



A.F. 132342



SCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

tema de Adquisición de Datos y Supervisión Equipos (NI)

TESIS DE GRADO

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO EN ELECTRICIDAD
Especialización Electrónica Industrial

Presentada por:

ANA ALBÁN DE LA TORRE
GIOSMARA CAÑARTE ABAD
GONZALO ESPINOZA VARGAS

Guayaquil - Ecuador

AÑO

2 0 0 3

AGRADECIMIENTO

Al DIOS Todopoderoso por habernos ayudado durante toda nuestra carrera y hasta el momento. A nuestros Padres por todo su Esfuerzo y apoyo, y finalmente a todas las personas que colaboraron en la realización de este trabajo.

DEDICATORIA

A NUESTROS PADRES

A NUESTROS HERMANOS

TRIBUNAL DE GRADUACION



Ing. Norman Chootong Ch.

SUBDECANO FIEC



Ing. Raphael Alarcón C.

DIRECTOR DE TESIS



Ing. Holger Cevallos U.

MIEMBRO PRINCIPAL



Ing. Alberto Manzur H.

MIEMBRO PRINCIPAL

DECLARACION EXPRESA

"La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL"

Ana Albán D.

Giosmara Cañarte A.

Gonzalo Espinoza V.

RESUMEN

La evolución constante del control automático de procesos apunta hacia sistemas que satisfagan los requerimientos del cliente, cumpliendo con los estándares de la industria tales como calidad, seguridad, eficiencia, etc. brindando una sencilla conexión de los equipo o instrumentos que intervienen en el proceso, además de ofrecer una interface al usuario de fácil comprensión y manejo.

En este trabajo se presenta la construcción de una planta didáctica de control de nivel utilizando la tarjeta de adquisición de datos de la NI PCI-6024E y como interface gráfica y de control el software Labview.

En el Capítulo 1, se da una introducción a los sistemas de control, presentando los conceptos y componentes básicos, controladores por retroalimentación y estabilidad de sistemas lineales.

En el Capítulo 2, se detalla el objetivo de la planta didáctica, descripción de los componentes que forman dicha planta: sensor de nivel, válvula de control, controlador PI, etc. y el respectivo análisis teórico del proceso: linealización, diagramas de bloques, ganancia total.

En el Capítulo 3, se presentan las principales herramientas digitales que nos ofrece la National Instruments para el control de procesos. Se proporciona toda la información sobre la tarjeta PCI-6024E, como características, configuración en el PC, etc. Además se presenta la implementación gráfica de la planta de control de nivel en el Labview.

En el Capítulo 4, se describe de una forma más detallada las características, especificaciones de todos y c/u de los componentes que integran la planta didáctica.

En el Capítulo 5, se dan las condiciones iniciales, de operación y los resultados prácticos obtenidos.

Del análisis de la información recopilada y de los resultados prácticos se puede decir que, tanto en la entrega como en la recepción de información, la

adquisición de datos a través de la tarjeta se efectuó con éxito; se capturó la señal del sensor de nivel(voltaje) y a su vez se envió el voltaje de salida necesario hacia la válvula de control.

INDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN	VI
INDICE GENERAL	IX
ABREVIATURAS	XVI
SIMBOLOGIA	XVII
INDICE DE FIGURAS	XIX
INDICE DE TABLAS	XII
INTRODUCCION	1
I. SISTEMAS DE CONTROL	3
1.1 Introducción a los Sistemas de Control	3
1.2 Transformada de Laplace	9
1.3 Función de Transferencia de los Sistemas Lineales	10
1.4 Componentes Básicos de los Sistemas de Control	12
1.4.1 Sensores y Transmisores	12
1.4.2 Válvulas de Control	12
1.5 Controladores por Retroalimentación	14
1.5.1 Control On/Off	15

1.5.2 Control Proporcional	16
1.5.3 Control Integral	17
1.5.4 Control Derivativo	19

II. OBJETIVO, DESCRIPCION Y ANALISIS TEORICO DE LA PLANTA

DIDACTICA: CONTROL DE NIVEL	22
2.1 Objetivo	22
2.2 Descripción de la Planta	22
2.2.1 Tanque	23
2.2.1.1 Prueba Experimental para el Cálculo de R_t	24
2.2.1.2 Cálculo de R_t	26
2.2.2 Sensor de Nivel	26
2.2.2.1 Descripción del Sensor de Nivel	26
2.2.2.2 Circuito de Conexión del Sensor	26
2.2.2.3 Medición del Voltaje de Salida del Sensor	27
2.2.3 Válvula de Control	29
2.2.4 Controlador PI	29
2.3 Análisis Teórico de la Planta Didáctica	30
2.3.1 Linealización del Proceso	30
2.3.2 Diagrama de bloques de la Planta	34

2.3.3 Ganancia Total de la Planta	34
2.3.3.1 Ganancia del Proceso	35
2.3.3.2 Ganancia del Sensor	36
2.3.3.3 Ganancia de la Válvula	36
2.3.3.4 Ganancia del Controlador PI	37

III. HERRAMIENTAS DIGITALES DE LA NI PARA EL CONTROL DE

PROCESOS	40
3.1 Software de Medición y Automatización	40
3.2 Hardware de Medición	41
3.3 Tiempo Real	42
3.4 Control y Medición del FieldPoint Industrial	43
3.5 Comunicación Industrial	44
3.6 Tarjeta de Adquisición de Datos PCI-6024E	44
3.6.1 Características Generales	44
3.6.2 Hardware Overview	45
3.6.2.1 Entradas Analógicas	45
3.6.2.1.1 Modo de Entrada	45
3.6.2.1.2 Rango de Entrada	45

3.6.2.2 Salidas Analógicas	46
3.6.2.3 Digitales I/O	46
3.6.3 Conexión de Señales	46
3.6.3.1 Conector I/O	46
3.6.3.2 Salidas Analógicas	48
3.6.3.3 Señales Digitales	48
3.6.3.4 Señales de Potencia	48
3.6.5 Configuración de la Tarjeta PCI-6024E	49
3.6.5.1 Dispositivos e Interfaces	50
3.6.5.2 Data Neighborhood	53
3.6.5.3 Escalas	57
3.6.6 Circuito de Protección para la PCI-6024E	60
3.6.6.1 Circuito de Protección para la Entrada	61
3.6.6.2 Circuito de Protección para la Salida	63
3.7 Introducción a LabView	64
3.8 Introducción a los Instrumentos Virtuales(VI)	65
3.8.1 Panel Frontal	66
3.8.2 Diagrama de Bloques	66
3.8.3 Icono y el Icono Conector	68
3.9 Descripción detallada de la implementación Gráfica de la Planta	69

3.9.1 Sensor de Nivel	70
3.9.2 Setpoint	70
3.9.3 Tuberías y Válvula de Control	71
3.9.4 Control PI	75
3.9.4.1 Pantalla 0: Cálculo de delta t	77
3.9.4.2 Pantalla 1: Calculo del Error	79
3.9.4.3 Pantalla2: Cálculo de la Componente Proporcional	80
3.9.4.4 Pantalla3: Cálculo de la Componente Integral	81
3.9.4.5 Pantalla4: Cálculo del voltaje de Salida del Lazo de Control PI	82
3.9.5 Botón Control	86
3.9.6 Selección del voltaje de salida hacia la válvula	87
3.9.7 Ingreso de los Parámetros de Afinación	89
3.9.8 Adquisición de Datos	90
3.9.8.1 Variable de Entrada	90
3.9.8.2 Variable de Salida	93
3.9.9 Lazo While	96

IV. COMPONENTES DE LA PLANTA DIDACTICA	99
--	----

4.1 Sensor de nivel	100
4.1.1 Especificaciones del Sensor	101
4.2 Circuito de protección de la tarjeta PCI-6024E	101
4.2.1 Especificaciones del Circuito de protección	101
4.3 Tarjeta de Adquisición de Datos de la NI, Bloque Conector y Cable	102
4.3.1 Especificaciones de la Tarjeta	103
4.3.2 Especificaciones del Bloque Conector	104
4.3.3 Especificaciones del Cable	104
4.4 Software Labview	104
4.5 Interface de Conversión de Voltaje a Presión	106
4.5.1 Especificaciones de la Interface V/P	106
4.6 Válvula de Control	107
4.6.1 Especificaciones de la Válvula	107
4.7 Regulador de presión	108

V. CONDICIONES INICIALES, DE OPERACIÓN Y RESULTADOS

OBTENIDOS	110
5.1 Condiciones Iniciales	110
5.2 Condiciones de Operación	110

5.3 Resultados Prácticos	111
5.3.1 Comportamiento del Sistema	112
5.3.2 Operación de la Válvula de Control	113

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

APENDICES

BIBLIOGRAFIA

ABREVIATURAS

Amp	Amperio
cm	Centímetro
cm ²	Centímetros cuadrados
cm ³ /seg	Centímetros cúbicos/ segundos
KPa	Kilo Pascal
mA	Miliamperios
pulg	Pulgadas
seg.	Segundos
seg/cm ²	Segundos/centímetros cuadrados
uF	Microfaradios
V	Voltios

SIMBOLOGIA

A	Area
Cv	Coeficiente de flujo de la válvula
DAQ	Adquisición de Datos
d	Diámetro
Gc	Ganancia del Controlador
Gf	Gravedad específica del líquido
Gp	Ganancia del Proceso
Gs	Ganancia del Sensor de nivel
Gv	Ganancia de la Válvula de Control
F(s)	Transformada de Laplace de f(t)
h	Altura de líquido
I/O	Entrada/ Salida
Ki	Constante Integral del Controlador PI
Kp	Constante Proporcional del Controlador PI
NI	National Instruments
Nm	Nivel medido
PI	Controlador Proporcional Integral
PO%	Sobre Nivel Porcentual
q	Flujo del líquido ó caudal
Pa	Presión Atmosférica
Ps	Presión de suministro de líquido
Qi	Flujo de ingreso de líquido
Qo	Flujo de salida de líquido
Rin	Rango de entrada del sensor
Rout	Rango de salida del sensor
Rt	Resistencia Hidráulica
s	Operador Diferencial
Sd	Raíz dominante del sistema
t	Tiempo
ts	Tiempo de estabilización

V	Volumen
VI	Instrumento Virtual
W_n	Frecuencia Natural
ΔP	Caída de presión en la sección de la válvula
τ	Constante de tiempo del proceso
ε	Tasa de Amortiguamiento

INDICE DE FIGURAS

Pag.

Figura 1.1	Sistema de Control Manual para regular el nivel de líquido de un depósito por medio del ajuste de la válvula de salida	7
Figura 1.2	Sistema básico de Control de circuito cerrado	8
Figura 1.3	Control On/Off	16
Figura 1.4	Control Proporcional	17
Figura 1.5	Control Integral	18
Figura 1.6	Control Derivativo	20
Figura 1.7	Control PD	21
Figura 2.1	Esquemático completo de la planta	23
Figura 2.2	Gráfica de h vs Q	25
Figura 2.3	Circuito de conexión del sensor	27
Figura 2.4	Esquemático del proceso a circuito abierto	30
Figura 2.5	Diagrama de bloques del proceso a circuito abierto	34
Figura 2.6	Diagrama de bloques del proceso con el lazo de Retroalimentación y el control PI	34
Figura 3.1	Software de Medición LabView	41
Figura 3.2	Hardware de Medición	42
Figura 3.3	Dispositivo y Software en Tiempo Real	43
Figura 3.4	Conector de 68 pines I/O	47
Figura 3.5	Tarjeta de Adquisición de Datos PCI-6024E	50
Figura 3.6	Pantalla de Measurement and Automation	51
Figura 3.7	Panel de Test para la PCI-6024E	52
Figura 3.8	Gráfica de los valores del canal en diagnóstico	53
Figura 3.9	Configurando los canales de la PCI-6024E	54
Figura 3.10	Seleccionando el tipo de canal a configurar	55
Figura 3.11	Asignando nombre y descripción del canal	56
Figura 3.12	Características del canal configurado como salida Analógica	57
Figura 3.13	Creando una escala	58

Figura 3.14	Seleccionando el custom scale	59
Figura 3.15	Seleccionando el tipo de escala	60
Figura 3.16	Circuito de Protección para una entrada de la PCI-6024E	62
Figura 3.17	Circuito de Protección para una salida de la PCI-6024E	63
Figura 3.18	Panel frontal de un VI	66
Figura 3.19	Diagrama de bloques de un VI	67
Figura 3.20	Tanque que representa el nivel de líquido de la planta Didáctica	70
Figura 3.21	Control numérico para el setpoint	71
Figura 3.22	Tubería 1 de color azul indicando que hay líquido a través de ella	72
Figura 3.23	Nivel de líquido es menor que el setpoint, válvula de Ingreso de agua abierta	73
Figura 3.24	Nivel de líquido es mayor que el setpoint, válvula de Ingreso de agua cerrada	74
Figura 3.25	Operaciones con las variables booleanas de las Tuberías y válvulas de control	75
Figura 3.26	Cuadro de ayuda para la función First Call	76
Figura 3.27	Función Tick count que nos indica el tiempo actual	78
Figura 3.28	Función selección, deja pasar los valores en t ó f Dependiendo de la condición en s	78
Figura 3.29	Primera pantalla: Cálculo de delta t	79
Figura 3.30	Segunda pantalla: Cálculo del error	80
Figura 3.31	Tercera pantalla: Cálculo de la componente proporcional	81
Figura 3.32	Cuarta pantalla: Cálculo de la componente integral	82
Figura 3.33	Arreglo Compound Arithmetic	84
Figura 3.34	Función In range o coerce	84
Figura 3.35	Cálculo del voltaje de salida del control PI	85
Figura 3.36	Diagrama completo del lazo de control PI	85
Figura 3.37	SubVI e icono conector del control PI	86
Figura 3.38	Botón Control	87
Figura 3.39	Selección del voltaje hacia la válvula pantalla "True"	88
Figura 3.40	Selección del voltaje hacia la válvula pantalla "False"	88
Figura 3.41	Cuadro de ayuda del Unbundle by Name	89
Figura 3.42	Parámetros de afinación del control PI	89
Figura 3.43	Selección del arreglo para la adquisición de datos de la variable de entrada	90
Figura 3.44	Arreglo A1-Scan	91
Figura 3.45	Build Array	91
Figura 3.46	Texto de ayuda par el Index Array	92

Figura 3.47	Representación gráfica de la variable de entrada	93
Figura 3.48	Selección del arreglo para entregar los voltajes de la variable de salida	94
Figura 3.49	Texto de ayuda para el arreglo AO Write One Update	95
Figura 3.50	Representación gráfica de la variable de salida	96
Figura 3.51	Panel frontal de la planta didáctica de Control de Nivel	97
Figura 3.52	Diagrama de bloques de la planta didáctica de Control de Nivel	98
Figura 4.1	Sensor de Nivel	100
Figura 4.2	Circuito de Protección para la tarjeta de la NI	102
Figura 4.3	Bloque Conector y Cable de conexión para la PCI-6024E	103
Figura 4.4	Pantalla en Labview, se muestra un indicador	105
Figura 4.5	Pantalla en Labview, presenta una gráfica	105
Figura 4.6	Interface de Conversión V/P	106
Figura 4.7	Válvula de Control	107
Figura 4.8	Regulador de presión	108
Figura 4.9	Esquemático completo de los componentes de la planta	109
Figura 5.1	Gráfica de h vs. t	114
Figura 5.2	Gráfica de $V_{(válvula)}$ vs. h	115

INDICE DE TABLAS

	Pág.	
Tabla 2.1	Datos Experimentales para el cálculo de R_t	25
Tabla 2.2	Voltajes de salida del sensor de nivel	28
Tabla 5.1	Resultados prácticos de la planta de Control de Nivel	112

INTRODUCCION

La planta didáctica tiene como objetivo mantener el nivel del líquido en un valor determinado controlando el ingreso de agua al tanque a través de una válvula de control. La variable controlada es el nivel del líquido en el tanque y la variable manipulada es el flujo de ingreso de agua.

La planta de control de nivel es un sistema de primer orden que representa un ejemplo sencillo, relativamente simple pero cuyo análisis es básico y válido puesto que a partir de este se podrá avanzar hacia sistemas más complejos.

Los elementos principales que forman la planta son: el sensor de nivel, la tarjeta de adquisición de datos de la NI PCI-6024E, el software de interface gráfica Labview, y la válvula de control.

El sensor de nivel, entregará valores de voltaje a la tarjeta PCI-6024E, dichos valores representan la altura de líquido en el tanque.

La tarjeta PCI-6024E captura los datos que ingresan desde el sensor y se presentan numérica y gráficamente en la pantalla principal del programa, de

igual manera el Labview entrega datos hacia la tarjeta dependiendo del programa, los cuales se verán reflejados en el elemento final de control.

En Labview, además de la implementación virtual de la planta, se realizó la construcción de un controlador PI, que se escogió debido a que la acción de reajuste o de integración elimina el error.

Como elemento final, tenemos la válvula de control con su respectiva interface de conexión: conversión de voltaje a presión.

CAPITULO I

1. SISTEMAS DE CONTROL

1.1 Introducción

Un sistema de control consiste en un conjunto de componentes, coordinados de tal manera que proporcionen una respuesta deseada en un determinado proceso o planta.

Los componentes básicos de todo sistema de control son:

- Sensor.
- Transmisor, capta la salida del sensor y la convierte en una señal lo suficientemente intensa como para transmitirla al controlador.
- Controlador, recibe la señal medida y la compara con el valor que se desea, y según el resultado de la comparación decide que hacer.

➤ Elemento final, actúa sobre la variable manipulada dependiendo de la decisión que el controlador envía a este elemento, puede ser una válvula de control, un motor, etc.

Estos componentes se encargan de realizar las 3 operaciones básicas presentes en todo sistema de control:

- Medición, de la variable que se controla se hace por lo general mediante la combinación del sensor y transmisor.
- Decisión, con base en la medición, el controlador decide que hacer para mantener la variable en el valor que se desea.
- Acción, como resultado de la decisión del controlador se debe efectuar una acción en el sistema, generalmente ésta es realizada por el elemento final del control.(Corripio, pag.19)

Por lo tanto se puede definir como:

- Variable Controlada, a la variable que se debe mantener o controlar dentro de algún valor deseado
- Punto de control, valor que se desea tenga la variable controlada
- Variable Manipulada, a la variable que se utiliza para mantener a la variable controlada en el punto de control.

➤ Perturbación, cualquier variable que ocasione que la variable de control se desvíe del punto de control.

Un sistema de control de circuito abierto es un sistema en el cual cualquier acción tomada por el controlador no mantiene a la variable controlada en el punto de control.

Un sistema de control con retroalimentación es aquel que busca mantener una relación determinada de una variable del sistema con otra, comparando sus funciones y usando sus diferencias como medio de control.

El concepto de retroalimentación es el principio fundamental para el analizar y diseñar sistemas de control. Esto es conocido como sistema de control en circuito cerrado.

La ventaja de este control es que compensa todas las perturbaciones, cualquier perturbación que afecta a la variable controlada, es decir, que produzca una desviación del punto de

control, el controlador cambia su salida para que la variable regrese al punto de control.

La desventaja es que únicamente puede compensar la perturbación una vez que la variable ya se ha desviado del punto de control, la perturbación se propaga por todo el proceso antes que la pueda compensar el control por retroalimentación.

Al igual que el control por retroalimentación hay otras estrategias de control como por ejemplo el control por acción precalculada, el cual consiste en medir y compensar las perturbaciones antes de que la variable controlada se desvíe del punto de control.

En la fig. 1.1 se muestra un sistema básico de circuito cerrado de control de nivel manual.

La entrada es un nivel de referencia de líquido que debe mantener el operador, el amplificador de potencia es el operador y el sensor es visual. El operador compara el nivel real con el deseado y abre o cierra la válvula para mantener el nivel deseado (1)(Dorf, pag.10).

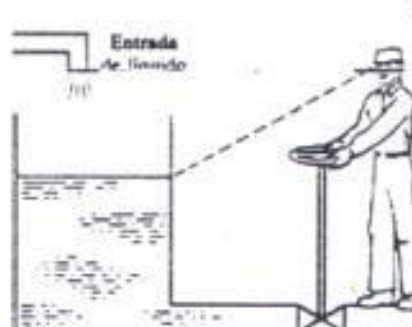


FIG.1.1 Sistema de Control manual para regular el nivel del líquido de un depósito por medio del ajuste de la válvula de salida(Dorf).

Este y otros sistemas conocidos tienen los mismos elementos básicos del sistema de la fig. 1.2.

