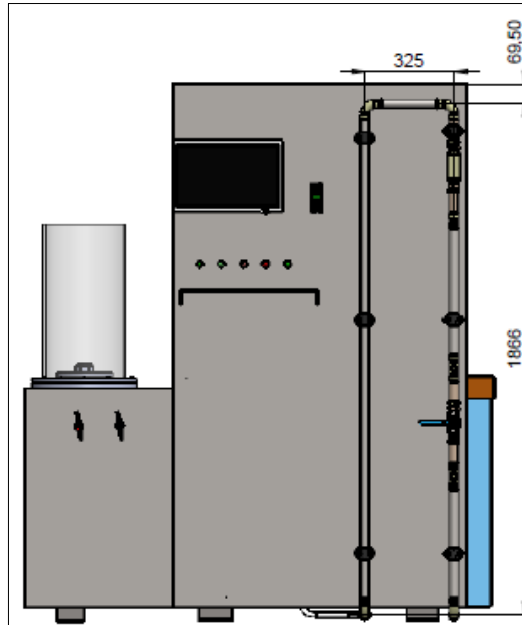
Los datos de la tubería son:

- Material: Acero inoxidable AISI 304
- Medida nominal: 1 pulgada
- Diámetro externo: 28.58 mm
- Espesor de pared: 1 mm
- Peso: 0.687 kg/m

4.5 Diseño del sistema de circulación

Una vez definidos los requerimientos y determinadas las partes más importantes del sistema se diseña el sistema de circulación como se observa en la figura 31:

Figura 31. Esquema diseño hidráulico.



Fuente: Autores

Es un sistema de circulación vertical de 2 metros de alto, que consta de la válvula esférica con sentido de circulación de abajo hacia arriba, dos sensores con una alimentación mediante mangueras al banco hidráulico, estos sensores están colocados a 20 cm de la válvula y el caudalímetro a 80 cm del sensor de acuerdo a la norma ISO 5167 (ver anexo E). En la parte inferior previo a la conexión se utilizará una tubería de aluminio de 1 pulgada de diámetro.

La lista de materiales a utilizar será:

- 4.20 m Tubería de 1" diámetro
- 2 codos de 1" diámetro
- 4 uniones dobles de 1" diámetro
- 1 unión corta de 1" diámetro
- 2 té de reducción de 1 a ½ "
- 2 codos hembra de 1" diámetro
- 1 m de tubo de 1" de diámetro
- 2 Uniones de reducción.

4.6 Montaje del sistema de alimentación

Una vez realizado el diseño del sistema de alimentación se procedió con las labores de montaje.

Figura 32. Colocación accesorios



Fuente: Autores

En primera instancia se trazó un diagrama en el banco frontal para hacer de guía al proceso. Después se realizaron perforaciones para los tornillos de ajuste de los collarines usados para fijar el sistema. A continuación se colocó la tubería con sus respectivos accesorios, uno a continuación de otro, esto es primero la tubería de alimentación, luego la tubería principal seguido de las té y la válvula esférica con sus respectivas uniones universales, a continuación el caudalímetro y terminando con la salida hacia el banco Hidráulico.

Para asegurar el sistema se colocaron collarines de media pulgada de diámetro. Finalmente se colocan las mangueras de conexión al banco hidráulico y se prueban los elementos satisfactoriamente.

Figura 33. Instalación sistema hidráulico



Fuente: Autores

4.7 Instalación sensores de presión.

4.7.1 Selección de los sensores de presión. Para la selección de los sensores se tomó en cuenta la presión máxima que tiene el sistema que al medirse resultó ser de 65 PSI.

Se seleccionaron dos sensores de la marca Kobold con un rango de presión de 0-6 bar (0 a 88.7 PSI) con una precisión del 1% del total de la escala del instrumento, de tipo piezoresistivo y alimentación de 24 VDC.

El proceso de selección tomó en cuenta también el precio de los instrumentos comparando diferentes catálogos entregados por los proveedores.

Las características principales de los sensores son:

- Marca: Kobold (Alemania)
- Modelo: SEN 8601
- Rango de medida: 0 a 6 bar (0 a 88.7 PSI)
- Tipo de presión: manométrica
- Precisión: 1% f.s.d.
- Material: Acero inoxidable 303
- Conexión: 1/4 "o 1/2" NPT, Acero inoxidable 304
- Elemento sensor: cerámica piezorresistiva (Al₂O₃)
- Conexión eléctrica: PX302: 1 m (3 ') de cable blindado de 4 conductores.
- Peso: 131 g (4,6 oz) de 1000 psi 190 g (6,7 oz) de 1000 psi
- Maxima temperatura:
 - Almacenamiento: -40 ... 212 °F
 - Media: -4 ... 185 °F
 - Ambiente: -40 ... 185 °F
- Límite de presión:
 - < 870 PSIG: 2 x rango (176 PSI)
 - >870 PSIG: 1.5 x rango
- Señal de Salida: 4-20 mA
- Alimentación: 24 VDC
- Protección: IP 65
- Tiempo de respuesta: < 1ms

Figura 34. Sensor de presión Kobold SEN 8601



Fuente: Catálogo Kobold

4.7.1 Montaje de los transductores de presión. Instalado el sistema de alimentación se procede a ubicar los sensores de presión en los tés respectivos que son las de reducción de 1 a ½” esto porque los sensores tienen una conexión ½” NPT.

Figura 35. Instalación sensores de presión



Fuente: Autores

Una vez realizada el montaje de los sensores se procede a trabajar en la programación y conexión eléctrica de los mismos para su configuración con el programa LabView.

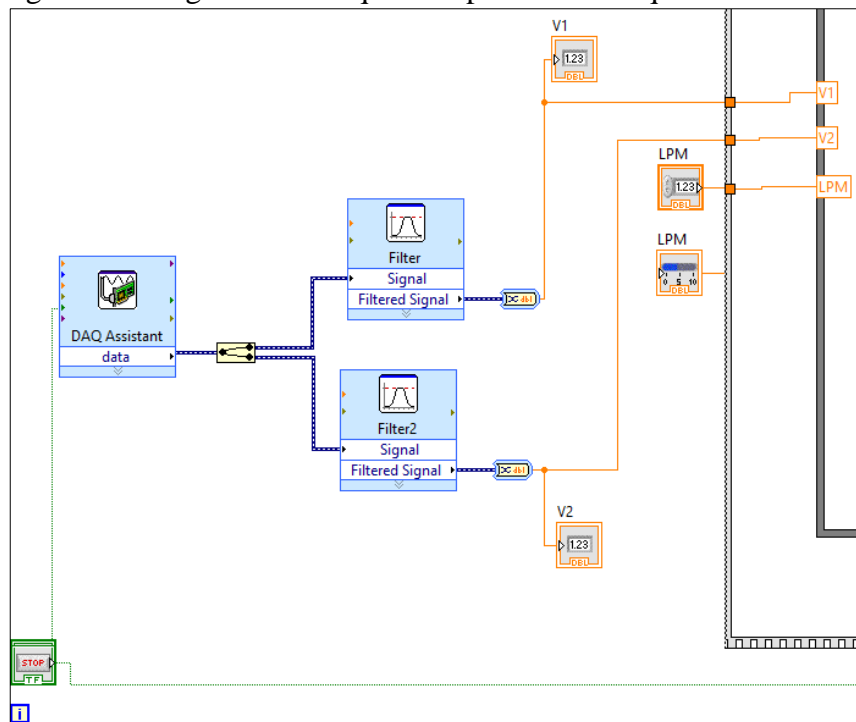
4.8 Programación LabView.

Una vez terminado el montaje físico del sistema de alimentación y de los transductores de presión se procede a realizar la adquisición de esas señales para proceder a la programación con el software LabView.

4.8.1 *Diseño electrónico.* Los transductores de presión envían una señal eléctrica de corriente en el rango de 4-20 mA por lo que será transformada a una señal de voltaje mediante la placa con resistencias, esto para cumplir los requerimientos de la tarjeta DAQ respecto a que recibe solo señales de voltaje.

Una vez acondicionada esta señal se procede a la adquisición y reconocimiento de estas señales mediante el software LabView, con conexión directa mediante un cable USB se reenvía la señal de la tarjeta a la PC, en ésta se reconocerá el tipo de señal adquirida utilizando la herramienta *DAQ Assistant* para en lo posterior realizar el programa base de este proyecto que permitirá visualizar los resultados y datos requeridos. En la figura 36 se puede observar esta etapa inicial de la programación.

Figura 36. Diagrama de bloques del proceso de adquisición de datos



Fuente: Autores

4.8.2 *Tarjeta de adquisición de datos NI-USB DAQ6008.* La tarjeta de adquisición de datos usada para este proyecto es la NI-USB DAQ6008 la misma que fue adquirida en el laboratorio anexo a este proyecto y debido a que tenía puertos libres suficientes para poder ocuparlos para este proyecto se decidió utilizarla compartiéndose el mismo con el laboratorio antes mencionado.

Las tarjetas principales de esta tarjeta de la empresa National Instruments son entre otras que posee ocho canales de entradas analógicas, dos canales de salida analógicas,

doce canales de entradas y salidas digitales, un contador de 32 bits de alta velocidad, distribución de los pines de conexión y otras las partes constitutivas de la tarjeta (Ver Anexo A).

