



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**

**FACULTAD DE INGENIERIA EN SISTEMAS**

---

**CONSTRUCCION DE UN BANCO HIDRÁULICO PARA  
PÉRDIDAS LOCALIZADAS E IMPLEMENTACIÓN DE SU  
SISTEMA AUTOMATIZADO DE MEDICIÓN**

---

**AUTORES:** - Chaquina Cortés Roberto Fabricio

- Núñez Escobar Tarquino Adriano

**DIRECTOR:** Ing. Mauricio Carrillo

**ASESOR:** Ing. Edwin Morales

Tesis de grado, previa a la Obtención del título de Ingenieros Industriales

en Procesos de Automatización

Ambato – Ecuador

Emero / 2005

## **AGRADECIMIENTO**

GRATITUD. PALABRA PRONUNCIADA CON PROFUNDO SENTIMIENTO, LO DIRIGIMOS A LA UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO, AUTORIDADES Y PROFESORES DE LA FACULTAD DE INGENIERIA EN SISTEMAS CARRERA DE INGENIERIA INDUSTRIAL POR LA VALIOSA MISION DE EDUCAR.

AL ING. MAURICIO CARRILLO DIRECTOR DE LA TESIS, QUIEN NOS BRINDO SU APOYO PERMANENTE E INCONDICIONAL EN LA ELABORACION DEL PRESENTE TRABAJO DE IGUAL MANERA AL ING. EDWIN MORALES ASESOR POR SU CONTRIBUCION EN ESTE PROYECTO

AGRADECEMOS A TODAS Y CADA UNA DE LAS PERSONAS QUE GENEROSAMENTE AYUDARON DE UNA U OTRA MANERA PARA QUE ESTE PROYECTO CULMINE

## **DEDICATORIA**

Dedico mis esfuerzos a Dios por ser la luz de mi existencia, a mi hijo que es motivo de mi vida, a mis padres que supieron darme todo lo necesario y apoyarme en los momentos mas difíciles de mi vida para poder ser un hombre de bien.

Roberto Chaquinga

Al Eterno, creador de todo por permitirme vivir cada día en pos de edificarme como ser humano, a mis padres María y Holguer por su apoyo incondicional durante toda mi vida estudiantil, mi hermana Margoth, Karla Holguer por permitirme robar parte valioso de su tiempo.

Adriano Núñez.

## **DECLARACION, AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD**

Nosotros Roberto Fabricio Chaquina Cortés con C.I. 180327432-1 y Tarquino Adriano Núñez Escobar con C.I. 180323680-9:

Declaramos que la investigación desarrollada en la construcción y elaboración de la tesis es completamente original, autentica y personal. En tal virtud; declaramos que el contenido; efectos legales y académicos que se desprenden del trabajo de tesis son y serán de nuestra sola y exclusiva responsabilidad legal y académica

---

Roberto Chaquina

---

Adriano Núñez

# CONTENIDO

	<b>Página.</b>
<b>CAPITULO I</b>	
1. GENERALIDADES	1
1.1. Planteamiento del Problema	1
1.2. Justificación	2
1.3. Objetivos	3
<b>CAPITULO II</b>	
2. Mecánica de Fluidos, Pérdidas Localizadas	
2.1. Objeto de la Mecánica de Fluidos	5
2.2. Fluidos	5
2.3. Regímenes de Corrientes	6
2.4. Ecuaciones y Conceptos Básicos	8
2.5. Alturas Piezométricas, Alturas Totales y Alturas Geométricas	12
2.6. Efecto Venturi	14
2.7. Pérdidas Locales	15
2.7.1. El coeficiente Adimensional de Pérdidas	15
2.7.2. Pérdidas por Ampliación (Agrandamiento)	18
2.7.3. Pérdidas por Reducción (Contracción)	20
2.7.4. Pérdidas por cambio de dirección	22
2.7.5. Pérdidas producidas por codos	23
2.7.6. Pérdidas producidas por Bifurcación ( Tes )	25
2.7.7. Pérdidas producidas por Válvulas	26
2.7.7.1. Válvulas de Compuerta	27
2.7.7.2. Válvulas Esféricas	28
2.7.7.3. Válvulas de Mariposa	29
2.7.7.4. Válvula Check o de Retención	30
2.7.8. Coeficiente Total de Pérdidas	31
2.7.8.1. Primer Método	31
2.7.8.2. Segundo Método	33

## CAPITULO III

3. Adquisición de Datos	34
3.1. Introducción	34
3.2. Sensores	35
3.2.1. Clasificación de Sensores	35
3.2.1.1. Por la necesidad de energía externa	35
3.2.1.2. Por la magnitud medida	36
3.2.2. Sensores de Presión	38
3.2.3. Caracterización de sensores	39
3.3. Acondicionamiento de Señal	40
3.3.1. Amplificación	41
3.3.2. Filtrado	41
3.3.3. Aislamiento	41
3.3.4. Multiplexado	43
3.3.5. Linearización	43
3.3.6. Excitación	44
3.4. Conversor Analógico/Digital	44
3.4.1. Tipos de ADC	44
3.4.2. Parámetros	45
3.4.3. La función de Transferencia Ideal	47
3.4.4. Errores en los Convertidores A/D	49
3.4.5. Comunicación – Transmisión	53
3.4.6. Introducción	53
3.4.7. FieldPoint Comunicación Serial	53
3.4.8. Vocabulario de Características Técnicas	54

## **CAPITULO IV**

4. Construcción	
4.1. Descripción	57
4.2. Accesorios	57
4.3. Bomba Hidráulica	59
4.4. Especificaciones del Banco Hidráulico	60
4.5. Esquema del Banco	61

## **CAPITULO V**

5. Programación	
5.1. Descripción del Sistema	62
5.2. Panel Frontal	62
5.3. Diagrama de Bloques	64
5.4. Descripción de los Sub VI'S utilizados	67
5.4.1. Botones_String_Selecc2.Vi	67
5.4.2. Keyboard_mode.vi	68
5.4.3. Lectura_Presión.vi	69
5.4.4. Lectura_Voltaje.vi	70
5.4.5. Report.vi	71
5.5. Glosario de Funciones	74

## **CAPITULO VI**

6. Pruebas de Funcionamiento	
6.1. Desarrollo de las Prácticas	93
6.2. Reporte Bifurcación T	95
6.3. Reporte Ampliación	98
6.4. Reporte Codo 90	101

## **CAPITULO VII**

7.1. Conclusiones	104
7.2. Recomendaciones	106

BIBLIOGRAFIA	109
--------------	-----

### **INDICE DE ANEXOS**

ANEXO 1: TERMINOLOGIA

ANEXO 2: GUIA DE PRACTICAS

ANEXO 3: CARACTERISTICAS TECNICAS DEL SENSOR



## LISTADO DE TABLAS

<b>Tablas</b>	<b>Página</b>
Tabla #1: Valores representativos del coeficiente K para tubos Circulares	21
Tabla #2: Coeficientes de pérdida para bifurcaciones en tuberías	26
Tabla #3: Coeficientes de pérdida para válvulas de Compuerta	27
Tabla #4: Coeficientes de pérdida para válvulas Esféricas	28
Tabla #5: Coeficientes de pérdida para válvulas Mariposa	29
Tabla #6: Coeficientes de pérdidas para válvulas de Retención	30

## LISTADO DE FIGURAS

<b>Figuras</b>	<b>Página</b>
Figura 2.1 Régimen laminar y régimen turbulento	7
Figura 2.2 Ecuación de la Continuidad	9
Figura 2.3 Referencia de Cotas	11
Figura 2.4 Secciones en la ecuación de Energía	11
Figura 2.5 Tubo Venturi	14
Figura 2.6 Agrandamiento súbito en adaptaciones	18
Figura 2.7 Coeficiente de Perdidas para ampliaciones	19
Figura 2.8 Contracción súbita en adaptaciones	20
Figura 2.9 Coeficientes $C_c$ para curvas de diámetro constante y $Re > 2.2 \times 10^5$ , en tubos rugosos	22
Figura 2.10 Perfiles aerodinámicos en codos	23
Figura 2.11 Coeficiente de perdidas para codos	24
Figura 2.12 Válvula de Compuerta	27
Figura 2.13 Válvula Esférica	28
Figura 2.14 Válvula de mariposa	29
Figura 3.1 Estructura de un sistema de adquisición de datos	34
Figura 3.2 Aislamiento óptico	42
Figura 3.3 Capacitor	43
Figura 3.4 Función de transferencia ideal	47
Figura 3.5 Función transferencia (ADC)	48
Figura 3.6 Señal sinusoidal orden 0, orden 1	51

Figura 3.7 Aliasing en una señal	52
Figura 5.1 Panel Frontal	63
Figura 5.2 Diagrama de bloques_Frame 0(0..1)	65
Figura 5.3 Diagrama de bloques_frame 1(0..1)	65
Figura 5.4 Diagrama de bloques estructura case	66
Figura 5.5 Case False	66
Figura 5.6 Panel frontal sub_vi transforma datos booleanos a string	67
Figura 5.7 Diagrama de bloques botones string	67
Figura 5.8 Panel frontal selección del accesorio	68
Figura 5.9 Diagrama de bloques keyboard_mode.vi	68
Figura 5.10 Panel frontal sub_vi que visualiza la señal De presión obtenida	69
Figura 5.11 Diagrama de bloques lectura presión	69
Figura 5.12 Panel frontal sub_vi visualiza la señal enviada por El sensor de caudal	70
Figura 5.13 Diagrama de bloques, lectura voltaje	70
Figura 5.14 Panel frontal.sub_vi reporte	72
Figura 5.15 Diagrama de bloques, sub_vi. Reporte	73

# **CAPITULO I**

## **1. GENERALIDADES**

### **1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El avance tecnológico a Nivel Mundial ha hecho posible el diseño, creación e implementación de diferentes métodos de monitoreo, medición y hasta cierto punto el control, de todo tipo de fenómeno físico factible de cuantificación, entre los que se puede anotar, temperatura, nivel, vibración, flujo, humedad, presión, etc.

Universidades en el Ecuador, y más concretamente la Universidad Técnica de Ambato; ha procurado no quedarse afuera de este avance en tecnología, es así que se ha incursionado en el campo de la automatización de procesos, con el fin de optimizar recursos económicos, humanos y materiales, mediante el uso de dispositivos tales como FieldPoints, Tarjetas DAQ, PLC'S, contactores, interruptores, sensores y demás elementos eléctricos y electrónicos creados para dicho efecto.

La carrera de Ingeniería Industrial en procesos de Automatización, ha hecho grandes esfuerzos para la adquisición de laboratorios acordes con la tecnología actual, laboratorios CAD/CAM, Autómatas programables (PLC'S) , Instrumentación Industrial, software capaz de manejar datos en tiempo real. Sin embargo, la carencia de laboratorios destinados para el estudio de materias tales como: Mecánica de Fluidos, Hidráulica,

Termodinámica, Materiales y otras, imposibilitan una completa comprensión de los conocimientos, dejando toda la parte teórica sin su experimentación práctica. Este déficit de experiencias en los futuros profesionales, ocasiona la falta de respuesta a las necesidades de desarrollo del sector productivo a nivel provincial y nacional.

El sector productivo requiere de profesionales capaces de manejar la actual tecnología, una buena capacitación se realiza mediante la experimentación, el contacto físico con cada uno de los elementos que intervienen en un determinado proceso, además de la creación de aplicaciones prácticas, crea en el futuro profesional la confianza y seguridad para afrontar los retos futuros.

Para llenar esta falta de laboratorios, la facultad ha desarrollado convenios con distintas instituciones, las misma que han facilitado sus instalaciones para la realización de prácticas, además la participación de profesores y alumnos ha hecho posible el contar con un tablero para realizar experiencias en el campo de la mecánica de fluidos, pero esto no es suficiente, ya que los dispositivos electrónicos recientemente adquiridos FieldPoints, pueden ser aplicados a la medición de presiones en un banco hidráulico.

## **1.2. JUSTIFICACIÓN**

La falta de laboratorios en donde los estudiantes puedan experimentar, hace necesario entre otras cosas, la construcción de un banco hidráulico, y la implementación de su sistema automático para medición de presiones, mediante el uso de sensores, dispositivos de acondicionamiento de señal, FieldPoints y el software que será programado bajo el

entorno de LabVIEW, y de esta manera poder observar el fenómeno físico, realizar cálculos y generar un informe impreso de cada una de las pérdidas producidas en los diferentes tipos de accesorios con mucha mayor precisión y rapidez.

Los FieldPoints serán utilizados eventualmente, ya que el sistema de medición automático es independiente del banco hidráulico, pudiendo usarse el software en otras aplicaciones industriales, como por ejemplo determinar la caída de presión en tuberías.

Para solucionar el problema propuesto se hace necesario configurar un sistema confiable de adquisición de datos con la ayuda de Field Points y desarrollar una aplicación basada en LabVIEW que permita capturar los datos de las señales de presión.

Estas experiencias son una muestra de lo que se puede hacer en LabVIEW para aportar innovación tecnológica en el desarrollo industrial, ya que la creación del sistema que permite la automatización de la medición de presiones, puede ser utilizado en variados procesos, en los que se haga necesario la cuantificación de la presión, reemplazando de esta manera dispositivos mecánicos.

Además la realización de este trabajo permitirá unir la teoría y la práctica para producir un proyecto que no solamente sea el desarrollo de un trabajo final previo a la obtención de un título, sino también beneficiará a futuras promociones, a la facultad y por ende a la comunidad.

### **1.3. OBJETIVOS**

#### **1.3.1. Objetivo General:**

Construir un banco hidráulico e implementar su sistema automático de medición, para cuantificar las pérdidas en accesorios (localizadas), mediante el uso de sensores, fieldPoints y el software programado bajo entorno LabVIEW.

#### **1.3.2. Objetivos Específicos:**

- Investigar y determinar las pérdida de carga asociadas al flujo a través de diversos acoplamientos y accesorios de tubo estándar
- Estudiar el comportamiento de las señales analógicas, y las formas de cambiar dichas señales en digitales.
- Investigar acerca de los dispositivos electrónicos FieldPoints, para realizar el acondicionamiento de la señal.
- Comprobar la ventaja del uso de sensores para, la medición de la presión del agua en las tuberías.
- Mejorar la comprensión de los principios hidráulicos que intervienen a través del uso del software de computadora.

- Dotar a la FIS de un banco hidráulico que permite la medición automática, con sus correspondientes experimentos de comparación y calibración.



## **CAPITULO II**

### **2. MECÁNICA DE FLUIDOS, PÉRDIDAS LOCALIZADAS**

#### **2.1. OBJETO DE LA MECANICA DE FLUIDOS**

La mecánica de Fluidos es la parte de la mecánica que estudia las leyes del comportamiento de los fluidos en equilibrio (hidrostática), y en movimiento, (hidrodinámica). Los fluidos desempeñan un interés excepcional en la técnica, y en primer lugar el agua y el aire: sin el estudio del primero no se puede dar un paso en la oceanografía, ingeniería naval, conducciones hidráulicas, estructuras hidráulicas, estaciones de bombeo, etc.; sin el estudio del segundo es imposible la aeronáutica, meteorología, refrigeración, control y transmisión neumática, etc. Otros fluidos importantes son el vapor de agua (centrales térmicas), los combustibles (motores térmicos), los lubricantes (rendimiento mecánico de las máquinas ), los refrigerantes fluidos (esfuerzos térmicos en las máquinas) etc.

#### **2.2. FLUIDOS**

Fluido es toda aquella sustancia que, debido a su poca cohesión intermolecular, carece de forma propia y adopta la forma del recipiente que lo contiene. Los fluidos se clasifican en líquidos y gases. Los líquidos a una temperatura y presión determinadas ocupan un volumen determinado. Si sobre el líquido reina una presión uniforme, por ejemplo, la

atmosférica, el líquido adopta una superficie libre plana, como la superficie de un lago o la de un cubo de agua. El estudio del movimiento de un fluido en el interior de un contorno (tubería, canal) o alrededor de un contorno (barco, ala de avión) es:

- Interesante en la técnica: proyecto de oleoductos, redes de distribución de agua, canalizaciones de aire acondicionado, flujo del agua y el vapor en una central térmica.
- Es altamente complicado: en efecto, el movimiento de un sólido rígido, por muy complicado que sea se descompone en el movimiento de traslación del centro de gravedad y en un movimiento de rotación del sólido alrededor del centro de gravedad: solo tres coordenadas en función del tiempo, más las tres componentes del vector velocidad angular en función del tiempo también, definen exactamente el movimiento de un sólido. El movimiento general de un fluido, por ejemplo el agua en un río de lecho rocoso es infinitamente más complicado por el desplazamiento de una partículas de agua con relación a otras <sup>1</sup>.

### **2.3. REGIMENES DE CORRIENTE:**

Conviene distinguir los siguientes regímenes de corriente:

#### **2.3.1. *Corriente permanente y corriente variable***

Permanente si en cualquier punto del espacio por donde circula el fluido no varían con el tiempo las características de éste (aunque varíen de un punto a otro ) en particular su velocidad y presión.

---

<sup>1</sup> Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas, MATAIX, páginas 98 - 100

Ejem: corriente de agua en un canal de hormigón de pendiente uniforme. Variable si sucede lo contrario. Ejemplo: Vaciado de un depósito por un orificio de fondo, la velocidad  $V$  de salida por el orificio disminuye a medida que disminuye  $H$  al irse vaciando el depósito.

### 2.3.2. Corriente Uniforme y no uniforme

*Uniforme* si en cualquier sección transversal a la corriente la velocidad en puntos homólogos es igual en magnitud y dirección. Ejemplo: flujo de un fluido viscoso, por ejemplo aceite de engrase, en un tubo de diámetro constante.

*No Uniforme* en caso contrario. Ejemplo: en el cono divergente a la salida de una bomba, la velocidad disminuye a medida que la sección aumenta (cono difusor). Es claro que tanto el régimen uniforme como el no uniforme puede ser permanente o variable; ejemplo: si el caudal de aceite en el ejemplo primero o el caudal de agua en el segundo no varía, el régimen será permanente; pero si varía, el régimen será variable.

### 2.3.3. Corriente Laminar y Turbulenta.

Laminar si es perfectamente ordenada de manera que el fluido se mueve en láminas paralelas (si la corriente tiene lugar en dos planos paralelos) o en capas coaxiales como la glicerina en un tubo.

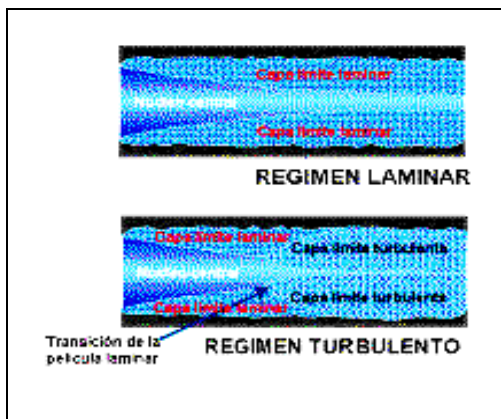


Fig.2.1.- Régimen Laminar y régimen turbulento

Turbulenta, en caso contrario, como el agua en un canal de gran pendiente. El que se dé uno u otro régimen depende de la viscosidad (número de Reynolds)

## **2.4. ECUACIONES Y CONCEPTOS BÁSICOS**

A continuación se hace una reseña de ecuaciones y de los conceptos básicos que se deben tener en cuenta en el cálculo y diseño de las redes de abastecimiento. Estas ecuaciones y conceptos son los siguientes:

- Ecuación de la continuidad.
- Ecuación de la energía
- Alturas piezométricas, totales y geométricas.

### **2.4.1. ECUACIÓN DE LA CONTINUIDAD**

Si en una conducción determinada de una red de abastecimiento se consideran dos secciones rectas de las misma  $A_1$  y  $A_2$  situadas en puntos perfectamente diferenciados de la conducción que está siendo recorrida por agua con velocidades diferentes  $v_1$  y  $v_2$ , se puede establecer la siguiente igualdad :

$$A_1 v_1 = A_2 v_2 = Cte = Q$$

Esta igualdad se verifica porque para las presiones habituales de trabajo el agua es un líquido prácticamente incomprensible y por lo tanto su peso específico se mantiene

constante. Esta igualdad es una consecuencia de la aplicación de la ecuación de la continuidad:

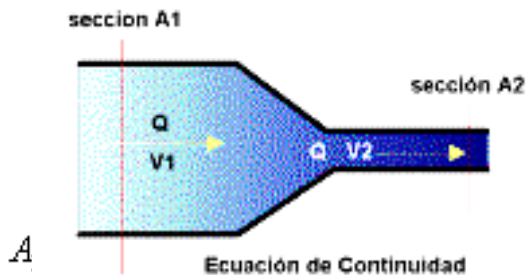


Fig.2.2.- Ecuación de la continuidad

Donde:

$A_1$  y  $A_2$  = Secciones rectas de las conducciones.

$V_1$  y  $v_2$  = Velocidades del fluido en cada una de las secciones.

$\gamma_1$  y  $\gamma_2$  = Pesos específicos del fluido en cada una de las secciones

#### 2.4.2. LA ECUACION DE BERNOULLI

La ecuación de la energía es válida para una línea de corriente de flujo permanente y uniforme y sin rozamiento.