Un refrigerador tiene un ajuste de temperatura o temperatura deseada, un termostato para medir la temperatura real y el error y un motor compresor para amplificación de potencia, otros ejemplos en el hogar son el horno, la cocina y los calentadores de agua, en la industria controles de nivel, presión, temperatura, velocidad, posición, etc.(2)(Dorf, pag.10)

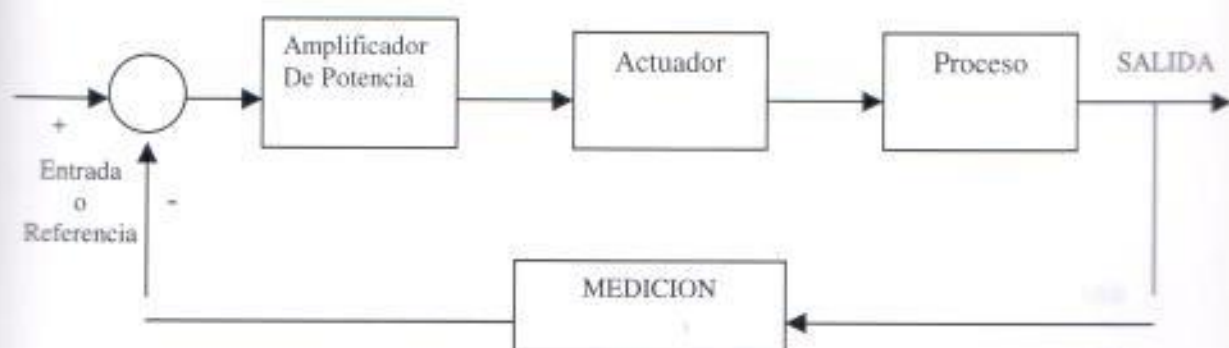


FIG. 1.2 Sistema básico de control de circuito cerrado.(Dorf, pag.10)

Para entender y controlar sistemas complejos hay que obtener modelos matemáticos, por lo que es necesario analizar las relaciones entre las variables del sistema.

Como los sistemas considerados son de naturaleza dinámica, es decir, en ellos siempre ocurren cambios, las ecuaciones que describen su comportamiento son generalmente ecuaciones diferenciales y si estas ecuaciones pueden linealizarse entonces se podría utilizar la Transformada de Laplace para simplificar el método de solución.

El tratamiento de los problemas de sistemas dinámicos puede establecerse como sigue:

1. Definir el sistema y sus componentes;
2. formular el modelo matemático y enumerar las suposiciones necesarias;
3. escribir las ecuaciones diferenciales que describan el modelo;
4. resolver las ecuaciones para las variables de salida deseadas;
5. examinar las soluciones y las suposiciones y entonces;
6. analizar de nuevo o diseñar(3) (Dorf, pag. 28).

Una gran mayoría de sistemas físicos son lineales dentro de un determinado intervalo de las variables, sin embargo todos los sistemas acaban siendo no lineales si sus variables aumentan sin ningún límite.

El objetivo principal del control automático de procesos es mantener la variable controlada en un valor determinado utilizando la variable manipulada a pesar de las perturbaciones.

1.2 Transformada de Laplace

La transformada de Laplace se puede definir como la habilidad para obtener aproximaciones lineales de sistemas físicos, este método sustituye por ecuaciones algebraicas de resolución relativamente fácil las ecuaciones diferenciales más complicadas. La solución para la respuesta en función del tiempo se obtiene al realizar las Sgtes. operaciones:

- Obtención de las ecuaciones diferenciales y
- la transformada de Laplace de dichas ecuaciones diferenciales
- Resolver las ecuaciones algebraicas resultantes para las variables de interés.

La transformada de Laplace para una función del tiempo $f(t)$ es:

$$F(S) = \int_0^{\infty} f(t) e^{-st} dt \quad \text{Ec.1.1}$$

La variable s de Laplace puede considerarse como el operador diferencial,

$$s = d/dt \quad \text{Ec.1.2}$$

1.3 Función de Transferencia de Sistemas Lineales

La función de transferencia de un sistema se define como la relación entre la transformada de Laplace de la variable de salida y la

transformada de Laplace de la variable de entrada, suponiendo que todas las condiciones iniciales se hacen iguales a cero, la función de transferencia de un sistema representa la relación que describe la dinámica del sistema en consideración.

La función de transferencia puede definirse para un sistema lineal y estacionario (de parámetro constante), no siendo así para un sistema no estacionario, es decir, que varía con el tiempo, puesto que tienen uno ó más parámetros varían en dicha forma.

La función de transferencia describe el comportamiento de la relación entrada-salida de un sistema.

La representación por diagramas de bloques para las relaciones de los sistemas predomina en la ingeniería de control, los diagramas de bloques constan de bloques operacionales y unidireccionales que representan la función de transferencia de las variables de interés.

La representación en diagramas de bloques para los sistemas de control con retroalimentación es un método muy valioso y

ampliamente usado, este diagrama proporciona una representación gráfica de las relaciones entre las variables controladas y las de entrada.

Además se puede visualizar con facilidad las posibilidades de agregar bloques al diagrama existente del sistema con la finalidad de modificar y mejorar el funcionamiento del sistema.

1.4 Componentes básicos de los sistemas de control

1.4.1 Sensores y Transmisores

En el sensor se produce un fenómeno mecánico, eléctrico o similar, el cual se relaciona con la variable de proceso que se mide; el transmisor, a su vez, convierte este fenómeno en una señal que se puede transmitir, y por lo tanto, ésta tiene relación con la variable de proceso.

Existen 3 términos importantes que se relacionan con la combinación sensor/transmisor: la escala, el rango y el cero del instrumento. La escala del instrumento la definen los valores superior e inferior de la variable a medir; el rango del instrumento es la diferencia entre el valor superior y el inferior de la escala, y por último el valor inferior de la escala se conoce como cero del instrumento(4)(Corripio,pag.177).

1.4.2 Válvulas de control

Las válvulas de control son los elementos finales de control más conocidos y se les encuentra en las industrias, las mismas que actúan como una resistencia variable; mediante el cambio de su apertura varía la resistencia al flujo, es decir, las válvulas de control no son más que reguladores de flujo.

"El dimensionamiento de la válvula de control es el procedimiento mediante el cual se calcula el coeficiente de flujo de la válvula, C_v "(5)(Corripio,pag.181).

La ecuación básica para dimensionar una válvula de control es la Sgte.:

$$q = C_v \cdot (\Delta P / G_f)^{1/2} \quad \text{Ec. 1.3}$$

donde:

- q: Flujo del líquido
- C_v : Coeficiente de flujo de la válvula
- ΔP : Caída de presión en la sección de la válvula
- G_f : Gravedad específica del líquido

El dimensionamiento de la válvula mediante el cálculo del C_v , se debe hacer de manera tal, que cuando la válvula se abra completamente, el flujo que pase sea mayor del que se requiere en condiciones normales de operación, es decir, debe haber algo de sobrediseño en la válvula para el caso de que se requiere más flujo, esto es,

$$q_{\text{diseño}} = 2 \cdot q_{\text{requerido}} \quad \text{(Corripio, pag.186)} \quad \text{Ec.1.4}$$

La personalidad de la válvula de control se conoce comúnmente como la "característica de flujo de la válvula de control", y, por tanto se puede decir que el propósito de la caracterización del flujo es obtener en el proceso completo una ganancia relativamente constante para la mayoría de las condiciones de operación del proceso.

La característica del flujo de la válvula se define como la relación entre el flujo a través de la válvula y la posición de la misma conforme varía la posición de 0% a 100%.

La característica de flujo lineal produce un flujo directamente proporcional al desplazamiento de la válvula o posición de la misma.

La característica de flujo de porcentaje igual produce un cambio muy pequeño en el flujo al inicio del desplazamiento de la válvula pero conforme ésta se abre hasta la posición de abertura máxima, el flujo aumenta considerablemente.

La característica de flujo de rápida abertura produce un gran flujo con un pequeño desplazamiento de la válvula.

Por lo antes expuesto se puede decir que las válvulas con característica lineal se usan comúnmente en circuitos de nivel de líquidos y en otros procesos en los que la caída de presión es bastante constante (7) (Corripio, pag.190-2).

La ganancia de la válvula de control de característica lineal es:

$$G_v = C_v (v_p = 1) (P/G_f)^{1/2} \quad \text{Ec.1.5}$$

1.5 Controladores por retroalimentación

A continuación se detallan los tipos de controladores:

- Control ON/OFF
- Control Proporcional
- Control Integral
- Control Derivativo

1.5.1 Control ON/OFF

Este controlador tiene 2 salidas que son para máxima y mínima apertura. Para este sistema se ha determinado que cuando la medición cae debajo del punto de control, la válvula debe estar cerrada para hacer que se abra; así en el caso en que la señal hacia el controlador esté debajo del punto de control la salida del controlador será del 100%.

A medida que la medición cruza el punto de control la salida del controlador va hacia el 0%. Esto eventualmente hace que la medición disminuya y a medida que cruza el punto de control nuevamente la salida vaya a un máximo.

El tiempo de cada ciclo depende del tiempo muerto en el proceso debido a que este tiempo determina cuanto tiempo le toma a la señal para revertir su dirección una vez que la

misma cruza el punto de control y la salida del controlador cambia.

La amplitud de la señal depende de la rapidez con que la señal de medición cambia durante cada ciclo.

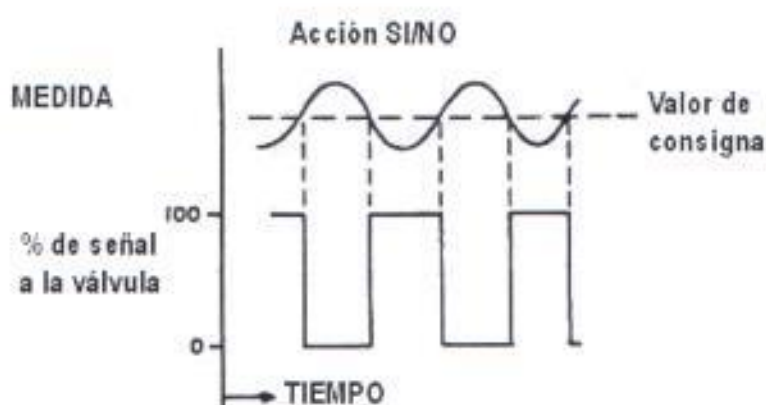


FIG.1.3 Control on/off(Fundamentos del control automático, Internet)

1.5.2 Control Proporcional

La respuesta proporcional es la base de los 3 modos de control, si los otros dos acción integral(reset) y acción derivativa están presentes, éstos son sumados a la respuesta proporcional. "Proporcional" significa que el cambio presente en la salida del controlador es algún múltiplo del porcentaje de

cambio en la medición. Este múltiplo es llamado "ganancia" del controlador.

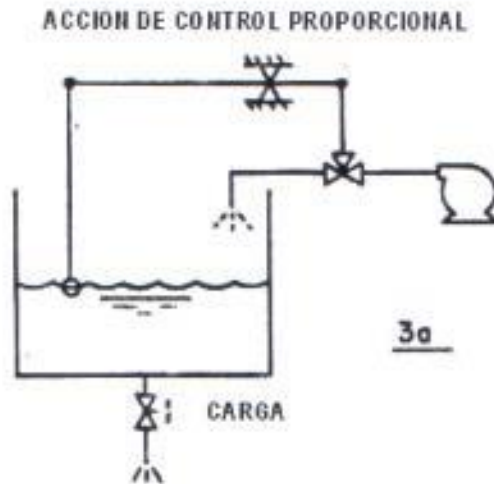


FIG.1.4 Control Proporcional(Fundamentos del control automático, Internet)

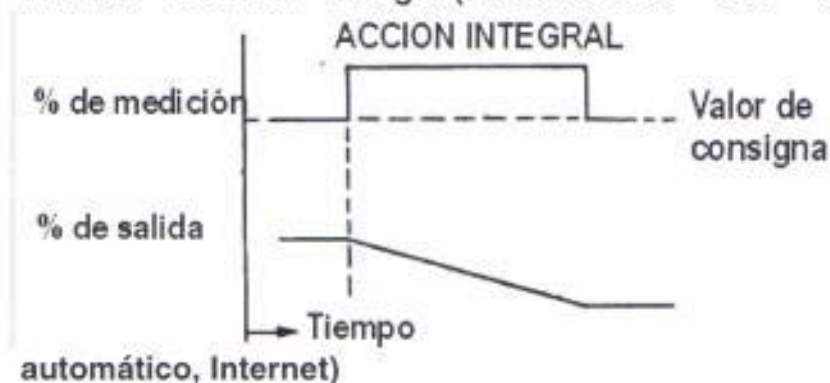
1.5.3 Control Integral(reset)

Con este control si la medición se encuentra en el punto de control no existirá ningún cambio en la salida debido al modo de reset en el controlador, sin embargo cuando cualquier error exista entre la medición y el punto de control, la acción del reset hace que la salida comience a cambiar y continúe cambiando en tanto el error exista.

Esta función entonces actúa sobre la salida para que cambie hasta un valor correcto necesario para mantener la medición en el punto de control, esta respuesta es agregada a la banda proporcional del controlador.

El escalón de cambio en la medición primero produce una respuesta proporcional y luego una respuesta de reset es agregada a la proporcional; cuanto más acción de reset o integral exista en el controlador, más rápido cambia la salida en función del tiempo.

FIG.1.5 Control Integral(Fundamentos del control



La correcta cantidad de acción reset depende de cuán rápido la medición puede responder al recorrido al recorrido adicional de la válvula que la misma causa.

1.5.4 Control Derivativo

Este control responde a cuán rápido cambia el error, la salida es proporcional al cambio de dicho error, cuanto mayor sea el cambio, mayor será la salida debido a la acción derivativa.

Esta acción mantiene esta salida mientras la medición esté cambiando, tan pronto como la medición deja de cambiar, esté o no en el punto de control, la respuesta a la acción derivativa cesará.

Los cambios en el error son un resultado de los cambios tanto en el punto de control como en la medición o en ambos. Para evitar un gran pico causado por los escalones de cambio en el punto de control, la mayoría de los controladores modernos aplican la acción derivativa sólo a cambios en la medición.

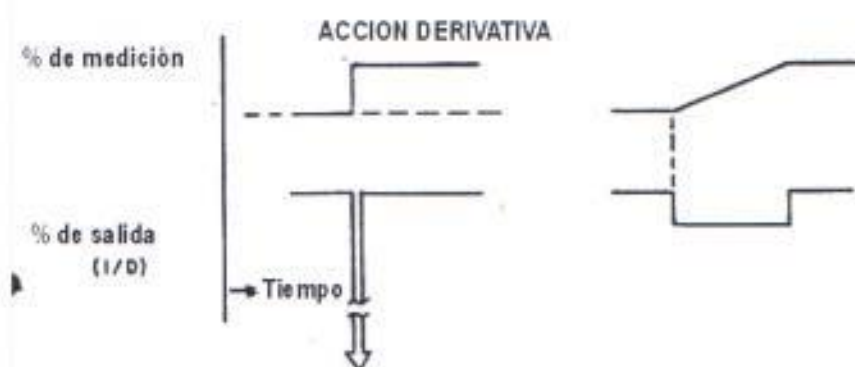


FIG.1.6 Control Derivativo(Fundamentos control automático, Internet)

La acción derivativa ayuda a controlar procesos con constantes de tiempo grandes y tiempo muerto significativo, la acción derivativa es innecesaria en aquellos procesos que responden rápidamente al movimiento de la válvula de control, y no puede ser usado en absoluto en procesos con ruido en la señal de medición, tales como caudal ya que la acción derivativa en el controlador responderá a los cambios bruscos en la medición que el mismo observa en el ruido.

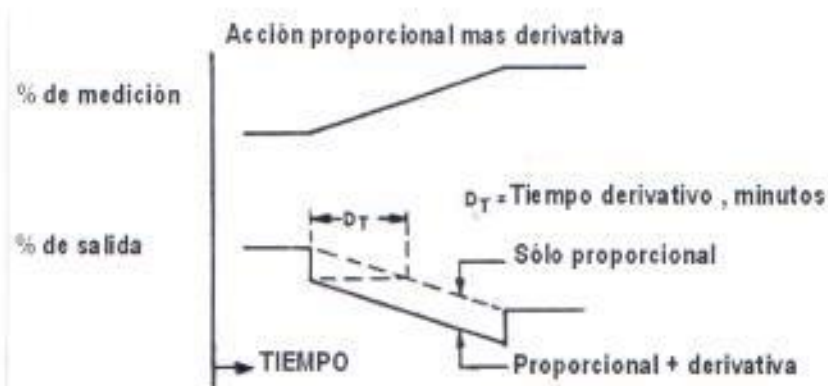


FIG.1.7 Control PD(Fundamentos control automático, Internet)

Esto causará variaciones rápidas y grandes en la salida del controlador, lo que hará que la válvula esté constantemente moviéndose, produciendo un desgaste innecesario en la misma.

CAPITULO II

2. OBJETIVO, DESCRIPCION Y ANALISIS TEORICO DE LA PLANTA DIDACTIVA: CONTROL DE NIVEL

2.1 Objetivo

Mantener el nivel del líquido en un valor determinado controlando el ingreso de agua al tanque a través de una válvula de control. La variable controlada es el nivel del líquido en el tanque y la variable manipulada es el flujo de ingreso de agua.

2.2 Descripción de la Planta Didáctica

En la fig. 2.1 se observa el esquemático de la planta didáctica, la misma que consta de los siguientes elementos:

❖ Tanque, Tuberías

- ❖ Sensor de Nivel
- ❖ Válvula de Control
- ❖ Controlador

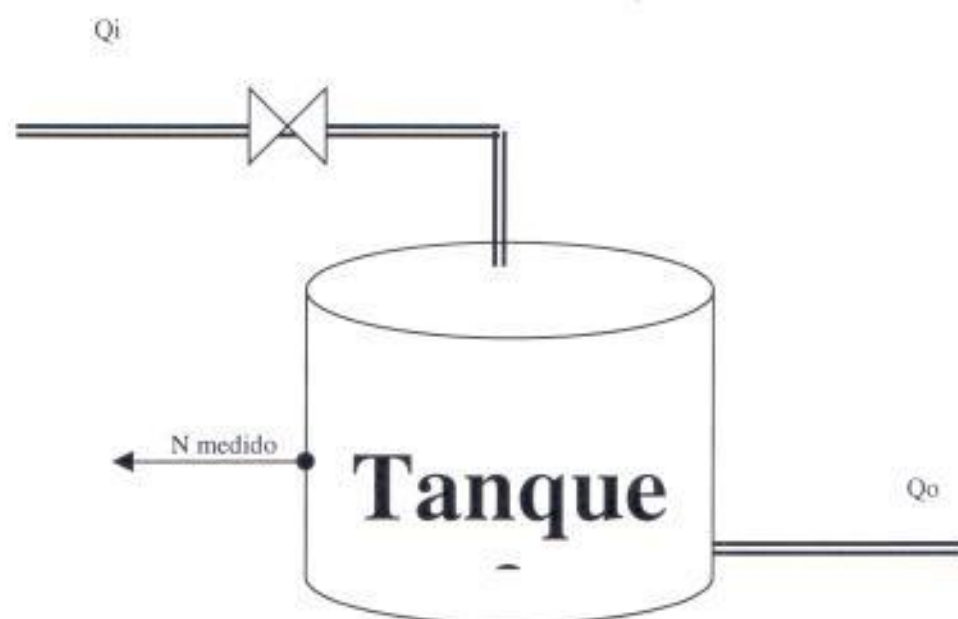


FIGURA 2.1 Esquemático completo de la planta

2.2.1 Tanque

El tanque es abierto, vertical, de forma cilíndrica, cuya estructura es metálica, en su interior contiene al Sensor de Nivel, sus dimensiones son:

- ❖ $h = 48$ cm

- ❖ $d = 56.8 \text{ cm}$
- ❖ $A = 2533.88 \text{ cm}^2$

En la parte inferior del tanque se encuentra una tubería de salida o de purga del líquido, que presenta una resistencia a la circulación del líquido, llamada **Resistencia Hidráulica R_t** .

2.2.1.1 Prueba Experimental para el Cálculo de R_t

La prueba consiste en llenar el tanque a diferentes alturas de agua y el tomar el tiempo del vaciado de cada volumen respectivamente.

Los datos obtenidos se presentan en la tabla 2.1, si graficamos h vs Q y obtenemos la pendiente de la gráfica, este será el valor de la Resistencia Hidráulica.

TABLA 2.1

DATOS EXPERIMENTALES PARA EL CALCULO DE Rt

h(cm)	t(seg)	V(cm ³)	Q(cm ³ /seg)
31	511	78.550,28	153.72
26	476	65.880.88	138.4
21	412	53.211,48	129.15
16	384	40.542,08	105.58
11	358	27.872,68	77.86
6	289	15.203,28	52.6

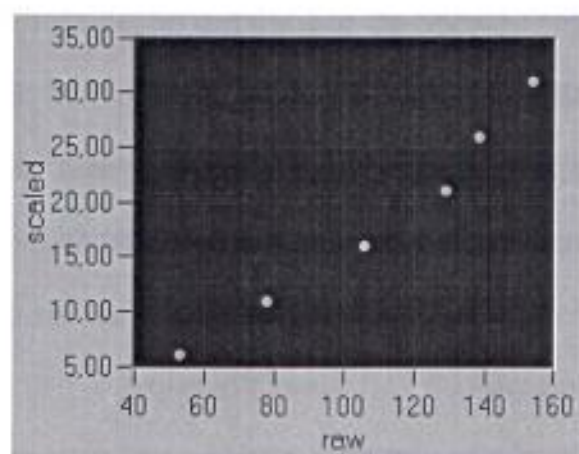


FIGURA 2.2 GRAFICA DE h vs Q.