Figura 37. Tarjeta de adquisición de datos NI-USB DAQ 6008



Fuente: http://sine.ni.com/images/products/us/040716_usb6008_1.jpg

Un elemento piezoresistivo reacciona a la presión y envía señales eléctricas de corriente en un rango desde 4 a 20 mA desde cada transductor pero como la tarjeta de adquisición de datos solo permite adquirir señales de voltaje es necesario construir una pequeña placa con una resistencia de 250 Ω por sensor para transformar estas señales provenientes de los transductores, con este objetivo se aplica la ecuación de Ohm para obtener una relación entre estos:

$$V = I.R$$

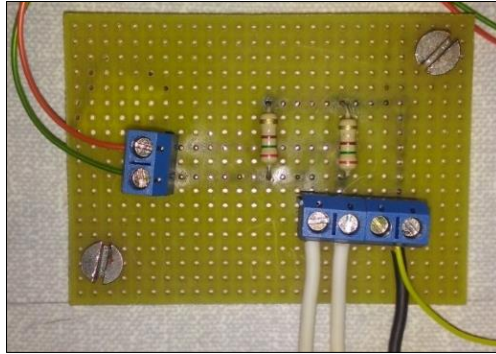
Tabla 3. Relación entre voltaje y corriente.

Corriente (mA)	Resistencia (Ω)	Voltaje (V)
4	250	1
20	250	5

Fuente: Autores

La placa es construida de manera que permita su fácil implementación en el sistema y tomando en cuenta el diagrama eléctrico de conexión de los transductores.

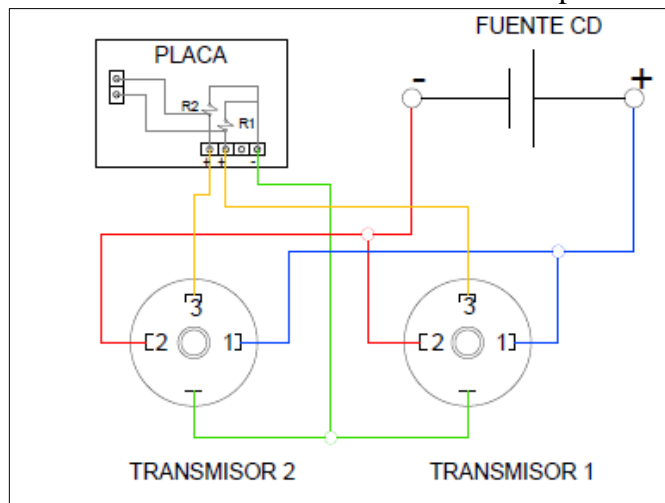
Figura 38. Placa de transformación eléctrica



Fuente: Autores

4.8.3 *Conexión eléctrica de los transductores de presión.* Realizados los cálculos previos para construir la placa que permita transformar las señales eléctricas de los transductores para que puedan ser admitidas por la tarjeta de adquisición de datos se procede a realizar la conexión eléctrica acorde al siguiente esquema:

Figura 39. Esquema de conexión eléctrica del transductor de presión Kobold SEN 8601.



Fuente: Autores

4.8.4 *Ecuación real transductores de presión.* Realizado el montaje físico de los sensores se procede a comprobar su funcionamiento realizando pruebas físicas con la ayuda de un compresor, de este modo se obtiene un rango de valores que indican una ecuación lineal característica para cada instrumento las cuales serán de suma importancia para la programación en LabView. Las tablas 4 y 5 contienen los datos obtenidos para este proceso.

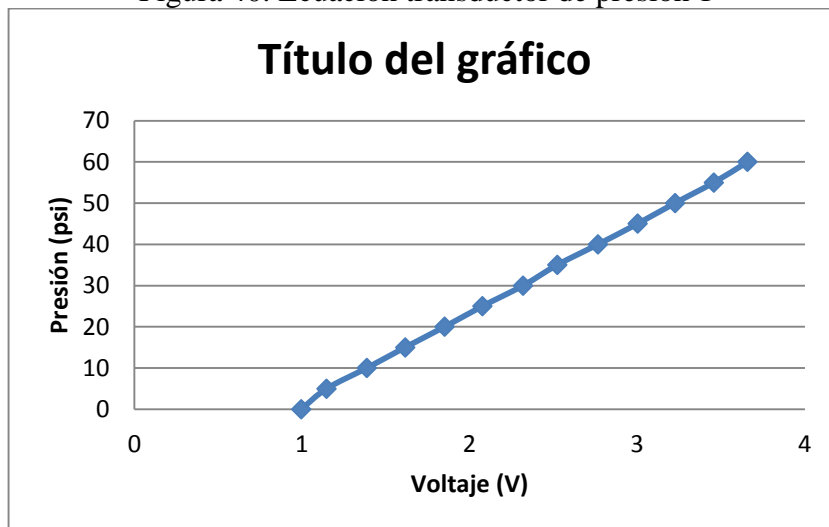
Al ser un trasmisor con señal de corriente eléctrica como salida se obtiene las siguientes ecuaciones:

Tabla 4. Datos experimentales del transductor de presión 1

Presión (psi)	Voltaje (V)					Promedio
	1	2	3	4	5	
0	1,002	0,997	0,994	0,992	0,991	0,9952
5	1,154	1,152	1,146	1,143	1,139	1,1468
10	1,398	1,389	1,386	1,381	1,378	1,3864
15	1,625	1,62	1,617	1,608	1,604	1,6148
20	1,857	1,855	1,852	1,846	1,843	1,8506
25	2,083	2,079	2,077	2,074	2,071	2,0768
30	2,306	2,302	2,398	2,296	2,293	2,319
35	2,526	2,525	2,523	2,521	2,519	2,5228
40	2,773	2,769	2,767	2,762	2,759	2,766
45	3,008	3,004	3,003	2,999	2,995	3,0018
50	3,231	3,228	3,226	3,221	3,219	3,225
55	3,458	3,458	3,457	3,457	3,456	3,4572
60	3,648	3,653	3,657	3,662	3,669	3,6578

Fuente: Autores

Figura 40. Ecuación transductor de presión 1



Fuente: Autores

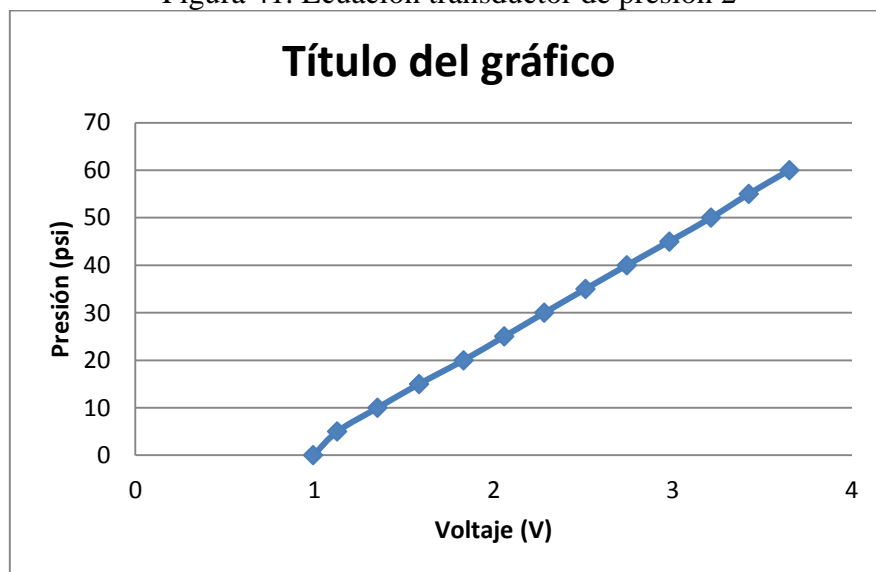
Ecuación del transductor 1: $P = 22.013V - 20.834$

Tabla 5. Datos experimentales del transductor de presión 2

Presión (psi)	Voltaje (V)					Promedio
	1	2	3	4	5	
0	0,994	0,993	0,993	0,994	0,995	0,9938
5	1,13	1,128	1,128	1,126	1,125	1,1274
10	1,356	1,355	1,353	1,349	1,351	1,3528
15	1,587	1,587	1,583	1,58	1,583	1,584
20	1,838	1,836	1,833	1,829	1,827	1,8326
25	2,066	2,063	2,06	2,057	2,053	2,0598
30	2,29	2,286	2,281	2,277	2,288	2,2844
35	2,518	2,516	2,514	2,511	2,508	2,5134
40	2,75	2,749	2,745	2,742	2,74	2,7452
45	2,991	2,985	2,982	2,976	2,973	2,9814
50	3,218	3,217	3,215	3,213	3,212	3,215
55	3,427	3,426	3,425	3,425	3,424	3,4254
60	3,647	3,65	3,653	3,656	3,659	3,653

Fuente: Autores

Figura 41. Ecuación transductor de presión 2



Fuente: Autores

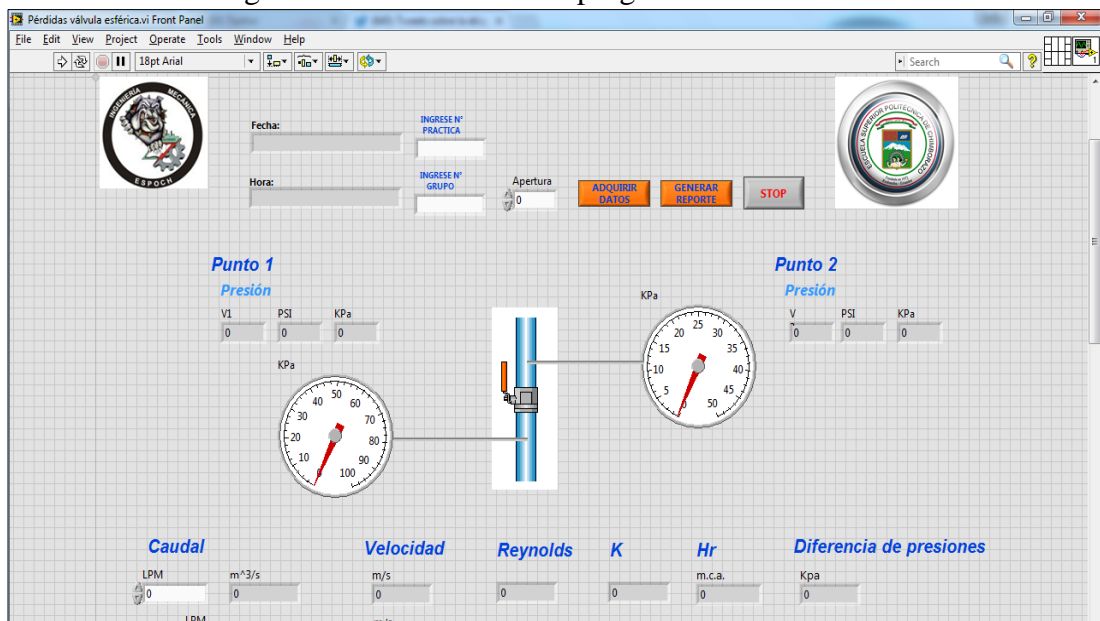
Ecuación del transductor 2: $P = 21.983V - 20.338$

4.8.5 *Diseño del entorno gráfico.* Concluida la labor de conexión eléctrica y comprobada el funcionamiento de los transductores se empieza la programación en LabView con el objetivo de crear el programa objeto de este trabajo.