En estas circunstancias, la suma de las energías de presión, cinética y potencial, se mantiene constante a lo largo de la mencionada línea. La ecuación de la energía recibe también el nombre de ecuación de Bernoulli.

Sea un tubo de corriente que pasa por dos líneas cerradas  $C_1$  y  $C_2$ .

En la superficie formada por el plano que contiene la línea cerrada y corta al tubo de corriente, se puede considerar que la velocidad, la presión y la altura respecto a un plano de referencia es constante.

**Se define la presión estática de un fluido:**

$$P_e = p + \rho g h$$

p: Presión sobre la superficie.

$\rho$  : Densidad del fluido (Kg\*seg<sup>2</sup>/m<sup>4</sup>).

g: aceleración de la gravedad (9,81 m/s<sup>2</sup>).

h: altura de la superficie respecto al plano de referencia.

**Se define la presión dinámica de un fluido:**

$\rho$  : Densidad del fluido (Kg\* seg<sup>2</sup>/m<sup>4</sup>).

$$P_d = \frac{\rho V^2}{2}$$

V: velocidad del fluido (m/s).

Esta presión es la debida a la velocidad del fluido en su movimiento.

El teorema de Bernoulli establece que la suma de la presión estática y la presión dinámica permanece constante a lo largo de un tubo de corriente:  $P_e + P_d = \text{constante}$

$$p + \rho g h + \frac{\rho V^2}{2} = \text{Constante}$$

Siendo  $g$  constante y teniendo en cuenta que el peso específico es igual a la densidad por la gravedad,  $\gamma = \rho * g$ , dividiendo la ecuación anterior por  $g$  se tiene:

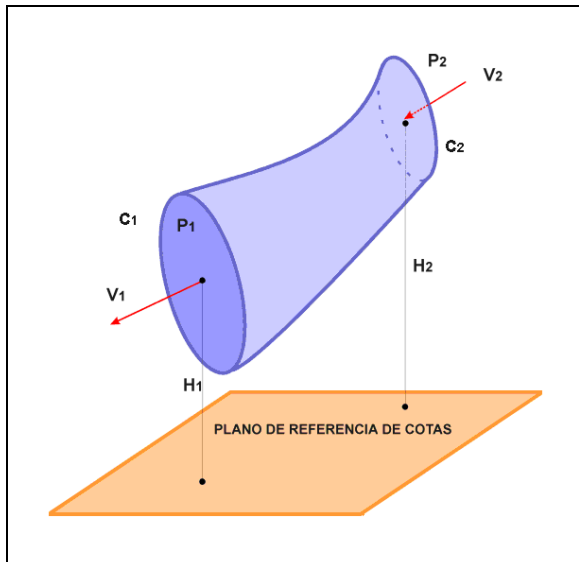


Fig.2.3.- Referencia de Cotas

La ecuación de Bernoulli solo vale para fluidos perfectos, es decir, fluidos sin viscosidad.

Ejemplo de la ecuación de Bernoulli en un conducto horizontal y de sección constante.

$$\frac{p_1}{\gamma} + h_1 + \frac{V_1^2}{2g} = \frac{p_2}{\gamma} + h_2 + \frac{V_2^2}{2g}$$

Donde:

$P_1$  = Presión en el punto 1

$h_1$  = Cota del punto 1

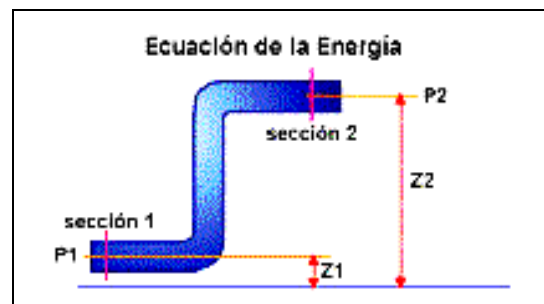
Fig.2.4.- Secciones en la ecuación de energía

$V_1$  = Velocidad del fluido en el punto 1

$\gamma$  = Peso específico del fluido

$g$  = Aceleración de la gravedad

$P_2$  = Presión del fluido en el punto 2



$h_2$  = Cota del punto 2

Cuando el fluido que circula por las conducciones es agua, hay que considerar la aparición del rozamiento que convierte en calor parte de la energía transformada cuando la circulación del agua arrastra partículas del líquido elemento desde el punto 1 al 2. La ecuación de Bernouilli se puede expresar del siguiente modo:

$$\frac{P_1}{\gamma} + h_1 + \frac{V_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\gamma} + h_2 + \frac{V_2^2}{2g} + hf$$

Donde:

$hf$  = Es la pérdida de carga producida por el rozamiento del agua en las tuberías.

## 2.5. ALTURAS PIEZOMÉTRICAS, ALTURAS TOTALES Y ALTURAS GEOMÉTRICAS

Conviene antes de seguir adelante, realizar una serie de matizaciones en torno a los términos de alturas piezométricas, alturas totales y alturas geométricas.

**Altura geométrica**<sup>2</sup>, es la altura que tiene el eje de la tubería con respecto a un nivel de referencia determinado como puede ser el nivel del mar. La altura geométrica se representa mediante la cota  $h(z)$ . Esta altura cuantifica la energía potencial. El lugar geométrico de las alturas es la línea de alturas geométricas.

---

<sup>2</sup> [www.politecnicovirtual.edu.co/lab-fisica3/lf3-ecua-ber.htm](http://www.politecnicovirtual.edu.co/lab-fisica3/lf3-ecua-ber.htm)



**Altura piezométrica**, es la suma de la altura geométrica y de la altura de presión. El lugar geométrico de las alturas piezométricas se determina uniendo en una línea la altura que en un fluido circulante alcanzan los distintos tubos piezométricos emplazados a lo largo de la tubería que se considera. La expresión analítica de la altura piezométrica es la siguiente:

$$H = \frac{P}{\gamma} + h$$

**Alturas totales.** Estas alturas se obtienen sumando a las alturas piezométricas, las alturas de la velocidad de circulación ( $v^2/2g$ ). En la práctica, el término  $v^2/2g$ , tiene escasa entidad ya que en las redes de abastecimiento, no conviene que la velocidad del agua alcance grandes valores (de 1 a 1,5 m/seg). Las alturas totales, por ello, tiende a despreciarse estableciéndose que para las redes de abastecimiento, el balance energético del agua venga determinado por la línea de alturas piezométricas. Una de las consecuencias más importantes a tener en cuenta es que si en un fluido la velocidad aumenta su presión barométrica o estática disminuye.

El teorema de Bernoulli es valido para todo fluido estacionario, no viscoso e incompresible a través de un tubo de corriente. Y otra ecuación más general:

$$\rho \frac{\partial v}{\partial t} + \rho v \nabla v = -\nabla p$$

Cuando la velocidad es 0, se recupera la ecuación fundamental de la hidrostática. Si el área es constante (velocidad constante) y altura constante entonces la presión tendría que ser constante, pero se observa que el fluido pierde presión.

Esto se explica por la presencia de las fuerzas de resistencia (fuerzas viscosas) que no se han tomado en cuenta en la deducción de la ecuación de Bernoulli.

## 2.6. EFECTO VENTURI

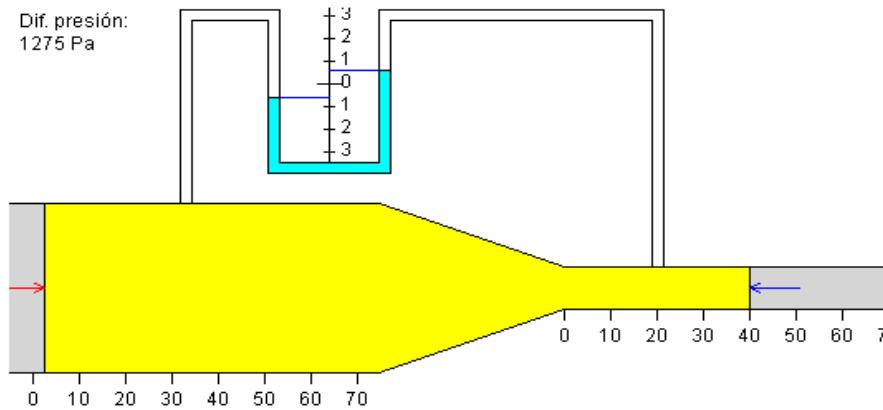


Fig. 2.5.- Tubo Venturi

En la figura 2.5 se muestra un modelo del tubo de venturi utilizado en el laboratorio donde se comprueba la validez de la ecuación de Bernoulli, para simplificar un poco los cálculos se asume el nivel de referencia (NR) en el centro del tubo con lo cual  $h_1 = h_2$  y de esta manera la ecuación (1) toma la forma,

$$P_1 + 1/2 \rho v_1^2 = P_2 + 1/2 \rho v_2^2$$

Como el flujo es laminar y constante se tiene entonces que se cumple la conservación del gasto, esto es :

$$Q = Q_1 = Q_2 = A_1 v_1 = A_2 v_2$$

Utilizando la ecuación se tiene que el gasto teórico es

$$Q = A_1 A_2 \sqrt{\frac{2(P_1 - P_2)}{\rho(A_1^2 - A_2^2)}}$$

El valor del área será calculado como  $A = \pi r^2$ ,  $\rho$  es la densidad del líquido que en este caso es agua. La diferencia de presiones  $P_1 - P_2$  se calcula como

$$P_1 - P_2 = (\rho_{hg} - \rho_{agua}) g h$$

En la práctica el gasto experimental ( aforado) se calcula como:

$$Q = A \cdot v = \frac{A \cdot x}{t} = \frac{\text{Volumen}}{\text{tiempo}}$$

## 2.7. PÉRDIDAS LOCALES.

### 2.7.1. EL COEFICIENTE ADIMENSIONAL DE PÉRDIDAS

En el Análisis y Diseño de las instalaciones hidráulicas es necesario conocer las expresiones que relacionan el aumento o disminución de energía hidráulica (Bernoulli) que sufre el fluido al atravesar el elemento o componente con el caudal. Es muy habitual designar a las pérdidas de energía hidráulica que sufre el fluido como *Pérdidas de Carga*, siendo éstas debidas a la *fricción* entre fluido y las paredes sólidas o también por la fuerte disipación de energía hidráulica que se produce cuando el flujo se ve perturbado por un cambio en su dirección, sentido o área de paso debido a la presencia de componentes tales como adaptadores, codos , válvulas u otros accesorios.

La pérdida de carga que sufre el fluido al atravesar un elemento es generalmente función del caudal o velocidad media ( $v$ ), de las características del fluido ( $\rho$  y  $\mu$ ), de parámetros geométricos característicos del elemento ( $L_1, \dots, L_m$ ) y de la rugosidad del material ( $\epsilon$ ).

$$WL = F(V, \rho, \mu, L_1, \dots, L_m, \epsilon)$$

Como es habitual en Mecánica de Fluidos el estudio de las pérdidas de carga se realiza de *forma adimensional* y para ello se define un coeficiente adimensional conocido como *coeficiente de pérdidas* ( $K$ ) que es la relación entre las pérdidas de energía mecánica que se producen en el elemento por unidad de masa de fluido circulante ( $wL$ ) y una energía cinética por unidad de masa característica del flujo en el elemento ( $v^2/2$ ) (por ejemplo en un conducto de sección constante esta energía cinética por unidad de masa será la del fluido que circula por el conducto).

$$K = \frac{WL}{\frac{V^2}{2}}$$

Este coeficiente también se suele expresar como una relación entre energías por unidad de peso (alturas)<sup>3</sup>:

$$K = \frac{hl}{\frac{V^2}{2g}}$$

---

<sup>3</sup> Mecánica de Fluidos, MASSEY, Bernard; páginas 122 - 125

Definido este coeficiente es posible escribir:

$$hl = K \frac{V^2}{2g}$$

$h$

Donde:

Pérdida de energía, en m;

$K$  Coeficiente sin dimensiones que depende del tipo de pérdida que se trate, del número de Reynolds y de la rugosidad del tubo.

$\frac{V}{\sim}$

Carga de velocidad aguas abajo de la zona de alteración del flujo en m

o en función del caudal volumétrico:

$$hl = K \frac{1}{2g \cdot A^2} \cdot q^2$$

Siendo  $R$  la característica hidráulica del elemento.

De la misma forma que la primera ecuación expresa que las pérdidas de carga de un elemento dependen de una serie de *parámetros dimensionales*, el coeficiente  $K$  depende de otros *parámetros adimensionales*  $\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_n$ , tales como el *número de Reynolds*, *rugosidad relativa* y *relaciones geométricas*, contruidos a partir de los dimensionales que aparecen en la primera ecuación. El número de estos parámetros adimensionales característicos de cada tipo de elemento y la manera de construirlos de los dimensionales los determina el *Análisis Dimensional*. De esta forma el estudio de las pérdidas de carga en un elemento se reduce a obtener la relación:

$$K = K(\Pi_1, \Pi_2 \dots, \Pi_n)$$

En la mayoría de los casos la relación de la ecuación presentada no puede obtenerse a partir de la resolución de las ecuaciones fundamentales de la Mecánica de Fluidos, siendo necesario recurrir a la experimentación. Sólo para algunos de los flujos más sencillos en régimen laminar ha sido posible hallar a través de la resolución de las ecuaciones diferenciales o integrales la relación del coeficiente de pérdidas con los demás parámetros adimensionales.

En los siguientes incisos se presentan los valores del coeficiente K, de acuerdo con el tipo de perturbación o accesorio .

### 2.7.2. PÉRDIDAS POR AMPLIACIÓN (AGRANDAMIENTO SÚBITO)

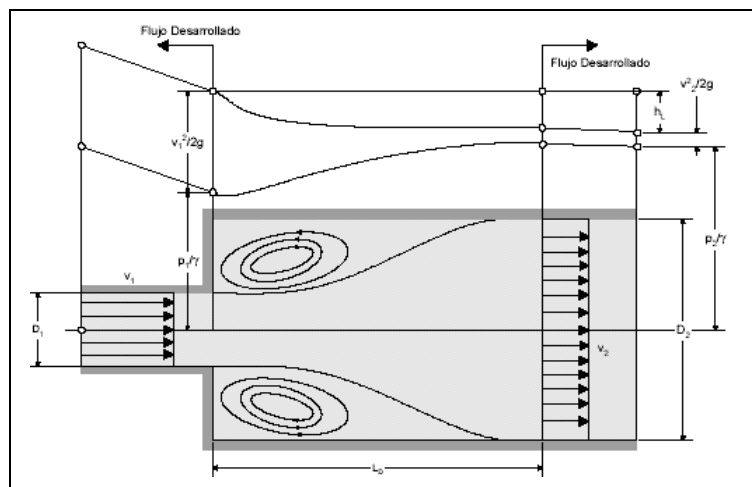


Fig.2.6.- Agrandamiento súbito en adaptaciones

Esta se origina al producirse una ampliación de la sección transversal del tubo. El coeficiente K depende de la brusquedad de la ampliación y para encontrarlo se usa la fórmula de Borda-Carnot:

$$K = C_a \left( \frac{A_2}{A_1} - 1 \right)^2$$

Donde  $C_a$  depende del ángulo  $\theta$  del difusor, como se muestra en la Fig. 2.7, la cual incluye los resultados de Gibson. Para ampliaciones bruscas se usa la misma fórmula con  $C_a = 1$ .

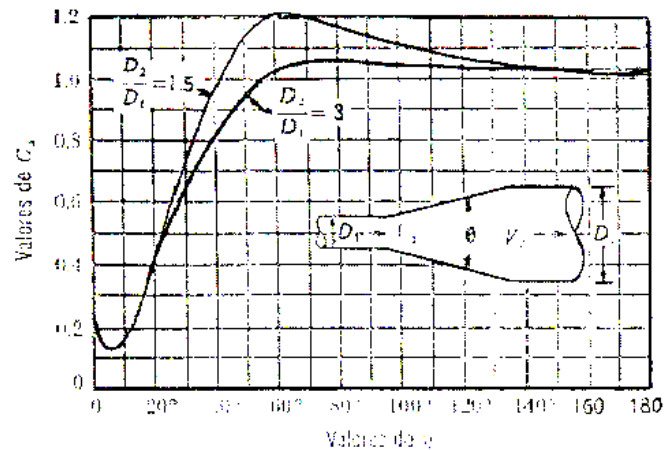


Figura 2.7.- Coeficientes de pérdida para ampliaciones graduales

La pérdida mínima de energía se obtiene para ángulos de difusión  $\theta = 8^\circ$ ; para  $\theta \geq 50^\circ$  una ampliación brusca es tan confiable como la gradual. A fin de evitar separaciones y cavitaciones, el ángulo  $\theta$  del difusor debe ser:

$$\tan \frac{\theta}{2} = \frac{\sqrt{g D}}{2V} \quad \text{para } \theta \leq 20$$

Donde:

$$D = \frac{(D_1 + D_2)}{2} ; \quad V = \frac{(V_1 + V_2)}{2}$$

Según Hutarew el ángulo  $\theta$  óptimo depende del número de Reynolds. Para determinar  $\theta$  en transiciones con sección distinta de la circular, se usa el criterio del cono equivalente.

### 2.7.3. PÉRDIDAS POR REDUCCIÓN (CONTRACCIÓN SÚBITA)

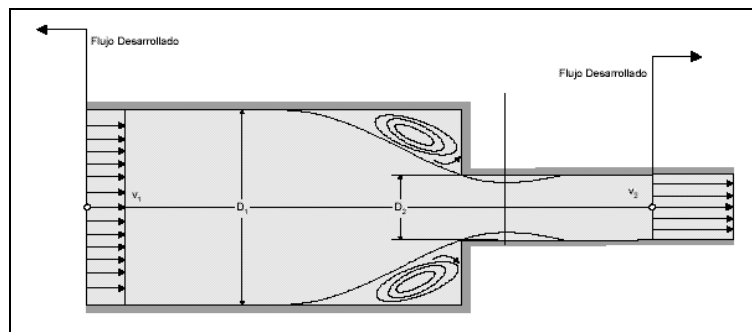


Fig. 2 8.- Contracción súbita en adaptaciones

Aunque una contracción súbita es geoméricamente la inversa de un agrandamiento súbito, no es posible aplicar la ecuación del momentum a un volumen de control entre las secciones. Esto se debe a que, apenas corriente arriba de la junta, la curvatura de las líneas de corriente y la aceleración del fluido hacen que la presión en la cara anular varíe de modo no conocido.

No obstante, inmediatamente corriente abajo de la junta se forma una vena contraída, después de la cual la corriente se ensancha otra vez para llenar el tubo. Entre la vena contraída y la pared del tubo se forman remolinos, y éstos son los que causan prácticamente toda la disipación de energía. Entre la vena contraída y la sección de corriente abajo - en la que la velocidad se ha vuelto otra vez sensiblemente uniforme - el



patrón de flujo es similar al que ocurre después de un agrandamiento súbito y, por tanto, se supone que la pérdida de carga se da por la ecuación:

$$h_f = \frac{V_2^2}{2g} \left( \frac{A_2}{A_c} - 1 \right)^2$$

En donde  $A_c$  representa el área de la sección transversal de la vena contraída. La tabla numero 1, se da para tubos circulares coaxiales y valores regularmente altos del número de Reynolds, valores  $h = K \frac{V^2}{2g}$  representativos del coeficiente  $k$  en la tabla siguiente.

D2/d1	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
K	0.5	0.45	0.38	0.28	0.14	0

Tabla # 1.- Valores representativos del coeficiente K para tubos circulares

#### 2.7.4. PÉRDIDA POR CAMBIO DE DIRECCIÓN

Si se visualiza el flujo en un cambio de dirección, se observa que los filetes tienden a conservar su movimiento rectilíneo en razón de su inercia. Esto modifica la distribución de

velocidades y produce zonas de separación en el lado interior y aumentos de presión en el exterior, con un movimiento espiral, que persiste en una distancia de 50 veces el diámetro.

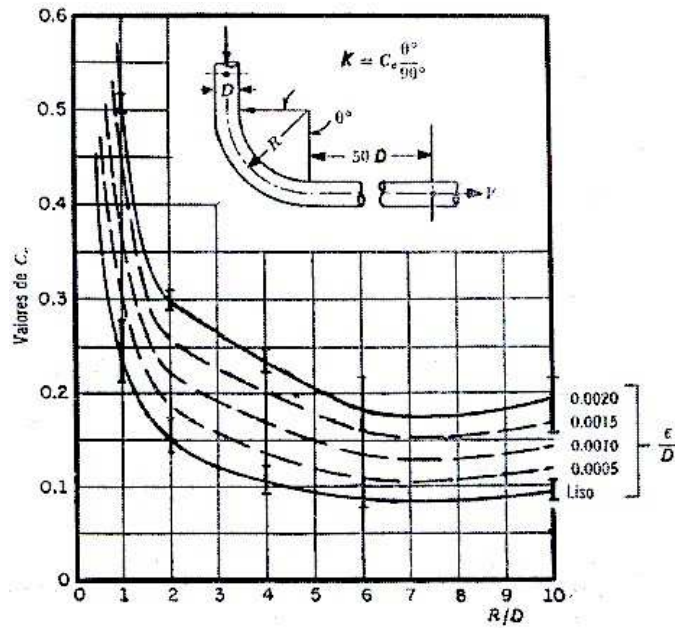


Figura 2.9. Coeficientes \$C\_c\$ para curvas de diámetro constante y

\$Re > 2.2 \* 10^5\$, en tubos rugosos.