2.2.1.2 Cálculo de Rt

De la tabla 2.1 tomamos 2 puntos (tanto en el eje x como en y) para obtener la pendiente:

$$Rt = m = \Delta h / \Delta q$$

$$Rt = (27.5 - 15) / (153 - 105)$$

$$Rt = 0.26 \text{ seg/cm}^2$$

2.2.2 Sensor de Nivel

2.2.2.1 Descripción del sensor de nivel

El sensor de nivel consta de un reóstato conectado a un brazo rodeado de una boya y a medida que el líquido sube o baja hace desplazar dicha boya, la cual a su vez mueve el reóstato.

2.2.2.2 Circuito de conexión del Sensor

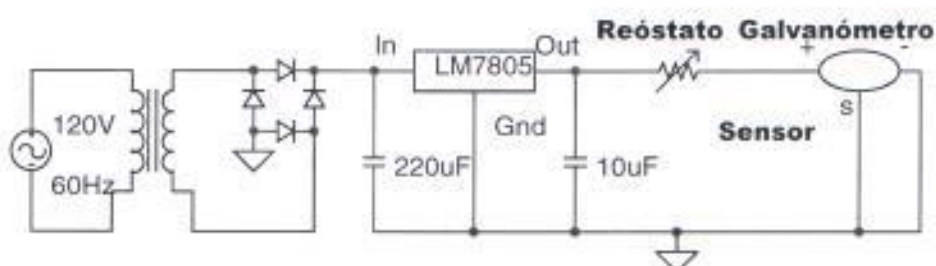


FIGURA 2.3 Circuito de Conexión del Sensor

Para armar el circuito del sensor se utilizó una fuente de 5V y un galvanómetro.

2.2.2.3 Mediciones del voltaje de salida del sensor

Los voltajes que se obtuvieron del sensor se presentan en la tabla 2.2, de la cual podemos calcular los valores máximo y mínimo del reóstato:

- ❖ $R_{\text{máx}} = 36.6$ ohmios
- ❖ $R_{\text{mín}} = 2.2$ ohmios

TABLA 2.2
VOLTAJES DE SALIDA DEL SENSOR

H(cm)	Vs(V)	I(mA)	Escala a Ingresar(V)
6	1.24	100	2.48
10	1.35	100	2.7
15	1.53	120	3.06
20	1.74	140	3.48
25	2.05	160	4.1
30	2.35	180	4.7
35	2.82	200	5.64
40	3.31	240	6.62
42.5	3.5	270	7

De la tabla 2.2 podemos obtener el rango de entrada y salida del sensor:

$$R_{in} = (42.5 - 6) \text{ cm}$$

$$R_{in} = 36.5 \text{ cm}$$

$$R_{out} = (3.5 - 1.24) \text{ V}$$

$$R_{out} = 2.26 \text{ V}$$

2.2.3 Válvula de Control

La válvula de Control que se va a utilizar es una válvula lineal, de ½ pulg, cuyos parámetros son:

- ❖ Coeficiente Característico de la válvula **Cv**. $Cv(vp=1) = 1.0938 \times 10^4 \text{ cm}^2$.
- ❖ Presión en el suministro de Agua, **Ps**. $Ps = 206.4 \text{ KPa}$
- ❖ Presión atmosférica, **Pa**. $Pa = 101.325 \text{ KPa}$
- ❖ Diferencia de presiones, **ΔP** . $\Delta P = 105.08 \text{ KPa}$ ó 1.013 Kg/cm^2 .
- ❖ Gravedad Específica, **Gf**. $Gf = 1 \times 10^{-3} \text{ Kg/cm}^3$.

2.2.4 Controlador

Para el controlar la planta se utilizará un controlador Proporcional Integral PI, cuyos parámetros son:

- ❖ Componente Proporcional, **Kp**
- ❖ Componente Integral, **Ki**.

Además de que el proceso con la acción de dicho Controlador PI tendrá que cumplir con las sgtes. especificaciones:

- ❖ P.O% < 20%
- ❖ $T_s < 40$ seg

2.3 Análisis Teórico de la Planta Didáctica

2.3.1 Linealización del Proceso

En la fig. 3.4 se observa el esquemático de la planta didáctica, de lazo abierto la misma que consta solamente del tanque y la válvula de control, es decir no está presente el sensor de nivel.

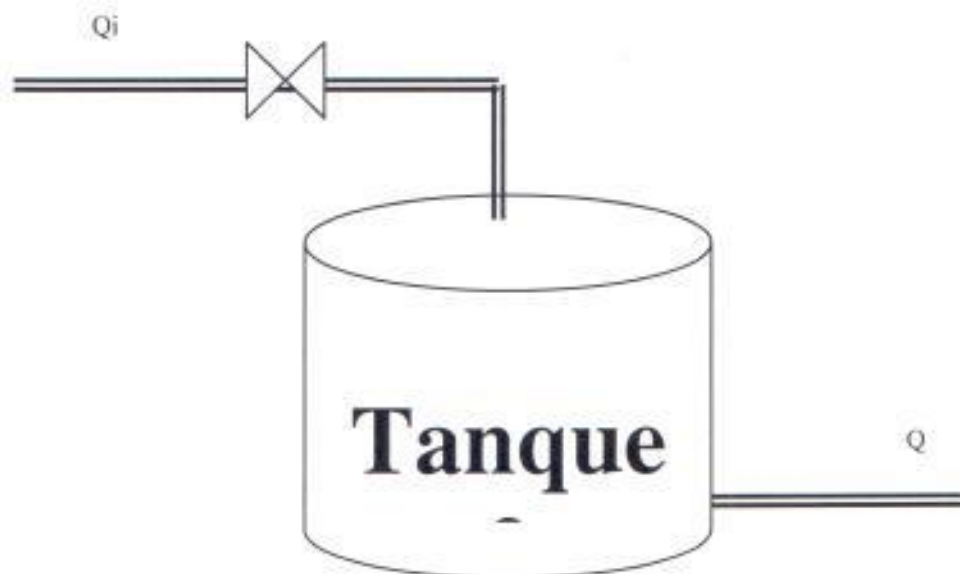


FIGURA 2.4 Esquemático del proceso a circuito abierto

La relación del flujo de salida con la variación de la altura h del nivel del líquido es una función no lineal dada por:

$$q = Kh^{1/2} \quad \text{Ec.2.1}$$

Si obtenemos h en función de Q_i tenemos,

$$h = q^2/K^2 \quad \text{Ec.2.2}$$

El punto de operación (q_o , h_o) es el punto en el cual para un flujo de salida se tiene el nivel de líquido deseado. La derivada de h con respecto a q y evaluada en el punto de operación,

$$dh/dq = 2q/k^2 \quad \text{Ec.2.3}$$

$$dh/dq(p.o) = 2q_o/k^2 \quad \text{Ec.2.4}$$

reemplazando $q_o = K h_o^{1/2}$ se tiene que,

$$dh/dq = 2 h_o^{1/2}/K \quad \text{Ec.2.5}$$

$$h_o = f(q_o) + \frac{df}{dq}(p.o) (q - q_o) \quad \text{Ec.2.6}$$

$$R = 2 h_o^{1/2} / K \quad \text{Ec.2.7}$$

esta constante es la resistencia hidráulica mencionada en la sección 2.2.1.2.

$$h = h_o + 2 h_o^{1/2} / k (q - q_o) \quad \text{Ec.2.8}$$

$$h - h_o = R (q - q_o) \quad \text{Ec.2.9}$$

$$\Delta h = R \Delta q \quad \text{Ec.2.10}$$

La ecuación relaciona linealmente la variación de nivel del tanque con el flujo de salida del mismo. Haciendo la ecuación de equilibrio de flujos tenemos,

$$\Delta q_i = \Delta q_o + A \frac{d}{dt} (\Delta h) \quad \text{Ec.2.11}$$

Reemplazando Δq_o se tiene,

$$\Delta q_i = \Delta h / R + A \frac{d}{dt} (\Delta h)$$

$$R \Delta q_i = \Delta h + AR \frac{d}{dt}(\Delta h) \quad \text{Ec.2.12}$$

Aplicando la Transformada de Laplace a esta última ecuación se tiene,

$$AR s \Delta H(s) + \Delta H(s) = R \Delta Q_i(s) \quad \text{Ec.2.13}$$

Sacando factor común $\Delta H(s)$,

$$\Delta H(s)(ARs + 1) = R \Delta Q_i(s)$$

$$\Delta H(s) = (R/AR s + 1) \times \Delta Q_i(s) \quad \text{Ec.2.14}$$

Por lo tanto, la función de transferencia del proceso es:

$$H(s)/Q_i(s) = (R/AR s + 1) \quad \text{Ec.2.15}$$

Donde al producto de $A \times R$ se lo denomina τ , **constante de tiempo del proceso.**

2.3.2 Diagramas de Bloques de la Planta



FIGURA 2.5 Diagrama de bloques del Proceso de circuito abierto

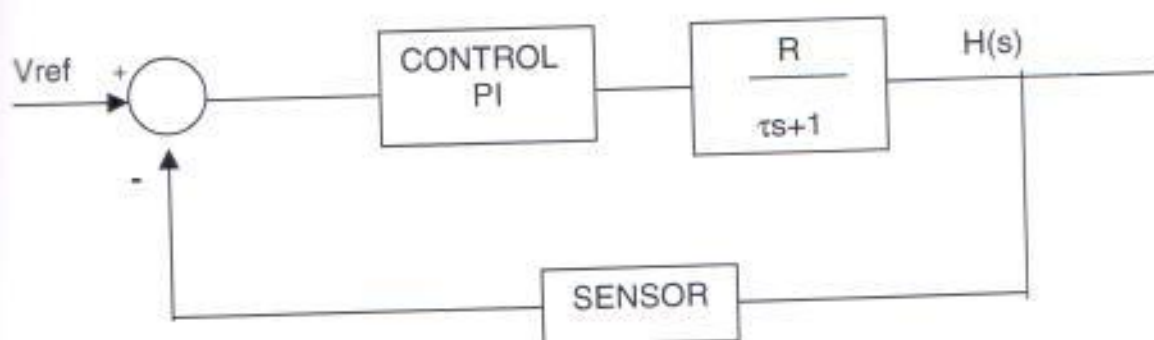


FIGURA 2.6 Diagrama de bloques con el lazo de retroalimentación y el control PI

2.3.3 Ganancia Total de la Planta

Para obtener la ganancia total de la planta tenemos que calcular las ganancias individuales los elementos que conforman dicha planta, por lo tanto tendremos 4 ganancias:

- ❖ Ganancia del proceso
- ❖ Ganancia del sensor de nivel
- ❖ Ganancia de la válvula y
- ❖ Ganancia del controlador.

2.3.3.1 Ganancia del Proceso

De acuerdo a la Ec.2.14 se tiene que la ganancia del proceso es:

$$G_p = R / (1 + \tau s)$$

donde:

$$R = 0.26 \text{ seg/cm}^2$$

$$A = 2533.88 \text{ cm}^2$$

$$\tau = A \times R = 658.88 \text{ seg.}$$

Reemplazando los valores se tiene,

$$G_p = 0.26 / (1 + 658.88 s)$$

2.3.3.2 Ganancia del Sensor de Nivel

Como se menciona en el Capítulo 1, la ganancia del sensor es el cambio en la salida o rango de salida dividido para el cambio en la entrada o rango de la misma, por lo tanto, la ganancia del sensor de Nivel es:

$$G_s = \Delta V / \Delta h \text{ ó}$$

$$G_s = R_{out} / R_{in}$$

$$G_s = 0.062 \text{ V/cm}$$

2.3.3.3 Ganancia de la Válvula de Control

De acuerdo a la Ec.1.6 en el Capítulo 1, la ganancia de la Válvula de Control es:

$$G_v = C_v(v_p = 1) \cdot (\Delta P / G_f)^{1/2}$$

Donde,

$$C_v(v_p = 1) = 1.0938 \times 10^4 \text{ cm}^2.$$

$$\Delta P = 1.013 \text{ Kg/cm}^2.$$

$$G_f = 1 \times 10^{-3} \text{ Kg/cm}^3.$$

Reemplazando los valores se tiene,

$$G_v = 1089.9 \times 10^4 \text{ cm}^3/\text{seg}$$

2.3.3.4 Ganancia del Controlador

La ecuación de la Ganancia del Controlador Proporcional Integral es la siguiente:

$$G_c = K_p + K_i/s$$

De las especificaciones de la Sección 3.2.4 podemos calcular las raíces dominantes:

$$S_d, S_d^* = -\epsilon \cdot W_n \pm j W_n (1 - \epsilon^2)^{1/2}$$

$$S_d, S_d^* = -0.1 \pm j 0.196$$

Para calcular las constantes K_p y K_i del controlador, utilizaremos el Método de la Trayectoria de las raíces, para lo cual tenemos que la ecuación característica del sistema es:

$$1 + G_p * G_s * G_v * G_c = 0$$

Reemplazando los valores y ecuaciones de las ganancias respectivas se tiene,

$$1 + (0.26/(1 + 658.88 s)) * (0.062) * (1089.9 * 10^4) * (K_p + K_I/s) = 0$$

$$1 + (266.7 * K_p * (s + K_I/K_p))/(s * (s + 1.52 * 10^{-3})) = 0$$

esta ecuación tiene:

2 Polos en: 0, 1.52*10⁻³

1 Cero en: K_I/K_p

❖ Condición de ángulo tenemos que,

$$K_I/K_p = 0.244$$

❖ Condición de magnitud con respecto a S_d se tiene,

$$266.7 * K_p * (s_d + K_I/K_p)/(s_d) * (s_d + 1.52 * 10^{-3}) = 1$$

$$266.7 * K_p = (s_d) * (s_d + 1.52 * 10^{-3}) / (s_d + K_I/K_p)$$

$$266.7 * K_p = (s_d) * (s_d + 1.52 * 10^{-3}) / (s_d + 0.244)$$

$$266.7 * K_p = ((0.048)^{1/2} * (0.048)^{1/2}) / ((0.144^2 + 0.038)^{1/2})$$

$$266.7 * K_p = 0.198$$

donde K_p es igual a:

$$K_p = 0.0007495 \text{ y}$$

$$K_i = 0.000187$$

Por lo tanto la ganancia del controlador es:

$$G_c = 0.0007495 + 0.000187/s$$

CAPITULO III

3. HERRAMIENTAS DIGITALES DE LA NI PARA CONTROL DE PROCESOS

La National Instruments nos presenta una amplia gama de dispositivos de acuerdo a los requerimientos y necesidades de cada proceso. Además de las diferentes clases de software con las cuales dichos elementos trabajan.

A continuación mencionamos y describimos brevemente, varias opciones que nos presenta y provee la NI:

3.1 Software de Medición y Automatización

Entre las clases de software que se pueden utilizar con cualquier dispositivo de la NI, tenemos:

- ❖ LabView
- ❖ NI Lookout
- ❖ NI Measurement Studio.

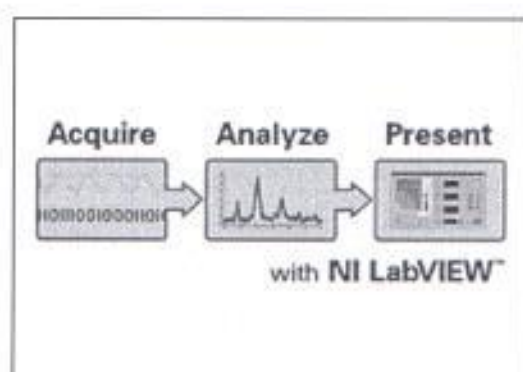


FIGURA 3.1 Software de Medición LabView

3.2 Hardware de Medición

La NI ofrece una gran variedad de dispositivos de medición basados en computadoras como PCI, PXI y computadoras portátiles, bajo las plataformas más utilizadas.

Los dispositivos de la NI son modulares, poseen sistemas de arquitectura abierta.

Las opciones en cuanto a hardware de medición son las sgtes.:

- ❖ Dispositivos de medición
- ❖ Dispositivos Digitales de alta velocidad
- ❖ DAQ, la adquisición de datos
- ❖ Adquisición y análisis de señales dinámicas
- ❖ Multímetros digitales
- ❖ Contadores/Temporizadores

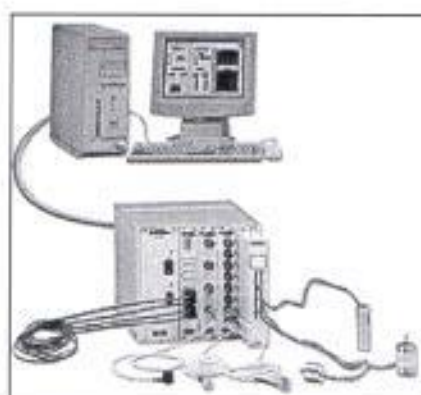


FIGURA 3.2 Hardware de Medición

3.3 Tiempo Real

LabView, LabView en tiempo real y el hardware de la serie RT entregan determinismo en el control en tiempo real, es decir, se puede realizar una operación dada en un tiempo específico.



FIGURA 3.3 Dispositivo y Software en Tiempo Real

3.4 Control y Medición del Fieldpoint Industrial

Este módulo que nos presenta la NI está enfocado a los sistemas distribuidos y presenta las sgtes. ventajas:

- ❖ Posee elementos inteligentes para sistemas de I/O distribuidos.
- ❖ Toma control rápidamente
- ❖ Conecta sensores directamente

- ❖ Inteligente en tiempo real.

3.5 Comunicación Industrial

Los dispositivos de la NI se puede comunicar con otros dispositivos como PLCs, Controladores de simple lazo y dispositivos de Adquisición de Datos de I/O, para lo cual la NI brinda tanto hardware como software para establecer dicha comunicación de manera segura y eficiente.

Las interfaces puede ser Ethernet, CAN, Device Net, Foundation Fieldbus y Profibus.

Para implementar la planta didáctica del Control de Nivel que se describe en el capítulo 2, se utilizó la tarjeta de Adquisición de Datos de la NI PCI-6024E, la misma que se detalla a continuación:

3.6 PCI-6024E

3.6.1 Características generales

La 6024E tiene 16 canales para entradas analógicas, 2 canales para salidas analógicas, un conector de 68 pines y 8 líneas de I/O.

Este dispositivo utiliza el DAQ-STC de la National Instruments, que es un sistema controlador de tiempo.

3.6.2 Hardware, Overview

3.6.2.1 Entradas Analógicas

3.6.2.1.1 Modo de Entrada

Hay 3 clases:

- ❖ NRSE, No referenciado: Tiene 16 canales
- ❖ RSE, Referenciado: También tiene 16 canales
- ❖ DIFF, tiene sólo 8 canales.

En el apéndice A Tabla A-1, se detalla cada una de estas configuraciones.

3.6.2.1.2 Rango de Entrada

Estos dispositivos tienen un rango de entrada bipolar que cambia con la ganancia

programada. Se puede programar cada canal con una única ganancia, que puede ser: 0.5, 1, 10, 100 para max. 12 de resolución del ADC convertidor.

3.6.2.2 Salidas Analógicas

Tiene 2 canales de salidas analógicas. El rango bipolar es +/- 10 V, los datos son enviados al convertidor DAC.

3.6.2.3 Digital I/O

El dispositivo contiene 8 líneas I/O que se pueden configurar como entradas o salidas.

3.6.3 Conexión de Señales

3.6.3.1 I/O Conector

Las conexiones de las entradas y salidas hacia la tarjeta de adquisición de datos PCI-6024E se realizan

por medio de un conector de 68 pines, mostrado en la fig.3.4.

ACH8	34	68	ACH0
ACH1	33	67	AIGND
AIGND	32	66	ACH9
ACH10	31	65	ACH2
ACH3	30	64	AIGND
AIGND	29	63	ACH11
ACH4	28	62	AISENSE
AIGND	27	61	ACH12
ACH13	26	60	ACH5
ACH6	25	59	AIGND
AIGND	24	58	ACH14
ACH15	23	57	ACH7
DAC0OUT	22	56	AIGND
DAC1OUT	21	55	AOGND
RESERVED	20	54	AOGND
DIO4	19	53	DGND
DGND	18	52	DIO0
DIO1	17	51	DIO5
DIO6	16	50	DGND
DGND	15	49	DIO2
/+5V	14	48	DIO7
DGND	13	47	DIO3
DGND	12	46	SCANCLK
PFI0/TRIG1	11	45	EXTSTROBE
PFI1/TRIG2	10	44	DGND
DGND	9	43	PFI2/CONVERT
/+5V	8	42	PFI3/GPCTR1_SOURCE
DGND	7	41	PFI4/GPCTR1_GATE
PFI5/UPDATE	6	40	GPCTR1_OUT
PFI6/WFTRIG	5	39	DGND
DGND	4	38	PFI7/STARTSCAN
PFI9/GPCTR0_GATE	3	37	PFI8/GPCTR0_SOURCE
GPCTR0_OUT	2	36	DGND
FREQ_OUT	1	35	DGND

FIGURA 3.4 Conector de 68 pines I/O.

