

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

ESCUELA DE INGENIERÍA

CONSTRUCCIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO DE CONTROL DE PRESIÓN

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN
ELECTRÓNICA Y CONTROL**

**PABLO RAFAEL CARRERA AGUIRRE
MARCELO XAVIER ROSERO CASTRILLÓN**

DIRECTOR: ING. GERMÁN CASTRO MACANCELA

Quito, Septiembre 2003

DECLARACIÓN

Nosotros, Pablo Rafael Carrera Aguirre, Marcelo Xavier Rosero Castrillón, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría, que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.



Pablo Rafael Carrera Aguirre



Marcelo Xavier Rosero Castrillón

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Pablo Rafael Carrera Aguirre y Marcelo Xavier Rosero Castrillón, bajo mi supervisión.



Ing. Germán Castro Macancela
DIRECTOR DE PROYECTO

AGRADECIMIENTOS

A Dios, que siempre me ha guiado y cuidado. A mis padres, a mi familia, a mi prima Elena, por su apoyo incondicional y su ayuda valiosa, que me han permitido culminar esta etapa de mi vida.

A mi Director de Tesis por su ayuda y guía para terminar este proyecto.

Pablo

AGRADECIMIENTO

Agrádezco primeramente a Dios que es quien ha iluminado mi camino; a mis padres que cuando los necesité siempre estuvieron prestos para ayudarme y a mi Director de Tesis por el tiempo que dedicó para que el proyecto salga adelante.

Marcelo

DEDICATORIA

A mi Papá, mi Mamá, que con la ayuda de Dios, han sabido llevarme por el camino del bien y han sido mi ejemplo y el pilar fundamental a lo largo de toda mi vida. A mis abuelitos y abuelitas, que a pesar de no estar físicamente conmigo, siempre han estado en mi corazón y guiando mi camino. A mis tíos y tías que siempre me han apoyado. A mi prima Elena, que siempre ha estado conmigo. A mi prima Carlita, que le sirva de ejemplo para superarse cada día.

Pablo

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres que siempre fueron un apoyo cuando lo necesité y me dieron el cariño y respaldo necesarios en los momentos difíciles de mi vida.

Marcelo

CONTENIDO

CAPITULO I

FUNDAMENTO TEÓRICO DE LA VARIABLE PRESIÓN

1.1	INTRODUCCIÓN	1
1.2	UNIDADES DE PRESIÓN	1
1.3	SENSORES Y TRANSDUCTORES DE PRESIÓN	4
1.3.1	ELEMENTOS MECÁNICOS	4
1.3.1.1	Elementos Primarios De Medida Directa	4
1.3.1.2	Elementos Primarios Elásticos	4
1.3.1.2.1	Tubo Bourdon	4
1.3.1.2.2	Elemento en espiral	5
1.3.1.2.3	Diafragma	5
1.3.1.2.4	Fuelle	5
1.3.2	ELEMENTOS ELECTROMECÁNICOS	6
1.3.2.1	Transmisores Electrónicos de Equilibrio de Fuerzas	6
1.3.2.2	Resistivos	7
1.3.2.3	Magnéticos	8
1.3.2.3.1	Transductores de Inductancia Variable	8
1.3.2.3.2	Transductores de Reluctancia Variable	9
1.3.2.4	Capacitivos	10
1.3.2.4.1	Transductor de separación de placa variable	11
1.3.2.4.2	Transductor de área de placa variable	12
1.3.2.4.3	Transductor dieléctrico variable	12
1.3.2.5	Extensiométricos	13
1.3.2.6	Piezoeléctricos	15
1.3.3	ELEMENTOS ELECTRÓNICOS DE VACÍO	17
1.3.3.1	Transductores Mecánicos de Fuelle y de Diafragma	17
1.3.3.2	Medidor McLeod	17
1.3.3.3	Transductores térmicos	17
1.3.3.3.1	Transductor Térmico de Termopar	17
1.3.3.3.2	Transductor Pirani	18
1.3.3.3.3	Transductor Bimetálico	19
1.3.3.4	Transductores de Ionización	19
1.3.3.4.1	Transductor de Filamento Caliente	19
1.3.3.4.2	Transductor de Cátodo Frío	20
1.3.3.4.3	Transductor de Radiación	21
1.4	ACUMULADOR DE AIRE COMPRIMIDO	22
1.4.1	CAPACIDAD DEL DEPÓSITO	23