Si el cambio de dirección es gradual con una curva circular de radio medio \$R\$ y rugosidad absoluta \$\epsilon\$, para obtener el coeficiente de pérdida \$K\$ se usa la gráfica de Hoffman Fig. 2.9 , que además toma en cuenta la fricción en la curva, donde:

$$K = C_c \frac{\theta^0}{90^0}$$

### 2.7.5. PÉRDIDAS PRODUCIDAS POR CODOS

En el codo que se representa en la Fig. 2.10 , se originan dos tipos de pérdidas.

Las producidas por la fuerza centrífuga que origina un flujo secundario que se superpone al flujo principal y que intensifica el rozamiento. Las producidas por la separación que se producen en las zonas r y s

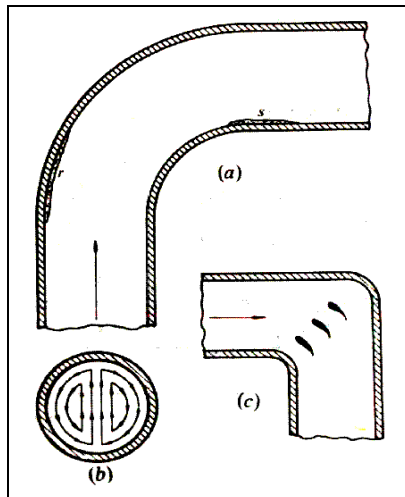


Figura 2.10. En un codo se originan desprendimientos en las zonas r y s (a); en (b) se ven las corrientes secundarias que producen p que producen pérdidas adicionales. En (c) los perfiles aerodinámicos guían la corriente y reducen considerablemente las pérdidas.

El flujo secundario se evita casi por completo con alabes directrices, cuya forma de perfil aerodinámico se puede observar en la figura. Esta solución es cara y no se emplea más que en casos especiales. Los coeficientes k se toman de la Fig. 2.11.

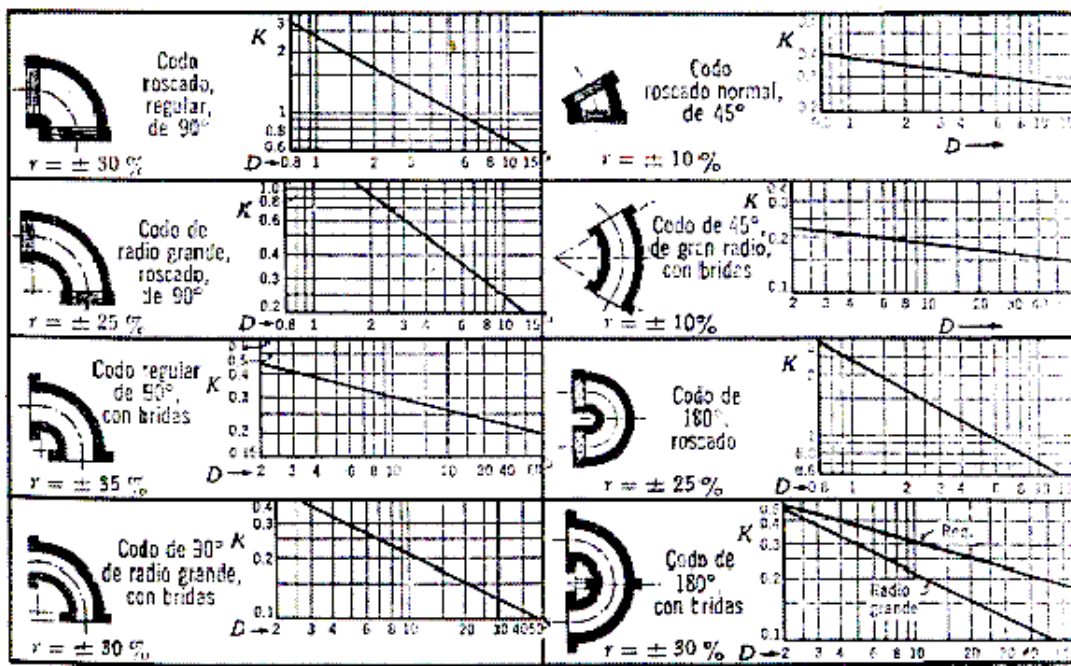


Figura 2.11. Coeficientes de pérdida para codos.

### 2.7.6. PÉRDIDAS PRODUCIDAS POR BIFURCACIÓN ( TES )

La pérdida de energía en una bifurcación de conductos depende – además del ángulo que forman la tubería secundaria con la maestra – de la relación entre los diámetros de ambas tuberías y de la dirección de la corriente. Dicha pérdida es mayor en la unión que en la bifurcación y se expresan como un porcentaje de la carga de velocidad, lo que demuestra que el coeficiente K es independiente del número de Reynolds.

Con las designaciones indicadas en la Figura para la separación y con las secciones próximas al punto en que se realiza la bifurcación, la ecuación de la energía entre la corriente principal y la sección C, conduce a:

O bien

$$z_c + \frac{\rho}{\gamma} + \frac{V^2}{2g} = \frac{\rho_c}{\gamma} + \frac{V_c^2}{2g} + K_c \frac{V^2}{2g}$$

$$\frac{\rho - \rho_c}{\gamma} + z_c = \frac{V_c^2}{2g} + (K_c - 1) \frac{V^2}{2g}$$

En la misma manera, de la ecuación de la energía, entre la corriente principal y la sección

$$\frac{\rho - \rho_a}{\gamma} + z_a = \frac{V_a^2}{2g} + (K_a - 1) \frac{V^2}{2g}$$

A, se tiene:

En el caso de la unión, las ecuaciones son:

$$\frac{\rho_a - \rho}{\gamma} + Z_a = (K_a + 1) \frac{V^2}{2g} - \frac{V_a^2}{2g} \qquad \frac{\rho_c - \rho}{\gamma} + Z_c = (K_c + 1) \frac{V^2}{2g} - \frac{V_c^2}{2g}$$

Además en ambos casos son válidas las siguientes ecuaciones:

$$V_a = \frac{4 Q_a}{\pi D_a^2} \qquad V_c = \frac{4 Q_c}{\pi D_c^2}$$

Para el caso de cantos agudos como los de la unión y separación y  $D = D_c$ , los autores Vogel, Petermann y Kinne, obtuvieron los resultados de la tabla 2

Qa Q	Separación				Unión			
	$\theta = 90^\circ$		$\theta = 45^\circ$		$\theta = 90^\circ$		$\theta = 45^\circ$	
	Ka	Kc	Ka	Kc	Ka	Kc	Ka	Kc
	0.0	0.95	0.04	0.90	0.04	-1.20	0.04	-0.92
0.2	0.88	-0.08	0.68	-0.06	-0.40	0.17	-0.38	0.17
0.4	0.89	-0.05	0.50	-0.04	0.08	0.30	0.00	0.19
0.6	0.95	0.07	0.38	0.07	0.47	0.40	0.22	0.09
0.8	1.10	0.21	0.35	0.20	0.72	0.51	0.37	-0.17
1.0	1.28	0.35	0.48	0.33	0.91	0.60	0.37	-0.54

TABLA 2. Coeficientes de pérdida para bifurcaciones en tuberías (cantos agudos)

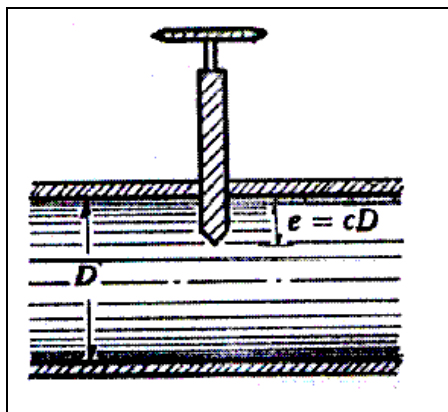
### 2.7.7. PÉRDIDAS PRODUCIDAS POR VÁLVULAS

El coeficiente k de una válvula depende del tipo de la misma (compuerta, mariposa, etc), del diseño particular dentro de cada tipo y del grado de apertura dentro de cada válvula. Así por ejemplo, en la válvula de macho el coeficiente k que para una apertura de  $5^\circ$  tiene

un rozamiento pequeño ( $k = 0,05$ ) para una apertura de  $65^\circ$  tiene un rozamiento grandísimo ( $k= 486$ ). Los coeficientes de pérdida por válvulas varían de acuerdo con el tipo y, para distintas posiciones, deben ser proporcionados por los fabricantes. A falta de estos datos, se pueden utilizar los valores medios que a continuación se indican.

### 2.7.7.1. VÁLVULAS DE COMPUERTA

Para válvulas de compuerta Fig. 2.12 los coeficientes de pérdidas, así como la relación del área abierta, al área total del conducto, varía de acuerdo con la tabla 3, con diámetro  $D= 50$  mm.



C	K	A/Ao
1/8	0.07	0.949
2/8	0.26	0.856
3/8	0.81	0.74
4/8	2.06	0.609
5/8	5.52	0.466
6/8	17	0.315
7/8	97.8	0.159
31/32	159	—

Figura 2.12. Válvula de Compuerta

Tabla 3. Coeficientes de pérdida para válvulas de compuerta de diámetro  $D = 50$  mm

### 2.7.7.2. VÁLVULAS ESFÉRICAS

Los coeficientes de pérdida, para válvulas esféricas Fig. 2.13, dependen del ángulo de abertura  $\theta$ , como se indica en la tabla 4.

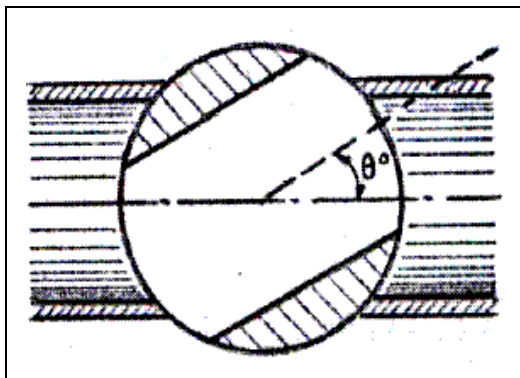


Figura 2.13. Válvula esférica

$\theta^\circ$	K	A/Ao
5	0.05	0.926
10	0.29	0.85
15	0.75	0.772
20	1.56	0.692
25	3.10	0.613
30	5.17	0.535
35	9.68	0.458
40	17.3	0.385
45	31.2	0.315
50	52.6	0.25
55	106	0.19
60	206	0.137
65	486	0.091
82	$\infty$	0

TABLA 4. Coeficientes de pérdida para válvulas esféricas

### 2.7.7.3. VÁLVULAS DE MARIPOSA O LENTEJA

Para válvulas de mariposa o lenteja Fig. 2.14,  $k$  se obtiene de la tabla 5. Si la válvula de mariposa está completamente abierta, el coeficiente de pérdida se obtiene de la siguiente fórmula:

$$K = t/d = \frac{\text{espesor de la hoja}}{\text{diametro}}$$

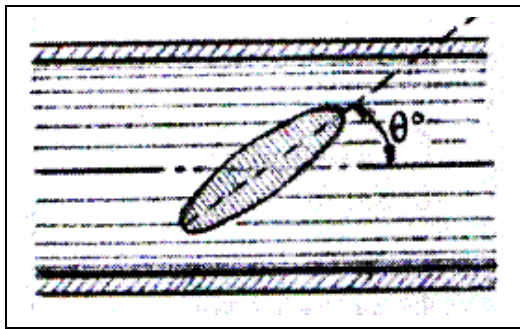


Figura 2.14. Válvula de lenteja o mariposa

$\theta^\circ$	K	A/Ao
5	0.24	0.913
10	0.52	0.826
15	0.90	0.741
20	1.54	0.658
25	2.51	0.577
30	3.91	0.500
35	6.22	0.426
40	10.8	0.357
45	18.7	0.293
50	32.6	0.234
55	58.8	0.181
60	118	0.124
65	256	0.094
70	751	0.06
90	$\infty$	0

TABLA 5. Coeficientes de pérdida para válvulas de lenteja.

#### 2.7.7.4. VÁLVULA CHECK O DE RETENCIÓN

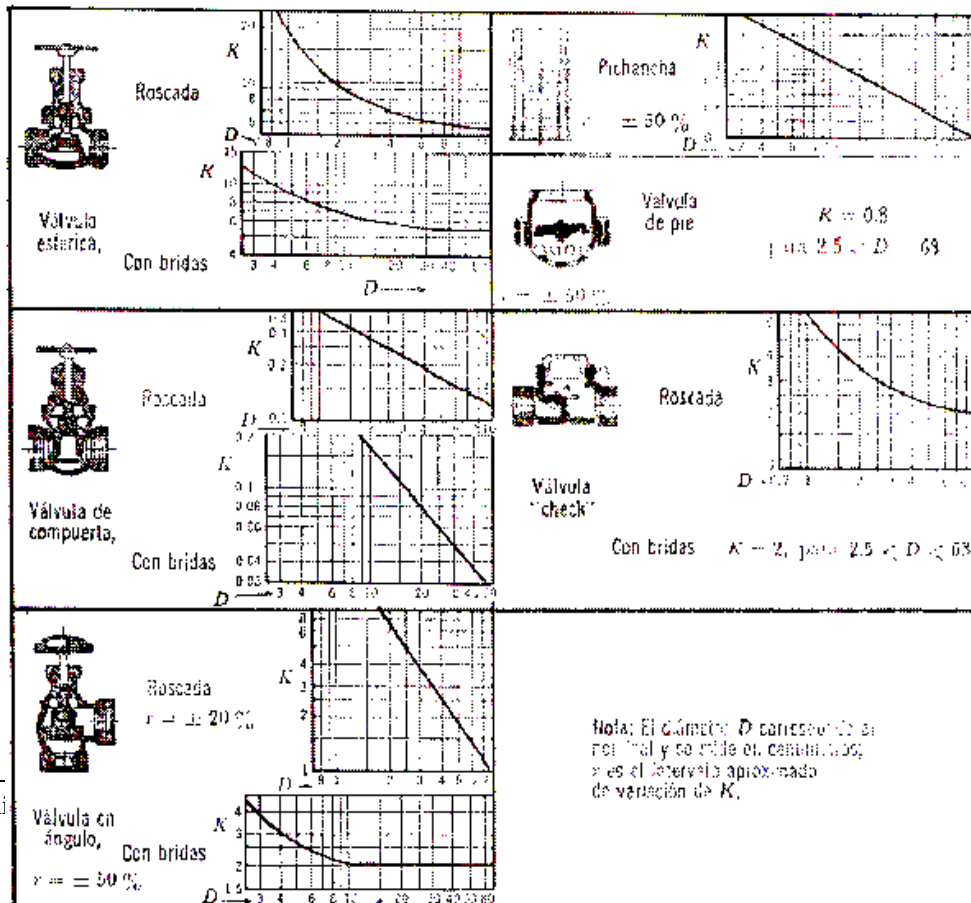
Para una válvula check o de retención, completamente abierta, el coeficiente de pérdida depende del diámetro como se indica en la tabla 6.



D en mm	K
0.05	18
0.075	11
0.10	8
0.15	6.5
0.2	5.5
0.25	4.5
0.3	3.5
0.35	3
0.4	2.5
0.5	0.8

TABLA 6. Coeficientes de pérdida para válvulas de retención completamente abiertas

El coeficiente  $k$ , para válvulas que se encuentran completamente abiertas, se puede obtener a partir de la Fig 2.15. mostrada a continuación <sup>4</sup>.



<sup>4</sup> Hidráulica

Figura 2.15. Coeficientes de pérdida para válvulas completamente abiertas.

## 2.7.8. COEFICIENTE TOTAL DE PÉRDIDAS.

### 2.7.8.1. Primer método.

La ecuación fundamental de las pérdidas secundarias tiene la misma forma que la de las pérdidas primarias, si se hace en esta última:

$$\lambda \frac{L}{D} = K$$

En una conducción como usualmente las pérdidas primarias y secundarias se suceden unas a otras. Conviene definir el coeficiente total de pérdidas primarias y secundarias,  $K_t$ .

Las pérdidas primarias tendrán lugar en los tramos rectos de tuberías de diversos diámetros; pero todas se expresan según la ecuación:

$$H_{rp} = \lambda \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g}$$

Las pérdidas secundarias tendrán lugar en accesorios distintos (codos, válvulas, etc.), cada uno en general con  $V$  distinta; pero todas se expresan como se ha visto según la ecuación:

$$H_{rs} = K \frac{V^2}{2g}$$

Si la conducción es de sección constante

$$H_r = \Sigma H_{rp} + \Sigma H_{rs} = \left( K_1 + K_2 + \dots + K_n + \lambda \frac{L}{D} \right) \frac{V^2}{2g}$$

Donde  $H_r$  - pérdida total

$K_1 + K_2 + \dots + K_n$  coeficientes de los distintos accesorios

y finalmente donde  $K_t$  coeficiente total de pérdida

$$H_r = K_t \frac{V^2}{2g} \quad K_t = K_1 + K_2 + \dots + K_n + \lambda \frac{L}{D}$$

### 2.7.8.2. Segundo método.

Este segundo método consiste en catalogar las pérdida secundarias en la forma de la longitud equivalente, es decir la longitud en metros de un trozo de tubería del mismo diámetro que produciría la misma pérdida de carga que el accesorio en cuestión.

Por tanto, la longitud equivalente de una singularidad puede determinarse igualando las fórmulas para el cálculo de  $H_{rp}$  y  $H_{rs}$ :

$$\left. \begin{array}{l} H_{rp} = \lambda \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} \\ H_{rs} = K \frac{V^2}{2g} \end{array} \right\} \begin{array}{l} H_{rs} = H_{rp} \\ K \frac{V^2}{2g} = \lambda \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} \Rightarrow L = L_e = \frac{K \cdot D}{\lambda} \end{array}$$

La pérdida de carga total en una tubería de longitud  $L$  con  $i$  singularidades de longitud equivalente  $L_{ei}$  cada una de ellas, será la que produce una tubería del mismo diámetro pero con una longitud total.

$$L_T = L + \sum L_{ei}$$

Por ejemplo, si la suma de los coeficientes de resistencia ( $K$ ) en las singularidades de una tubería de 200 mm de diámetro y  $\lambda=0.020$  es  $K=15$ , significa que para calcular las pérdidas de carga totales, la longitud real de la conducción deberá aumentarse en una longitud equivalente de  $L_e=150$  m, es decir, 750 diámetros. Esta longitud equivalente origina la misma pérdida de carga que los puntos singulares a los que sustituye<sup>5</sup>.

---

<sup>5</sup> Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas, MATAIX, páginas 98 - 100



## CAPITULO III

### 3. ADQUISICIÓN DE DATOS

#### 3.1. INTRODUCCIÓN

Un sistema de adquisición de datos es un equipo que permite tomar señales físicas del entorno y convertirlas en datos que posteriormente se pueden procesar y presentar. A veces el sistema de adquisición es parte de un sistema de control, y por tanto la información recibida se procesa para obtener una serie de señales de control.

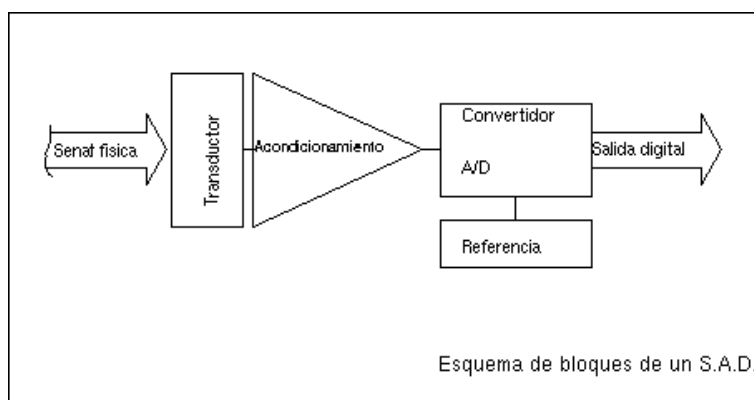


Fig. 3.1. Estructura de un sistema Adquisición de Datos

El proceso de adquisición de datos del mundo físico conlleva los siguientes pasos fundamentales:

- Utilización de un sensor/transductor adecuado para la variable que se desea medir, el cual permite detectar y convertir la variable física en una señal analógica de voltaje o corriente eléctrica.
- Acondicionamiento de la señal eléctrica: En esta etapa se resuelven problemas relacionados con la señal obtenida, como son el ruido, la amplitud y / ó potencia de la señal, la no linealidad de la misma, entre otras.
- Traducción de la señal eléctrica al lenguaje binario, propio del computador: Este proceso se conoce técnicamente como conversión Analógica/Digital (A/D).
- Comunicación – transmisión de datos binarios para controlar o supervisar computadores del sistema.
- Almacenamiento de los datos que, en forma digital, podrán ser almacenados en la memoria del computador y desplegados luego en la pantalla o en otro periférico del mismo.

## **3.2. SENSORES**

Un sensor genera una señal electrónica en respuesta a las variaciones de un parámetro físico. Un sensor también es conocido como un transductor.