3.6.3.2 Salidas Analógicas

Las señales de salida son DAC0OUT, DAC1OUT y AOGND. DAC0OUT es el voltaje de salida para la salida analógica canal 0. DAC1OUT es el voltaje de salida para la salida analógica canal 1. AOGND es la señal de referencia de tierra para ambos canales analógicos y la señal de referencia externa.

3.6.3.3 Señales Digitales I/O

Todos los dispositivos tienen 8 canales digitales I/O DIO(0...7) y DGND. Las señales DIO(0...7) están sobre el puerto DIO, y DGND es la señal de referencia de tierra para el puerto DIO. Se puede programar estas líneas individualmente como entradas o salidas.

3.6.3.4 Señales de Potencia

Dos pines sobre el conector I/O suministran +5V de la potencia del computador a través de un fusible que se resetea a sí mismo después de unos cuantos segundos de que la condición de sobrecorriente haya

desaparecido. Estos pines son referenciados a DGND y se pueden utilizar para un circuito externo digital.

La salida de voltaje es +4.65-5.25 VDC a 1 amperio para PCI.

3.6.4 Configuración de la tarjeta PCI-6024E

Para realizar la Configuración del Hardware, se da doble clic en el icono **Measurement & Automation** del escritorio ó en Inicio, Programas, National Instruments, **Measurement & Automation**, donde aparece la pantalla **Measurement & Automation Explorer**, con las unidades de:

- ❖ Devices and Interfaces
- ❖ Data Neighborhood
- ❖ Scales, etc.

Si hacemos clic derecho sobre la línea, Propiedades aparece una pantalla más pequeña, en la cual se observa los parámetros de la tarjeta de adquisición de Datos.

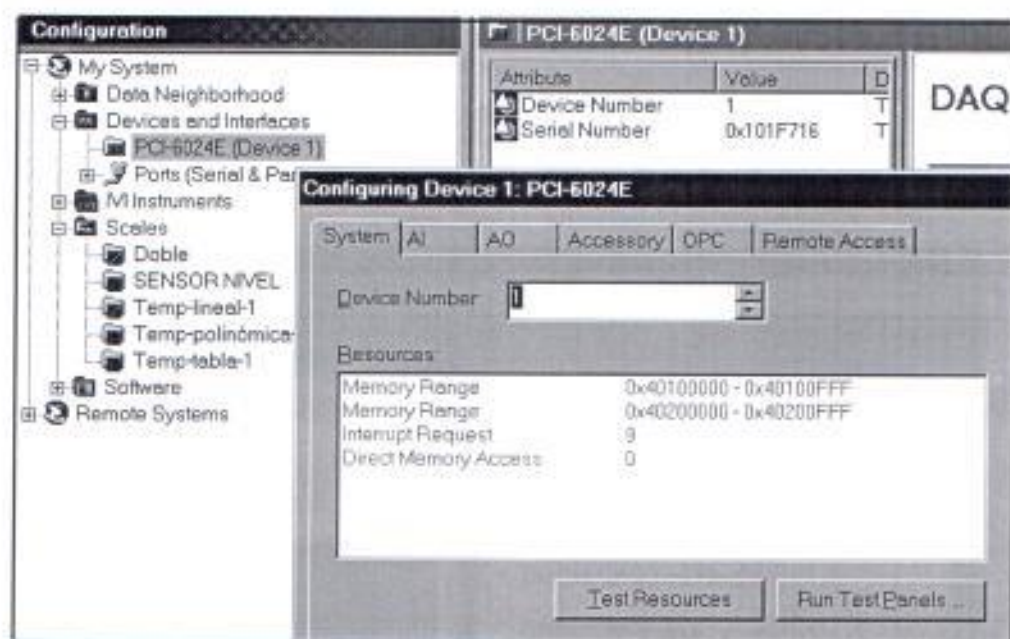


FIGURA 3.6 Pantalla de Measurement & Automation.

En la Fig.3.6 se observa la pantalla de **Measurement & Automation**, las unidades a las que se tiene acceso y las propiedades del único dispositivo instalado PCI-6024E.

Cabe mencionar que también se puede realizar un **Test** a los diferentes canales de la tarjeta, tales como entradas o salidas analógicas, digitales, etc. haciendo clic derecho sobre la **PCI-6024E, Test Panel**, se observa una gráfica que dibuja los valores que va tomando el canal en diagnóstico.

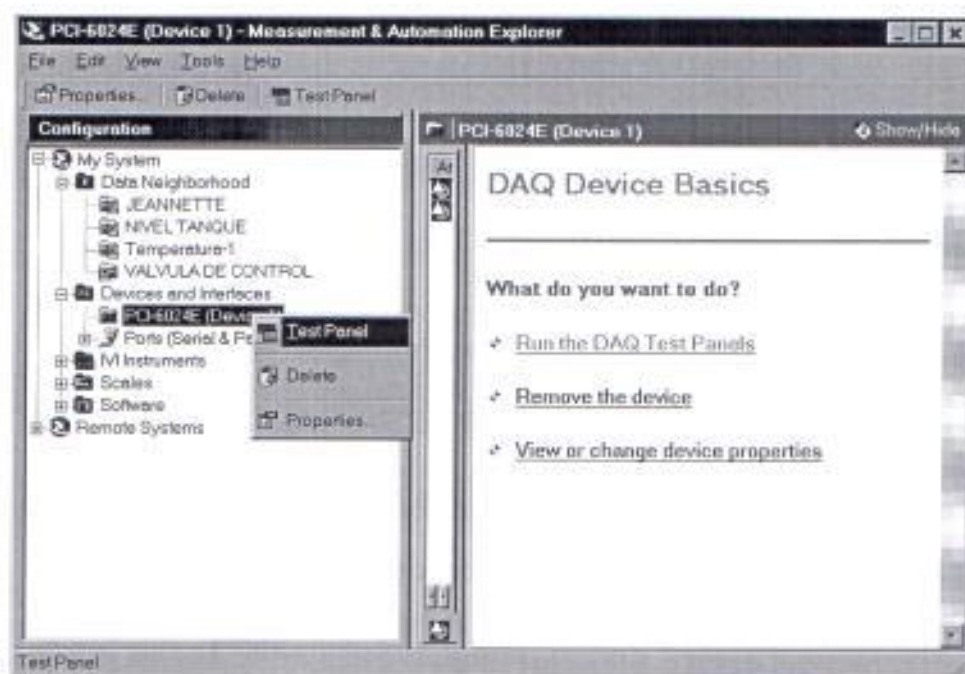


FIGURA 3.7 Panel del Test para la PCI-6024E.

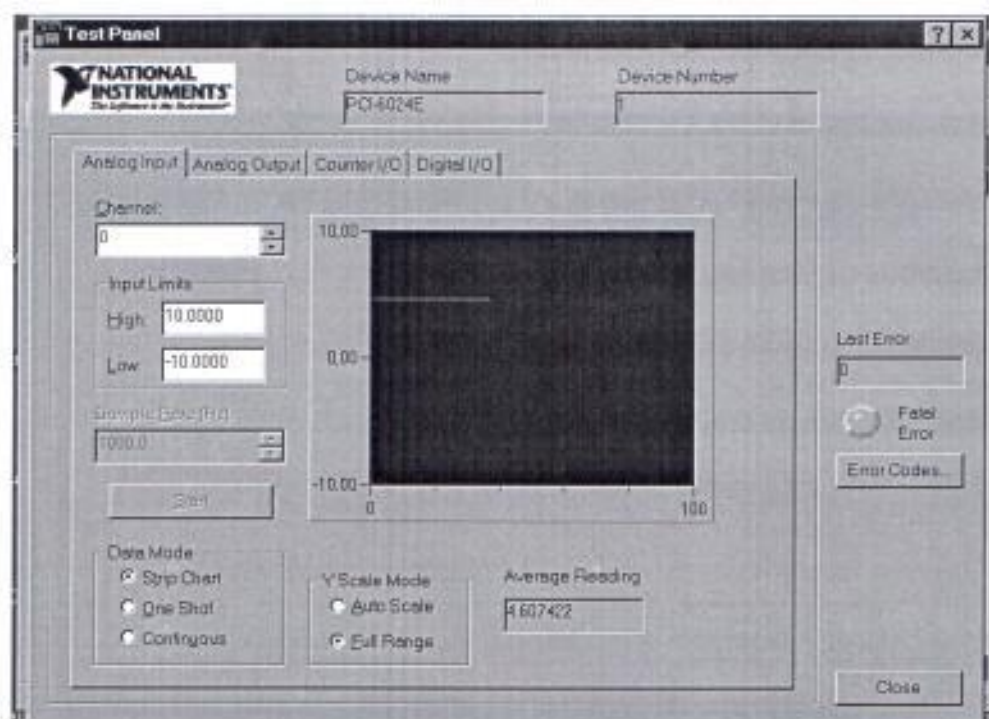


FIGURA 3.8 Gráfica de los valores del canal en diagnóstico.

3.6.4.2 Data Neighborhood

En esta unidad se puede configurar tanto entradas como salidas analógicas y digitales. Hacemos clic en **Data Neighborhood**, Create New, Virtual Channel, Finish.



FIGURA 3.9 Configurando los canales de la PCI-6024E.

Luego aparece una pantalla, donde se debe seleccionar el tipo de canal que se va a configurar, ya sea:

- ❖ Entrada Analógica
- ❖ Salida Analógica
- ❖ Entrada o salida Digital, I/O

Se debe seleccionar una de las 3 clases, luego que tiene que escribir:

- ❖ El nombre del Canal y
- ❖ La descripción del mismo.

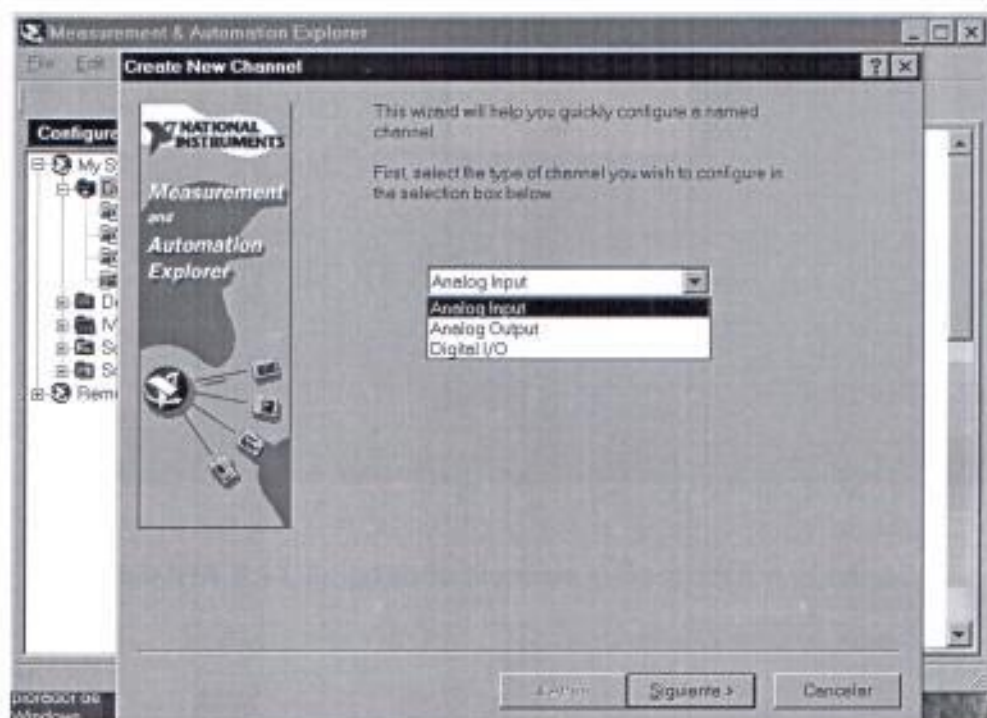


FIGURA 3.10 Seleccionando el tipo de canal a configurar.

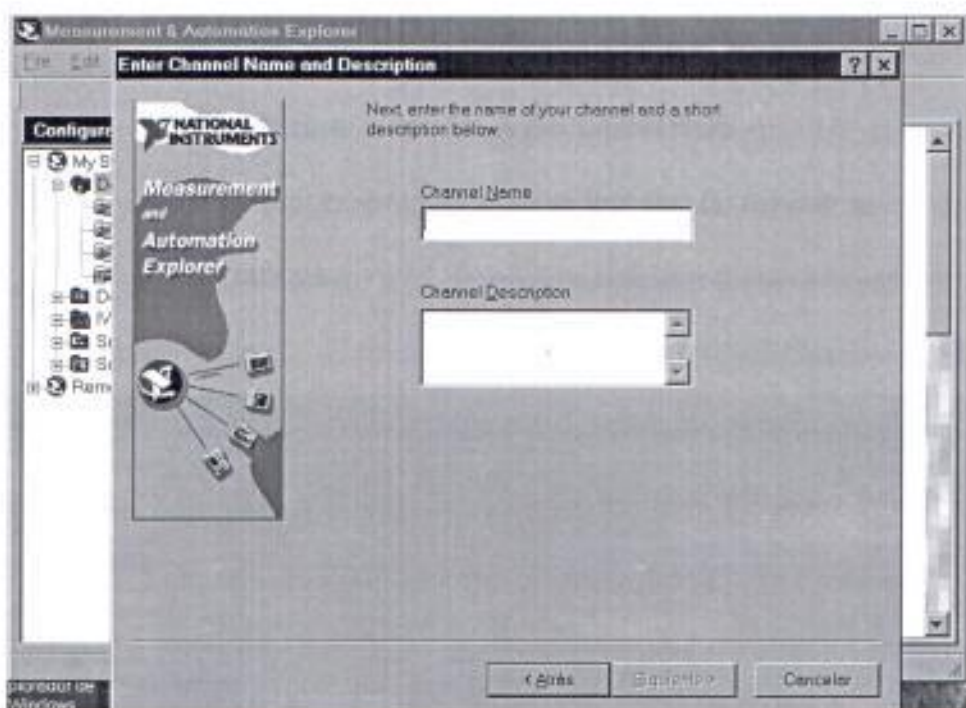


FIGURA 3.11 Asignando Nombre y Descripción al canal.

Para la planta didáctica de Control de Nivel, que se describe en el sgte. capítulo, se ha configurado:

Una entrada analógica, con las sgtes. características:

❖ **Canal 0**

❖ Nombre: **NIVEL TANQUE**

❖ Descripción: Sensor de nivel de líquido

Una salida analógica:

- ❖ **Canal 0**
- ❖ **Nombre: VALVULA DE CONTROL**
- ❖ **Descripción: Controla el ingreso de líquido al tanque.**

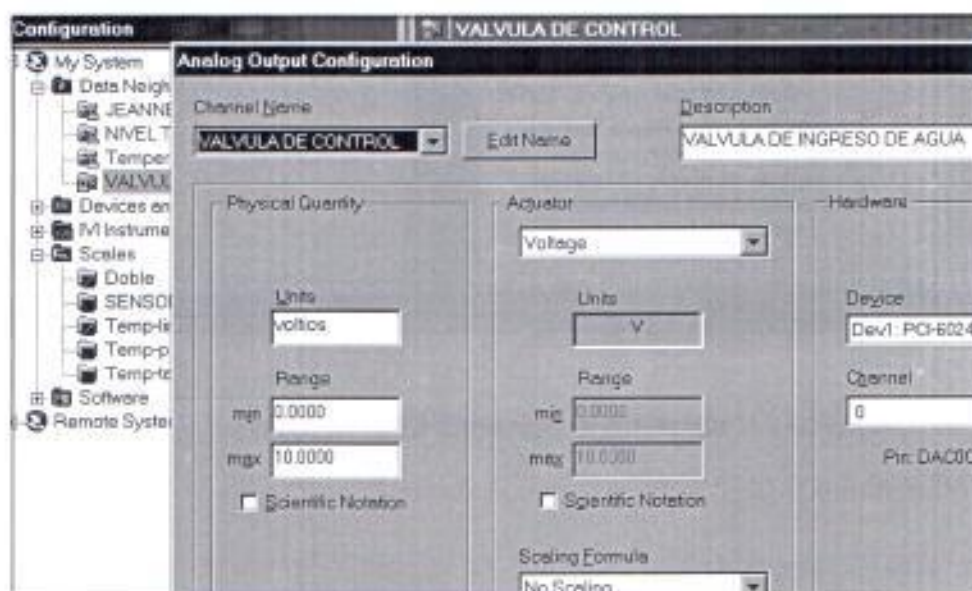


FIGURA 3.12 Características del Canal configurado como Salida Analógica.

3.6.4.3 Escalas

Como su nombre lo indica, esta opción permite visualizar los datos adquiridos a escala, para lo cual

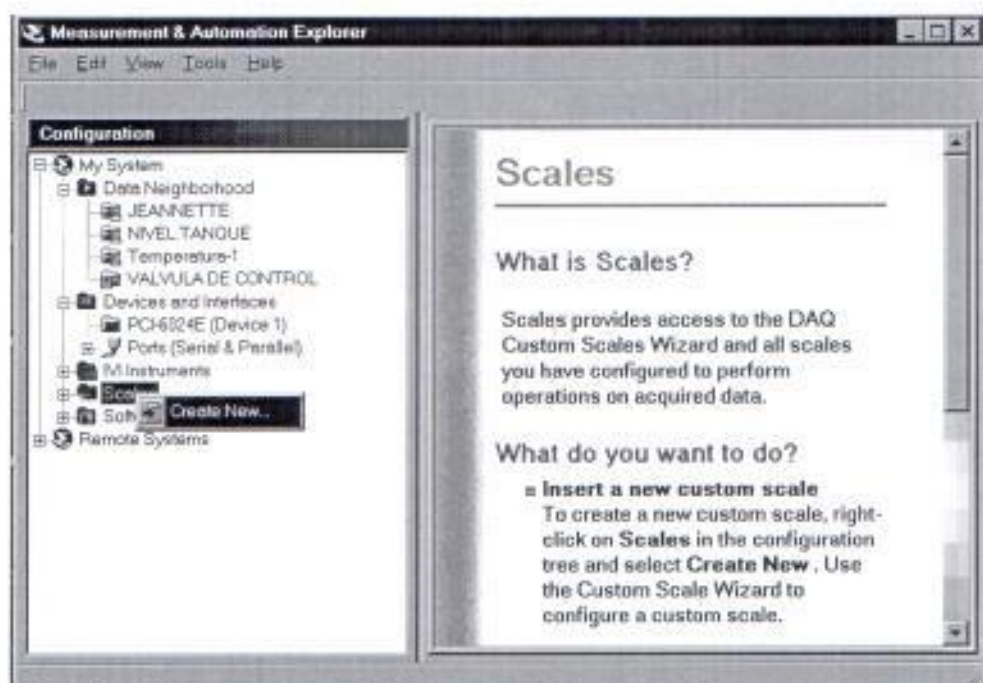


FIGURA 3.13 Creando una Escala

se deben realizar operaciones algebraicas con dichos datos.

Para crear las escalas: clic derecho sobre **Scales**, Create New, Custom Scale, Finish. Se escribe el nombre de la escala y la descripción, además se selecciona el tipo de la escala, para luego proceder a ingresar los valores respectivos.