1.4.2	DETERMINACIÓN DEL ACUMULADOR CUANDO EL COMPRESOR FUNCIONA INTERMITENTEMENTE	24
1.5	VÁLVULAS DE CONTROL	25
1.5.1	ELEMENTOS	25
1.5.1.1	Servomotor	25
1.5.1.2	El obturador y los asientos	25
1.5.1.3	El cuerpo	25
1.5.1.4	La tapa	25
1.5.2	CURVAS CARACTERÍSTICAS DE LA VÁLVULA	26
1.5.2.1	Características de Caudal Inherentes	26
1.5.2.2	Características de Caudal Efectivas	28
1.6	Manómetro Bourdon	30
1.7	PÉRDIDAS DE PRESIÓN EN TUBERÍAS	31

CAPÍTULO II

MÓDULO DE CONTROL DE PRESIÓN, PARTES CONSTITUTIVAS

2.1	GENERALIDADES	33
2.2	PANEL DE CONTROL	33
2.2.1	ESTRUCTURA METÁLICA	33
2.2.2	Panel Principal	34
2.3	ELEMENTOS DE CONTROL	46
2.3.1	ELEMENTO PRIMARIO DE CONTROL	46
2.3.2	ELEMENTO FINAL DE CONTROL	48
2.3.2.1	Diseño Y Construcción De La Servoválvula	48
2.3.3	CONTROLADOR	52
2.4	ELEMENTOS AUXILIARES	54
2.4.1	ALIMENTACIÓN DE LA RED COMERCIAL	54
2.4.2	ALIMENTACIONES DE 12 V DE CORRIENTE CONTINUA	54
2.4.3	ALIMENTACIÓN NEUMÁTICA	57

CAPÍTULO III

HERRAMIENTAS DE CONTROL INDUSTRIAL

3.1	GENERALIDADES DEL CONTROL	58
3.1.1	ACCIÓN DE CONTROL PROPORCIONAL	62
3.1.1.1	Generalidades	62
3.1.1.2	Control Proporcional Con Ajuste De Ganancia	63
3.1.1.3	Control Proporcional Con Banda Proporcional	64
3.1.1.4	Control Proporcional Implementado en la Aplicación	66
3.2	INTOUCH COMO HERRAMIENTA DE CONTROL	68

3.2.1	GENERALIDADES ACERCA DE INTOUCH 7.1	68
3.2.2	INICIALIZACIÓN DE INTOUCH	69
3.3	RSLOGIX 500 EN EL CONTROL	71
3.3.1	GENERALIDADES ACERCA DEL PROGRAMA RSLOGIX 500	71
3.3.2	TRABAJO CON RSLOGIX 500	72
3.3.2.1	Ingreso al Ambiente de Programación	72
3.3.2.2	Descarga del programa y puesta en marcha del PLC	74

CAPÍTULO IV

CONTROL DE LA PRESIÓN DE UN TANQUE DE AGUA UTILIZANDO COMPENSACIÓN NEUMÁTICA

4.1	DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA APLICACIÓN	78
4.1.1	PARTES CONSTITUTIVAS DE LA APLICACIÓN	78
4.1.2	FUNCIONAMIENTO DE LA APLICACIÓN	80
4.2	CONTROL HECHO PARA LA APLICACIÓN	82
4.2.1	CONTROL REALIZADO POR EL PLC	83
4.2.2	CONTROL REALIZADO POR EL INTOUCH	85
4.3	INTERFAZ HOMBRE MÁQUINA HMI	87
4.3.1	GENERALIDADES	87
4.3.2	DESCRIPCIÓN GENERAL DEL HMI REALIZADO	87
4.3.3	DESCRIPCIÓN DEL HMI POR PANTALLAS	88
4.3.3.1	Ventana de autores	88
4.3.3.2	Ventana del Manual Interactivo	89
4.3.3.3	Ventana de la Aplicación	90
4.4	RESULTADOS DEL CONTROL DE LA APLICACIÓN	96