### **3.2.1. Clasificación de sensores**

Hay distintas formas de clasificar los dispositivos sensores, a continuación se citarán algunas de las más relevantes:

**3.2.1.1. Por la necesidad de energía externa.** Se distinguen de esta forma los sensores:

*Pasivos:* capaces de generar una señal eléctrica sin necesidad de una fuente de energía (eléctrica) auxiliar. Ejemplos de este tipo de sensores son el termoacoplador y muchos sensores piezoeléctricos.

*Activos.* Precisan una fuente de energía externa, consistente frecuentemente en un circuito de polarización. Todos los sensores de tipo resistivo, los magnetotransistores y los fototransistores son un ejemplo. En ellos, la señal aplicada externamente es modulada en el sensor por la magnitud física a medir, dando lugar a la señal de salida. Estos sensores son especialmente adecuados para la medida de señales débiles.

**3.2.1.2. Por la magnitud medida.** Un procedimiento clásico para clasificar sensores es la diferenciación de la magnitud física o química que miden. Se pueden distinguir seis grandes grupos de magnitudes:

*Magnitudes térmicas:* las más comunes son la temperatura y el flujo de calor

*Magnitudes mecánicas:* entre las más destacadas se encuentra la fuerza, presión, velocidad, aceleración y posición (lineal o angular).

*Magnitudes químicas:* corresponden a propiedades internas de la materia, composición o velocidad de reacción.

*Magnitudes magnéticas:* las más usuales corresponden a la intensidad o dirección del campo magnético, la densidad de flujo y la magnetización.



*Magnitudes de radiación electromagnética:* destacan la intensidad, longitud de onda, polarización y fase.

*Magnitudes eléctricas:* fundamentalmente tensión, corriente y carga.

Dado que el principio de operación de un sensor en particular es fuertemente dependiente de la magnitud física a medir, es natural que los sensores se clasifiquen de acuerdo con la división anterior de magnitudes. Así, se pueden distinguir principalmente sensores térmicos, mecánicos, químicos, magnéticos y de radiación.

Algunos de los ejemplos más comunes de sensores son:

*Medida de tensión:* la tensión mecánica altera la resistencia de un alambre fino unida al objeto bajo tensión.

*Detector de Temperatura por Resistencia (RTD):* la resistencia de un alambre de níquel, platino o de cobre cambia con la temperatura.

*Thermocoupla:* Dos alambres de metales diferentes conectados a una juntura conocido como (unión fría) donde la temperatura genera una pequeña corriente proporcional a la diferencia de temperatura entre la juntura de los alambres.

*Potenciómetro:* (lineal o rotatorio) El movimiento cambia la posición de un contacto eléctrico a lo largo de la longitud de un alambre de resistencia, cambiando la resistencia aparente o el potencial eléctrico.

*Transductor del Desplazamiento lineal Variable (LVDT):* (lineal o rotatorio) el movimiento cambia la inductancia relativa entre dos bobinas. El paso de corriente AC en una bobina causa un voltaje variable en la otra, dependiente del movimiento.

*Sensor de Proximidad por inductancia:* el movimiento de un metal con relación a una bobina causa que la inductancia de la bobina cambie. Con un voltaje de excitación AC constante la corriente en la bobina cambiará en respuesta al movimiento del blanco u objeto.

*Sensor de Efecto Hall:* la impedancia aparente de un semiconductor cambia en presencia de la intensidad de un campo magnético. El movimiento de un elemento que lleva un imán permanente puede ser sensado midiendo los cambios de impedancia.

No todos los sensores son eléctricos o electrónicos: hay muchos sensores que trabajan con principios ópticos y algunos de éstos son capaces de producir salidas digitales directamente. Un ejemplo común es una cámara digital moderna que produce una imagen en forma binaria comprimida y lo transmite hacia el computador.

### **3.2.2. Sensores de Presión.**

A continuación se describe brevemente algunos tipos y características de sensores de presión.

*Sensores de presión calibrados a la Atmósfera* - Con sensores de este tipo, las lecturas de presión tienen referencia a la presión atmosférica. Es decir, tiene un valor cero en presión atmosférica. Este tipo de sensor se usa cuando es necesario medir ambos: vacío (rendimiento negativo) y presión (rendimiento positivo).

*Sensores de presión de vacío* - La salida de un sensor de vacío es cero a la presión atmosférica, igual al sensor anterior, pero la salida o señal aumenta al ir aumentando el vacío. Se calibra estos sensores para que su salida de un valor más positivo cuando la presión se decrementa.

*Sensores de Presión Diferencial* - Este tipo de sensor tiene dos puertos de presión, y detecta la diferencia en presión entre los dos. Se puede usar sensores de presión diferencial para medir la presión de líquidos o gases.

*Sensores de Presión absolutos* - La referencia para este tipo de sensor es el vacío absoluto. Es decir, entrega una salida de cero en el vacío absoluto. No hay ningún cambio de polaridad cuando los cambios de presión de entrada van del vacío hasta por encima de la presión atmosférica.

*Sensores de presión barométricos* - los sensores de presión Barométricos son sensores de presión absolutos con un rango limitado. Normalmente, el rendimiento de estos sensores se expresa en " pulgadas de Mercurio (Hg)," y los rangos del rendimiento son 16-32-in. HgA o 26-32-in. Hg con cero de referencia al menor valor.

### **3.2.3. Caracterización de sensores**

Hay una serie de parámetros que permiten definir las características de los dispositivos sensores. Se aplican tanto a éstos como a la combinación de los mismos y los circuitos de procesado anexos.

*Sensibilidad.* Es una medida cuantitativa que refleja la variación en la señal de salida producida por una variación en la magnitud medida. Se pueden distinguir:

*Sensibilidad absoluta.* Es el cociente entre la variación de la señal de salida y el cambio correspondiente en la magnitud de entrada (magnitud física o química).

*Sensibilidad relativa.* Es el cociente entre la variación de la señal de salida y el cambio correspondiente en la magnitud de entrada normalizado por el valor de la señal de salida cuando la magnitud medida es 0.

*Resolución.* Es el menor cambio detectable en la magnitud medida que puede causar un cambio en la magnitud de salida.

*Precisión.* Indica el error en la medida. Se suele determinar como el cociente entre el máximo error de la señal de salida respecto del máximo valor de la salida, y se suele expresar en porcentaje.

*Error de linealidad.* Es la máxima desviación de la función de transferencia del sensor respecto de su recta de ajuste.

*Histéresis.* Refleja la diferencia en el valor de salida obtenido para un mismo valor de la magnitud medida en función del sentido de cambio de tal magnitud.

*Offset.* Es el valor de salida del sensor cuando la magnitud medida es 0.

*Ruido.* Es la componente aleatoria en la señal de salida no relacionada con la magnitud medida.

*Ancho de banda.* Supuesta respuesta pasa bajo, es la frecuencia a la cual la señal de salida cae al 70.7% (3 dB) de su valor máximo.

*Rango de temperatura de operación.* Es el rango de temperaturas en el cual la señal de salida permanece dentro del error especificado.

*Ambiente de operación.*- Hay que considerar donde se usará el sensor. La cantidad de protección que el sensor necesitará depende si este se ubica adentro y seco o afuera y

expuesto a los elementos. Obviamente, el costo de un sensor diseñado para el uso en un ambiente exterior será más alto que un sensor usado en un ambiente benigno.

El ambiente de operación también determinará el tipo de conectores o cabling que se necesitará. Conectores rápidos hacen fácil el quitar sensores para su calibración periódica, pero la mayoría no puede usarse en el campo.

Algunos sensores vienen con un cable íntegro. Una adición sellada en el sensor protege el cable. Cuando se le equipa con un tubo de abertura atmosférico dentro del cable, estos sensores son sumergibles.

*Acoplamiento mecánico.*- También se necesita considerar cómo acoplar el sensor al sistema de prueba. Los sensores están disponibles con una variedad de opciones enhebradas, incluso hilos ingleses, hilos métricos, y SAE conexiones entubadas. La mayoría de los sensores de presión hechos para pruebas y aplicaciones de medición son contruidos con partes de acero inoxidable. Las partes metálicas inoxidables del sensor es el puerto de presión que entrará en contacto con los medios a medirse (fluido o gas).

### **3.3. ACONDICIONAMIENTO DE SEÑAL.**

La mayoría de las señales requieren de preparación antes de poder ser digitalizadas. Por ejemplo, una señal de una termopar es muy pequeña y necesita ser amplificada antes de pasar por el digitalizador. Otros sensores como RTD, termistores, galgas extensiométricas y acelerómetros requieren de poder para operar. Aún las señales de voltaje puro pueden requerir de tecnología para bloquear señales grandes de modo común o picos. Todas estas tecnologías de preparación son formas de

acondicionamiento de señal. Este procesamiento al frente, conocido como acondicionamiento de señal, incluye funciones como:

- Amplificación
- Filtrado
- Aislamiento eléctrico
- Multiplexeo.
- Linearización y
- Excitación

### **3.3.1. Amplificación**

Cuando los niveles de voltaje que va a medir son muy pequeños, la amplificación se usa para maximizar la efectividad de su digitalizador. Al amplificar la señal de entrada, la señal acondicionada usa más efectivamente el rango del convertidor analógico-digital (ADC), la señal de entrada deber ser amplificada de modo que su máximo nivel coincida con la máxima tensión que el convertidor pueda leer, y mejorar de esta manera la precisión y resolución de la medición. Algunos sensores que típicamente requieren de amplificación son los termopares y galgas extensiométricas.

### **3.3.2. Filtrado**

Los filtros son necesarios para remover cualquier componente de frecuencia no deseada en una señal, principalmente para prevenir aliasing y reducir la señal de ruido. Por

ejemplo, en las señales cuasi-continuas, (como la temperatura) se usa un filtro de ruido de unos 4 Hz, que eliminará interferencias, incluidos los 50/60 Hz de la red eléctrica.

Las señales alternas, tales como la vibración, necesitan un tipo distinto de filtro, conocido como filtro antialiasing, que es un filtro pasabajo pero con un corte muy brusco, que elimina totalmente las señales de mayor frecuencia que la máxima a medir, ya que si no se eliminasen aparecerían superpuestas a la señal medida, con el consiguiente error.

### **3.3.3. Aislamiento**

Otra aplicación habitual en acondicionamiento de la señal es el aislamiento eléctrico entre el transductor y el ordenador, para proteger al mismo de transitorios de alta tensión que puedan dañarlo. Un motivo adicional para usar aislamiento es el garantizar que las lecturas del convertidor no son afectadas por diferencias en el potencial de masa o por tensiones en modo común. Cuando el sistema de adquisición y la señal a medir están ambas referidas a masa pueden aparecer problemas si hay una diferencia de potencial entre ambas masas, apareciendo un "bucle de masa", que puede devolver resultados erróneos. El aislamiento físico es la forma más básica de aislamiento y significa que hay una barrera física entre dos sistemas eléctricos. Pueden pertenecer a la forma de aislamiento: un espacio abierto, o cualquier camino no-conductivo entre dos sistemas eléctricos.

### 3.3.3.1. Tipos básicos de aislamiento

#### *Aislamiento óptico*

El aislamiento óptico es común en sistemas de aislamiento digitales. Los medios para transmitir la señal son mediante luz y la barrera de aislamiento física es típicamente un espacio abierto. La intensidad de luz es proporcional a la señal medida. La señal luminosa se transmite a través de la barrera de aislamiento y es detectado por un elemento fotoconductor en el lado opuesto de la barrera.

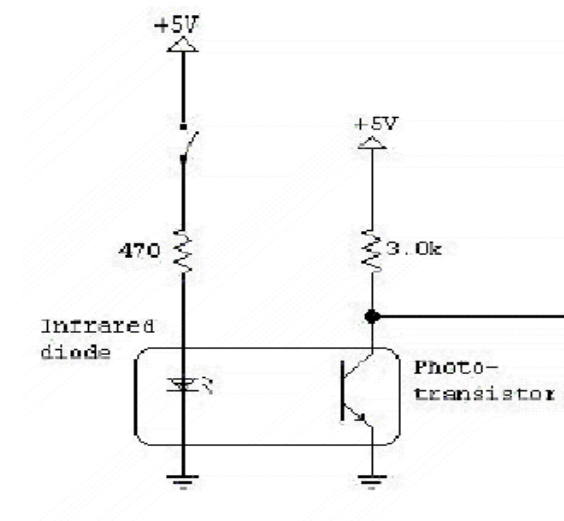


Fig.3.2. Aislamiento Óptico.

#### *Aislamiento electromagnético*

El aislamiento electromagnético usa un transformador para acoplar una señal a través de la barrera de aislamiento generando un campo electromagnético proporcional a la señal eléctrica. El campo se crea y es detectado por un par de bobinas conductoras. La barrera física puede ser un espacio abierto o alguna otra forma de barrera no-conductiva.



### *Aislamiento Capacitivo*

El acoplamiento capacitivo es otra forma de aislamiento. Un campo electromagnético cambia el nivel de carga en el capacitor. Esta carga es detectada a través de la barrera y es proporcional al nivel de la señal medida.

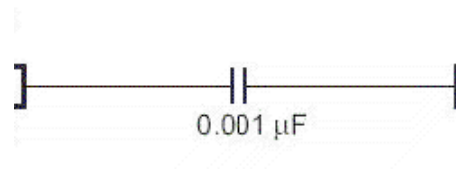


Fig. 3.3. Capacitor

### **3.3.4. Multiplexado**

El multiplexado es la conmutación de las entradas del convertidor, de modo que con un sólo convertidor se puede medir los datos de diferentes canales de entrada. Puesto que el mismo convertidor está midiendo diferentes canales, su frecuencia máxima de conversión será la original dividida por el número de canales muestreados.

### **3.3.5. Linearización**

Algunos tipos de sensores producen señales de voltaje que no son lineales en relación con la cantidad física que están midiendo. La linearización, el proceso de interpretar la señal del sensor como una medición física, puede realizarse a través de

acondicionamiento de señal o software. Los termopares son un ejemplo típico de un sensor que requiere linearización.

### 3.3.6. Excitación

La etapa de acondicionamiento de señal a veces genera excitación para algunos transductores, como por ejemplos las galgas extesométricas, termistores o RTD, que necesitan de la misma, bien por su constitución interna, (como el termistor, que es una resistencia variable con la temperatura) o bien por la configuración en que se conectan (como el caso de las galgas, que se suelen montar en un puente de Wheatstone).

## 3.4. CONVERTOR ANALOGICO / DIGITAL.

Un conversor analógico / digital es un circuito electrónico complejo que convierte un voltaje de señal analógica en un número o valor digital. Para cada posible rango de voltajes a la entrada habrá un único valor a la salida, por ejemplo,:

Input voltage (Volts)	Output value
-0.3V ... -0.201V	-3
-0.2V ... -0.101V	-2
-0.1V ... -0.001V	-1
0V ... 0.099V	0
0.1V ... 0.199V	1
0.2V ... 0.299V	2
0.3V ... 0.399V	3

### 3.4.1. Tipos de ADC

Tipos comunes de ADCs incluyen aproximaciones sucesivas, integración, y modulación delta-sigma.

### 3.4.2. Parámetros.

*El rango de voltaje de entrada:* El máximo y mínimo voltaje que pueden ser convertidos. En este ejemplo estos valores son -0.3V y 0.399V respectivamente.

*Número de bits:* Es el número de bits que tiene la palabra de salida del convertidor, y por tanto es el número de pasos que admite el convertidor. Así un convertidor de 8 bits sólo podrá dar a la salida  $2^8=256$  valores posibles.

*Resolución:* Es el mínimo valor que puede distinguir el convertidor en su entrada analógica, o dicho de otro modo, la mínima variación,  $V_i$ , en el voltaje de entrada que se necesita para cambiar en un bit la salida digital. En resumen, se tiene que:

$$V_i = \frac{V_{fe}}{(2^n - 1)}$$

donde  $n$  es el número de bits del convertidor, y  $V_{fe}$  la tensión de fondo de escala, es decir, aquella para la que la salida digital es máxima. La tensión de fondo de escala depende del tipo de convertidor, pero se puede ajustar, en forma de una tensión de referencia externa, Por ejemplo, un convertidor de 8 bits con una tensión de fondo de escala de 2V tendrá una resolución de:

$$\frac{2V}{2^8 - 1} = 7.84 \frac{mV}{\text{paso}}$$

En cambio, para el mismo convertidor, si se cambia la tensión de referencia, y por tanto

$$\frac{5V}{2^8 - 1} = 19.6 \frac{mV}{\text{paso}}$$

la de fondo de escala, la resolución será de:

*Sampling Rate (Porcentaje de conversión máxima):* Un conversor de A/D primero toma una muestra de la señal de entrada, y entonces determina el número que corresponde al voltaje de la entrada tomado. Finalmente el número se transmite a la computadora. El número de veces que esta secuencia puede repetirse por segundo es el porcentaje de conversión.

Conversor A/D normalmente diseñados para señales de audio tienen un porcentaje de muestreo a 50 kHz. El próximo rango de conversores se diseña para la adquisición de datos a velocidad alta y tiene frecuencia de muestreo a 5 MHz. Los conversor A/D para el procesamiento de señales de video tienen sampling rate a 20 MHz

*Triggering ( voltaje de disparo):*

Alternativamente el conversor puede programarse para sólo tomar lecturas cuando exista otro voltaje a la entrada al alcanzar un valor de "disparo". Habrá también normalmente un valor de interrupción: que es el periodo de tiempo después del cual, una lectura es tomada si el voltaje de disparo programado no ha sido alcanzado.

*Samplig Time (Tiempo de muestreo):*

Éste es el intervalo de tiempo durante el que el voltaje de entrada análogo es muestreado. Típicamente está alrededor de 5% del tiempo total de conversión para una muestra. Si el voltaje de entrada está cambiando rápidamente la longitud del tiempo de muestreo puede limitar la exactitud de conversión. Si el voltaje de entrada, por ejemplo, cambia por 0.25V durante el samplig time, entonces el valor a la salida podría tener un error por encima de 0.25V. Normalmente el voltaje de entrada es promediado durante el samplig time, pero esto depende de como los circuitos del conversor se han diseñado.

### **3.4.3. La función de Trasferencia Ideal**

La función de transferencia ideal teórica para un ADC es una línea recta, sin embargo, la función de traslado es una característica de escalera uniforme. La función de transferencia teórica ideal de un DAC también sería una línea recta con un número infinito de pasos pero prácticamente es una serie de puntos que se acercan a la línea recta.

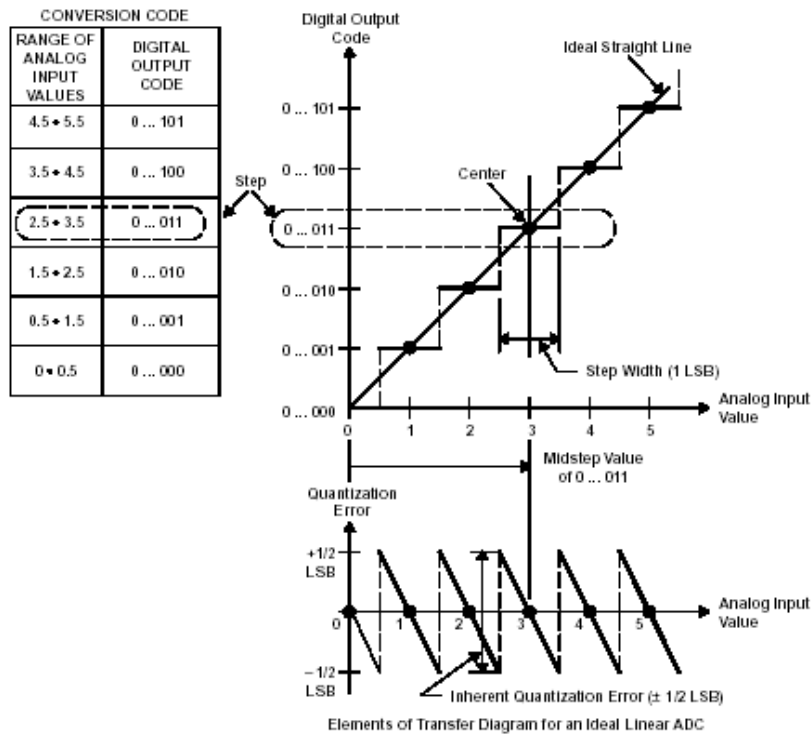


Fig.3.4. Función Transferencia Ideal.

Un ADC ideal representa todas las entradas analógicas únicamente dentro de un cierto rango mediante un limitado numero de códigos de salida digitales.

El diagrama muestra que cada código digital representa una fracción del rango total de la entrada analógica. Puesto que la escala analógica es continua, mientras los códigos digitales son discretos, hay un proceso de quantization que introduce un error. Como el número de códigos discretos incrementa, la anchura de paso correspondiente se hace más pequeña y la función de transferencia se acerca a una línea recta ideal. Los pasos se

diseñan para tener transiciones tal que el punto medio de cada paso corresponde al punto en esta línea ideal.

Se define la anchura de un paso como 1 LSB (bit menos significativo) y esto se usa a menudo como la unidad de referencia para otras cantidades en la especificación. También es una medida de la resolución del convertidor desde que define el número de divisiones o unidades del rango analógico completo. De, 1/2 LSB representa una cantidad analógica igual a un medio de la resolución analógica.