FIGURA 3.14 Seleccionado Custom Scale

Existen 3 tipos de Escala:

- ❖ Lineal
- ❖ Polinómica
- ❖ Tabla de Escala

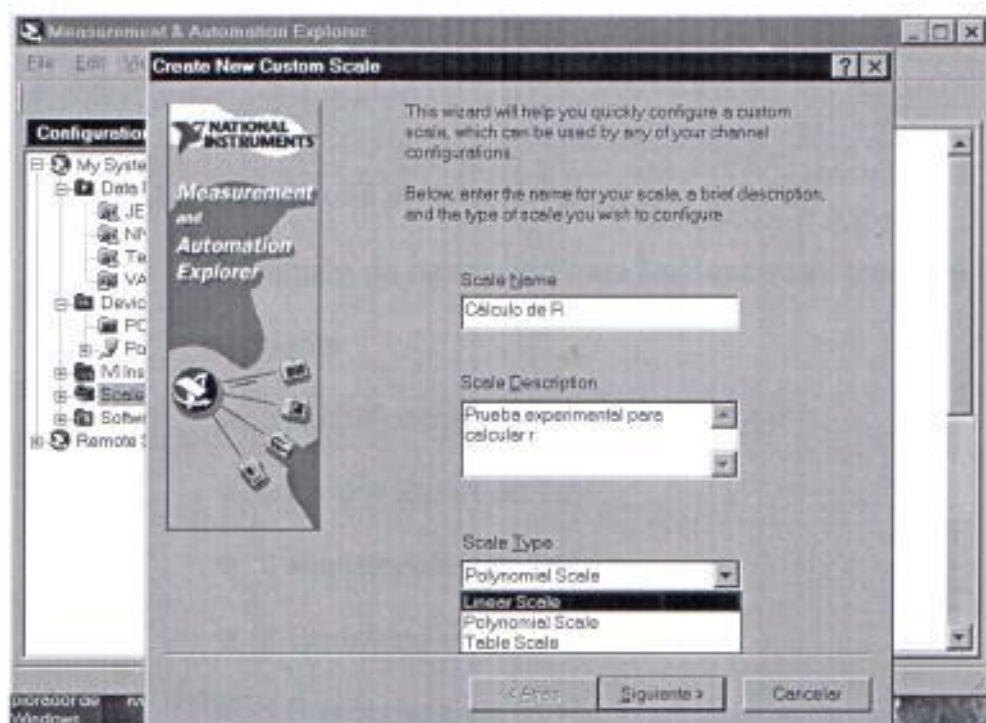


FIGURA 3.15 Seleccionando el Tipo de Escala

3.6.5 Circuito de Protección para la PCI-6024E

Como su nombre lo indica, el circuito de protección nos ayuda a proteger a la tarjeta, dicho circuito impedirá que la tarjeta de adquisición de datos PCI-6024E sufra algún daño causado por un voltaje mayor al que dicha tarjeta soporta (+/- 10V).

Se debe proteger tanto las entradas como las salidas, a continuación se presenta los esquemáticos de los circuitos:

3.6.5.1 Circuito de protección para una entrada

El circuito de protección para una entrada consta de lo siguiente:

- ❖ 3 Amplificadores Operacionales 741[®]
- ❖ 2 Diodos Zener de 10V
- ❖ 6 Resistencia de 10K
- ❖ 2 Resistencia de 0.5K
- ❖ 1 Resistencia de 1K

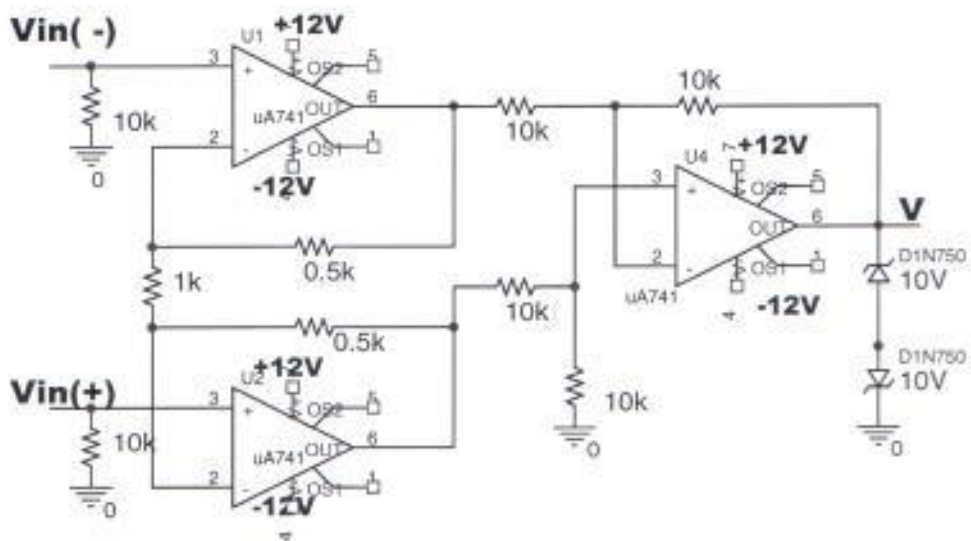


FIGURA 3.16 Circuito de Protección para una entrada

Los voltajes de polarización para los 741^a son (+12/-12V) y la ganancia total del circuito es igual a:

$$V = 2 \cdot (V_{in(+)} - V_{in(-)})$$

Además cabe mencionar algo muy importante, el circuito de la Fig. 3.16 se debe construir para cada entrada a ser utilizada.

3.6.5.2 Circuito de protección para una salida

El circuito de protección para una salida consta de menor número de elementos que son:

- ❖ 2 Diodos Zener de 10V
- ❖ 2 Resistencia de 0.1K

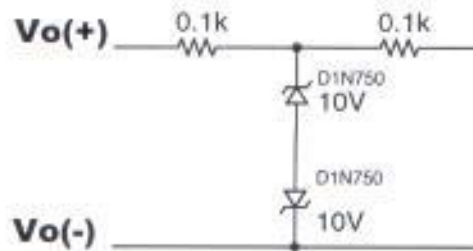


FIGURA 3.17 Circuito de Protección para una salida

Al igual que en las variables de entrada, para las variables de salida se debe realizar un circuito de protección como el de la Fig.3.17 para c/u y es importante conservar la referencia y respetar la polaridad durante todas las mediciones.

La implementación gráfica de la planta se realizó utilizando el software Labview, este software es un lenguaje de programación interactiva mediante una interface al usuario. La librería de adquisición de datos de Labview tiene una serie de instrumentos virtuales que representan el hardware DAQ de la NI.

Usando Labview se reduce tanto el tiempo de Adquisición de datos como del control de la Aplicación.

3.7 Introducción a LABVIEW

LABVIEW es un lenguaje de programación que utiliza iconos en lugar de líneas de texto para crear aplicaciones. A diferencia de los lenguajes de programación basados en texto donde las instrucciones determinan la ejecución del programa, LABVIEW utiliza diagramas de flujo donde los datos determinan la ejecución.

En LABVIEW, se puede construir una interface al usuario usando un set de herramientas y objetos, esta interface es conocida como el Panel Frontal.

En LABVIEW se añaden códigos usando representaciones gráficas de funciones para controlar los objetos en el panel frontal, el diagrama de bloques contiene estos códigos, que se asemejan a un diagrama de flujo.

LABVIEW, permite construir soluciones propias para sistemas científicos y de ingeniería, brindando flexibilidad y performance mediante un lenguaje de programación poderoso sin dificultad ni complejidad.

3.8 Introducción a los Instrumentos Virtuales(VI)

Los programas en LABVIEW son llamados instrumentos virtuales(VIs) ya que su apariencia y operación se asemeja a instrumentos físicos como osciloscopios y multímetros.

Un VI contiene los sgtes. componentes:

- ❖ Panel Frontal
- ❖ Diagrama de bloques
- ❖ Icono Conector

3.8.1 Panel Frontal

El panel frontal es la interface al usuario de un VI, este panel se puede construir con controles e indicadores los mismos que representan a las entradas y salidas de un VI.

Los controles pueden ser perillas, botoneras, dials y otros dispositivos de entrada. Los indicadores son los gráficos, leds y otros displays.

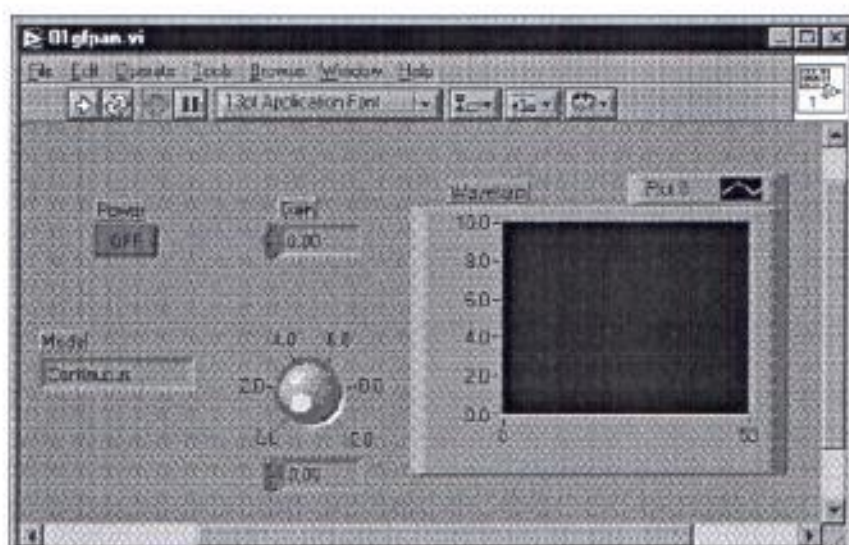


FIGURA 3.18 PANEL FRONTAL DE UN VI

3.8.2 Diagrama de bloques

Una vez que está construido el panel frontal, se puede añadir la codificación o representación gráfica de funciones para controlar los objetos en el panel frontal. Los objetos de dicho panel aparecen como terminales sobre el diagrama de bloques.

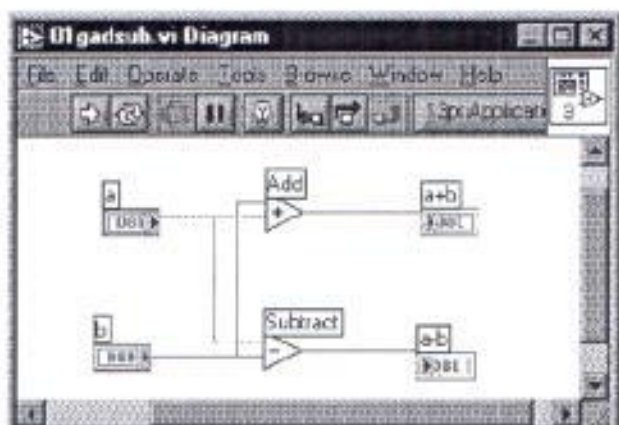


FIGURA 3.19 DIAGRAMA DE BLOQUES DE UN VI

Los terminales que se encuentran sobre el diagrama de bloques representan el tipo de dato ya sea de control o indicador. Los nodos son objetos que tienen entradas I/O salidas que realizan operaciones cuando el VI está corriendo.

Los objetos están unidos por medio de cables, los mismos que son de diferentes colores, estilos y grosor dependiendo del tipo de dato; cuando no hay compatibilidad en la unión de 2 objetos el cable aparece como roto indicando que existe un error.

Las estructuras son representaciones gráficas y se utilizan para repetir parte del programa o su totalidad dependiendo de la condición que se tiene que cumplir.

3.8.3 Icono y el Icono Conector

Una vez que está creado el panel frontal y el diagrama de bloques de un VI, se puede construir el Icono y el Icono Conector de dicho VI; el cual puede ser utilizado en otro programa donde se tomará el nombre de SubVI.

En todos los VIs aparece un icono en la parte derecha superior tanto en el panel frontal como en el diagrama de bloques; este icono no es más que la representación gráfica

de un VI, puede contener texto, imágenes o una combinación de ambas.

El Icono Conector es un set de terminales que corresponde a los controles e indicadores del VI. Este Icono Conector define las entradas y las salidas que se tienen que cablear.

3.9 Descripción Detallada de la Implementación Gráfica de la planta

Los elementos que conforman la pantalla Principal del Control de Nivel son los sgtes.:

- ❖ Sensor de Nivel
- ❖ Setpoint
- ❖ Tuberías y Válvulas de Control
- ❖ Control PI
- ❖ Botón Control
- ❖ Selección del voltaje de la Válvula de control
- ❖ Parámetros de Afinación
- ❖ Adquisición de Datos
- ❖ Retardo de Tiempo y
- ❖ Lazo While.

3.9.1 Sensor de Nivel

El voltaje que proviene del Sensor representa la altura de Agua en el tanque en **(cm)**, cuyo valor se observa en un display numérico.



FIGURA 3.20 Tanque que representa el Nivel de Líquido de la Planta Didáctica.

3.9.2 Setpoint

Es el nivel en el cual tiene que mantenerse el nivel de líquido. Se representa por un control numérico cuyo valor es ingresado por el usuario.

set point

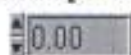


FIGURA 3.21 Control Numérico para el Setpoint

3.9.3 Tuberías y Válvulas de Control

Son variables booleanas, que para efectos de visualización se utilizó comparadores del tipo "mayor que", "menor que", de tal manera que se puede observar los cambios en dichos elementos mediante el cambio en los colores.

Así, el nivel de líquido o altura de agua se compara con un nivel mínimo en el tanque, si es mayor se observará un color **azul** en la **Tubería 1 de salida**, indicando que hay agua a través de ella; de lo contrario la tubería aparecerá de color plomo, es decir, el líquido no llega a ese nivel.



FIGURA 3.22 Tubería 1 de Salida de color azul indicando que hay líquido a través de ella.

De igual forma se compara la altura de agua con el Setpoint, si es **menor**, se observa a la válvula de entrada de color **verde** indicando que:

- ❖ La válvula está abierta,
- ❖ Hay flujo de agua por la tubería 2 de entrada



FIGURA 3.23 Nivel de líquido es menor que el Setpoint, Válvula de ingreso de agua abierta.

De lo contrario, es decir, la altura de agua ya pasó el Setpoint, ocurre que:

- ❖ La válvula de Ingreso de líquido está cerrada, color **rojo**
- ❖ Hay flujo de agua por la tubería 2 de Salida, color **azul**
- ❖ La válvula de Salida está abierta, color **verde**.



FIGURA 3.24 Nivel de líquido es mayor que el Setpoint, la Válvula de ingreso de agua se encuentra cerrada.

Cabe mencionar que la tubería 1 de Ingreso de agua siempre se encuentra de color **azul** indicando el Suministro del Líquido, tal como se muestra en las figuras 3.23 y 3.24.

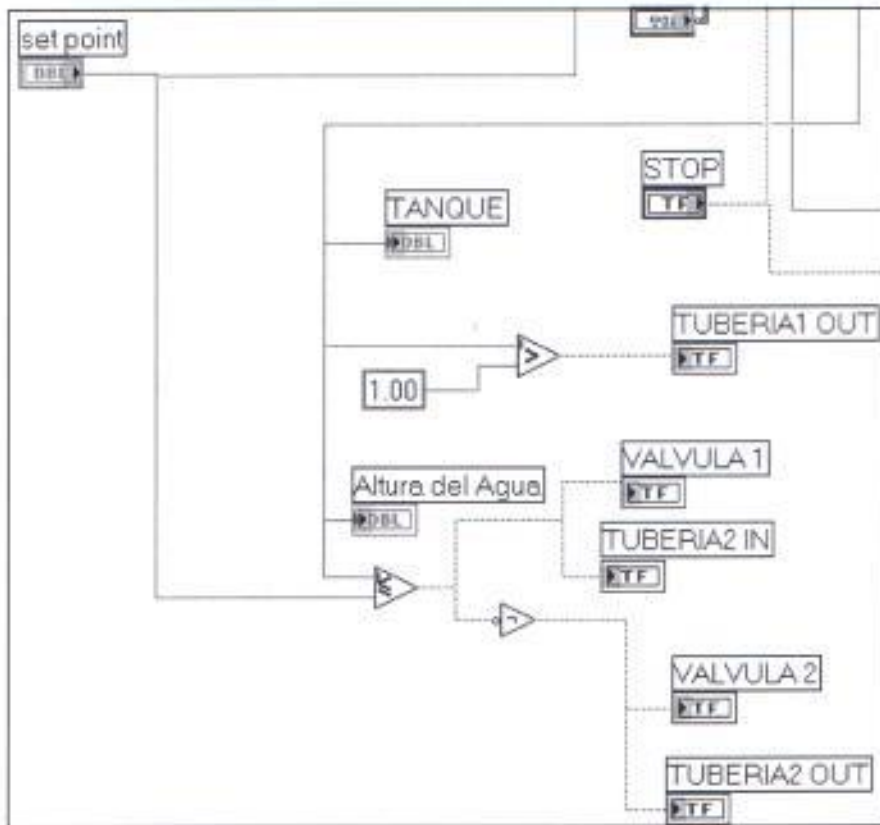


FIGURA 3.25 Operaciones con las Variables Booleanas de las Tuberías y Válvulas de Control.

3.9.4 Control PI

El Lazo de control PI es un subVI llamada **sim PI**, cuyas entradas son los sgtes. parámetros:

- ❖ P
- ❖ I
- ❖ Setpoint

- ❖ Variable de proceso o Controlada
- ❖ Nivel Superior
- ❖ Nivel Inferior.

Para implementar el control Proporcional Integral se ha utilizado un lazo **While**, al cual ingresan como datos los sgtes. parámetros:

- ❖ La función **First Call**, que indica que un subVI o una parte del diagrama de bloques está corriendo por primera vez. Esta función retorna un verdadero sólo una vez cuando el botón **Run** se presiona.

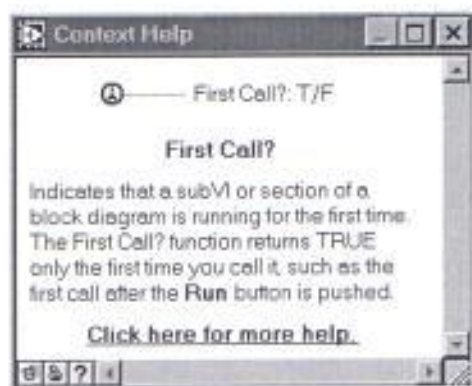


FIGURA 3.26 Cuadro de Ayuda para la función First Call

- ❖ Tiempo previo: Representa el tiempo Inicial.

- ❖ **Suma previa del Error:** Es el valor Inicial de la Componente Integral.

Dentro del Lazo While encontramos la estructura **Secuencia**. La Estructura consta de 5 Pantallas(0..4), las mismas que efectuarán las operaciones matemáticas, dando como resultado la ecuación del Voltaje de Salida del Controlador.

3.9.4.1 Pantalla 0: Cálculo de dt

En esta pantalla se resta el tiempo actual con el tiempo previo o inicial; esta diferencia es la condición que ingresa a la función **Selección**: si la diferencia es mayor que cero pasará el valor de dicha diferencia sino pasará un 1.

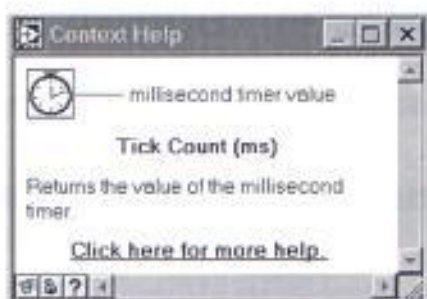


FIGURA 3.27 Función Tick Count, que nos indica el tiempo actual.

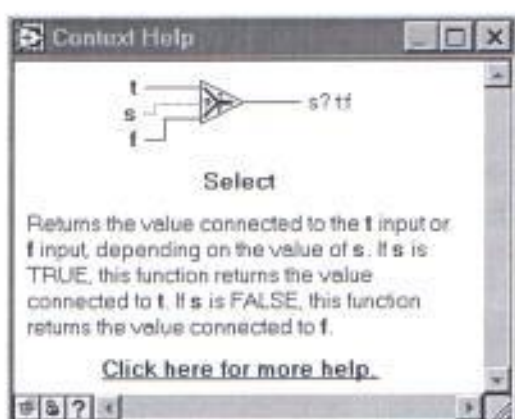


FIGURA 3.28 Función Selección, deja pasar los valores en t ó f, dependiendo de la condición en s.

Este resultado se divide para 1000; este valor final resulta ser un valor muy pequeño que representa

el **dt**. Cabe mencionar que este valor ingresa como dato en las pantallas siguientes.

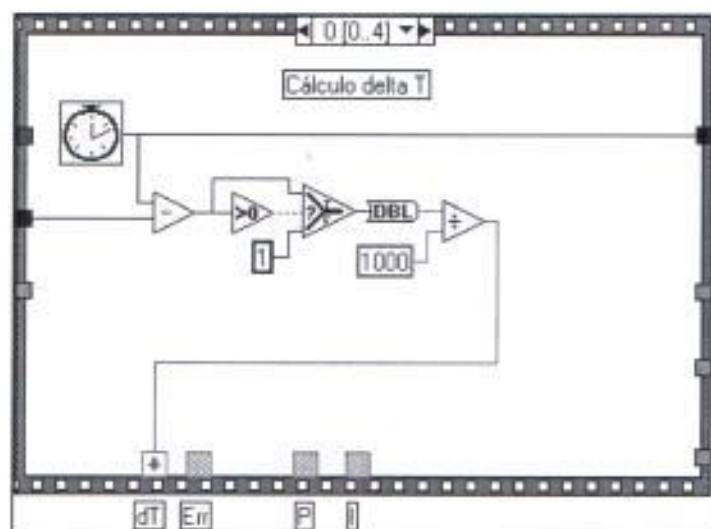


FIGURA 3.29 Primera Pantalla de la Secuencia para el Lazo de Control PI, Cálculo de dt.