Existen dos partes principales en un programa de Visual Basic, el primero es el panel frontal donde se encuentra la interfaz con el usuario esto es, donde se visualizan los datos y se manejan los instrumentos virtuales y el segundo que es el Panel de Control donde se realiza la programación en sí.

4.8.6 *Panel frontal LabView.* Para diseñar el entorno gráfico en el panel frontal del programa de LabView (figura 42) hay que tomar en cuenta los requerimientos que en este caso son el poder visualizar las medidas que entregan los transductores de presión, los datos que se tienen, el caudal que mide el caudalímetro, el valor de la velocidad de flujo derivada del caudal, los valores de diferencia de presiones, el factor K y el coeficiente de pérdida por accesorio que es el objetivo principal de este trabajo.

Figura 42. Panel frontal del programa en LabView

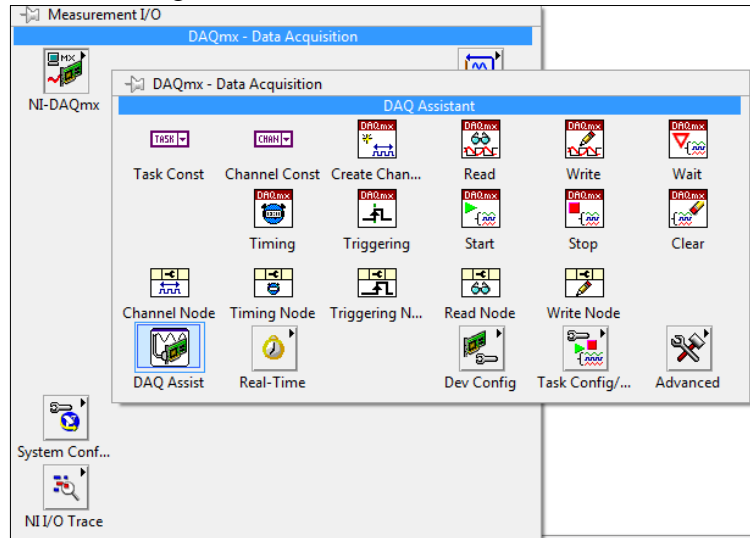


Fuente: Autores

4.8.7 *Adquisición de datos.* Realizado el bosquejo preliminar del panel frontal, se procede a establecer conexión con la tarjeta de adquisición de datos mediante la herramienta *DAQ Assist* que se encuentra en la paleta de herramientas *Measurement I/O* (figura 43).

Esta herramienta forma parte del driver *DAQ Assistant*.

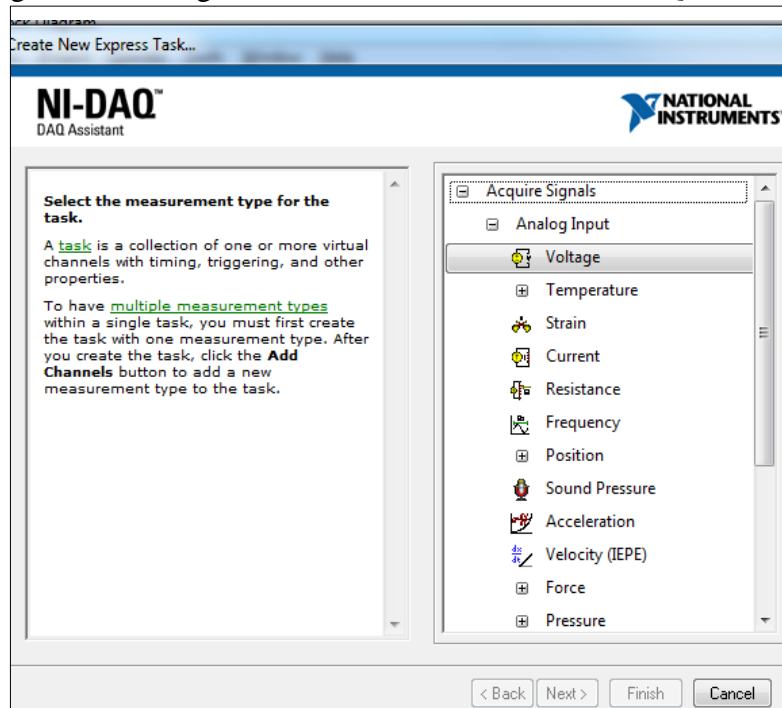
Figura 43. Herramienta DAQ Assist



Fuente: Autores

Se ingresa y configura la ventana *NI-DAQ Assistant* para adquirir una señal de tipo analógica de voltaje.

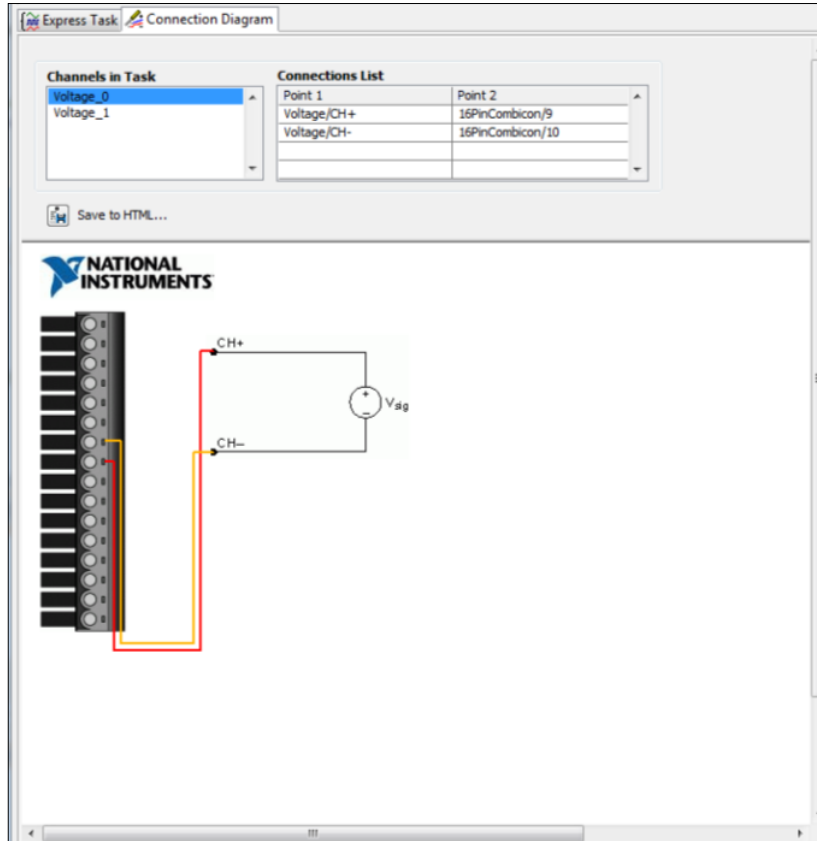
Figura 44. Configuración inicial del asistente NI-DAQ Assistant.



Fuente: Autores

Seleccionamos los puertos para la adquisición de señales tomando en cuenta que los puertos a_0 y a_1 no están disponibles. Seleccionamos los puertos a_9 y a_{12} . La opción *Connection Diagram* nos facilita un esquema directo de conexión eléctrica de los puertos a la tarjeta DAQ.

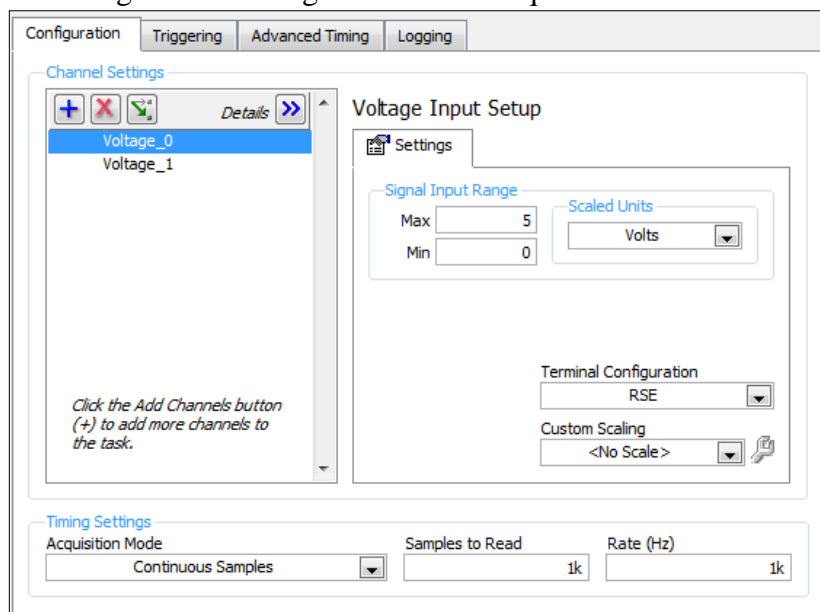
Figura 45. Diagrama de conexión puertos analógicos.