La resolución de un ADC normalmente se expresa como el número de bits en su código de salida digital. Por ejemplo, un ADC con una resolución de n-bits tiene  $2^n$  posibles códigos digitales que definen  $2^n$  niveles de paso. Sin embargo, desde el primer paso y el último paso hay sólo un medio de ancho completo, el rango máximo (FSR) es dividido en  $2^n - 1$  anchos de paso. De  $1\text{LSB} \approx \text{FSR} / (2^n - 1)$  for an n-bit converter

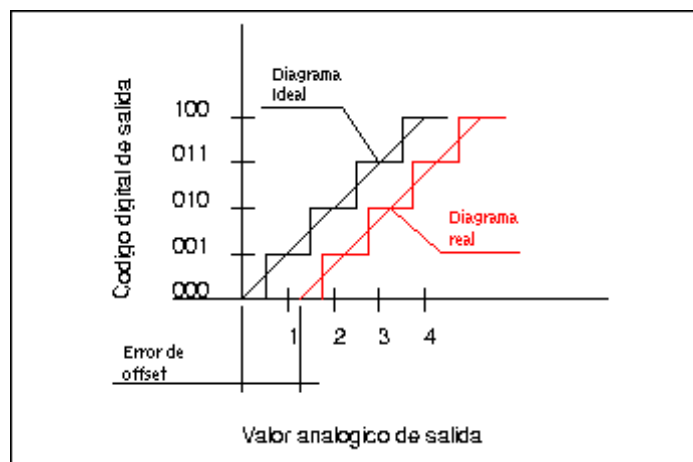


Fig.3.5. La función de transferencia ideal (ADC)

### **3.4.4. Errores en los convertidores analógico/digital.**

Un convertidor no es un circuito perfecto, sino que presenta una serie de errores que los que hay que tomar en cuenta. Algunos de los que más importancia tienen son los siguientes:

#### **3.4.4.1. Error de offset.**

El error de offset es la diferencia entre el punto nominal de offset (cero) y el punto real de offset. Concretamente, para un convertidor A/D este punto es el punto central de todos aquellos valores de la entrada que nos proporcionan un cero en la salida digital del convertidor. Este error afecta a todos los códigos de salida por igual, y puede ser compensado por un proceso de ajuste.

#### **3.4.4.2. Error de cuantificación:**

Es el error debido a la división en escalones de la señal de entrada, de modo que para una serie de valores de entrada, la salida digital será siempre la misma. Este valor corresponde con el escalonado de la función de transferencia real, frente a la ideal. Se puede ver en la figura 3.5, que cada valor digital tiene un error de cuantificación de  $\pm \frac{1}{2}$  LSB (Bit menos significativo). Por tanto, cada código digital representa un valor que puede estar dentro del  $\frac{1}{2}$  LSB a partir del punto medio entre valores digitales continuos.



#### 3.4.4.3. Error de linealidad (linealidad integral):

Este error es la manifestación de la desviación entre la curva de salida teórica y la real, de modo que para iguales incrementos en la entrada, la salida indica distintos incrementos.

#### 3.4.4.4. Error de apertura:

Es el error debido a la variación de la señal de entrada mientras se está realizando la conversión. Este error es uno de los más importantes cuando se están muestreando señales alternas de una frecuencia algo elevada, (como por ejemplo el muestreo de voz) pero tiene poca importancia cuando se mide señales cuasi-continuas, como temperatura, presión, o nivel de líquidos. Para minimizar este tipo de error se usan los circuitos de muestreo y retención.

Si se considera un error que no afecte a la precisión total de la conversión, ( por lo que habrá de ser menor que  $\frac{1}{2}$  LSB) la frecuencia máxima de muestreo deberá ser:

$$F_{max} = \frac{1}{T_a * \pi * 2^{n+1}}$$

En esta fórmula  $T_a$  es el tiempo de apertura del circuito de muestreo y retención, o bien el tiempo total de conversión si el anterior no existe, y  $n$  el  $n^\circ$  de bits del convertidor.

#### 3.4.4.5. Precisión

La medición de la estabilidad de un instrumento y su capacidad para dar la misma medida una y otra vez para la misma señal de entrada.

Generalmente se considera que la precisión consiste en dos componentes: a corto plazo (repetibilidad) y a largo plazo (reproducibilidad), dado por:

$$\text{Precisión} = 1 - |X_n - \text{Av}(X_n)| / |\text{Av}(X_n)|$$

donde  $X_n$  = el valor de la e-enésima medición

$\text{Av}(X_n)$  = el valor promedio del conjunto de mediciones de n

Por ejemplo, si se controla un cierto voltaje constante, de 1 voltio y los valores medidos cambian entre las mediciones, en 20 m V, entonces la precisión de medición es:

$$\text{Precisión} = (1 - 0,02 \text{ V} / 1\text{V}) * 100 = 98.99\%$$

#### 3.4.5. El teorema de Nyquist o teorema de Muestreo

El objetivo fundamental de la adquisición es el poder reconstruir la señal muestreada de una manera fiel. Este teorema enuncia que la frecuencia mínima de muestreo para poder reconstruir la señal ha de ser el doble de la frecuencia de la señal a medir. Para que la reconstrucción sea fiable, se deben tomar muestras a una frecuencia unas 10 veces superior a la de la señal a evaluar.

En la figura 3.6 se aprecia una señal sinusoidal, que es muestreada con dos medidas por ciclo y su reconstrucción mediante los dos métodos que más se usan (reconstrucción de orden cero y reconstrucción de orden uno).

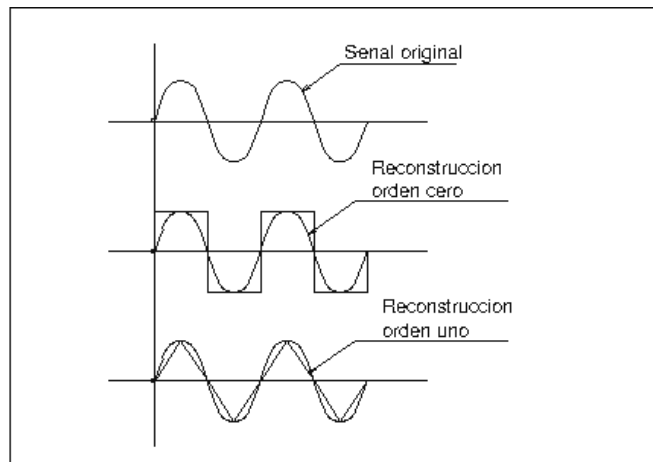


Fig.3.6. Señal Sinusoidal Orden 0, Orden 1

Como se ve, aplicando el teorema de Nyquist se puede saber al menos la frecuencia de la señal medida, aunque no su tipo, ni si el muestreo es eficaz o no.

La reconstrucción de orden cero es la salida directa de un convertidor analógico digital, mientras que la de orden uno es la interpolación simple mediante rectas, de modo que la señal se aproxima más a la original.

### 3.4.6. Efectos de Aliasing

El aliasing se produce cuando la frecuencia de muestreo es menor que la de la señal que se muestrea, y se refiere al hecho de que se interpreta de manera no exacta la señal, apareciendo un "alias" de la señal (de ahí el término). Este efecto se pone de manifiesto en la figura 3.7.

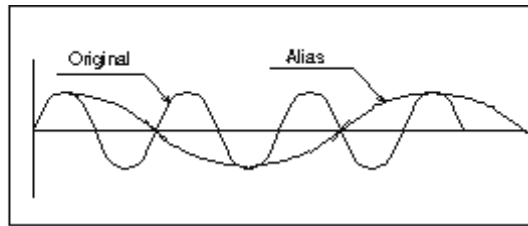


Fig. 3.7. Alaising en una señal

Como se aprecia, al tomar varias muestras con un periodo de muestreo superior al de la señal medida, se cree que la señal tiene una frecuencia mucho menor de la que realmente tiene. En este efecto también influyen las armónicas de la señal que interfieren con la señal a medir, de modo que pueden aparecer señales de alta frecuencia superpuestas, como ruido, y otras senoidales, que aparentemente no son ruido, pero que también afectan a la señal bajo medida. Por tanto, cualquier frecuencia de muestreo excesivamente baja da información falsa sobre la señal.

### 3.5. COMUNICACIÓN – TRANSMISIÓN

#### 3.5.1. INTRODUCCION

Existen diferentes modos para realizar la comunicación de datos desde la Etapa de Conversión Analógico – Digital: pudiendo utilizarse: microprocesadores, plc's, etc. En

la presente tesis se utilizarán los dispositivos de comunicación serial que son propios de los módulos FieldPoint.

### 3.5.2. FieldPoint Comunicación Serial

Los FP-1000/1001 usan una arquitectura de comunicaciones síncrona llamada comunicación poll - driven (manejo de elección). La comunicación poll - driven puede interpretarse como una relación maestro / esclavo en la que el esclavo sólo responde cuando es directamente solicitado por el maestro. En una aplicación de FieldPoint, los

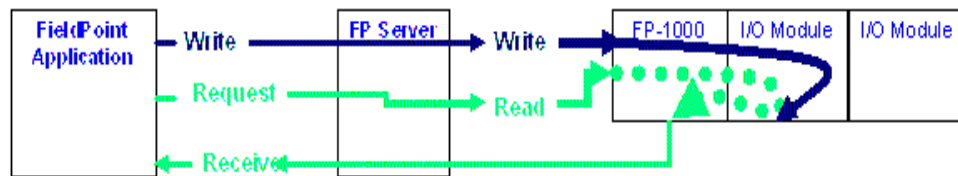


Fig. 3.8. Comunicación Serial FP

FP-1000/1001 son el dispositivo slave y la computadora a la que se conecta es el dispositivo master. Registros de tipo I/O requiere repetidas elecciones, o examinar el dispositivo serial para solicitar por una ocurrencia de evento.

La figura 3.8 demuestra la funcionalidad básica de los comandos lectura y escritura en la comunicación serial FieldPoint. La aplicación FieldPoint envía una petición de escribir al Servidor de FieldPoint que a su vez envía la orden escriba, al módulo de la red para escribir en el módulo de I/O. Similarmente, el Servidor de FieldPoint envía una orden de leer al módulo de red para leer un canal o canales en el módulo de I/O. El

módulo de la red obtiene el valor y lo envía al servidor a una proporción de baudios fija. La aplicación de esta manera lee el valor actual del dispositivo. En comunicación poll - driven, escribir a la salida de un módulo FieldPoint y leer el dato de regreso siempre retorna el valor recién escrito.

### 3.5.3. Vocabulario de Características Técnicas

*Bandwidth (ancho de banda)*- El rango de frecuencia de la señal que puede pasar el circuito de la entrada analógica.

*Resolución eficaz* - La resolución de medición del módulo, teniendo en cuenta ambos; la resolución de los ADC y otros factores como errores de cuantización y ruido RMS.

*Gain Error* - El grado al que la ganancia varía de lo ideal, especificado en porcentaje o ppm de lectura. Este tipo de error es multiplicado con la medición.

*Entrada Límite de Corriente* - La cantidad máxima de corriente que fluye en el módulo basado en limitadores internos. Sin tener en cuenta la cantidad de corriente proporcionada, se limitará a una cantidad especificada para prevenir daño a la entrada.

*Impedancia de entrada* - La cantidad de resistencia y reactancia entre un canal de entrada y el canal común. Por ejemplo, si un módulo tiene una impedancia de la entrada de 100 ohms, la resistencia entre el canal de entrada y el común es 100 ohms.

LSB - Bit menos significativo. El cambio más pequeño detectado en un valor de entrada. Este término normalmente se usa al determinar el desplazamiento.

$$LSB = \frac{Range}{2^{resolution}}$$

Por ejemplo, si un módulo tiene una resolución de 16 bits, un error offset de 6 LSB, y un rango  $\pm 15$  V ,

*Proporción de Conversión Máximo (sampling rate)* - La velocidad a la que el módulo puede actualizar todos sus canales.

*Voltaje de trabajo Máximo* - Es el voltaje diferencial máximo que puede existir entre cualquier término y el terminal de tierra en el backplane del módulo.

*Ruido* - Una medida de la cantidad de señal no deseada agregada por la circuitería de la salida analógica.

*Nonlinealidad* - La cantidad de variación por encima del rango de medición del módulo.

*Error Compensado (Offset Error)* - La cantidad de voltaje adicional o corriente que pueden ser introducidos por el circuito de la entrada analógica. El error de compensación es agregado a las mediciones y es típicamente notado en el bits menos significantes (LSBs) o en unidades estándar.

*Overranging* - La habilidad de medir valores más allá del rango nominal de entrada. Los módulos con overranging tienen la habilidad de medir un poco más allá del rango nominal establecido. Por ejemplo, el modulo [c]FP-AI-110 tiene un  $\pm 60$  mV de rango que puede medir  $\pm 65$  mV. Los 5 mV adicionales es el overrange. Al hacer cálculos del error, hay que usar el rango entero (incluso el overrange) en los cálculos. (Por consiguiente, el rango completo es  $\pm 65$  mV para [c]FP-AI-110 para compensación y cálculos de ganancia).

ppm - partes por millón. Una medida de resolución. Para convertir un valor en ppm a la unidad correspondiente, multiplíquese el valor ppm por  $10^{-6}$ . Por ejemplo,

$$2 \text{ ppm} = 2 * 10^{-6} = 0.000002$$

o 0.0002% del total. Por consiguiente, 2 ppm de 5 V es 10 mV.

*Resolución* - El número de bits que el conversor analógico-digital (ADC) usa para representar una señal analógica. La más alta resolución se obtiene, el rango es dividido en una mayor cantidad de valores, y por lo tanto el cambio de voltaje más pequeño perceptible cambia a un rango de entrada y ganancia dado. Las resoluciones comunes para FieldPoint son 12 bits y proveyendo 212, o 4096, divisiones dentro del rango especificado, y 16 bits, dando 216, o 65,536, divisiones.

*Slew Rate* - La máxima proporción de cambio por unidad de tiempo para un canal de salida analógica.

*Proporción de Actualización* - La velocidad a la que el módulo lee todos sus canales y actualiza sus registros.

#### **3.5.4. Cálculo del error de Offset**

Adicionar la cantidad de error por offset al valor de la señal que está siendo medida o producida para determinar valores típicos y máximo. Por ejemplo, para un [c]FP-AI-102 esta midiendo una señal de 50V unipolar, el error de offset típico es  $\pm 0.05$  V para un rango 0-60 V, y el máximo error de offset es  $\pm 0.15$  V.



### **3.5.5. Cálculo del error máximo para una lectura**

El error máximo es determinado combinando el error de ganancia de máximo y el máximo error offset. Por ejemplo, basado en la información arriba, el error máximo para señal de 50V medida con el [c]FP-AI-102 son

$$\text{Máximo} = |\pm 0.1 \text{ V}| + |\pm 0.15 \text{ V}| = 0.25 \text{ V}$$

### **3.5.6. Cálculo de la exactitud del módulo**

La exactitud de módulos FieldPoint puede ser calculada determinando la máxima diferencia entre la señal medida y el valor real de la señal.

## CAPITULO IV

### 4. CONSTRUCCIÓN.

#### 4.1. DESCRIPCIÓN.

Este tablero utiliza tubos con un diámetro a  $\frac{1}{2}$  y 1 pulgada, el material es hierro galvanizado en tubería nacional debido que es la mas utilizada en los sistemas de abastecimiento de agua potable, esto permite incorporar diferentes tipos de accesorios como son: Codo 90, Bifurcación T, Reducción – Ampliación, y Válvulas de diferente tipo.

Hay básicamente dos circuitos con tubos de entrada y salida, el primer circuito puede cerrarse con una válvula de mariposa y el otro con un válvula de palanca ubicada al costado izquierdo. Se usan uniones adaptadas con neplos de  $\frac{1}{8}$  a  $\frac{3}{16}$ , para acoplar mangueras plásticas a los sensores de presión diferencial, en cada uno de los accesorios.

En el primer circuito se encuentra una Bifurcación T, una ampliación de  $\frac{1}{2}$  a 1 pulgada de diámetro, y un codo a 90 grados.

En la parte inferior se encuentran dos válvulas de palancas, 1 a cada costado con las que se puede habilitar esta línea, además de una tuerca universal que facilita el intercambio de accesorios en caso necesario.

## 4.2. ACCESORIOS.

A continuación se detalla cada uno de los accesorios utilizados en la construcción del tablero.

➤ Codo 90.-

Dimensiones: ½ pulgada, 12.25 mm

Material: Hierro Galvanizado

Coefficiente de Fricción: 0.02

Tipo: Codo de radio Grande, Roscado, sin bridas

➤ Reducción .-

Dimensiones: de ½ a 1 pulgada

Material: Hierro Galvanizado

Angulo: 40 grados

Coefficiente de Fricción: 0.078

Tipo: Reducción Gradual

➤ Válvula Compuerta.-

Dimensiones: ½ pulgada, 12,25 mm

Material: Hierro Galvanizado

Coeficiente de Fricción: 0.5

Tipo: Roscada, sin bridas

➤ Válvula de Bola.-

Dimensiones: ½ pulgada

Material: Hierro Galvanizado

Coeficiente de Fricción: 15

Tipo: Roscada, sin bridas

➤ Válvula Check.

Dimensiones: ½ pulgada

Material: Hierro Galvanizado

Coeficiente de Fricción: 4

Tipo: Roscada.

➤ Válvula Mariposa.-

Dimensiones: ½ pulgada

Material: Hierro Galvanizado

Coeficiente de Fricción: 0.4

Tipo: Roscada., sin bridas

➤ Uniones Adaptadas.-

Para poder obtener la diferencia de presión en cada accesorio, fue necesario construir uniones con neoplos de 1/8 a 3/16, a los cuales se conecta una manguera plástica de 1/8 que tienen la finalidad de transmitir el fluido desde la tubería hasta el puerto A del sensor en el caso de la entrada, y al puerto B en el caso de la salida.

Para garantizar la hermeticidad entre la unión y neoplo, se requirió utilizar suelda autógena.

#### **4.3. BOMBA HIDRÁULICA.**

Los dos circuitos son alimentados por una Bomba de ½ Hp con las siguientes características técnicas:

- Nombre: QUICK DRAW - MYERS
- Modelo: QD50S
- Potencia: ½ HP
- Descarga de Presión: 20 Lbs
- Capacidad en Litros por minuto: 50 Lt/min a una altura de succión de 0 m.
- Sobrepresión Máxima: 65 psi.

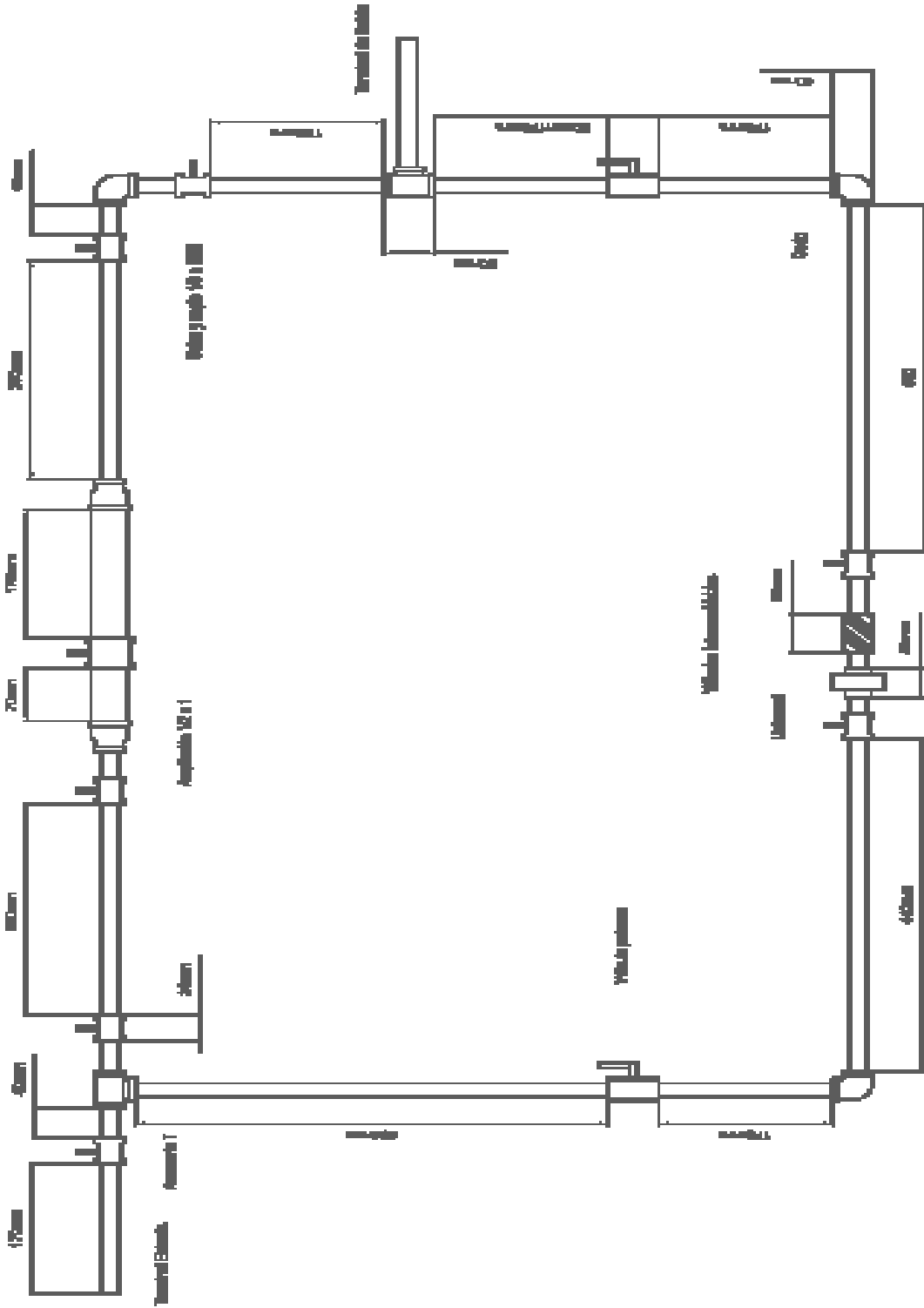
#### **4.4. ESPECIFICACIONES DEL TABLERO.**

El tablero completo va montado sobre una tabla vertical y tiene una estructura metálica que sirve como soporte.