3.9.4.2 Pantalla 1: Cálculo del Error

El Error es la diferencia entre el setpoint y la variable de proceso o variable controlada; al igual que el delta t, el error también ingresa dato en las pantallas posteriores.

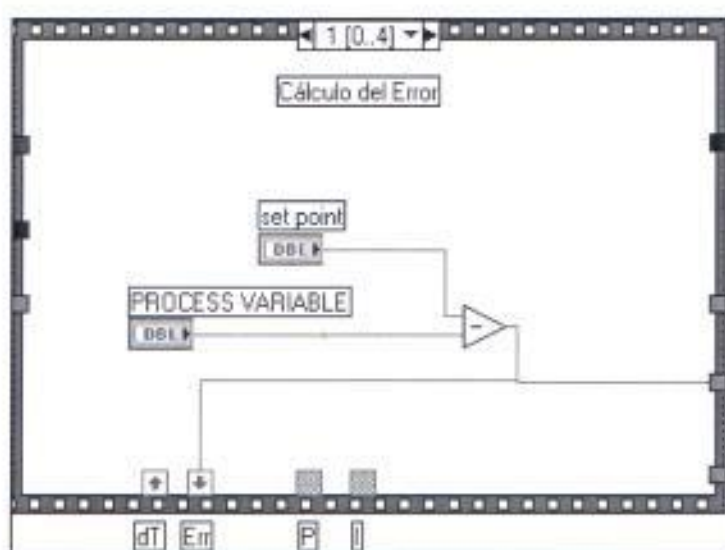


FIGURA 3.30 Segunda Pantalla de la Secuencia para el Lazo de Control PI, Cálculo del Error.

3.9.4.3 Pantalla 2: Cálculo de la Componente

Proporcional

En esta pantalla se efectúa la multiplicación entre:

- ❖ La constante P, ingresada por el usuario y el
- ❖ Error, calculado en la pantalla 1

Cabe mencionar que el resultado se guarda en la variable P.

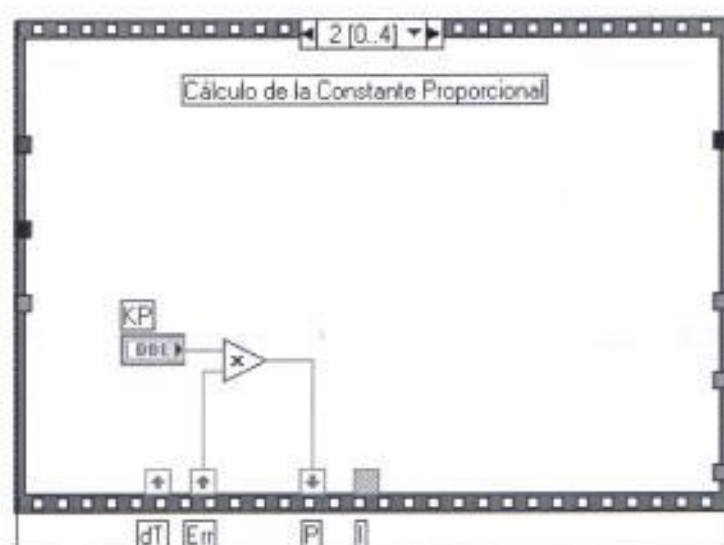


FIGURA 3.31 Tercera Pantalla de la Secuencia del Control PI, Cálculo de la Componente Proporcional.

3.9.4.4 Pantalla 3: Cálculo de la Componente Integral

Aquí se efectúa la multiplicación de:

- ❖ I
- ❖ Error
- ❖ dt

y este resultado se suma con el error inicial o acumulado, este resultado ingresa a la función **Select**, la cual tiene como condición la función

First Call, cuyo valor booleano actualmente es FALSO ya que el programa ya corrió por primera vez, dejando de esta manera pasar la sumatoria cuyo valor se almacena en la variable I.

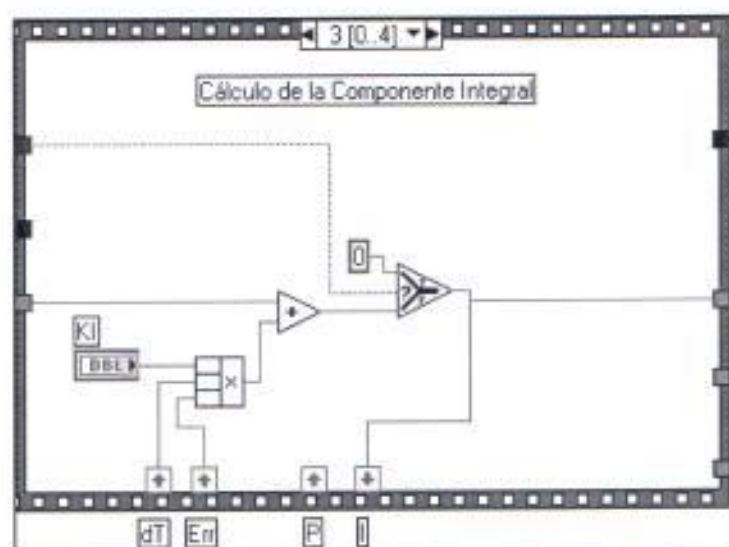


FIGURA 3.32 Cuarta Pantalla de la Secuencia del Control PI, Cálculo de la Componente Integral.

3.9.4.5 Pantalla 4: Cálculo del voltaje de Salida del Lazo de Control PI

En esta pantalla ingresan al arreglo **Compound Arithmetic**, la:

- ❖ Componente Proporcional, P

❖ Componente Integral, I

Donde se efectúa la suma, luego este valor ingresa a la función **In Range an Coerce**. Cabe mencionar que dicha función también recibe los valores de los límites tanto superior como inferior.

La función **In Range an Coerce** determina si el valor ingresado se encuentra dentro del rango especificado, si este es el caso deja pasar dicho valor, de lo contrario tenemos 2 opciones:

- ❖ Si el valor ingresado es mayor que el límite superior dará como resultado dicho límite, sino
- ❖ Si el valor ingresado es menor que el límite inferior, dejará pasar dicho límite.

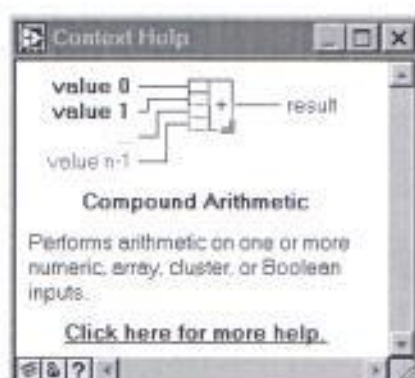


FIGURA 3.33 Arreglo Compound Arithmetic

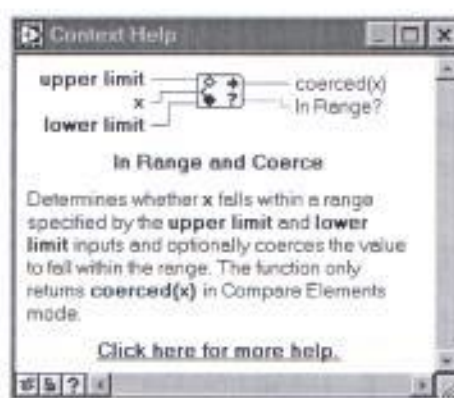


FIGURA 3.34 Función In Range and Coerce

Obteniendo finalmente de esta manera el voltaje de salida del Controlador PI que actuará sobre la válvula de control.

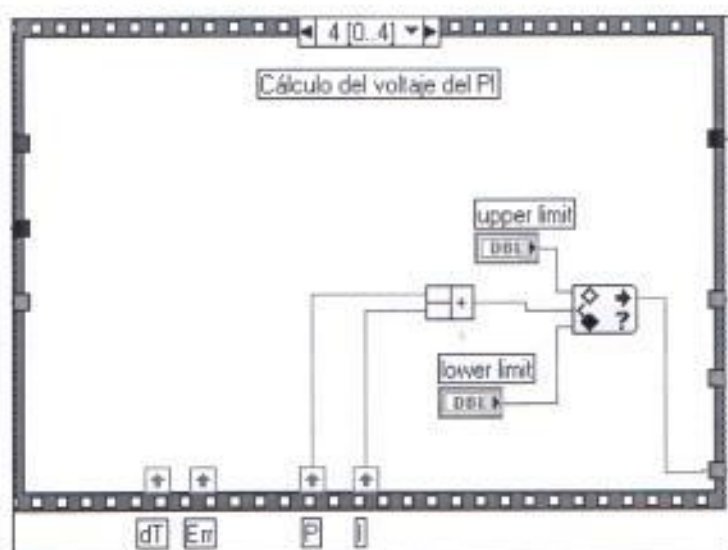


FIGURA 3.35 Cálculo del Voltaje de Salida del Control PI.

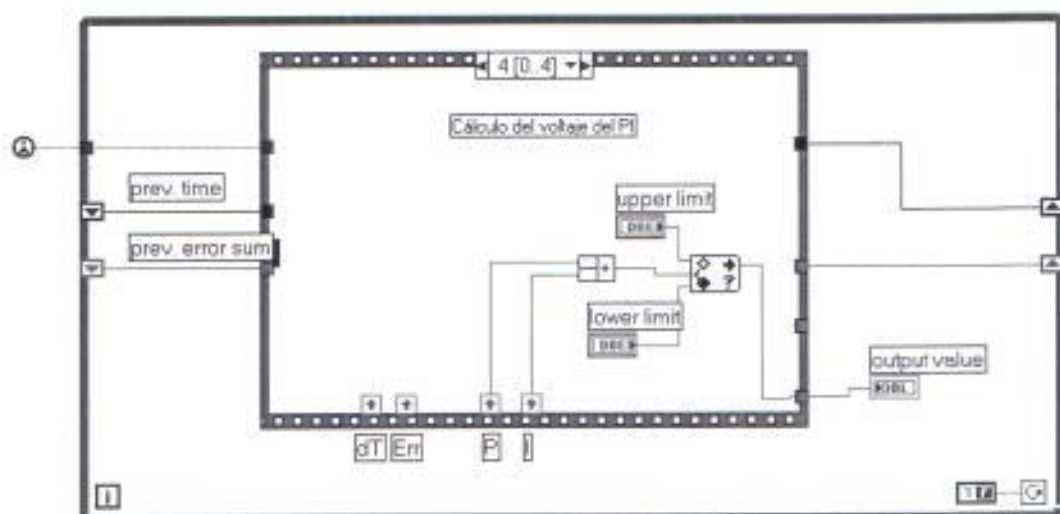


FIGURA 3.36 Diagrama completo del Lazo de Control PI

Como ya se mencionó al inicio de la sección se creo el subVI para el control PI, así como el Icono Conector, el cual se muestra a continuación,

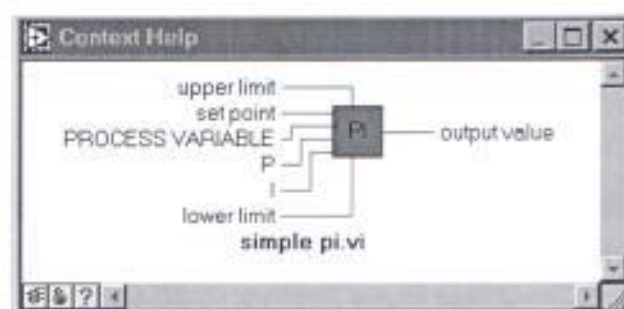


FIGURA 3.37 SubVI e Icono Conector del Control PI

3.9.5 Botón Control

Es un swtich de 2 posiciones: on y off. Cuando se encuentra en la posición **Off** el voltaje para la válvula de control es cero, es decir, se encuentra cerrada.

Cuando se encuentra en la posición **On**, se habilitan las opciones del voltaje de salida hacia la válvula, esto es, apertura total o el Control PI.



FIGURA 3.38 Botón Control

3.9.6 Selección del voltaje de salida hacia la válvula

Para la selección del voltaje que se enviará a la válvula de control se utilizó la estructura Case con 2 opciones: Verdadero o Falso.

Si la diferencia entre el setpoint y la altura del agua es mayor que 1 cm, se selecciona la pantalla "**True**", y se envía el voltaje de máxima apertura(10V) a la válvula; si la diferencia es menor o igual que 1 cm, se selecciona la pantalla "**False**", y se envía el voltaje de salida del PI a la válvula de control.

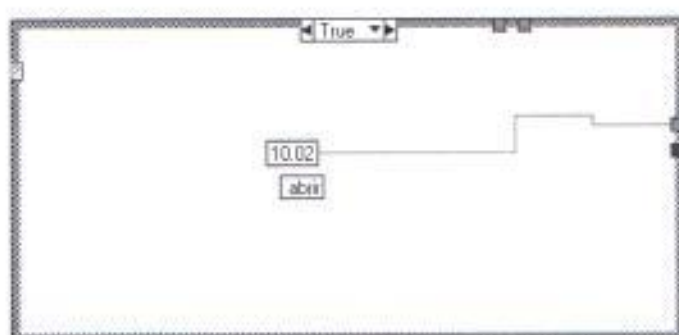


FIGURA 3.39 Selección del voltaje hacia la válvula, pantalla "True"

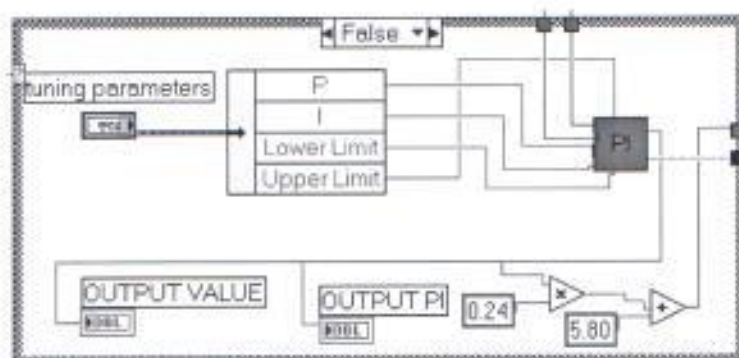


FIGURA 3.40 Selección del voltaje hacia la válvula, pantalla "False"

3.9.7 Ingreso de los Parámetros de Afinación

Los parámetros para el Control PI pueden ser ingresados por el usuario mediante controles numéricos; para lo cual se utilizó el arreglo llamado **Unbundle by name**, que agrupa los elementos y los retorna de acuerdo a su nombre específico.

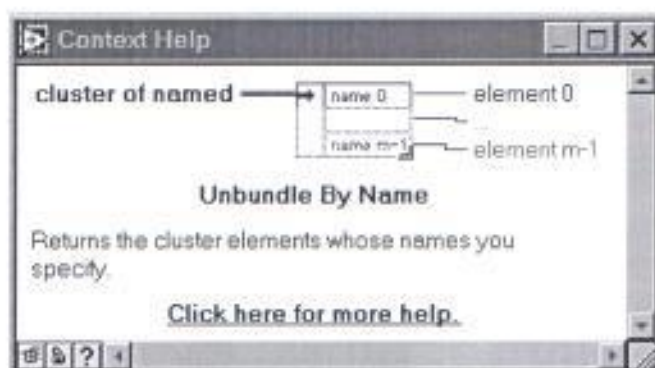


FIGURA 3.41 Cuadro de Ayuda del Unbundle by Name

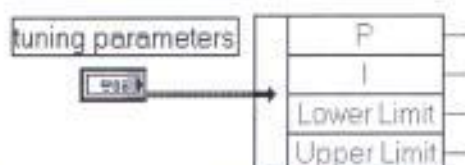


FIGURA 3.42 Parámetros de Afinación del Control PI

3.9.8 Adquisición de Datos

3.9.8.1 Variable de Entrada

Para realizar la adquisición de datos de la Variable de Entrada, se utilizó **AI-1 Scan**, el cual mide las señales sobre el canal 0 (canal donde ingresan los voltajes del Sensor de Nivel) y retorna las mediciones en un arreglo de escala o valores binarios.



FIGURA 3.43 Selección del Arreglo para la Adquisición de Datos de la Variable de Entrada.

A este arreglo ingresan:

- ❖ El número del Dispositivo que se está utilizando, en nuestro caso es el # 1.
- ❖ Los valores del Canal de Entrada (canal 0) previamente agrupados en un Build Array.
- ❖ El número de Iteración i del Lazo While.

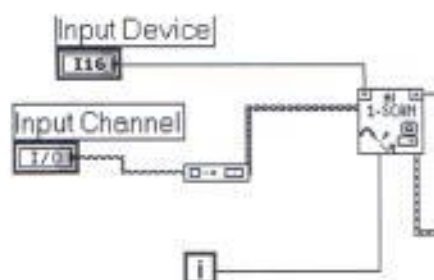


FIGURA 3.44 Arreglo AI-1Scan, datos que ingresan a este arreglo.

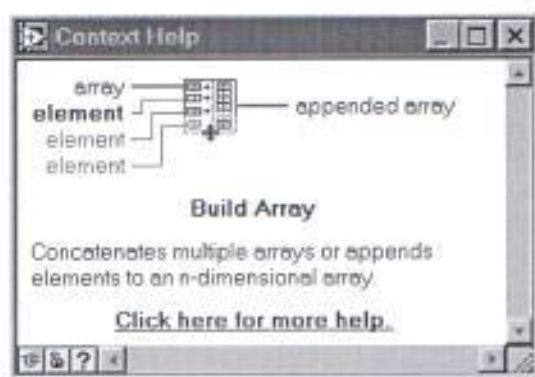


FIGURA 3.45 Build Array

La salida de este arreglo binario ingresa a su vez al arreglo **Index**, obteniendo finalmente la variable de proceso o altura de líquido en el tanque.

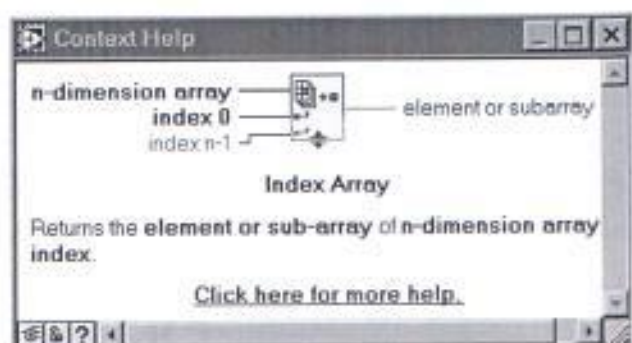


FIGURA 3.46 Texto de Ayuda para el Index Array

Adicionalmente se puede observar los valores que va tomando dicha variable de proceso vs el tiempo, mediante una gráfica.

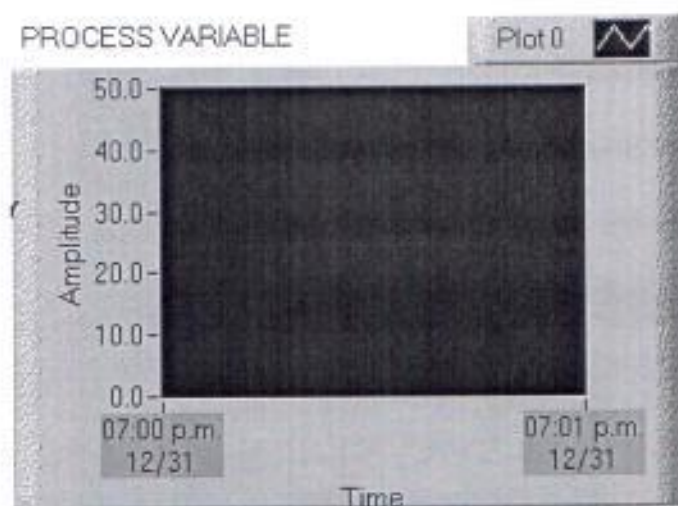


FIGURA 3.47 Representación Gráfica de la Variable de Entrada.

3.9.8.2 Variable de Salida

Para entregar los voltajes de la Variable de Salida **AO Write One Update**, el cual envía el valor de voltaje al canal de salida específico, en nuestro caso el Canal 0.

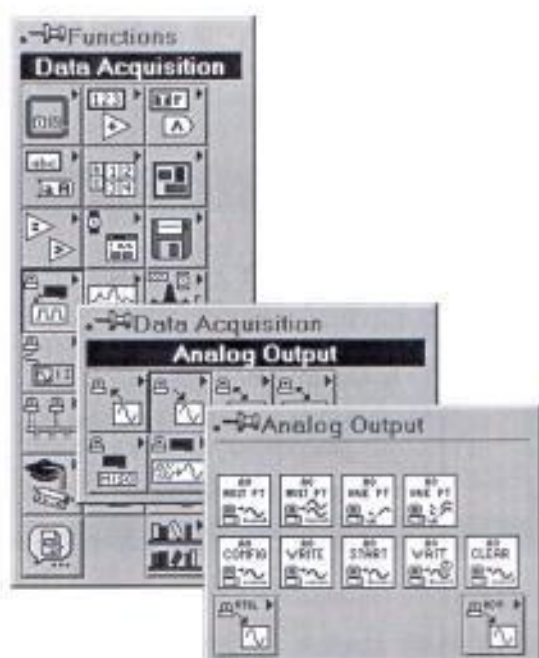


FIGURA 3.48 Selección del Arreglo para entregar los voltajes de la Variable de Salida.