Fuente: Autores

Configuramos los datos de la tarjeta como los valores máximos y mínimo de voltaje (0-5 V), el modo de adquisición de datos (*continuous samples*) y el resto los valores por defecto.

Figura 46. Configuración de la adquisición de datos

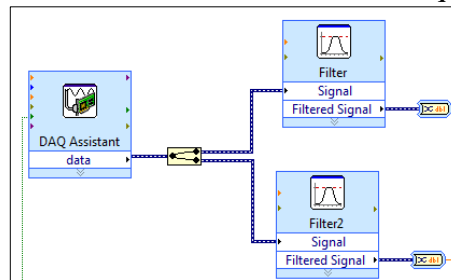


Fuente: Autores

4.8.8 Programa de medición de diferencia de presiones. A continuación se procede a realizar la programación en el panel de diagrama de bloques.

Primero para estabilizar la señal se utiliza la herramienta *Filter* que a continuación se enlaza un indicador a cada señal que permitirá visualizar los datos de voltaje de cada instrumento, tal como se observa en la figura 45.

Figura 47. Procesamiento de señal adquirida



Fuente: Autores

Se procede a introducir una estructura *merge signal* que divide en etapas ordenadas y secuenciales las señales de cada sensor de presión desde la tarjeta, seguido se introducen las variables y ecuaciones establecidas con anterioridad y que permitirán obtener los diferentes resultados requeridos, todo esto dentro de un nido de formulación (*Formula node*).

Para este efecto, primero se introduce el valor de cada presión medida utilizando las ecuaciones reales de cada transmisor:

$$P_1 = 22.013V - 20.834$$

$$P_2 = 21.983V - 20.338$$

Luego se transforman las unidades de cada valor de presión, de psi a kPa:

$$KPa_1 = PSI_1 * 6.8947573;$$

$$KPa_2 = PSI_2 * 6.8947573;$$

Cada valor de presión tendrá un indicador numérico y un indicador tipo manómetro.

El dato de caudal se introducirá mediante un control numérico, se transforma de unidades el caudal de LPM a m³/s:

$$m^3/s = \frac{LPM}{60000}$$

Seguido se obtiene la velocidad despejando de la ecuación de caudal y con un diámetro interno de 0.02658m, con el control numérico respectivo se digitarán los valores observados de Caudal designado con la letra Q en el programa, antes se declara como variable local al caudal en m³/s:

$$Q = V \times A = V \times \frac{\pi\phi^2}{4} \quad (10)$$

$$V = \frac{4Q}{\pi\phi^2}$$

$$\frac{4}{\pi\phi^2} = \frac{4}{\pi(0.02658\text{m})^2} = 1802.18$$

$$V = 1802.18 \times Q$$

Se ubica un indicador tipo barra además del numérico para visualizar el valor de velocidad del fluido.

El número de Reynolds, que también tendrá un indicar numérico, se encuentra aplicando la ecuación 7 teniendo la viscosidad cinemática del agua a 20° como constante igual a $1.15 \times 10^{-6} \text{m}^2/\text{s}$.

$$Re = V * \frac{0.02658}{1.15 \times 10^{-6}};$$

Se encuentra el coeficiente de pérdida K aplicando las ecuaciones 8 y 9, antes se calcula la diferencia de presiones y se obtiene las pérdidas de energía en el accesorio, estos datos son proporcionados directamente por los transmisores de presión:

$$H_r = \frac{(P_1 - P_2)}{9810}$$

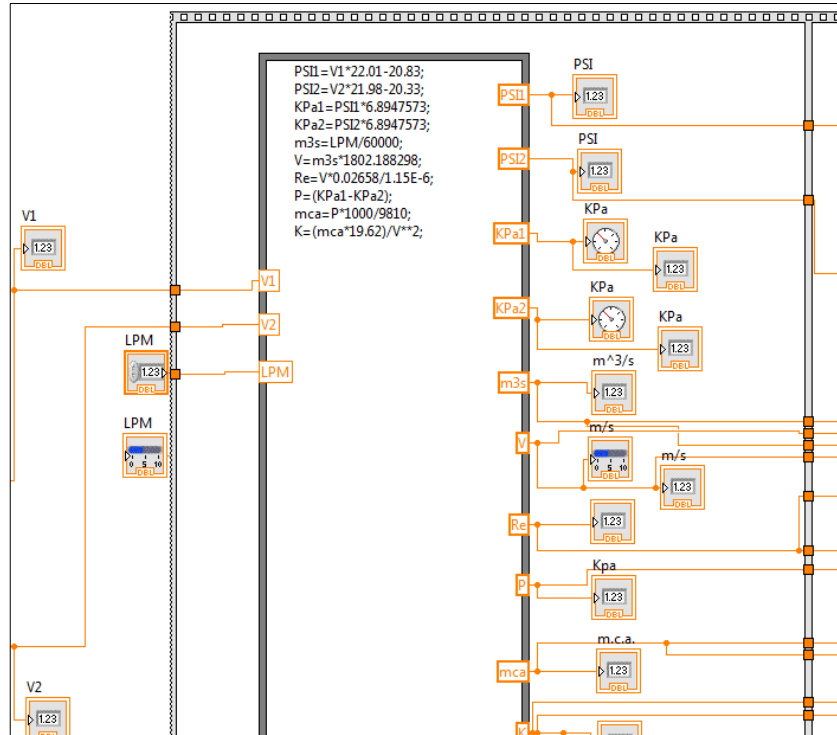
$$K = H_r * \frac{2g}{v^2}$$

Se utilizan las constantes:

$$2g = 2 \times (9.81 \text{ m/s}^2) = 19.92 \text{ m/s}^2$$

$$\gamma = 9800 \text{ N/m}^3$$

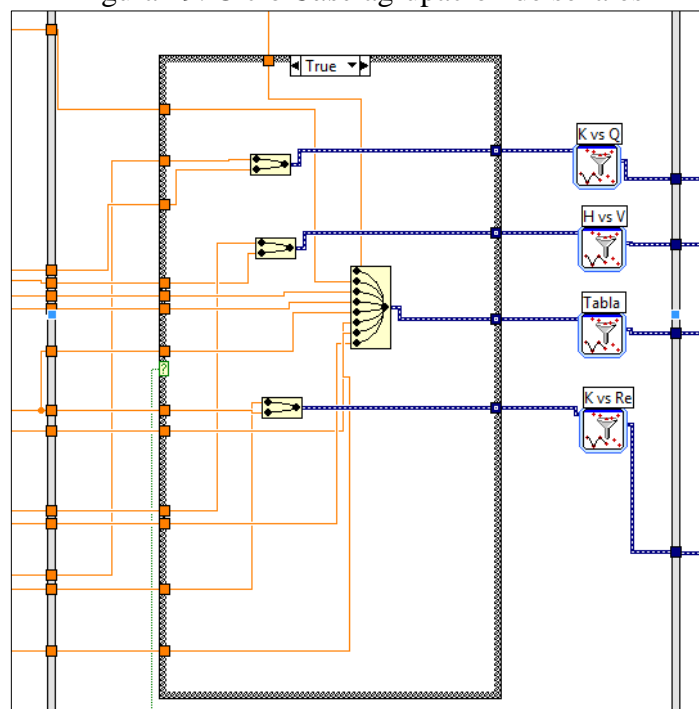
Figura 48. Nido de formulación



Fuente: Autores

Tanto el coeficiente de energía en la válvula se visualizarán directamente con un indicador numérico respectivo. Para la edición de fórmulas se realiza de forma similar a Excel con la diferencia de que por cada ecuación se debe terminar con punto y coma (;).

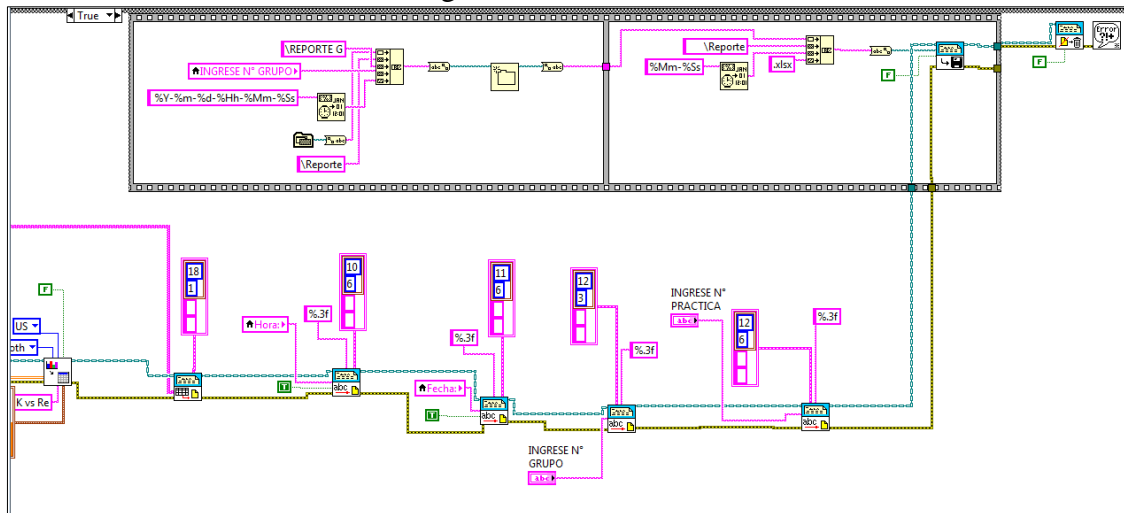
Figura 49. Ciclo Case agrupación de señales



Fuente: Autores

En la siguiente etapa se realiza la generación de datos, por cada gráfica a elaborarse se utiliza la herramienta *merge signal*, para elaborar la tabla se crea un archivo de Excel modelo, luego se crea un archivo nuevo y se vincula al reporte mediante la herramienta *Append Tablet Report* y finalmente se establece el método para guardar los archivos y generar advertencias por errores.