Dimensiones: ancho 1400 mm \* alto 800 mm \* 300 mm.

Peso Aprox. 35 Kg.

#### 4.5. ESQUEMA DEL TABLERO



## CAPITULO V

### 5 PROGRAMACION

#### 5.1 DESCRIPCION DE LA APLICACION

El desarrollo del Sistema Automatizado de Medición se realizó utilizando el software LabView, ya que este integra la adquisición de señales mediante el uso del módulo FP-1100, la configuración de los canales con el software Measurement & Automation y los iconos propios de LabView para manejar la lectura de la señales analógicas.

#### 5.2 PANEL FRONTAL.

Como se puede apreciar en la figura 5.1, en el panel frontal se encuentran ubicados los botones o comandos que ejecutan una determinada acción, en la parte superior derecha se puede observar el gráfico del accesorio que esta siendo analizado, así como el coeficiente de fricción K dado por el fabricante, los dos se cargan cuando se selecciona el accesorio ha ser estudiado. A continuación se describe la acción que ejecuta cada comando..

**Accesorios.-** Este comando permite desplegar una sub. ventana en la que se pueden escoger diferentes tipos de accesorios. Cuando se inicia la aplicación este comando se



encuentra habilitado, pero terminado de adquirir los datos es necesario guardar los valores antes de seleccionar otro accesorio.

**Caudal.-** Visualiza una sub\_ventana que contienen tres botones, el botón ON/OFF ejecuta la instrucción para leer la señal de voltaje enviada por el sensor de caudal, la misma que es leída por el módulo FieldPoint en el canal 0 ( CH 0 ).

**Diferencial Pres.-** Visualiza una sub\_ventana que permite adquirir la señal de voltaje enviada por el sensor de presión diferencial que esta siendo obtenida en el accesorio preseleccionado. Las unidades son en PSI, pero estas son transformadas a valores de longitud (m), dividiendo dicho valor para el peso específico del agua (1000 Kg/m<sup>3</sup>).

ACCESORIOS	CAUDAL	DIFERENCIAL PRES	CALCULAR																								
<table border="1"> <thead> <tr> <th>CAUDAL (Lt / seg)</th> <th>Diferencia hl (exp) (mm c.a.)</th> <th>PRES DINAMICA V<sup>2</sup>/2g (m)</th> <th>COEFICIENTE MEDIDO K exp.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> </tbody> </table>				CAUDAL (Lt / seg)	Diferencia hl (exp) (mm c.a.)	PRES DINAMICA V <sup>2</sup> /2g (m)	COEFICIENTE MEDIDO K exp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CAUDAL (Lt / seg)	Diferencia hl (exp) (mm c.a.)	PRES DINAMICA V <sup>2</sup> /2g (m)	COEFICIENTE MEDIDO K exp.																								
0	0	0	0																								
0	0	0	0																								
0	0	0	0																								
0	0	0	0																								
0	0	0	0																								
COEFICIENTE K EXP.			0																								
VER REPORTE	GUARDAR	CERRAR APL																									

Imagen  
Accesorio

0

Fig 5.1 . Panel Frontal

**Calcular.-** Al presionar este botón se realizan los cálculos para obtener la presión dinámica ( $V^2/2*g$ ) (m) y el coeficiente de carga K (adimensional), además el promedio del valor del coeficiente obtenido, en cada nueva adquisición de datos.

**Ver Reporte.-** Al presionar este botón, se visualiza el reporte generado a partir de los datos obtenidos en el panel frontal. Antes de ejecutarlo es necesario que se hayan guardado los datos previamente adquiridos.

**Guardar.-** Guarda los datos obtenidos de caudal y presión para cada uno de los accesorios.

**Cerrar APL.-** Cierra la aplicación.

**Barra de Menú.-** Esta barra se encuentra ubicada en la parte superior de la pantalla, y contiene varias opciones como son: **Archivo, Edición, Operar, Ventanas y Ayuda.**

**Archivo.-** Contiene un sub\_menu con las opciones *Abrir, Setear Impresora y Cerrar*, al seleccionar la opción abrir, podemos elegir entre visualizar la ventana de Caudal o la Ventana de Accesorios.

**Edición.-** Presenta varias opciones como son: *Calcular, Seleccionar, Copiar y Pegar.*

**Operar.-** Despliega varias opciones como son: *Ejecutar, Reporte, Print at Completion, y Reinitialice All to Default.*

**Ventanas.-** Se puede elegir entre visualizar todas las sub\_rutinas que intervienen en la aplicación *Show VI Hierarchy* o que la ventana del programa se despliegue en toda la pantalla *Full Size.*

**Ayuda.-** Tienen presente dos opciones: *About LabView 7.0*, que despliega una ventana indicando la versión del software y *Ayuda* que realiza un link con la página de ayuda acerca de la aplicación en formato HTML.

### 5.3 DIAGRAMA DE BLOQUES

El programa inicia con un Estructura de tipo Secuence con dos Frames, en el frame 0(0..1) se inicializan cada una de las variables que se utilizan en el programa, en el frame 1 (0..1), como se visualiza en la Fig 5.2, existe una estructura While que encierra cada uno de los comandos y sub\_rutinas, además de las Estructuras Case, que invocan a los procedimientos y sub\_rutinas, La estructura while se detiene cuando el botón stop o el comando *Cerrar* del menú son activados.

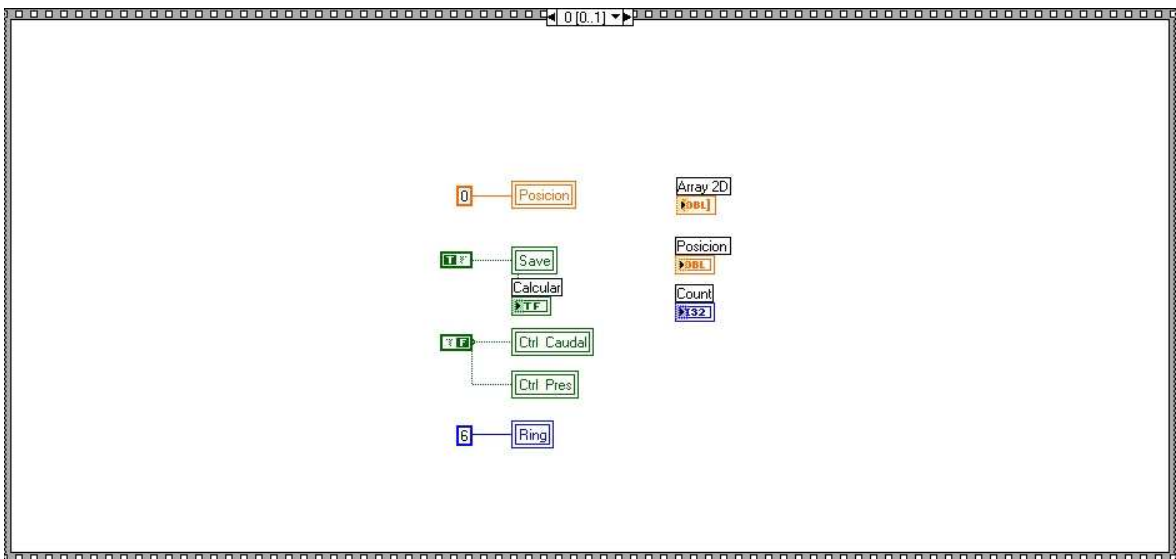


Fig. 5.2. Diagrama de Bloques – Frame 0 (0..1)

Para seleccionar el comando o caso correspondiente, puede hacerse tanto desde el menú principal del programa como de cada uno de los comandos ubicados en el panel frontal.

Uno de los iconos utilizados es el Get Menu Selection que selecciona el ítem correspondiente en el menú principal, Fig 5.3.

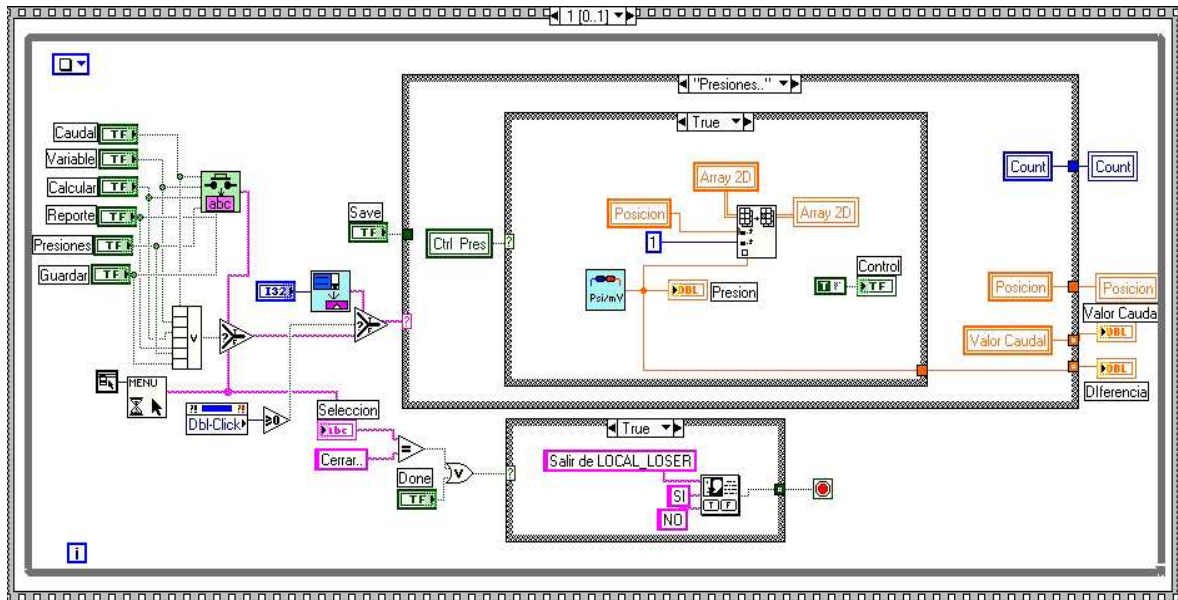


Fig. 5.3 Diagrama de Bloques – Frame 1 (0..1)

En la figura 5.4 se visualiza la programación de uno de los casos dentro de la estructura Case por ejemplo cuando se selecciona el comando Accesorio del panel frontal el Structure Case ejecuta las instrucciones siguientes:

Llama a la sub rutina o sub vi que despliega la ventana que contiene la fotografía de cada uno de los accesorios. Esta sub rutina devuelve el valor del coeficiente y la posición dentro del control Ring. También reinicializa el Arreglo de dos dimensiones y setea todos los valores a cero.

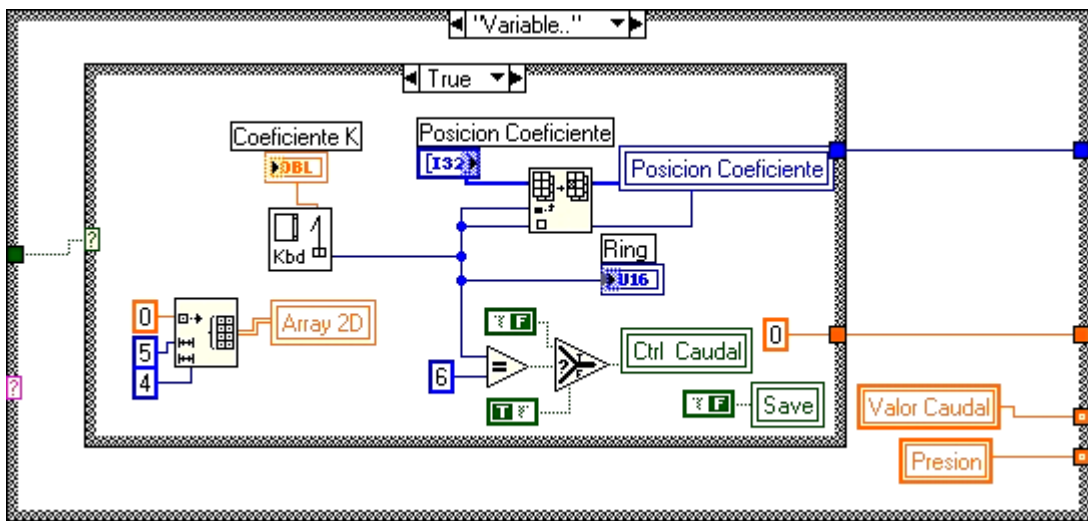


Fig. 5.4. Diagrama de Bloques – Estructura Case (“Variable..”)

Cada vez que se requiere volver a escoger un accesorio es necesario guardar los datos pulsando el respectivo botón caso contrario la estructura *Case* lo toma como un error y visualiza el mensaje indicando que es necesario guardar los datos como se puede ver en la Fig 5.5.

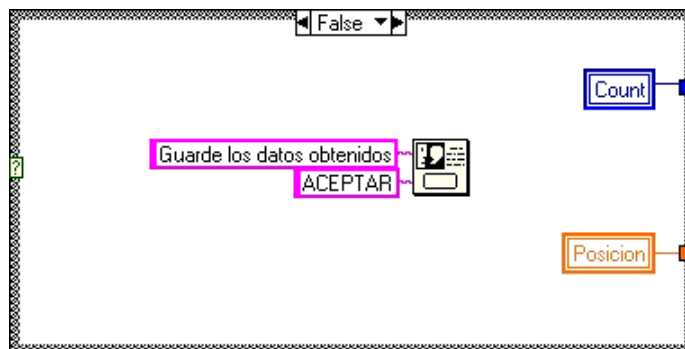
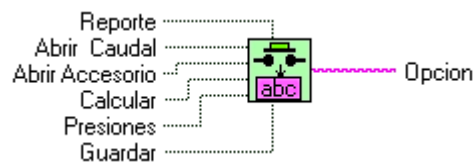


Fig 5.5. Case False

Para cada uno de los demás casos la programación es similar y al igual que en el ejemplo anterior, al producirse un error este se visualiza en un mensaje indicando la acción a seguir para corregir dicho error.

## 5.4 DESCRIPCIÓN DE LOS SUB VI'S UTILZADOS

### 5.4.1 Botones\_string\_selecc2.vi



Al presionar un botón en el panel frontal, este sub vi transforma el dato tipo boleano a tipo string, permitiendo ejecutar la estructura Case, que acepta únicamente datos de tipo string y numéricos más no boléanos.

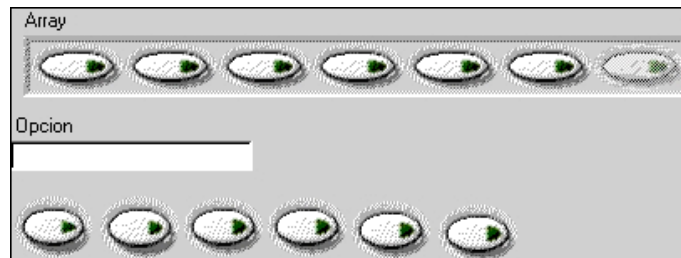


Fig 5.6.- Panel Frontal Sub\_VI transforma datos Boleanos a String

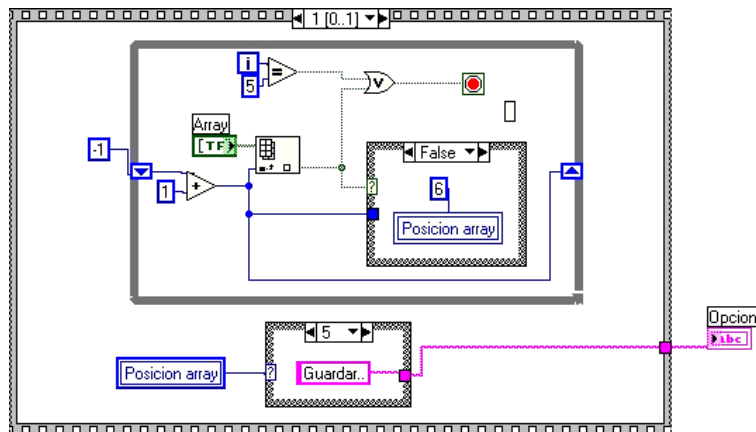


Fig. 5.7.- Diagrama de Bloques.

### 5.4.2 Keyboard\_mode.vi



Cuando se invoca a este sub vi, se despliega en la pantalla principal una ventana en la que se aprecia la fotografía de cada uno de los accesorios así como el coeficiente asignado, como se aprecia esta sub\_rutina envía un valor BDL y otro INT32, la ventana también muestra dos botones o comandos el uno selecciona el accesorio y el otro botón cancela la operación.

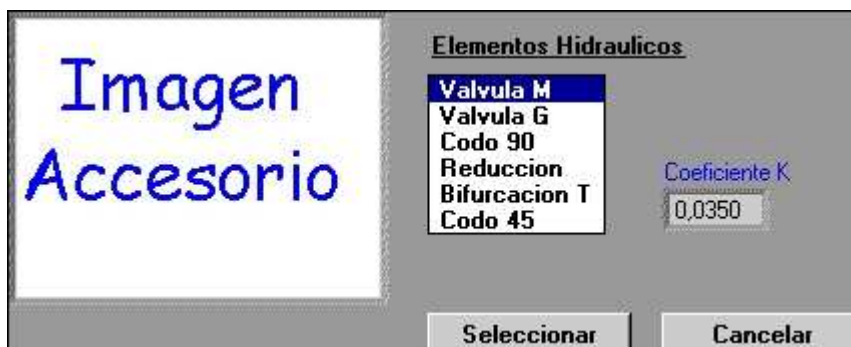


Fig. 5.8.- Panel Frontal, Selección del Accesorio

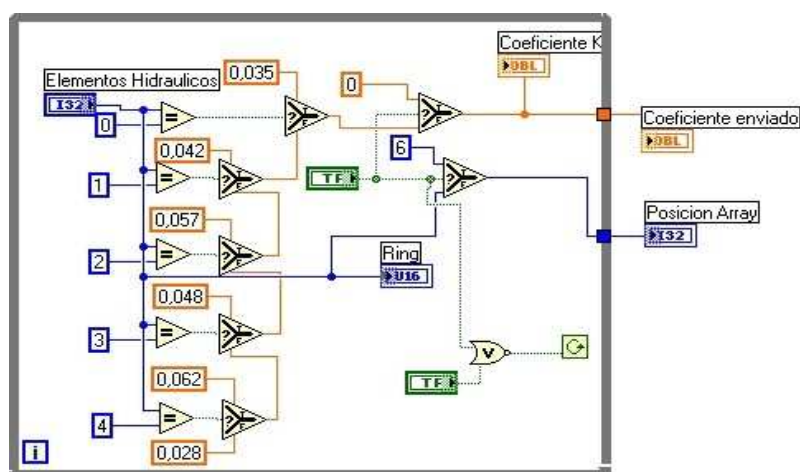


Fig. 5.9.- Diagrama de Bloques, Keyboard\_mode.vi

### 5.4.3 Lectura\_Presión.vi



En el momento en que se llama a este sub vi se despliega una ventana en la que se aprecia el valor actual de la diferencia de presión en Psi la cual es adquirida por el Field Point. Esta ventana también posee dos botones, cuando se ejecuta el botón adquirir se empieza a obtener la señal analógica. El botón cancelar detiene la operación.

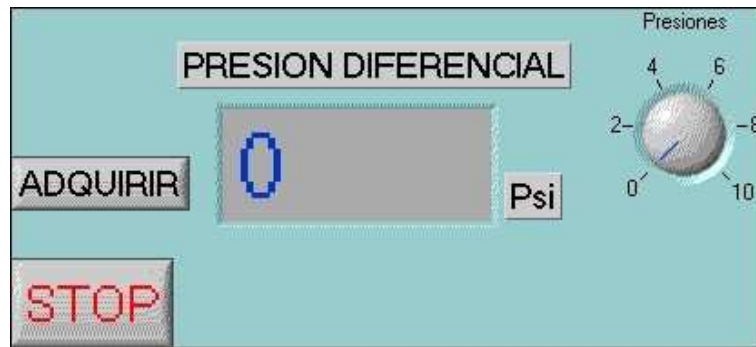


Fig.5.10.- Panel Frontal, Sub\_VI que visualiza la señal de presión obtenida.

Cabe mencionar que el sensor de presión genera un valor de voltaje y este es adquirido por el FP, y mediante programación es transformado a valores de Presión.