A este arreglo ingresan:

- ❖ El número del Dispositivo que se está utilizando(1)
- ❖ Canal de Salida
- ❖ Dato a ser enviado, que es el voltaje que actuará sobre la Válvula de Control(previamente almacenado en un Build Array).

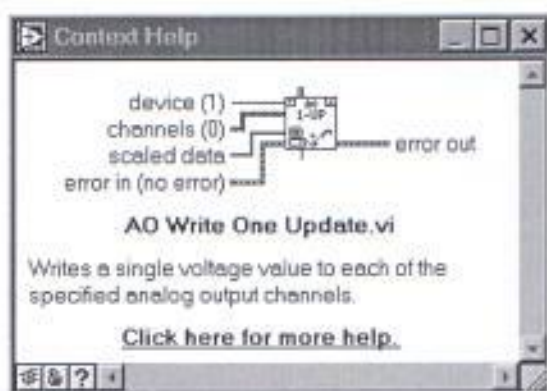


FIGURA 3.49 Texto de Ayuda para el arreglo AO Write One Update.

Cabe mencionar que para la Variable de Salida también se tienen una gráfica, para observar los valores que va tomando dicha variable.

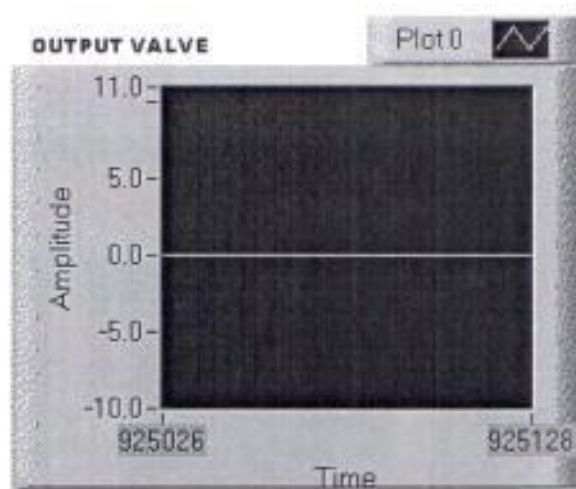


FIGURA 3.50 Representación Gráfica de la Variable de Salida.

3.9.9 Lazo While

Toda la implementación de la Planta didáctica de Control de Nivel se encuentra dentro de un Lazo While.

DIAGRAMA PRINCIPAL CONTROL DE NIVEL

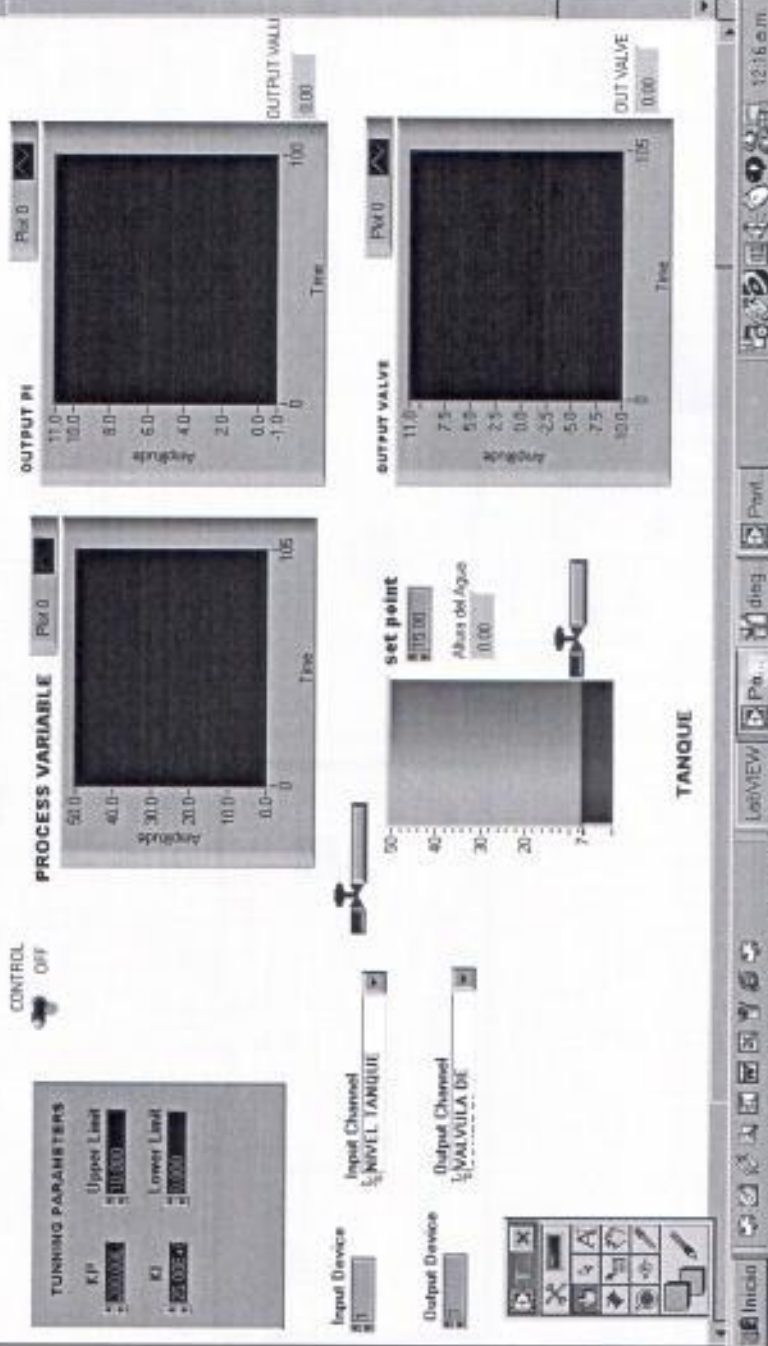


FIGURA 3.51 PANEL FRONTAL DE LA PLANTA DIDACTICA DE CONTROL DE NIVEL

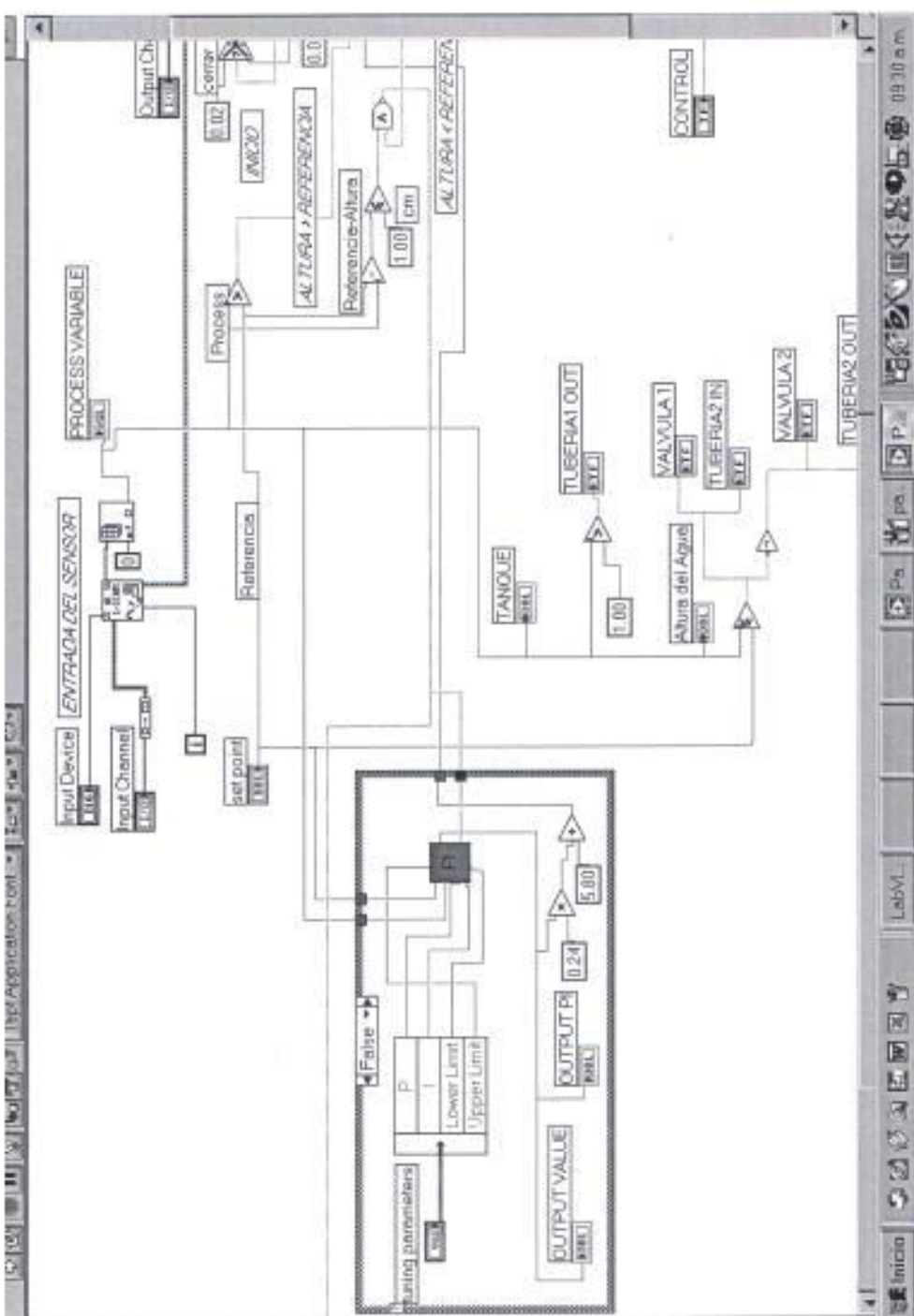


FIGURA 3.52 DIAGRAMA DE BLOQUES DE LA PLANTA DIDACTICA DE CONTROL DE NIVEL

CAPITULO IV

4. COMPONENTES DE LA PLANTA DIDACTICA

La planta didáctica de Control de Nivel consta de los componentes que se detallan a continuación:

- ❖ Sensor de Nivel
- ❖ Circuito de protección de la Tarjeta de la NI
- ❖ Tarjeta de Adquisición de Datos PCI-6024E, Bloque conector y Cable
- ❖ Software Labview
- ❖ Interface de conversión de Voltaje a Presión V/psi
- ❖ Válvula de Control
- ❖ Regulador de Presión

4.1 Sensor de Nivel

El sensor de nivel consta de un reóstato conectado a un brazo rodeado de una boya y a medida que el líquido sube o baja hace desplazar dicha boya, la cual a su vez mueve el reóstato.

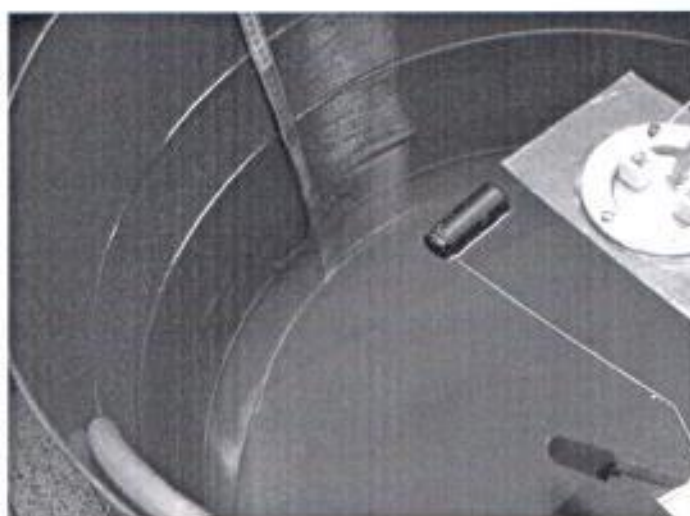


Figura 4.1 Sensor de Nivel

El circuito del sensor está formado por una fuente de 5V y un galvanómetro; la señal de voltaje del sensor va al circuito de protección de la tarjeta, para luego ingresar al bloque conector de la tarjeta de adquisición de datos.

4.1.1 Especificaciones del Sensor

- ❖ $R_{\min} = 2.2$ ohmios
- ❖ $R_{\max} = 36.6$ ohmios
- ❖ $V_{\min} = 1.60$ V
- ❖ $V_{\max} = 8.5$ V

4.2 Circuito de Protección de la Tarjeta de la NI

El circuito de protección impedirá que la tarjeta de adquisición de datos PCI-6024E sufra algún daño causado por un voltaje mayor al que dicha tarjeta soporta(± 10 V).

Se debe proteger tanto las entradas como las salidas, además cabe mencionar que se debe construir un circuito de protección para *c/u* de las I/O a utilizar.

4.2.1 Especificaciones del Circuito de Protección

- ❖ Voltajes de polarización para los 741[®] : (+12/-12V)
- ❖ Ganancia del circuito = 2

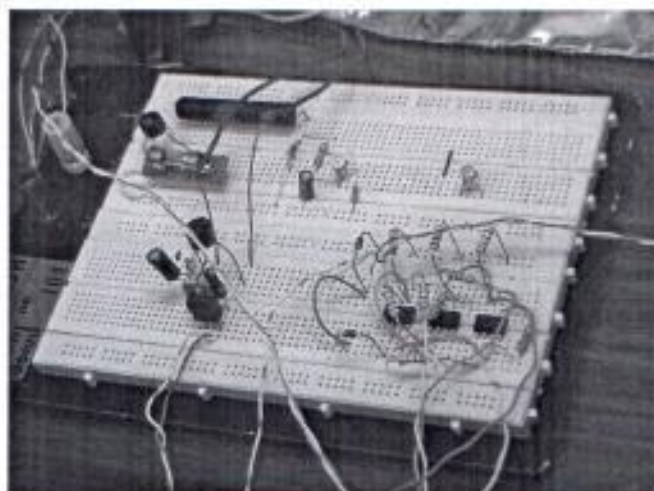


Figura 4.2 Circuito de Protección para la Tarjeta PCI-6024E

4.3 Tarjeta de Adquisición de Datos de la NI, Bloque Conector y

Cable

La 6024E tiene 16 canales para entradas analógicas, 2 canales para salidas analógicas, y 8 líneas de I/O. Las conexiones de las entradas y salidas hacia la tarjeta de adquisición de datos PCI-6024E se realizan por medio de un conector de 68 pines.

Para ingresar la señal analógica del sensor se escogió el **Canal 0**, el cual se configuró como una entrada diferencial, con un rango de 0 a 10V.

De igual forma para la señal de salida, es decir, el voltaje hacia la válvula de control, se escogió el **canal 0** o salida DAC0OUT.



Figura 4.3 Bloque Conector y Cable de conexión para la PCI-6024E

4.3.1 Especificaciones de la Tarjeta de Adquisición de Datos

- ❖ PCI-6024E Low Cost Multifunction I/O Board y NI DAQ, para Win 2000, NT, Me y MAC OS
- ❖ Alimentación: 4.65-5.25 VDC a 1 amperio
- ❖ Rango de Salida: (+10/ -10)V

4.3.2 Especificaciones del Bloque Conector

- ❖ CB-68LP I/O

4.3.3 Especificaciones del Cable

- ❖ R6868 68 Cable Conductor Ribbon, 1 m

4.4 Software Labview

LABVIEW es un lenguaje de programación que utiliza iconos en lugar de líneas de texto para crear aplicaciones, se puede construir una interface al usuario usando un set de herramientas y objetos, esta interface es conocida como el Panel Frontal.

En LABVIEW se añaden códigos usando representaciones gráficas de funciones para controlar los objetos en el panel frontal, el diagrama de bloques contiene estos códigos, que se asemejan a un diagrama de flujo.

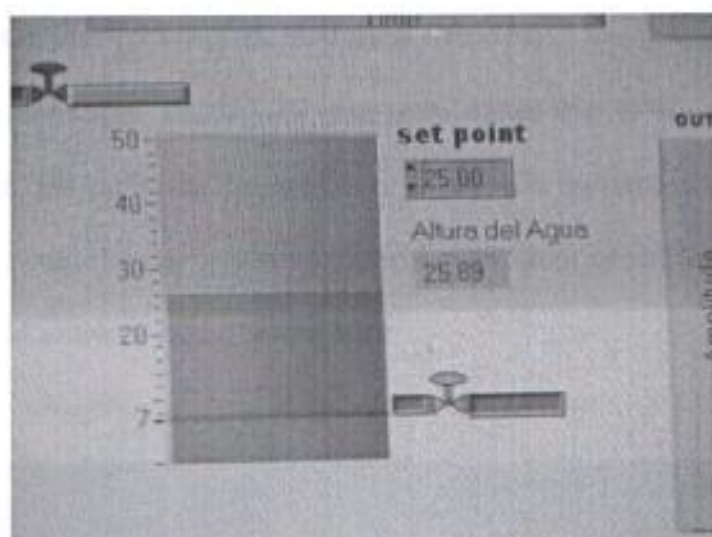


Figura 4.4 Pantalla en Labview, se muestra un indicador

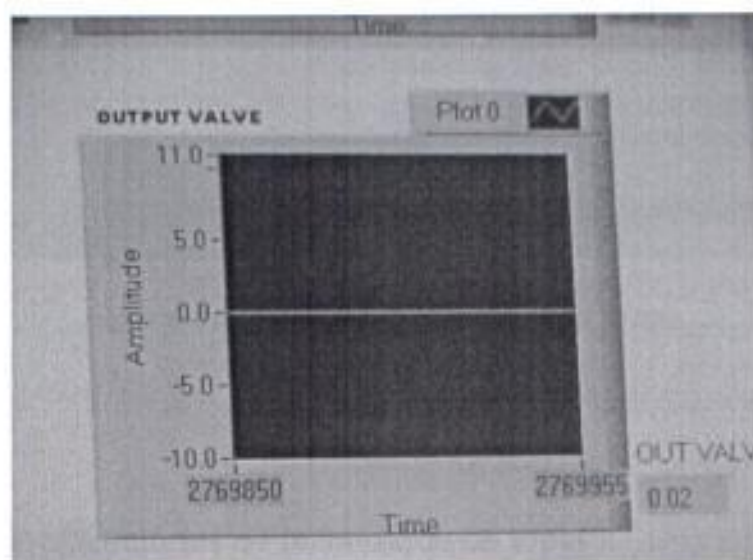


Figura 4.5 Pantalla en Labview, presenta una gráfica

4.5 Interface de Conversión de Voltaje a Presión

Convierte la señal de 0-10V en una señal de 0-30 psi. Cabe mencionar que este equipo recibe una presión constante de 30 psi, si llegará a recibir una presión mayor a este valor durante un tiempo largo puede sufrir daños irreversibles.