Figura 50. Generación de datos



Fuente: Autores

4.9 Programa Visual Basic

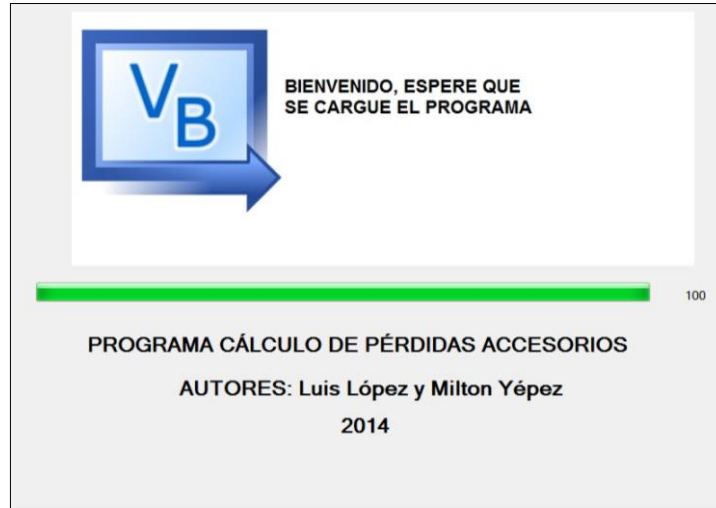
Como complemento del programa de pérdidas en LabView se realizó un programa en Visual Basic que utilizando datos y valores conocidos, nos permite encontrar datos teóricos que servirán de referencia para nuestros datos experimentales.

Primero se realiza un formato (Form1) que servirá de presentación tal como se visualiza en la figura 51.

En el formato principal (Form2) se diseña un programa que contenga los principales datos como valores variables de entrada, estos son:

- Caudal.
- Diámetro interno de la tubería.
- Altura puntos 1 y 2.
- Viscosidad cinemática.
- Peso específico.
- Coeficiente K

Figura 51. Formato de presentación



Fuente: Autores

Todos estos datos pueden cambiar y no fijarse solo en los que están preestablecidos en el banco experimental materia de este trabajo, se procura establecer valores en el sistema internación al (SI) o cuando se requiera transformar los datos y resultados a esas unidades.

Para visualizar los resultados utilizamos la herramienta *TextButton*, similar que para ingresar datos con la diferencia de que se cambia la propiedad a solo visualización También se editan las propiedades de cada control común mediante programación o directamente del panel de propiedades de cada una.

Figura 52. Visualización programa en Visual Basic



Fuente: Autores

Los *buttons* CALCULAR Y SALIR permitirán activar y finalizar respectivamente el programa. Finalmente la pantalla frontal quedará como se observa en la figura 52.

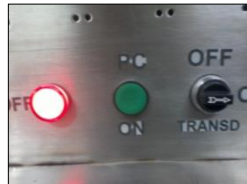
CAPÍTULO V

5. EXPERIMENTACIÓN E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

5.1 Pruebas en tiempo real

Terminadas las adecuaciones y requerimientos para poner en funcionamiento el sistema se procede a encender el computador mediante el pulsador presente en la parte frontal de la estructura:

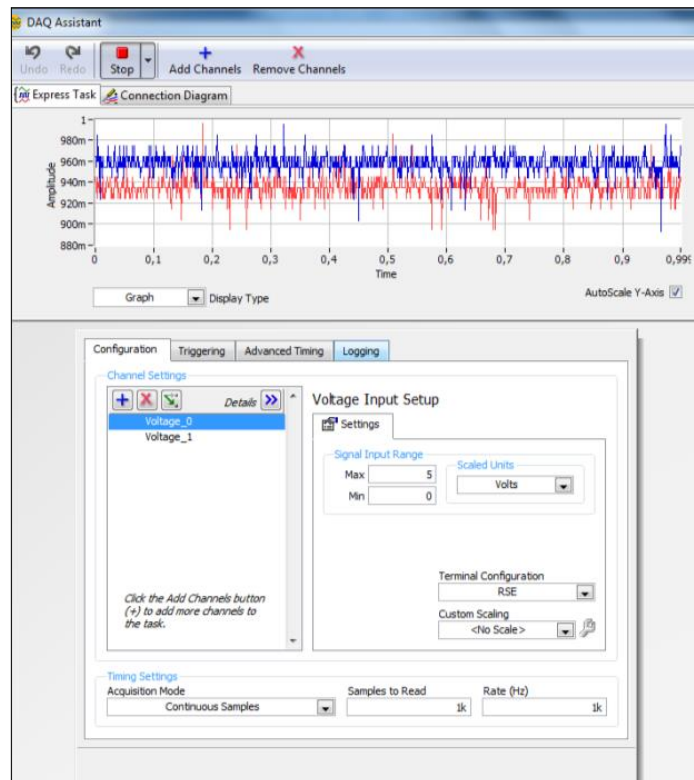
Figura 53. Pulsador de encendido de la PC



Fuente: Autores

A continuación se procede a abrir el programa “Diferencia de presiones” y se verifica el funcionamiento de los sensores.

Figura 54. Verificación funcionamiento sensores antes de la prueba



Fuente: Autores

5.1.1 *Puesta en funcionamiento del banco hidráulico.* Una vez conectado el sistema al banco hidráulico y comprobado el funcionamiento electrónico se procede a poner en funcionamiento la misma que alimentará a presión agua a través de la tubería instalada, previamente hay que asegurarse que la válvula de regulación de caudal del banco hidráulico esté completamente abierta porque a partir de ahí empezarán las mediciones.

Figura 55. Válvula reguladora de caudal del banco hidráulico



Fuente: Autores

5.1.2 *Adquisición de Datos.* Cuando empieza a fluir el líquido a través del sistema lo primero que se hace es verificar el funcionamiento del caudalímetro, hay que recordar que este tiene una escala pre-programada en LPM.

Figura 56. Caudalímetro en funcionamiento



Fuente: Autores

Estos datos se digita en el espacio correspondiente en la interfaz del programa, a continuación observamos los datos de presión del cual se derivan el resto de datos que proporciona el programa.

A partir de estos se realiza la variación de la apertura de la válvula esférica lo que permitirá observar la variación de resultados en una misma apertura de la válvula en estudio, después se variará la apertura de la válvula repitiendo el proceso de variación de caudal y toma de datos, todo esto con el objetivo principal de encontrar la relación entre el coeficiente de pérdida de la válvula vs apertura de la válvula.

5.1.3 Datos experimentales. A continuación se muestran los resultados obtenidos en la experimentación, se tomaron 10 datos para cada apertura de válvula obteniéndose la media y la desviación estándar de las variables:

Tabla 6. Datos experimentales para apertura de 90°

90	P1	P2	Dif. Presiones	Caudal	Velocidad	Núm. Reynolds	Pérdida carga	Coef. K
	kPa	kPa	kPa	m ³ /s	m/s		m.c.a.	
	37,99931	37,95069	0,04863	0,0003	0,4956	11454,86	0,00495	0,39588
Desv. Est.	0,011631	0,010816	0,007566	0	0	0	0,000771	0,061615

Fuente: Autores

Tabla 7. Datos experimentales para apertura de 75°

75	P1	P2	Dif. Presiones	Caudal	Velocidad	Núm. Reynolds	Pérdida carga	Coef. K
	kPa	kPa	kPa	m ³ /s	m/s		m.c.a.	
	38,37801	38,1763	0,20168	0,0003	0,4926	11385,44	0,02055	1,66241
Desv. Est.	0,003826	0,009268	0,007292	0	0	0	0,060004	0,060136

Fuente: Autores

Tabla 8. Datos experimentales para apertura de 60°

60	P1	P2	Dif. Presiones	Caudal	Velocidad	Núm. Reynolds	Pérdida carga	Coef. K
	kPa	kPa	kPa	m ³ /s	m/s		m.c.a.	
	40,19418	39,15578	1,03841	0,0003	0,4956	11454,86	0,10585	8,45531
Desv. Est.	0,003758	0,007710	0,006832	0	0	0	0,000695	0,055666

Fuente: Autores

Tabla 9. Datos experimentales para apertura de 45°

45	P1	P2	Dif. Presiones	Caudal	Velocidad	Núm. Reynolds	Pérdida carga	Coef. K
	kPa	kPa	kPa	m ³ /s	m/s		m.c.a.	
	41,29965	38,64376	2,65588	0,0003	0,4866	11246,59	0,27074	22,43436
Desv. Est.	0,008661	0,011949	0,014471	0	0	0	0,001479	0,122239

Fuente: Autores

Tabla 10. Datos experimentales para apertura de 30°

30	P1	P2	Dif. Presiones	Caudal	Velocidad	Núm. Reynolds	Pérdida carga	Coef. K
	kPa	kPa	kPa	m ³ /s	m/s		m.c.a.	
	49,5369	36,87274	12,66415	0,0003	0,4716	10899,47	1,29095	113,8961
Desv. Est.	0,008157	0,004055	0,005199	0	0	0	0,000527	0,046741

Fuente: Autores

Tabla 11. Datos experimentales para apertura de 15°

15	P1	P 2	Dif. Presiones	Caudal	Velocidad	Núm. Reynolds	Pérdida carga	Coef. K
	kPa	kPa	kPa	m ³ /s	m/s		m.c.a.	
	100,7129	25,39624	75,31672	0,0002	0,3694	8539,08	7,67755	1103,603
Desv. Est.	0,017782	0,004701	0,014869				0,001516	0,217847