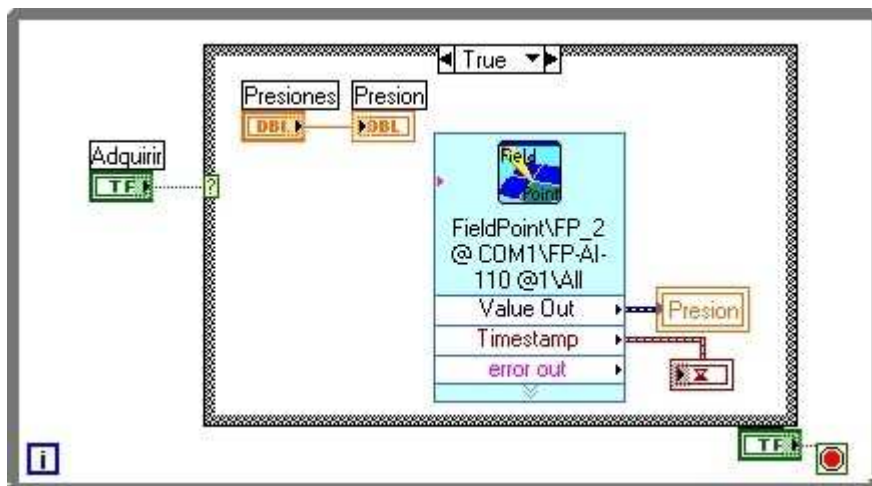
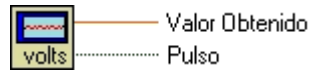




Fig. 5.11.- Diagrama de Bloques, Lectura Presión

#### 5.4.4 Simulación\_lectura\_voltaje.vi



Cuando se ejecuta este sub vi se visualiza en el panel frontal una ventana que contiene el Waveform Chart que muestra la señal de caudal en litros por minuto que esta siendo adquirida en tiempo real. El sensor de Caudal genera una señal de Voltaje que es transformada mediante programación a Lt/min. Tiene dos botones el uno que es para seleccionar el valor y el otro para cancelar la operación.

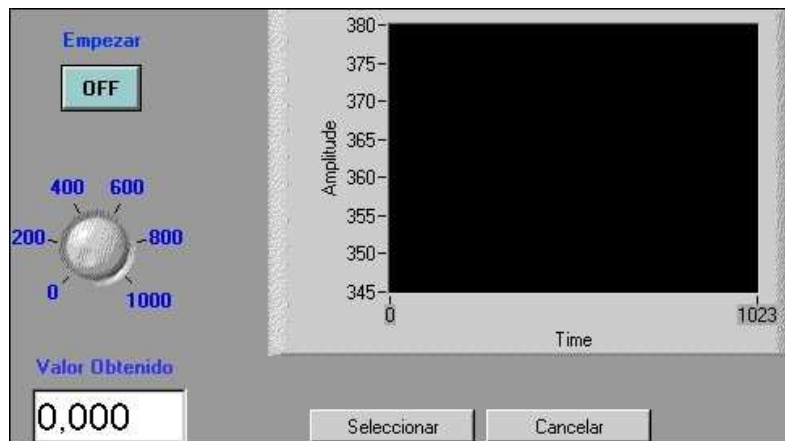


Fig. 5.12.- Panel Frontal, Sub\_VI, Visualiza la señal enviada por el sensor de Caudal

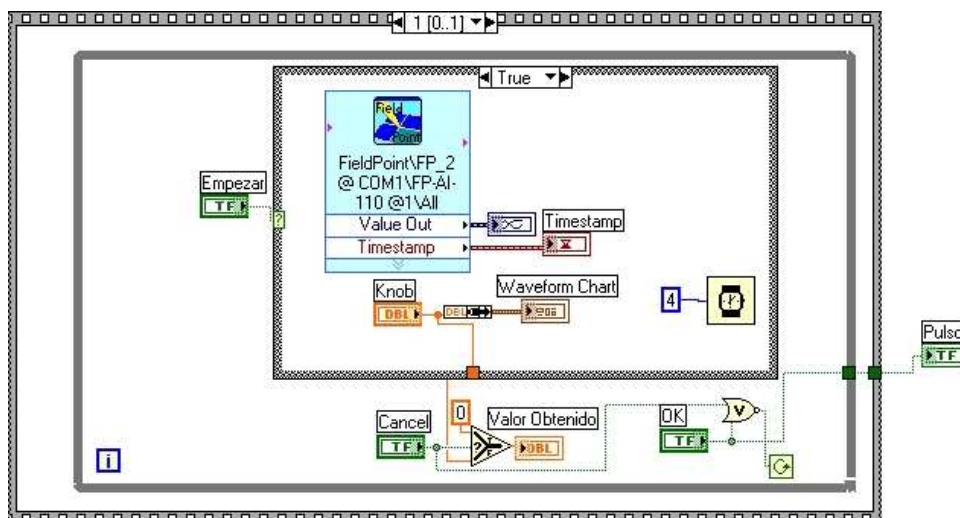
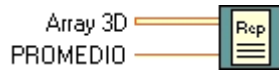


Fig. 5.13.- Diagrama de Bloques. Simulación\_Lectura\_Voltaje

#### 5.4.5 Report.vi



Como se puede ver en el gráfico del icono, este Sub\_VI tiene dos variables de entrada, la una variable tipo array DBL de 3 dimensiones, que guarda los valores de caudal y presión y el otro tipo DBL. que almacena el promedio.

En el momento en que se ejecuta el botón Ver Reporte se despliega una sub ventana que contiene información acerca de la fecha y hora en que se elabora el reporte, quien lo realizo, además un *XY Graph* muestra la relación caudal versus diferencias de alturas y una tabla que contiene los datos de caudal, diferencia de alturas, velocidad y el promedio de la constante K.

Para seleccionar el accesorio al que se quiere realizar el reporte es necesario ubicarse en el menú principal y realizar la selección. En el menú principal también podemos encontrar las opciones de guardar el reporte en formato html, o realizar un reporte impreso.

## Reporte Medidas de Caudal

Fecha: 21/12/2004

Hora: 18:53

Supervisor: RCH\_MP&C\_S2

### OBSERVACIONES:

El reporte se ha generado basandose en las siguientes características técnicas del equipo:

- \* Caudal: 45 Lt/ seg
- \* Presión: 10 psi

Imagen  
Accesorio

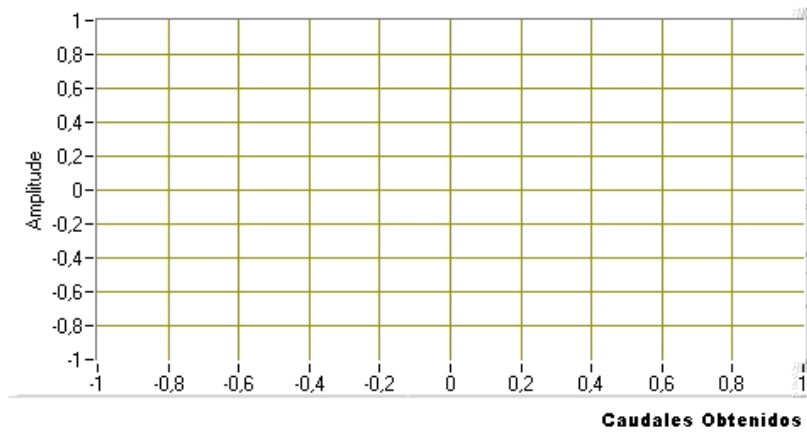


Tabla Valores Obtenidos

	Q (Lt/s)	Delta h (m)	$V^2/2g$ (m)	K EXP
Ensayo 1				
Ensayo 2				
Ensayo 3				
Ensayo 4				
Ensayo 5				

Fig. 5.14.- Panel Frontal, Sub\_VI, Reporte

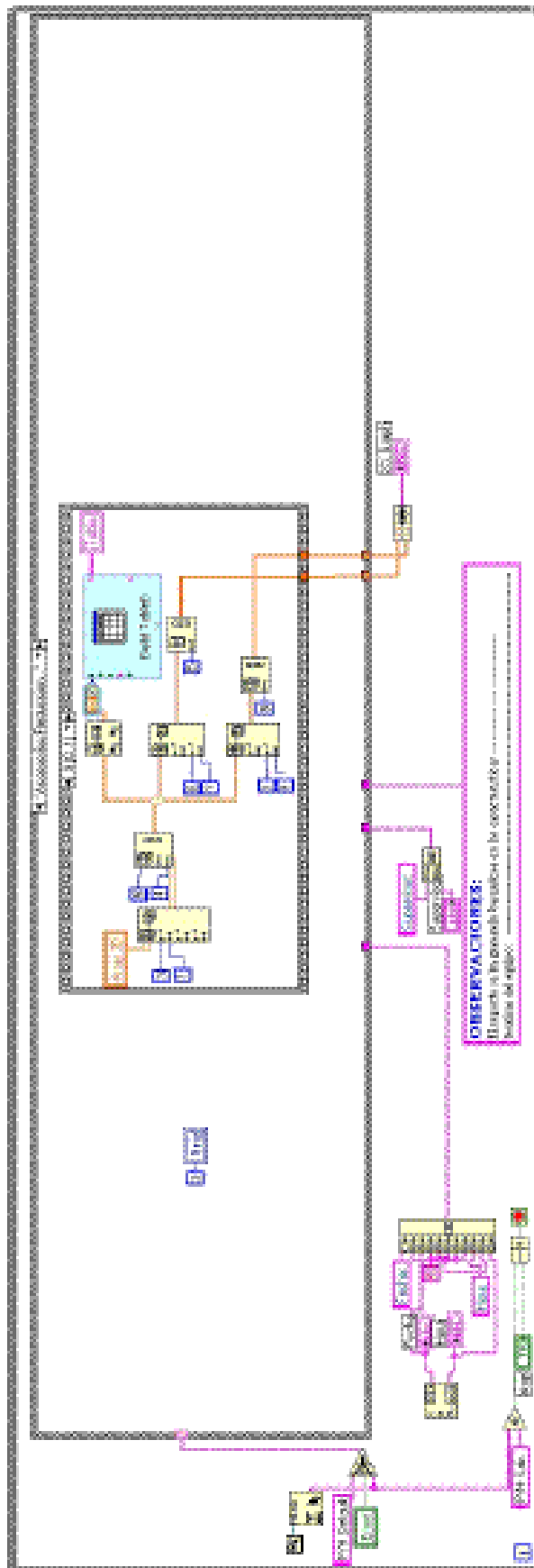
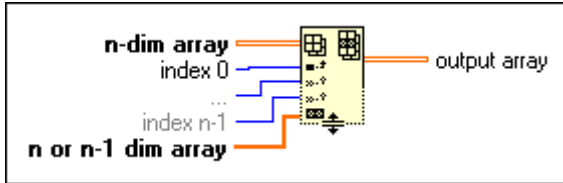


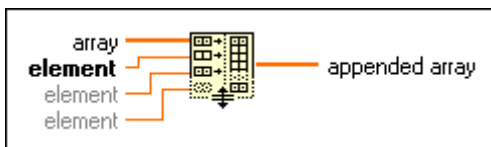
Fig. 5.15.- Diagrama de Bloques, Sub\_VI, Reporte

## 5.5 GLOSARIO DE FUNCIONES



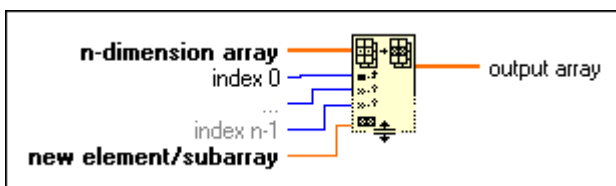
### Insert Into Array ( Insertar en el array)

Inserta un elemento o subarray dentro de **n-dim array** en el punto que se especifica en el **index**. Cuando se conecta un arreglo a esta función, esta se redimensiona automáticamente mostrando los índices (**index**) para cada una de las dimensiones del arreglo. Si no se especifica ningún índice a la entrada, esta función inserta el nuevo elemento o subarreglo al final del arreglo base **n-dim array**.



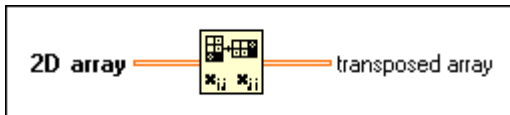
### Build Array (Construir un Arreglo)

Concatena múltiples arreglos o anexa elementos en un arreglo de n – dimensión.



### Replace Array Subset (Reemplazar en el Array)

Reemplaza un elemento o subarray en otro, en el punto que se especifica en el **index**. Cuando se conecta un arreglo a esta función, esta se redimensiona automáticamente mostrando los índices (**index**) para cada una de las dimensiones del arreglo. Si no se especifica un índice, esta función reemplaza todos los elementos en esa dimensión. El gráfico muestra los tipos de datos para esta función polimórfica.



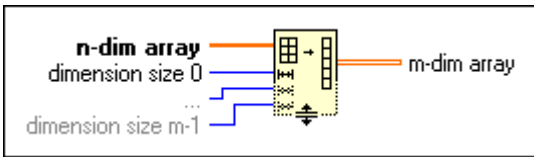
### Transpose 2D Array (Transponer un Arreglo de 2 Dimensiones)

Reorganiza los elementos de un arreglo de 2 D, de tal manera que el arreglo **2D array**[i,j] se transforma en **transposed array** [j,i]. El gráfico muestra los tipos de datos para esta función polimórfica.



### Cluster To Array (De Cluster a Arreglo)

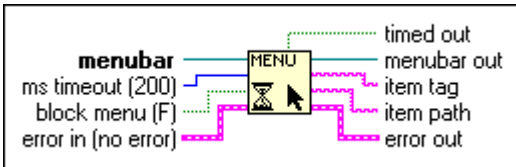
Convierte un cluster de elementos del mismo tipo de datos en un arreglo de 1 dimensión (1D) con elementos del mismo tipo.



### Reshape Array (Redimensionar un Arreglo)

Cambia las dimensiones de un arreglo de acuerdo a los valores de **dimension size 0..m-1**.

El gráfico muestra los tipos de datos para esta función polimórfica.



### Get Menu Selection (Obtener la selección del Menú)

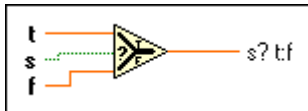
Retorna el nombre del ítem de la última selección desde el menú, tiene una opción de espera de varios milisegundos **ms timeout**.

**Nota:** Si se usa esta función con una Estructura de Evento configurada para manejar el mismo ítem del menú, La estructura Evento tiene mayor precedencia y LabView ignora el Get Menú Selection, en cualquier VI se puede usar la Estructura Evento o el Get Menu Selection.



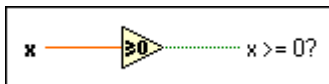
### Current VI's Menubar (Actualizar la barra de Menú)

Regresa la referencia numérica (refnum) del VI actual. Esta función es indispensable para usar las otras funciones de Menú.



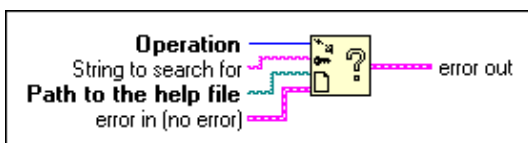
### Select (Seleccionar)

Retorna el valor conectado en la entrada **t** o **f** , dependiendo del valor de **s**. Si **s** es VERDADERO, esta función retorna el valor conectado en **t** , si es FALSO retorna el valor conectado en **f**. El gráfico muestra los tipos de datos para esta función polimórfica.



### Greater Or Equal To 0? (Mayor o igual a cero)

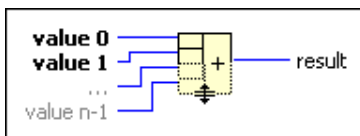
Retorna VERDADERO si **x** es mayor o igual a 0, en otro caso esta función retorna FALSO, El gráfico muestra los tipos de datos para esta función polimórfica





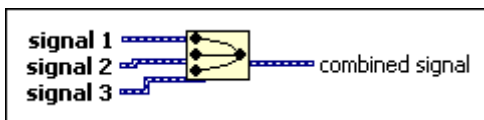
### **Control Online Help (Control de Ayuda Online)**

Controla un archivo de ayuda compilada desplegando la tabla de contenido, saltando a un t3pico especificado en el archivo, o cerrando el archivo de ayuda. Se puede crear un archivo de ayuda compilado y usar esta funci3n para unir desde el VI. Se puede usar esta funci3n para mostrar un archivo tipo HTML en el browser establecido.



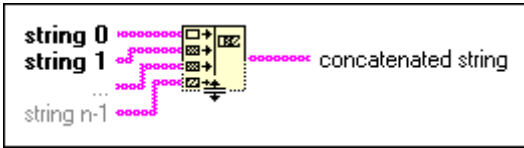
### **Compound Arithmetic (Componente Aritm3tico)**

Ejecuta operaciones aritm3ticas de uno o mas n3meros, arreglos, entradas booleanas o clusters. El gr3fico muestra los tipos de datos para esta funci3n polim3rfica



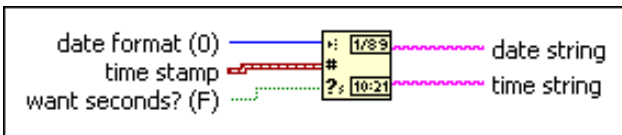
### **Merge Signals (Combinar Se3ales )**

Combina dos o mas se3ales en una salida 3nica. Es necesario redimensionar la funci3n para a3adir entradas. Esta funci3n aparece en el diagrama de bloques autom3ticamente cuando se conecta una se3al de salida a una l3nea de conexi3n entrante de otra se3al.



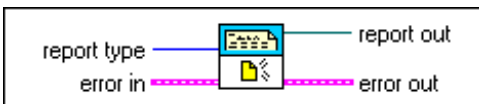
### Concatenate Strings (Concatenar Señales)

Concatena entradas de tipo String y arreglos de string de 1 dimensión en una salida única tipo string. En el caso de entradas de arreglo, esta función concatena cada elemento del arreglo. Para adicionar entradas haga clic derecho y seleccione **Add Input** desde la caja de menú.



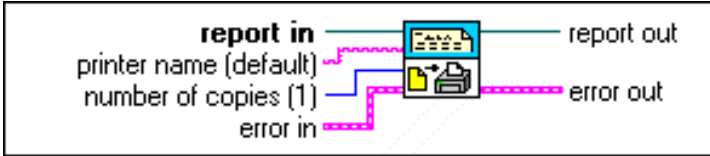
### Get Date/Time String (Obtener la Fecha y Hora )

Convierte un valor con indicación de tiempo o valor numérico a un string con la fecha y hora configurada en el setup de la computadora.



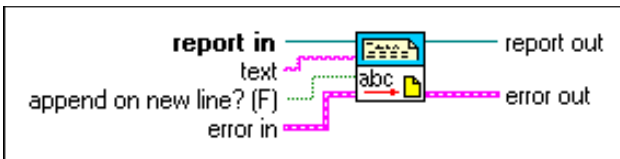
### New Report (Not in Base Package) (Nuevo Reporte)

Crea un reporte Nuevo. Es necesario usar este sub Vi para crear un reporte si no se utiliza el Easy text Report VI.



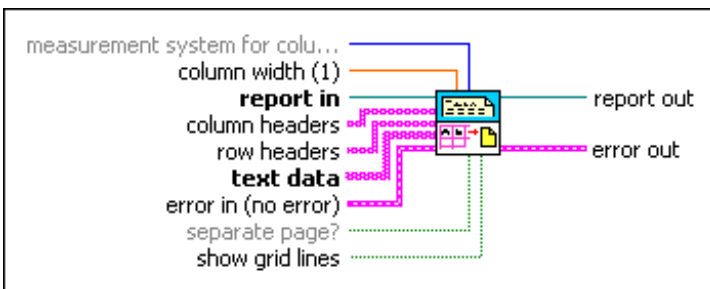
### Print Report (Windows, Not in Base Package) (Imprimir Reporte)

Imprime un reporte Estándar o HTML en la impresora seleccionada por defecto en la computadora. Si se usa este VI para imprimir un reporte HTML, la impresora de la computadora debe tener Internet Explorer Instalado.



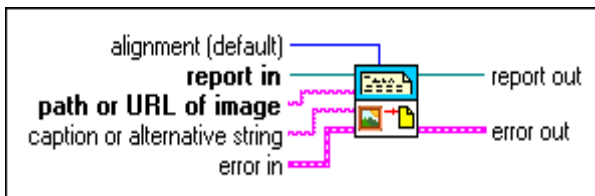
### Append Report Text (Not in Base Package) (Anexar Texto al Reporte)

Anexa texto en el reporte seleccionado. La entrada en **text** debe ser un cadena de caracteres. El reporte seleccionado es el que se conecta en **report in**. Se puede anexar el texto en la actual posición del cursor o en una nueva línea.



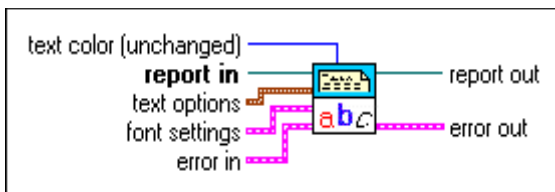
### **Append Table to Report (Not in Base Package) (Anexar Tablas al Reporte)**

Anexa un arreglo de 2D a un reporte como si fuera una Tabla con el ancho especificado de las columnas. Se puede usar esta función para anexar un arreglo numérico o de caracteres.