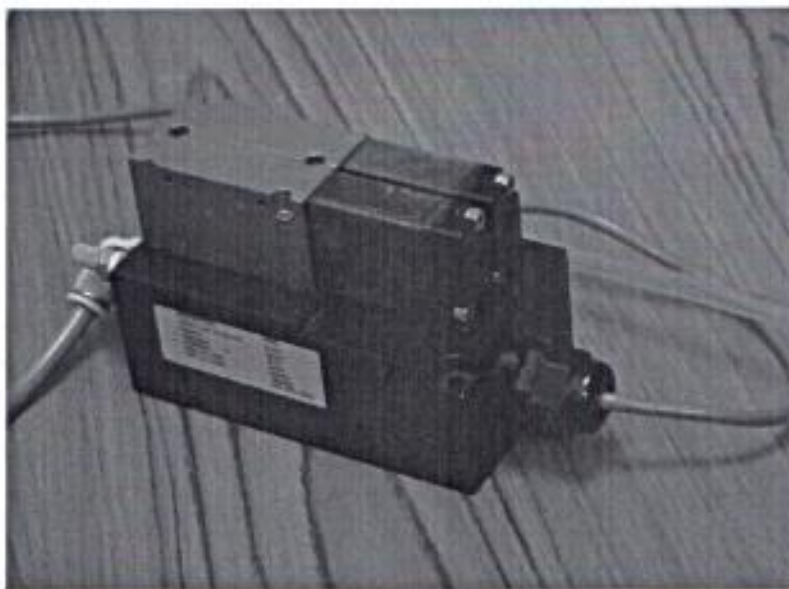


Figura 4.6 Interface de Conversión V/psi

4.5.1 Especificaciones de la Interface de V/psi

- ❖ PPC47A Series MAC
- ❖ Alimentación: 24 Vdc
- ❖ Entrada: 0-10V
- ❖ Salida: 0-30 psi

- ❖ Presión de Ingreso: 30 psi(constante)

4.6 Válvula de Control

4.6.1 Especificaciones de la válvula

- ❖ Neumática
- ❖ Normalmente cerrada
- ❖ Diámetro: 1/2"
- ❖ Entrada: 0-30 psi



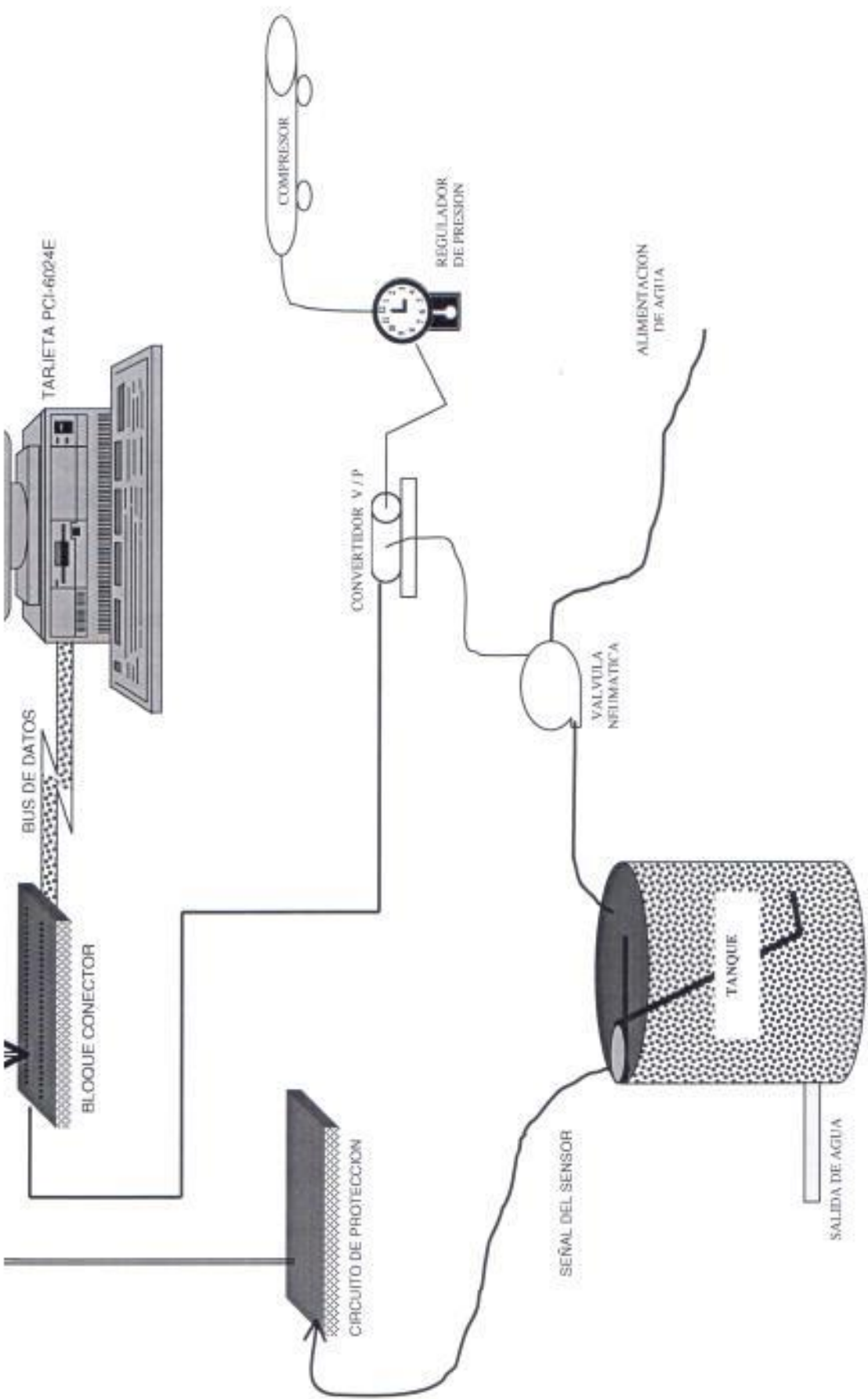
Figura 4.7 Válvula de Control

4.7 Regulador de Presión

Debido que la interface de V/psi tiene que recibir una presión constante de 30 psi, se utilizó este equipo, para regular la presión que proviene del compresor.



Figura 4.8 Regulador de Presión



CAPITULO V

5. CONDICIONES INICIALES, DE OPERACIÓN Y RESULTADOS OBTENIDOS

5.1 Condiciones Iniciales

Las condiciones iniciales de la planta didáctica son:

- ❖ Botón Control: Off
- ❖ Válvula de control cerrada
- ❖ El valor del setpoint es mayor que la altura del agua.

5.2 Condiciones de Operación

- ❖ Botón Control: On
- ❖ Los valores de las constantes del Controlador PI son: $K_p = 0.007$,
 $K_i = 0.02$
- ❖ Si el valor del setpoint es mayor que la altura, se manda abrir la válvula un 100%, hasta que la diferencia entre el setpoint y la

altura sea menor o igual que 1 cm, aquí actúa el Control PI, hasta lograr que el setpoint y la altura del agua sean iguales.

- ❖ Si el setpoint es menor que la altura, la válvula de control permanecerá cerrada, hasta que el programa detecte que esta condición es falsa.
- ❖ Si existiera alguna perturbación, siempre se compensará ya sea abriendo total o parcialmente la válvula de control dependiendo de la diferencia entre el setpoint y la altura del agua.

5.3 Resultados Prácticos

En la tabla 5.1 se presentan los resultados obtenidos de la planta de Control de Nivel, tomando como referencia los sgtes. datos:

- ❖ Altura inicial de líquido: 12.55 cm
- ❖ Altura deseada o Setpoint: 20 cm
- ❖ Perturbación constante a través de la válvula de salida accionada manualmente.

TABLA 5.1

RESULTADOS PRACTICOS DE LA PLANTA DE CONTROL DE NIVEL

Setpoint (cm)	h(agua) (cm)	Voltaje hacia la Válvula (V)	Tiempo(llenado tanque) (seg)
20	12.55	10	0
20	13.00	10	18
20	14.00	10	45
20	15.00	10	65
20	16.00	10	78
20	17.00	10	90
20	18.00	10	102
20	19.00	9.80	117
20	20.00	5.84	140
20	20.50	5.84	174
20	19.85	7.50	225
20	20.30	5.84	263
20	19.65	8.55	285
20	20.35	5.84	315
20	19.90	7.00	345
20	20.20	5.84	375
20	20.10	5.84	395

De la tabla de resultados, se obtienen 2 gráficas:

5.3.1 Comportamiento del sistema

En la figura 5.1 se muestra la gráfica (**h vs. t**):

- ❖ El tiempo de operación del sistema total es de aprox. 52seg.

5.3.2 Operación de la Válvula de Control

En la figura 5.2 se muestra la gráfica (**V_(válvula) vs. h**), en la cual se puede observar el rango de operación del elemento final de control.

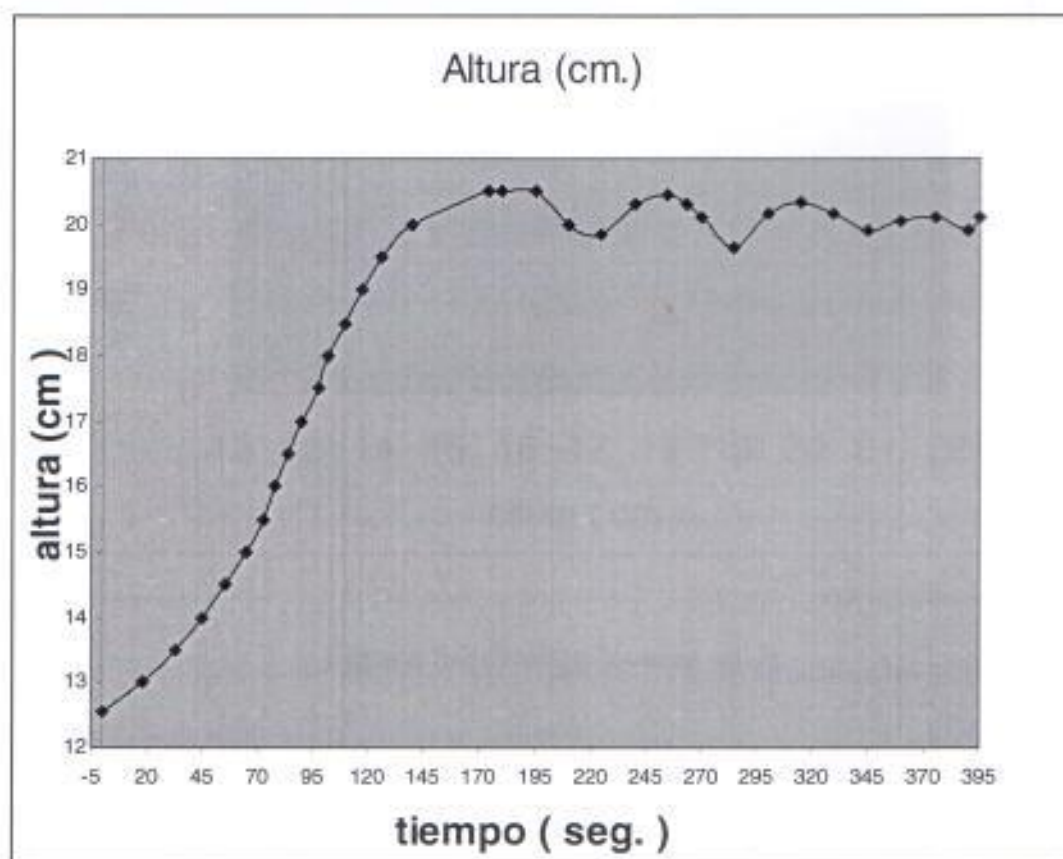


Figura 5.1 Gráfica h vs. t

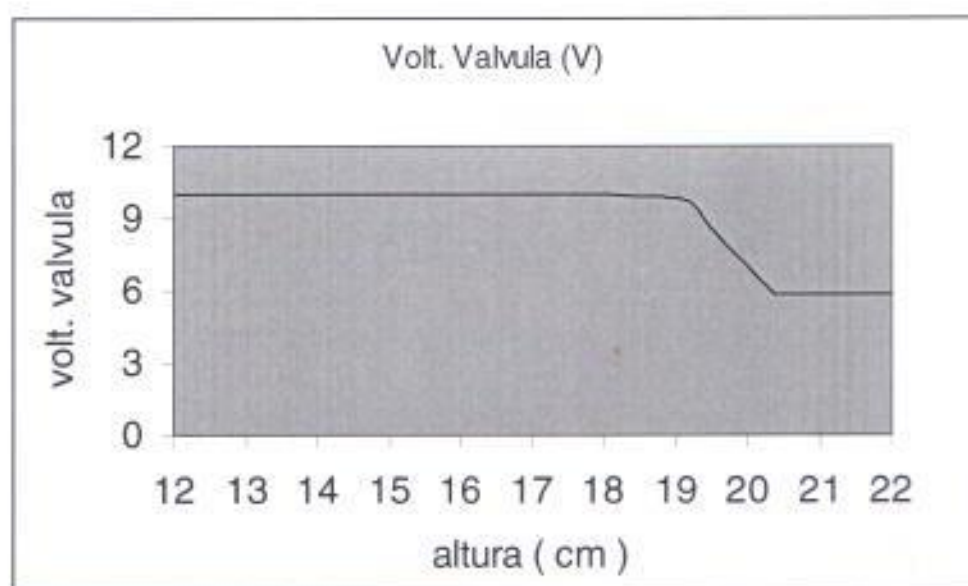


Figura 5.2 Gráfica $V_{(v\grave{a}lvula)}$ vs. h

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Los voltajes del sensor de nivel medidos experimentalmente ingresan en el Labview como una tabla de escala, donde el programa presenta la altura de líquido correspondiente al voltaje ingresado, además de realizar la interpolación respectiva para los datos que no se encuentran en dicha tabla.

Este sensor presenta cierta inestabilidad, ya que no es un sensor de precisión, lo cual ocasiona que la altura del agua vaya más allá del setpoint. Cabe mencionar que cuando esto ocurre no se puede mandar a purgar automáticamente el tanque ya que no se tiene control sobre una válvula de salida.

2. El controlador PI es el más adecuado para este tipo de procesos, ya que combina la variación proporcional del error con la acción integral que elimina dicho error.

Se realizaron varias pruebas: primero se utilizó las constantes calculadas teóricamente para el controlador, luego se fueron ajustando poco a poco estos parámetros, verificando el funcionamiento y comportamiento de la planta; para finalmente determinar que los valores de $K_p = 0.007$ y $K_i = 0.018$ son los más óptimos de operación con un tiempo de estabilización de 52 seg.

3. Es importante mencionar que en los resultados obtenidos también influyen o se deben tomar en cuenta las fluctuaciones o ruido en la señal que proviene del sensor, además que la constante de tiempo de la planta es bastante alta característica propia los sistemas de nivel.

4. No es recomendable añadir al controlador la acción derivativa, ya que esta responderá a los cambios bruscos producidos por el ruido en la señal del sensor, lo que hará que la válvula este constantemente actuándose, originando un desgaste innecesario en dicha válvula.

5. Se recomienda utilizar los circuitos de protección para la tarjeta PCI-6024E, ya que una conexión a la inversa de terminales o un corto circuito puede provocar daños irreversibles en la misma.

ANEXOS

APENDICE A

TABLA A-1

CONFIGURACIONES DE ENTRADA DE LA PCI-6024E

Configuración	Descripción
DIFF	Un canal configurado en modo DIFF utiliza 2 líneas de entradas analógicas; una conectada a la entrada positiva del amplificador de ganancia programable(PGIA) y la otra se conecta a la entrada negativa del PGIA.
RSE	Un canal configurado en RSE utiliza una línea de entrada analógica, la cual se conecta a la entrada positiva del PGIA. La entrada negativa del PGIA es conectada internamente a la referencia de tierra de las entradas analógicas(AIGND).
NRSE	Un canal configurado en este modo utiliza una línea de entrada analógica, la cual se conecta a la entrada positiva del PGIA. La entrada negativa del PGIA se conecta a la entrada analógica Sense(AISENSE).

TABLA A-2

RANGO Y PRECISION DE LA GANANCIA

GAIN	INPUT RANGE	PRECISION
0.5	-10 a +10V	4.88mV
1	-5 a +5V	2.44mV
10	-500 a +500mV	2.44.14 micro V
100	-50 a +50mV	24.41 micro V

TABLA A-3

CONECTOR I/O, DESCRPCION DE LOS PINES

Nombre	Referencia	Dirección	Descripción
AIGND	-	-	Referencia de tierra de las entradas analógicas, es el punto de referencia para mediciones single-ended en RSE y DIFF.
ACH(0..15)	AIGND	Input	Canales de entradas analógicas.
AISENSE	AIGND	Input	Este pin sirve de referencia para cualquiera de los canales en configuración NRSE.
DAC0OUT	AOGND	Output	Salida analógica del canal 0.
DAC1OUT	AOGND	Output	Salida analógica del canal 1
AOGND	-	-	Referencia de tierra para las salidas

			analógicas.
DGND	-	-	Referencia de tierra para las I/O Digitales
DIO(0..7)	DGND	Input o Output	Señales digitales I/O. DIO6 y 7 pueden controlar las señales up/down de los contadores de propósito general 0 y 1, respectivamente.
+5V	DGND	Output	5V Vdc, estos pines están protegidos por un fusible de 1 A. Este fusible se resetea a si mismo.
SCANCLK	DGND	Output	Clock Scan, este pin es un pulso para cada conversión A/D cuando el modo scanning esta habilitado. De un bajo a un alto indica cuando la señal de entrada puede ser removida de la entrada y se puede cambiar a otra señal.
EXTSTROBE	DGND	Output	Strobe External, se puede controlar esta salida por software para señales o eventos de disparo sobre dispositivos externos.
PFI0/TRIG1	DGND	Input Output	PFI0/Trigger 1, como entrada en una de las entradas de función programable. Como salida, este es el TRIG1(disparo de inicio de la AI). En secuencia de adquisición de datos posttrigger indica el inicio de la secuencia de adquisición. En aplicaciones pretrigger, la transición de un bajo a un alto

			indica el inicio de una conversión pretrigger.
PFI1/TRIG2	DGND	Input Output	PFI1/Trigger2, como entrada es uno de los PFIs Como salida, es el TRIG2(fin de disparo de la AI). En aplicaciones pretrigger, la transición de un alto a un bajo indica el inicio de la conversión posttrigger. TRIG2 no es usado en aplicaciones posttrigger.
PFI2/CONVERT	DGND	Input Output	PFI2/Convert, como entrada es uno de los PFIs. Como salida, es el CONVERT(conversión de la AI). De un alto a un bajo indica que una conversión A/D está ocurriendo.
PFI3/GPCTR1_SOURCE	DGND	Input Output	PFI3/Contador 1 Source, como entrada es uno de los PFIs Como salida es GPCTR1_SOURCE. Esta señal refleja la actual fuente conectada para el contador de propósito general 1
PFI4/GPCTR1_GATE	DGND	Input Output	PFI4/Contador 1 Gate, como entrada es uno de los PFIs Como salida, es GPCTR1_GATE. Esta señal refleja la actual señal de compuerta

			conectada al contador de propósito general 1.
GPCTR1_OUT	DGND	Output	Salida del contador 1 de propósito general
PFI5/UPDATE	DGND	Input	PFI5/Update, como entrada es uno de los PFIs
		Output	Como salida es el UPDATE(Update de la AO). De un alto a un bajo indica que el grupo primario de las salidas analógicas se está actualizando.
PFI6/WFTRIG	DGND	Input	PFI6/Disparo de la forma de onda, como entrada es uno de los PFIs
		Output	Como salida es la WFTRIG1(Inicio del disparo para la AO. En secuencias de tiempo de salidas analógicas, la transición de un bajo a un alto indica el inicio de una generación de forma de onda.
PFI7/STARTSCAN	DGND	Input	PFI7/Inicio del Scan, como entrada es uno de los PFIs
		Output	Como salida, es el STARTSCAN(inicia un scanneo de una AI). Solamente hay un pulso al inicio de cada scanneo para cada entrada analógica. La transición de un bajo a un alto indica el inicio de un scan.











PFI8/GPCTR0_SOURCE	DGND	Input	PFI8/Contador 0 Source, como entrada es uno de los PFIs
		Output	Como salida es GPCTR0_SOURCE. Esta señal refleja la actual fuente conectada para el contador 0 de propósito general.
PFI9/GPCTR0_GATE	DGND	Input	PFI9/Contador 0 Gate, como entrada es uno de los PFIs
		Output	Como salida es GPCTR0_GATE. Esta señal refleja la actual compuerta conectada para el contador 0 de propósito general.
GPCTR0_OUT	DGND	Output	Salida del contador 0
FREQ_OUT	DGND	Output	Frecuencia de Salida del generador

APENDICE B

TABLA B-1

TIPOS DE DATOS PARA CONTROLES E INDICADORES

CONTROL	INDICADOR	TIPO DE DATO	COLOR
		Simple precisión- Punto flotante numérico	Naranja
		Doble precisión- Punto flotante numérico	Naranja
		Precisión Extendida- Punto flotante numérico	Naranja
		Complejo simple precisión- Punto flotante numérico	Naranja
		Complejo doble precisión- Punto flotante numérico	Naranja
		Complejo extendida precisión- Punto flotante numérico	Naranja
		Entero 8 bits numérico	Azul
		Entero 16 bits numérico	Azul
		Entero 32 bits numérico	Azul
		Entero 8 bits numérico	Azul
		Entero 16 bits numérico	Azul
		Entero 32 bits numérico	Azul
		Tipo enumerado	Azul
		Booleana	Verde
		String	Rosa
		String: Encierra el tipo de dato de sus elementos en paréntesis y toma el color del tipo de dato.	Varios
		Cluster: Encierra varios tipos de datos. El Cluster es de color café si los elementos son del mismo tipo o color rosa si los elementos del cluster son de tipos diferentes.	Café o Rosa

		Etiqueta	Verde claro
		Forma de Onda: Cluster de elementos que llevan el dato, tiempo inicial y un delta t.	Café
		Número de referencia	Verde claro
		Variante: Incluye el nombre del control o indicador, información sobre el tipo de dato y dato propiamente dicho.	Púrpura
		Polimorfismo: Indica si una función o un VI acepta un tipo de dato.	Púrpura

BIBLIOGRAFIA

1. DORF R.C, Sistemas automáticos de control, 2da. Edición, 1997
2. OGATA K., Ingeniería de control moderna, 2da. Edición, 1993
3. SMITH C.A. CORRIPIO A.B., Control automático de procesos, Editorial Limusa, 1997
4. INTERNET, Fundamentos del control automático, 2003
5. www.ni.com, Manual Labview, 2003
6. www.ni.com, Manual PCI-6024E, 2003