Fuente: Autores

El resultado se observará en una tabla como la que se muestra a continuación:

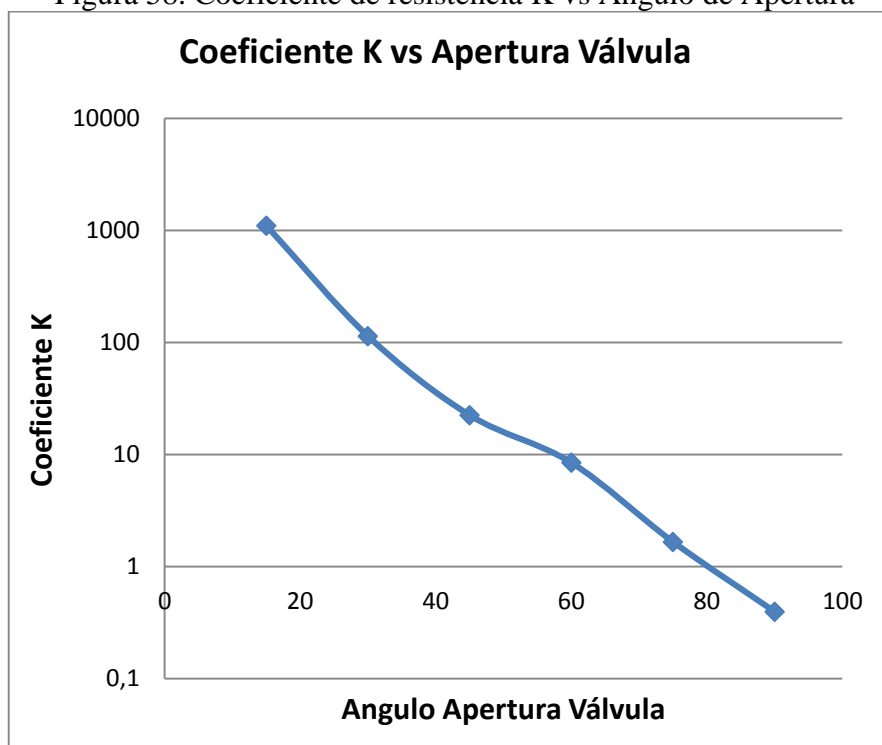
Figura 57. Datos experimentales para válvula esférica

<table border="1"> <tr> <td>Materia:</td> <td>Mecánica de Fluidos</td> <td>Fecha:</td> <td>15:43:10</td> </tr> <tr> <td>Profesor:</td> <td>Ing. Jorge Lema</td> <td>Hora:</td> <td>28/01/2015</td> </tr> <tr> <td>Grupo:</td> <td></td> <td>Práctica N°</td> <td></td> </tr> </table>									Materia:	Mecánica de Fluidos	Fecha:	15:43:10	Profesor:	Ing. Jorge Lema	Hora:	28/01/2015	Grupo:		Práctica N°	
Materia:	Mecánica de Fluidos	Fecha:	15:43:10																	
Profesor:	Ing. Jorge Lema	Hora:	28/01/2015																	
Grupo:		Práctica N°																		
% DE APERTURA	P1	P2	ALTURA DE PRESIÓN	CAUDAL	VELOCIDAD	NÚMERO DE REYNOLDS	ALTURA DE PÉRDIDAS	COEFICIENTE DE PÉRDIDAS												
			ΔP	Q	V	Re	ΔH	K												
	kPa	kPa	kPa	m ³ /seg	m/s		m.c.a													
90	37,99931	37,95069	0,04863	0,0003	0,4956	11454,8655	0,00495	0,39588												
75	38,37801	38,1763	0,20168	0,0003	0,4926	11385,4421	0,02055	1,66241												
60	40,19418	39,15578	1,03841	0,0003	0,4956	11454,8655	0,10585	8,45531												
45	41,29965	38,64376	2,65588	0,0003	0,4866	11246,5953	0,27074	22,43436												
30	49,5369	38,87274	12,66415	0,0003	0,4716	10899,4781	1,29095	113,8961												
15	100,71295	25,4123	75,31672	0,0002	0,3694	8539,0816	7,67755	1103,60399												
0																				

Fuente: Autores

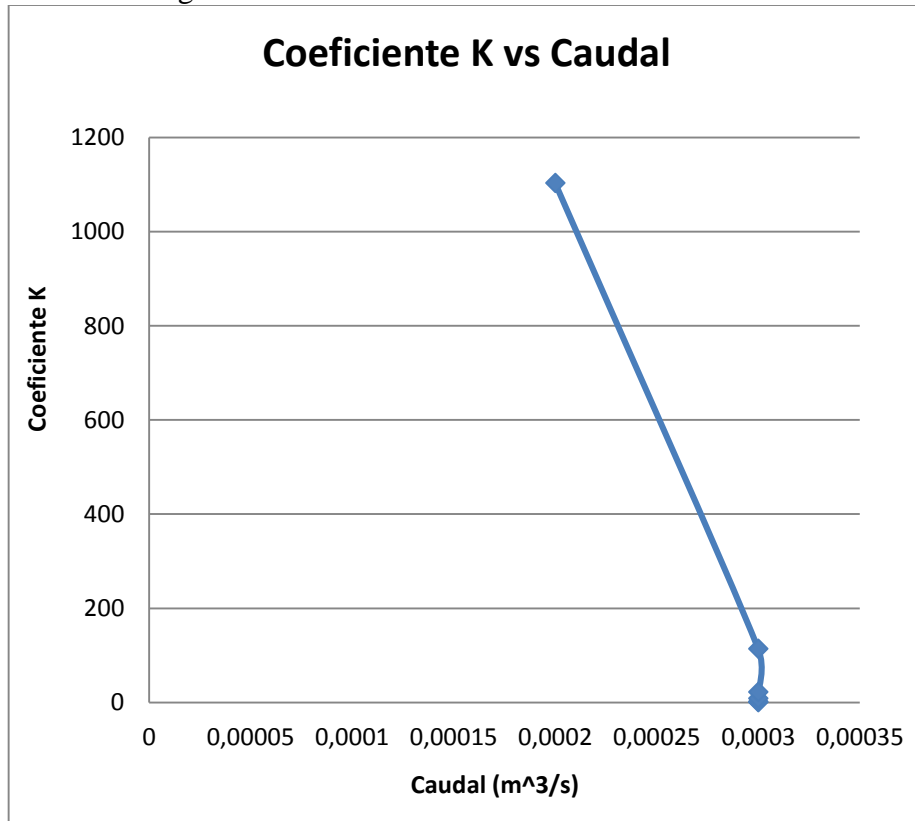
Las gráficas que se obtienen a partir de los datos recopilados son las siguientes:

Figura 58. Coeficiente de resistencia K vs Angulo de Apertura



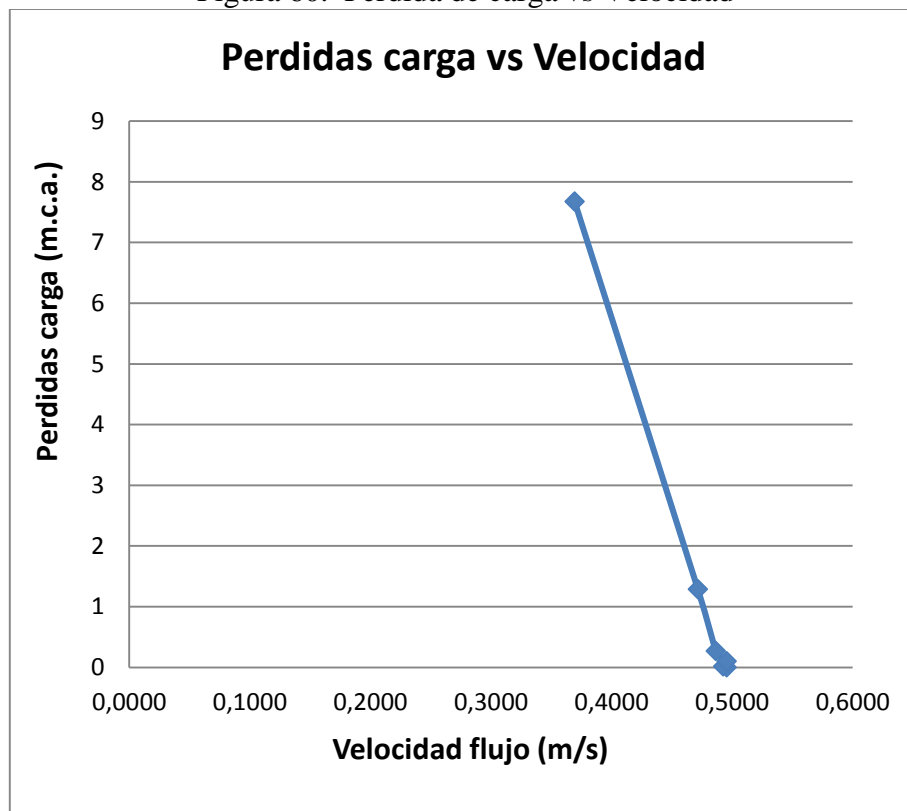
Fuente: Autores

Figura 59. Coeficiente de resistencia K vs Caudal



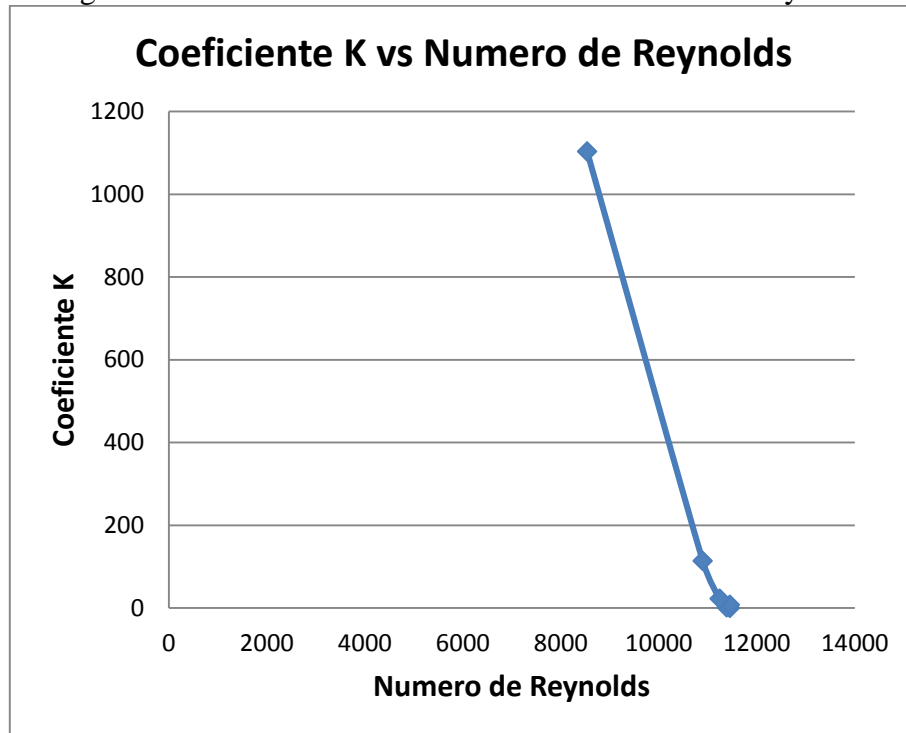
Fuente: Autores

Figura 60. Pérdida de carga vs Velocidad



Fuente: Autores

Figura 61. Coeficiente de resistencia K vs Número de Reynolds.



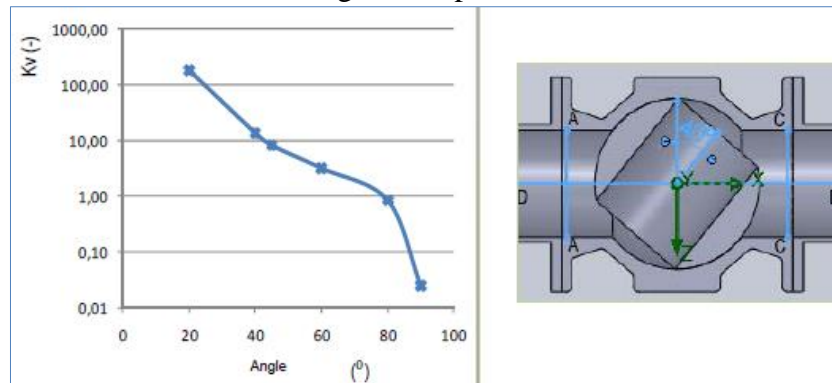
Fuente: Autores

5.1.4 Interpretación de resultados. Los datos nos muestran los siguientes resultados:

La gráfica de coeficiente K vs ángulo de apertura muestra una clara tendencia a un aumento del coeficiente mientras se reduce la apertura de la válvula, en la gráfica uno (Figura 58) revela una forma similar a la de que se puede encontrar en varios estudios sobre válvulas esféricas (figura 8, figura 62) lo cual confirma la tendencia de funcionamiento propia de una válvula esférica, pero al comparar los datos con los de los estándar internacional (figura 10, tabla 1) se encuentran diferencias que nos hace recordar que estos estudios tiene condiciones diferentes que hacen variar los datos al compararlos y nos hace establecer que este estudio aporta una información única referente a la pérdida de carga en válvulas esféricas comerciales de acero de una pulgada de diámetro.

El análisis de la gráfica de Coeficiente K vs Apertura de válvula (figura 58) muestra dos fases definidas, una primera donde el aumento del coeficiente K es lineal proporcional al ángulo de cierre de la válvula pero desde aproximadamente los 45° de apertura, se acelera el aumento del coeficiente K con la consecuente pérdida de presión en el accesorio, esto se debe a un aumento de vórtices al interior de la válvula.

Figura 62. Variación coeficiente de pérdida de válvula esférica de acuerdo al cambio de ángulo de apertura



Fuente: PEREIRA Ana y otros, CFD for hydrodynamic efficiency and design optimization of key elements of SHP, p. 941

La gráfica de Coeficiente K vs Caudal (figuras 59) permite establecer una relación directa entre el aumento del coeficiente K respecto al caudal, con un aumento que se acelera a medida que se reduce más rápido el caudal lo cual es correspondiente al cierre de la válvula. Haciendo una relación con la gráfica del Coeficiente K vs Número de Reynolds (Figura 61) se encuentra que son similares en razón de que el número de Reynolds es una constante que depende directamente de la velocidad de flujo de un fluido. En esta se puede observar de forma más clara la tendencia al aumento del coeficiente de pérdidas a medida que disminuye el caudal.

La gráfica de Pérdida de carga vs Velocidad (figuras 60) muestra una relación lineal la entre la reducción del volumen del fluido respecto a pérdida de energía (m.c.a.), a medida que disminuye la velocidad aumentan las pérdidas.

Se realiza un breve análisis del fenómeno de la cavitación utilizando la ecuación respectiva. (CHERN, y otros, 2004)

$$Cs = \frac{\Delta P}{P_i - P_v}$$

Dónde:

Cs = índice de cavitación

ΔP = diferencia de presiones

P_i = presión entrada

P_v = presión e vapor de agua

Tomando la diferencia de presiones más altas que corresponde al cierre de la válvula a 15° (figura 60) y que la presión de vapor del agua es de 0.3392 PSI a una temperatura de agua a 20° se obtiene el siguiente resultado:

$$Cs = \frac{24.4363}{26.6461 - 0.3392} = 0.928$$

Que deja en claro que no existe presencia de cavitación en el trabajo de la válvula aun tomando en cuenta el momento de mayor probabilidad de que ocurra este fenómeno.

CAPÍTULO VI

6. GUÍA DE OPERACIÓN, MANTENIMIENTO Y GUÍA DE LABORATORIO

6.1 Plan de operación

Para realizar correctamente las prácticas de laboratorio mediante el manejo adecuado del equipo se recomienda seguir los siguientes pasos:

6.1.1 *Antes de la operación*

- Verificar que exista un adecuado suministro de agua para el sistema.
- El sistema de bombeo debe estar completamente cebado.
- Revisar las instalaciones eléctricas para que no existan fallas.
- Comprobar el funcionamiento de la fuente de alimentación de los sensores.
- Tener abierta completamente la válvula de paso del banco hidráulico con el fin de tener el máximo caudal en el sistema.
- Conectar las mangueras de entrada y salida, ajustar correctamente para evitar fugas.
- Posicionar la válvula esférica para que esté en su posición totalmente abierta.

6.1.2 *Puesta en marcha*

- Conectar la alimentación del banco de 220V.
- Encender la PC lo cual activará también la fuente de alimentación de los sensores y la tarjeta DAQ.
- Activar los sensores. Revisar el funcionamiento de los sensores y la tarjeta DAQ.
- Conectar el banco hidráulico.
- Encender la bomba que activa el sistema hidráulico.
- Revisar que no existan fugas.
- Verificar el funcionamiento del caudalímetro.

6.1.3 *Durante la operación*

- Activar el programa de “Pérdidas Válvula esférica”.
- Realizar la adquisición de datos y generar el reporte.

- Comprobar resultados con el programa de Visual Basic “Cálculo de pérdidas”.
- Evitar cerrar completamente la válvula esférica para que no se sobrecaliente el motor y se genere excesiva presión en el sistema.
- Terminado el laboratorio guardar archivos y cerrar los programas.

6.1.4 *Después de la operación*

- Dejar completamente abierta la válvula esférica.
- Apagar la bomba del banco hidráulico.
- Desconectar la alimentación del banco hidráulico.
- Apagar la PC. Desconectar el banco de pruebas.
- Desconectar las mangueras y colocarlas en el desagüe para evacuar el agua acumulada en el sistema.

Para una información más detallada junto a los datos técnicos del banco, partes principales del banco, guía de procesos y procedimiento refiérase al Anexo H.

6.2 Plan de Mantenimiento

Para garantizar el funcionamiento del banco de manera segura y eficiente se debe seguir las recomendaciones planteadas en el Manual de Procedimientos y Plan de Mantenimiento del Laboratorio de Mecánica de Fluidos (VALDIVIEZO, 2014), las hojas de registro de este banco se pueden observar en el anexo I.

6.2.1 *Plan de seguridad.*

Precauciones

- Antes de conectar los bancos al suministro eléctrico, verificar que sea el voltaje correspondiente.
- Desconectar los bancos antes de los trabajos de mantenimiento.
- Los estudiantes deben manejar el banco con la presencia del jefe de laboratorio o el encargado.
- Cebiar la bomba periódicamente en especial después de un largo tiempo de inactividad.
- No dejar caer líquidos al interior de partes eléctricas.

- En partes pintadas, de acrílico o PVC no usar solventes fuertes para realizar limpieza.
- Revisar las conexiones hidráulicas para evitar fugas que dañen los elementos electrónicos y de control.

Cuidados

- Secar todas las partes sometidas a humedad para evitar deterioro.
- Evacuar mensualmente el agua del reservorio y cambiarla para evitar deterioro del equipo.
- Eliminar el agua en las mangueras previa y posteriormente a la realización de los laboratorios.
- Antes de encender la bomba revisar que el nivel del agua del tanque reservorio este por encima de la tubería de succión.
- No tocar los instrumentos y sus conexiones, en caso de emergencia llamar al encargado del laboratorio.

6.3 Guía de laboratorio.

La guía de laboratorio mantiene el formato utilizado en el Laboratorio de Mecánica de Fluidos.