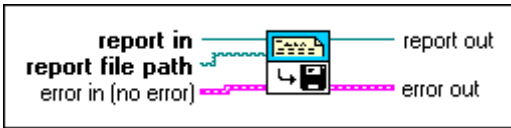
### **Append Image to Report (Not in Base Package)(Anexar una Imagen al Reporte)**

Para un reporte HTML, el VI inserta una imagen en el reporte. Para un reporte estándar, el VI anexa la imagen desde un archivo. Reportes estándar admiten archivos de imágenes de tipo .bmp, .gif, .wmf, .emf, and , .jpg, pero no archivos .png.



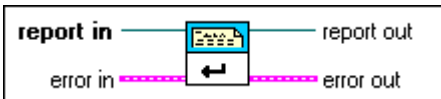
### **Set Report Font (Not in Base Package) (Setear la Fuente del Reporte)**

Configura las propiedades de la fuente del reporte, incluidas las de los títulos y encabezados. Las propiedades disponibles incluyen italic, bold, strikethrough, underline, color, font name, font size, character set, y weight (ancho).



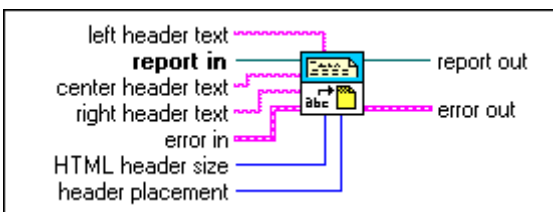
### Save Report to File (Not in Base Package) (Guardar el Reporte en Archivo)

Graba un reporte HTML en un archivo especificado en el path **report file path**. No se puede usar este VI con reportes estándar.



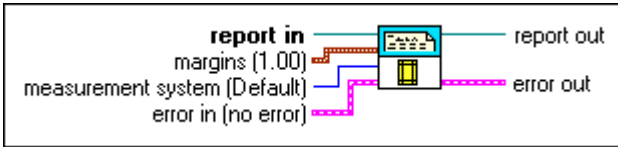
### New Report Line (Not in Base Package) (Nueva Línea de Reporte)

Empieza una nueva línea en el reporte.



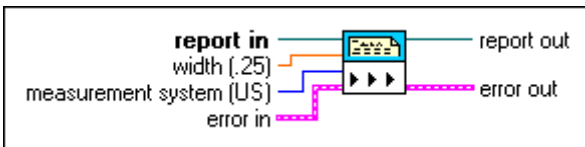
### Set Report Header Text (Not in Base Package)(Configurar el Encabezado de Reporte)

Configura el texto del encabezado del reporte. Se puede usar tokens con este VI para generar información en lo encabezados. Por ejemplo se puede insertar la información del tiempo en los encabezados.



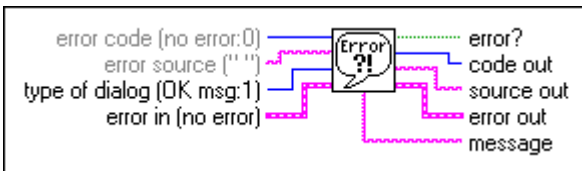
### Set Report Margins (Not in Base Package) (Configurar los Márgenes del Reporte)

Configura los márgenes del reporte especificado.



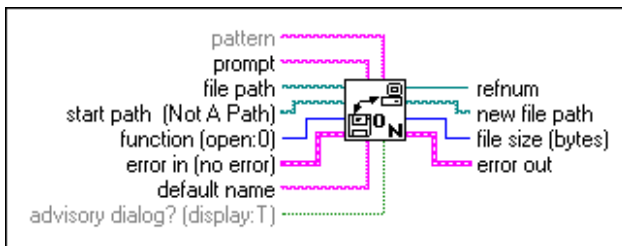
### Set Report Tab Width (Windows, Not in Base Package)(Conf. Ancho de Tabulaciones)

Configura el ancho de las tabulaciones. Para colocar un tab en su texto, inserte el token <tab> en el texto tipo string. Alternativamente se puede usar la función concatenación de Strings e insertar una constante tab para construir el texto tipo string.



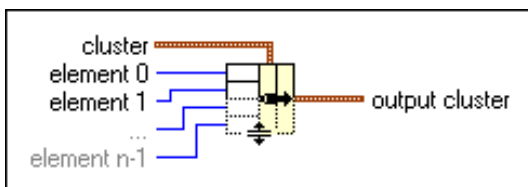
### Simple Error Handler (Manejador de Errores Simple)

Indica cuando un error ha ocurrido. Si un error ocurre, este VI retorna una descripción del error y opcionalmente muestra un cuadro de diálogo. Este VI llama al VI General Error Handler y tiene la misma funcionalidad básica con pocas opciones.



### Open/Create/Replace File (Abrir /Crear/Reemplazar Archivos )

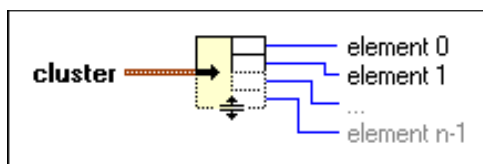
Abre un archivo existente, crea un Nuevo archivo o reemplaza un archivo existente, mediante programación o interactivamente usando un cuadro de dialogo. Se puede especificar un titulo de dialogo, nombre del archivo por defecto, **start path**, o un filtro patrón. Use este VI con las funciones Write File o Read File.



### Bundle

Ensambla un cluster con elementos individuales. Se puede usar esta función para cambiar el valor de los elementos individuales en un cluster existente sin tener que especificar nuevos valores para todos los elementos. Para hacer esto, conecte el cluster que quiere cambiar en el terminal central **cluster** de esta función. Cuando se conecta el cluster a esta función, la función se redimensiona automáticamente para mostrar las entradas de cada elemento en el cluster. El gráfico muestra los tipos de datos para esta función polimórfica.

### Unbundle



Divide un **cluster** en cada uno de los elementos individuales. Cuando se conecta un cluster a esta función, la función se redimensiona automáticamente para mostrar las salidas de cada uno de los elementos en el cluster que se ha conectado. El gráfico muestra los tipos de datos para esta función polimórfica.



### FP Read (Polymorphic) (FP Lectura)

Sincronizadamente lee un simple conjunto de valores desde un ítem de FieldPoint.





## CAPITULO VI

### 5. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

#### 5.1. DESARROLLO DE LAS PRÁCTICAS

En este capítulo se desarrollan las prácticas necesarias para verificar el correcto funcionamiento del Banco Hidráulico además del Sistema de Medición Automatizado (S.M.A.H).

Se generan tres reportes por cada accesorio para comprobar que los valores no difieran en cada ensayo, y a la vez corregir detalles técnicos como son:

- *Conexiones Eléctricas* entre la fuente de voltaje y cada uno de los sensores de presión así como la alimentación hacia el sensor de caudal.
- *Conexiones de Transmisión de Datos* entre los sensores, el Módulo FieldPoint y el puerto serial de la CPU de la máquina.
- *Conexiones Hidráulicas* entre la bomba, la entrada del banco hidráulico, los accesorios, las tuberías y la salida del banco hidráulico hacia el tanque de almacenamiento de agua.
  
- *Instalación del Sistema* en la máquina del laboratorio.

- *Conexiones de Dispositivos de Salida* o visualización de datos, es decir instalación de la impresora para generar los reportes en el momento que se desarrolla la práctica.

A continuación se presentan cada uno de los reportes generados.



























## CAPITULO VII

### 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 7.1. Conclusiones:

Del análisis e interpretación de los datos recolectados en las prácticas, así como de la revisión de la fundamentación teórica consultada, se obtienen las siguientes conclusiones:

- Todo tipo de accesorio para tubería ofrece resistencia al paso del flujo, estos elementos producen una perturbación de la corriente que origina remolinos y desprendimientos que intensifican las pérdidas.
- Una válvula puede ser una pérdida pequeña y despreciable cuando esta completamente abierta, tal como se demuestra con los ensayos realizados; sin embargo, cuando está parcialmente abierta puede ser la pérdida más importante dentro de un sistema de distribución.
- El cálculo del coeficiente K para accesorios esta en función del caudal o velocidad media, de las características de fluido (Reynolds), de parámetros geométricos propios de cada accesorio (diámetro externo - interno, longitud ) y de la rugosidad del material con que esta construido el elemento, variables que dificultan la precisión en su cálculo.



- La exactitud para determinar el Coeficiente K cuando se lo hace por medio de transductores en este caso de presión y caudal, se ve afectado por la precisión que dispongan dichos dispositivos electrónicos para representar fielmente el comportamiento del fenómeno físico mediante señales eléctricas pudiendo ser en valores de voltaje o corriente. Sin embargo se demuestra que, con sensores electrónicos de muy buena precisión y por ende mas costosos, el análisis y comprobación de fenómenos físicos pierde su complejidad además de facilitar el monitoreo control y reporte.
  
- Evidentemente el uso de transductores involucra la utilización de circuitos electrónicos y la CPU de una computadora para llevar a cabo su tarea, por lo que se pierde la independencia entre dispositivos además de generar errores en la adquisición de señales.
  
- Se ha comprobado el beneficio de usar el software LabView en conjunto con los módulos de adquisición de señales analógicas FP-AI-110, ya que la programación se lo realiza mediante iconos propios del módulo, facilitando la comunicación serial, la visualización de señales y el reporte de las prácticas.
  
- El presupuesto invertido en la elaboración de la Tesis, demuestra que implementar un sistema completo de monitoreo y control en un proceso productivo en el que intervenga medición y control del caudal y presión, es accesible para las industrias locales y nacionales, tomando en cuenta los beneficios de mejorar el nivel

tecnológico en el control de procesos.

- La investigación y manipulación de los dispositivos electrónicos por parte de estudiantes que realizarán ensayos en el banco hidráulico, permiten que la teoría sea aplicada a la práctica, ya que se observara en forma real el comportamiento del caudal y presión en tuberías.

## **7.2. Recomendaciones:**

Como producto del trabajo realizado se recomienda:

- Cuando se comparen los valores de los coeficientes  $K$  calculados por el sistema con los  $K$  especificados para cada accesorio, se debe tomar en cuenta que estos son dados por los fabricantes y han sido obtenidos usando equipo mucho mas sensible y tomando en cuenta variables como la rugosidad del material, por lo que los valores calculados difieren pero se aproximan.
- Los sensores de presión han sido diseñados para uso de agua pero libre de contaminantes, se recomienda cambiar el volumen de agua del tanque de depósito cada 7 días.
- Para la realización de una nueva práctica se hace necesario volver a cebar lo sensores de presión, ya que la presencia de burbujas de aire en el interior de las mangueras plásticas, producen lecturas erróneas.

- Se recomienda el uso de fuentes de energía independiente para la alimentación de cada uno de los sensores, debido a un aumento de voltaje en cada uno de las salidas de los sensores en aproximadamente 5 mV cuando se usa una fuente única.
- Para verificar la señal obtenida en cada prueba, se recomienda comprobar los valores de voltaje en los terminales de cada canal del módulo FP-AI.110 usando un multímetro digital para mayor precisión.
- El área de trabajo para realizar las prácticas debe ser de aproximadamente 3m\*3m, por lo que se recomienda a la Facultad de Ingeniería En Sistemas carrera de Ingeniería Industrial, adecuar otro espacio físico en el que se tenga facilidad para evacuar agua mediante un desagüe, además de tomas de agua.
- Cuando se realicen las prácticas en las válvulas se recomienda que los tramos de tubería hayan sido previamente cerradas mediante las válvulas de palanca.
- Para generar los reportes en el lugar es necesario que se habilite una impresora en el laboratorio, y no necesariamente cerca del tablero, caso contrario el Sistema brinda la posibilidad de guardar los datos en formato html, para posteriormente generar el reporte impreso.
- Se recomienda la continuidad de la realización de proyectos enfocados al uso de tecnología actual debido a la imperiosa necesidad de la tecnificación industrial.

- Para verificar los valores de caudal, se recomienda utilizar de manera conjunta el Vertedero, de esa manera comparar una medición manual con una automatizada.

## **BIBLIOGRAFIA**

GARCIA, Díaz Rafael. (2000). Manual de Fórmulas de Ingeniería. México D.F.  
Editorial Limusa Noriega.

MASSEY, Bernard. (1984). Mecánica de Fluidos. Editorial Limusa.

MATAIX, Claudio. (1981). Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas. México.  
Editorial Harper & Row Publishers INC.

MOTT, Robert. (1996). Mecánica de los Fluidos. México. Editorial Prentice Hall.

SOTELO, Gilberto. (1979). Hidráulica General. México. Editorial Limusa.

STREETER, L. (1980). Dinámica de Fluidos. New York. Editorial McGraw-Hill

NATIONAL INSTRUMENTS. (2004). Measurement and Automation. California  
EE.UU.

LAZARO, Antonio M. (2003). LabVIEW 7i. Programación Gráfica para el Control de la  
Instrumentación. Editorial Paraninfo – Thomson Learning.

PALLAS A, Ramón. (1998). Sensores y Acondicionadores de Señal. México. Editorial  
Marcombo.

SMITH, Carlos A. (1996). Control automático de Procesos, Teoría y Práctica. México.  
Editorial Limusa Noriega.

OGATA, Katsuhiko. (1998). Ingeniería de Control Moderna 3<sup>era</sup> Edición. Editorial  
Prentice – Hall Hispanoamérica S.A.

**Internet:**

<http://ldaps.ivv.nasa.gov/Spanish/Physics/bernoulli.html>

<http://www.solinst.com/Prod/Span/3001Sp/3001S4.html>

<http://www.pasotti.it/raccordi/greiner/p46s.html>

[http://editorial.cda.ulpgc.es/instalacion/1\\_ABASTO/13\\_dimensionado/i132.htm](http://editorial.cda.ulpgc.es/instalacion/1_ABASTO/13_dimensionado/i132.htm)

[http://www.univalle.edu/ext\\_uni/brujula/brujula12/pag04.htm](http://www.univalle.edu/ext_uni/brujula/brujula12/pag04.htm)

<http://hidraulica.unalmed.edu.co/PARH/Materias/fluidos/quiceno/cap5.html>

<http://tarwi.lamolina.edu.pe/~dsa/Perdidaccesorios.htm>

<http://www.solinst.com/Prod/Span/3001Sp/3001S4.html>

[http://www.armfield.co.uk/esp\\_c6\\_datasheet.html](http://www.armfield.co.uk/esp_c6_datasheet.html)

[http://digital.ni.com/worldwide/latam.nsf/web/all/23B1FD9102362AA586256CC20058FE78?OpenDocument&node=165520\\_esa](http://digital.ni.com/worldwide/latam.nsf/web/all/23B1FD9102362AA586256CC20058FE78?OpenDocument&node=165520_esa)

<http://digital.ni.com/worldwide/latam.nsf/web/all/FF090786BCEC608D86256B6000660>

<http://zone.ni.com/devzone/conceptd.nsf/webmain/13E2AD63AC224C7486>

<http://www.gmelectronica.com.ar/catalogo/pag45.html>

<http://www.omega.com/literature/transactions/volume3/pressure.html>

<http://www.controleng.com/tutorials/>

<http://www.todorobot.com.ar/>

<http://www.service-robots.org/IEEE-start.php>

<http://www.microcontroladores.com/conectarylisto.asp>

<http://scmstore.com/acqui/datacq.htm>

<http://www.honeywell.com/>

[http://www.dte.upct.es/personal/fjortiz/docencia/EG6\\_instr\\_elec/trabajos/Trabajos%20curso%2002-03.htm](http://www.dte.upct.es/personal/fjortiz/docencia/EG6_instr_elec/trabajos/Trabajos%20curso%2002-03.htm)



## ANEXO 1:

### TERMINOLOGIA

$A_n$ : áreas de tuberías

$V_n$ : velocidades

$\gamma_n$ : pesos específicos

$p_n$ : presiones

$\rho$ : densidad

$g$ : aceleración de la gravedad

$h$  o  $z$ : alturas

$h_f$ : pérdidas de carga

$Q$ : caudal

$r$ : radio

$W_L$ : masa del fluido

$K$ : coeficiente de pérdidas

$D$ : diámetros

$t$ : espesor

$L$ : longitud

$v$ : voltaje

$I$ : corriente

$\Omega$ : ohmios

$H_p$ : potencia



## **ANEXO 2:**

# Especificaciones Técnicas del Sensor de Presión Diferencial

## **ANEXO 3:**

### **GUIA DE LA PRACTICA**

#### **TEMA:**

**CALCULAR EL COEFICIENTE K EN LOS ACCESORIOS MEDIANTE LOS  
SENSORES DE PRESION DIFERENCIAL Y EL CAUDAL**

#### **OBJETIVOS:**

- Determinar la pérdida de presión en los diferentes tipos de accesorios
- Calcular el coeficiente k teórico y comparar con el calculado por el Sistema

#### **MATERIALES**

- Bomba de 1/2hp
- Módulo FP-AI 110
- Software para la medición automatizada de presiones (SMATH)
- Sensores de presión diferencial
- Tanque para el agua
- Herramientas en general
- Banco hidráulico para pérdidas localizadas

## PROCEDIMIENTO

1. Conectar el módulo FP-AI 110 al puerto serial del CPU, se necesita configurar el módulo FP utilizando el software Measurement and Automation, los canales para la adquisición de datos tiene la siguiente disposición:

Canal en el FP	Sensor	Accesorio	Color Cables
Canal 0	Caudal		Gris y Blanco
Canal 1	1	Bifurcación	Verde y Blanco
Canal 2	2	Ampliación	Azul y Blanco
Canal 3	3	Codo 90	Café y Blanco
Canal4	4	Válvulas	Tomate y Blanco

2. Conectar la salida de los sensores al módulo FP-AI 110 de acuerdo a la tabla anterior.
3. Colocar las mangueras de admisión hacia la bomba y la salida del flujo desde el Banco hacia el tanque de agua
4. Colocar las manguera que conectan los accesorios a los correspondientes sensores de presión diferencial
5. Conectar los sensores a los socialos respectivos teniendo en cuenta que estos deben estar cebados previamente, PRECAUCION: Cuando se ceben los sensores en cada nueva práctica tener mucho cuidado de no mojarlos, estos sensores son bastante delicados y pueden verse averiados al contacto con el agua.
6. Conectar el caudalímetro a la salida de la bomba para obtener el caudal que circula por la tubería.

7. Conectar la señal de salida del caudalímetro al módulo FP-AI –110
8. Encender la bomba y cebar, para el control del caudal a través de la tubería se usa la válvula de control, ubicada a la salida de la bomba
9. Abra la válvula de control completamente para eliminar todo burbuja de aire en el interior de la tubería, espere 3 min para la estabilización del flujo.
10. Ejecutar el programa SMATH,

ACCESORIOS	CAUDAL	DIFERENCIAL PRES	CALCULAR
CAUDAL (Lt / seg)	Diferencia hl (exp) (mm c. a.)	PRES DINAMICA $V^2/2g$ (m)	COEFICIENTE MEDIDO K exp.
0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0
COEFICIENTE K EXP.			0
VER REPORTE	GUARDAR	CERRAR APL	

Imagen  
Accesorio

0

### INICIO:

- Al ejecutar el programa se presenta una pantalla principal, en esta se indica los autores y además un text\_edit en el que es necesario introducir la contraseña para acceder al menú principal del Sistema.
- Una vez en el Menú Principal se puede observar los comandos en cada botón además una barra de menú ubicada en la parte superior del programa, cada acción se la puede ejecutar de cualquier de las dos formas.

- Para empezar a realizar la práctica correspondiente es necesario seleccionar el accesorio a ser analizado, Presione el botón **ACCESORIO**, al hacerlo se despliega una sub\_ventana donde se ilustran las fotos de cada accesorio además del coeficiente K dado por los fabricantes, Presione el Botón **ACEPTAR** una vez que se ha hecho la selección.
- En la Pantalla principal Presione el comando **CAUDAL**, para obtener la señal del caudal existente en la tubería. Presione **SELECCIONAR**, cuando el valor se haya estabilizado.
- En la pantalla principal Presione el comando **DIFERENCIA DE PRESION**, en este momento se despliega una sub\_ventana donde se empieza a adquirir el valor de la diferencia de presión. Presione **ACEPTAR** cuando el valor se haya estabilizado.
- Una vez obtenidos los valores tanto de caudal como de presión, ejecute el comando **CALCULAR**, para obtener el promedio del coeficiente K. **Nota:** El valor que se observa en la parte inferior de la tabla corresponde al promedio de las 5 pruebas. Pero el resultado final se da después de realizado las 5 pruebas completas.
- Antes de generar el reporte mediante el comando **VER REPORTE**, es necesario presionar el comando de **GUARDAR**, caso contrario los valores obtenidos no se almacenan en la matriz de tres dimensiones.
- Cuando se despliegue la sub\_ventana de **REPORTE** se tiene la posibilidad de Imprimir o Guardar el reporte, para cualquiera de las selecciones, ubíquese en la barra de menú y escoja la acción a seguir.

11. Comparar los valores obtenidos con los valores determinados por los fabricantes
12. Realizar un informe impreso de los valores obtenidos mediante el software SMATH