Observar el anexo I para ver la guía completa.

CAPÍTULO VII

7. ANÁLISIS DE COSTOS

En el presente proyecto de tesis se realiza el análisis de costos únicamente directos como indirectos, debido a que el banco de pruebas permanecerá en el laboratorio de mecánica de fluidos para uso exclusivo de los compañeros estudiantes de la facultad de mecánica.

7.1 Costos directos.

A continuación se realiza la tabla de la lista de materiales y accesorios utilizados para la construcción del banco de pruebas.

Tabla 12. Costo de materiales y accesorios

Elemento	Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario (USD)	Costo USD)
Sensores	Sensor de presión Kobold SEN-86	Unidad	2	271,70	543,40
Collarín	Collarín deriv. 3mmX1/2in	Unidad	7	1.98	13.27
Tubería	Tubería hidrinox Φ 1in	Metro	4.20m	6.37	26.75
Codos	Codos normales hidrinox Φ 1in	Unidad	2	3.13	6.26
Unión	Uniones dobles Φ 1in	Unidad	4	6.50	26.00
Unión	Unión corta Φ 1in	Unidad	1	2.00	2.00
Te	Te reducción Φ 1in - Φ 1/2in	Unidad	2	7.37	14.74
Codo	Codo normal hembra Φ 1in	Unidad	2	6.17	12.34
Tubería	Tubería PVC Φ 1in	Metro	1	3.57	3.57
Uniones	Uniones de reducción	Unidad	2	1.61	3.22
Abrazaderas	Abrazaderas de acero	Unidad	2	0.27	0.54
Adaptadores	Adaptadores de manguera	Unidad	2	0.32	0.64
Manguera	Manguera de plástico flexible	metro	6	0.72	4.32
Perno	Perno galvanizado exa. 1/4X3	Unidad	14	0.091	1.27
Tuerca	Galvanizada ¼	Unidad	14	0.045	0.63

Arandela	Galvanizada ¼	Unidad	28	0.036	1.01
Regleta	Multicontacto vikingo	Unidad	1	4.46	4.46
Cent. de carga	SQD trifásico 6P	Unidad	1	51.00	51.00
Breaker	Enchufable 3P 32ª SQD	Unidad	2	27.41	54.82
Cable	Conductor de cobre concéntrico 4X10 cablec.	metro	8	3.56	28.44
Filtro	Válvula de pie NPT 1in	Unidad	1	5.50	5.50
Fuente	Fuente de CA de voltaje regulable	Unidad	1	45.00	45.00
TOTAL				849,18 USD	

Fuente: Autores

Tabla 13. Costo directo por maquinaria y equipos

Maquina/Herramientas	Costo/Hora	Horas/Equipo	Costo (USD)
Prensa de tubería	10	3	30
Bomba manual para prueba hidrostática	5	1	5
Taladro	10	2	20
TOTAL			55

Fuente: Autores

Tabla 14. Costo directo por mano de obra

Trabajador	Salario/Hora	Horas/Hombre	Costo (USD)
Plomero 1	2,82	6	16,92
Plomero 2	2,82	6	16,92
Plomero 3	2,82	6	16,92
TOTAL			50,76

Fuente: <http://www.contraloria.gob.ec/documentos/SALARIOS>

Tabla 15. Valor total de costo directo

Costo por:	Valor (USD)
Material y accesorios	849,18
Maquinaria y herramientas	55
Mano de obra	50,76
Transporte	50
TOTAL	1004,94

Fuente: Autores

7.2 Costos indirectos.

Para los costos indirectos se estimará un 20% de los gastos directos, la misma que se detallan a continuación.

Tabla 16. Total costo indirecto

Denominación	%	Valor (USD)
Imprevistos costo directos	8	80,40
Montaje equipos	6	60,30
Construcciones provisionales	6	60,30
TOTAL		201

Fuente: Autores

7.3 Costo total.

Es la suma total de los costos directos e indirectos.

Tabla 17. Costo total

Denominación	Total (USD)
Costo directo	1004,94
Costo indirecto	201
Costo total	1205,94

Fuente: Autores

Como resultado total de costos es de 1206 dólares americanos aproximadamente financiados en su totalidad por los autores del proyecto, cantidad que se lo estimó en el plan de tesis.

CAPÍTULO VIII

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1 Conclusiones

Este estudio sobre las pérdidas de carga de una válvula esférica fue determinado por varias aperturas de dicha válvula a caudales de entrada constantes, obteniéndose los siguientes resultados:

Con el incremento de la apertura de la válvula ocurre un decremento del coeficiente de resistencia K .

El coeficiente de pérdida K se incrementa a medida que disminuye el caudal con un aumento más acelerado a partir de un ángulo de apertura de 45° .

Las pérdidas de carga son proporcionales a la velocidad de flujo del líquido.

Analizando los datos obtenidos en diversos estudios sobre el mismo tema se encontró una notable similitud entre la forma de los gráficos de esos estudios con los de este estudio demostrando la existencia de un comportamiento común que indica una clara tendencia al aumento del coeficiente de pérdidas K y por ende de la pérdidas de carga por el accesorio a medida que se cierra la válvula.

Una comparación con los pocos datos estándar internacionales que existen sobre los coeficientes de pérdida de carga K de válvulas esféricas muestra una relación proporcional con los obtenidos en este estudio.

No existe presencia del fenómeno de cavitación debido a las bajas presiones de trabajo y la dimensión relativamente pequeña de la válvula.

Las condiciones en las que se realizó este trabajo (posición vertical, conexión por banco hidráulico) y el tipo de elemento utilizado (válvula esférica comercial de acero inoxidable) deben ser tomadas en cuenta para entender la diferencia entre los datos obtenidos con los teóricos que tienden a ser siempre mayores a los valores estándar internacionales.

Al programar con LabView se pudo comprobar que el software es amigable con el usuario, permite obtener datos en tiempo real, también realizar laboratorios virtuales para la operación remota mediante un HMI y además que está estandarizado en la escuela de ingeniería mecánica.

La programación en Visual Basic se ha logrado comprobar los datos teóricos con lo práctico mediante las ecuaciones de la mecánica de fluidos.

8.2 Recomendaciones

Calibrar los sensores antes de conectarlos al sistema, es de suma importancia establecer la ecuación de funcionamiento real de los instrumentos porque esto permitirá una toma de datos más fiable y exacta.

Realizar mantenimiento externo e interno del caudalímetro periódicamente, siempre después de cada práctica. Es necesario verificar su funcionamiento independientemente del programa en LabView antes de cada práctica.

Evacuar todo el líquido del sistema antes de cada práctica. Cambiar el agua del tanque reservorio cada mes. Utilizar una válvula de pie que evite la circulación de impurezas y desperdicios.

Evitar el trabajar con la válvula esférica completamente cerrada a fin de evitar que la bomba trabaje en vacío.

En cuanto a la programación es importante señalar que se debe utilizar la herramienta *Filter* con el objeto de estabilizar la señal para evitar mayor variación de los datos adquiridos.

En ocasiones los archivos de la práctica que se guardan en Excel tienden a cerrarse automáticamente debido a un problema de configuración, para evitar esta molestia es necesario guardar cada nuevo archivo apenas este se genere.

Realizar estudios que expliquen el fenómeno físico de las pérdidas de presión en la válvula esférica aprovechando la implementación de este laboratorio. De ser posible también se podría cambiar de accesorio para poder realizar estudios sobre ello.

BIBLIOGRAFÍA

GUAMANÍ, DAVID. Evaluación y rediseño de un equipo generador de vórtice para el laboratorio de mecánica de fluidos, y adquisición de datos en tiempo real, Riobamba : ESPOCH, 2013.

CHERN, Ming-Jyh y WANG, Chih-Cheng. 2004. Smetana. [En línea] Mayo de 2004. [Citado el: 18 de Diciembre de 2014.] <http://smetana.me.ntust.edu.tw/mjchernpaper/jfe1.pdf>.

HAQUE, Farhadul, y otros. 2010. [En línea] Department of Mechanical Engineering, Bangladesh University of Engineering and Technology, 01 de Enero de 2010. [Citado el: 6 de Noviembre de 2014.] <http://bsmeicte2012.iutoic-dhaka.edu/proceedings/13th-acfm-2010/contributed/flowcontrolmeasurement/812.pdf>.

IULIAN, Florescu, Daniela, Florescu y Dragos, Nedelcu. 2013. www.researchgate.net. www.scientific.net. [En línea] 15 de Julio de 2013. [Citado el: 18 de Diciembre de 2014.] http://www.researchgate.net/publication/260393118_Hydrodynamic_studies_on_spherical_valve.

Microsoft. 2012. msdn.microsoft.com. [En línea] 1 de Enero de 2012. [Citado el: 22 de Junio de 2014.] <http://msdn.microsoft.com/es-es/library/s2dy91zy.aspx>.

MOTT, Robert. 2006. *Mecánica de Fluidos*. Mexico : Pearson Education, 2006.

PEREIRA, Ana y Ramos, Helena. 2010. www.IJEE.IEEFoundation.org. [En línea] Journal homepage:, 06 de Enero de 2010. [Citado el: 18 de Diciembre de 2014.] http://www.ijee.ieefoundation.org/vol1/issue6/IJEE_02_v1n6.pdf.

RAMIREZ. 2012. <http://webdelprofesor.ula.ve>. [En línea] 1 de Enero de 2012. [Citado el: 18 de Diciembre de 2014.] http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/cramirez/documentos/MF_Tema_6_Flujos_interiores.pdf.

VALDIVIEZO, Miguel. 2014. *Diseño e implementación de un manual de Operación y mantenimiento para los Laboratorios de Turbomaquinaria, Mecánica de Fluidos, Control automático e Instrumentación de la Facultad de Mecánica*. Riobamba : ESPOCH, 2014.