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1	CONCLUSIONES	98
5.2	RECOMENDACIONES	100

ANEXOS

- A. PROGRAMA DEL PLC
- B. SCRIPTS DEL INTOUCH
- C. MANUAL DEL PLC MICROLOGIX 1000 ANALOG
- D. MANUALES ADICIONALES
- E. DIAGRAMAS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS
- F. ANÁLISIS DE COSTO DEL MÓDULO DIDÁCTICO DE CONTROL DE PRESIÓN

RESUMEN

El Módulo Didáctico de Control de Presión, es diseñado, implementado y construido, tomando en cuenta aspectos que faciliten la didáctica y el aprendizaje del estudiante.

Se numeran los diferentes conceptos acerca de la variable presión, así como los distintos sensores y transductores que se conocen, sus características, principios y fundamentos que los describen y clasifican. Se explica en forma general y a manera de referencia, el cálculo de un acumulador de aire comprimido.

El módulo está compuesto por diferentes elementos interconectados entre sí, o para ser conectados por el estudiante. La estructura implementada ha sido construida con materiales y componentes resistentes y de buena calidad, de manera que pueden soportar el uso que puedan sufrir en el laboratorio.

Los elementos del módulo se han tratado cada uno por separado, especificando sus características, rangos de operación y tipos, tanto de los elementos eléctricos como de los neumáticos.

El diseño de la servoválvula y de la fuente de ± 12 VDC, se explica detalladamente para servir de guía, al momento de cambiar algún parámetro, tal como la histéresis de la servoválvula, o en caso de algún desperfecto o falla, se puede recurrir a los diagramas eléctricos para su reparación.

Se dan a conocer los diferentes tipos de control, que a futuro se pueden implementar con el Módulo Didáctico de Control de Presión, para nuestro caso, se explica el control proporcional con el cual se ha realizado la aplicación, creada para efectos de demostración de dicho módulo.

Este trabajo tiene una explicación de las dos herramientas de control utilizadas, como son: Intouch y RSLogix. Se incluye una breve descripción de su inicialización y uso, además de su comunicación con el PLC y las restricciones que se tienen al trabajar el Intouch con el PLC.

La aplicación ha sido creada y desarrollada para entender de mejor manera, como la variable presión se comporta dentro de un pequeño proceso industrial, para manipular los elementos, como transmisor de presión y servoválvula, fundamentales para receptar los valores de presión, y para manejar de acuerdo a las necesidades, un cierto flujo de aire a presión, respectivamente.

El control ha sido realizado con Intouch, conjuntamente con el PLC que es quien administra las señales de control provenientes del primero.

Se da un carácter didáctico al indicar que el estudiante realice conexiones, tanto eléctricas y neumáticas, como cuando manipula el transmisor de presión y la servoválvula. Se incorpora una herramienta diferente para entender y visualizar un proceso neumático ideal, a través del Manual Interactivo, así como conocer los diferentes elementos integrados al módulo, mediante archivos creados en formato PDF.

PRESENTACIÓN

Actualmente, muchas industrias están cambiando sus métodos de control y supervisión, por unos más actuales, que ofrezcan un mejor desenvolvimiento y una mejor visualización de todo un proceso, así como su facilidad y entendimiento de manejo, para cualquier operador conocedor de la planta. Para este efecto, nuevos y novedosos HMI's se están desarrollando, llegando incluso al manejo de éstos a través de Internet.

La Escuela Politécnica Nacional requiere elementos que permitan el aprendizaje de los estudiantes, para la formación de futuros profesionales.

El presente trabajo busca dar una solución a la falta de recursos didácticos que el reciente Laboratorio de Control de Procesos tiene, ofreciendo una estructura dotada de los mas importantes elementos que intervienen en un sistema de control industrial, dispuestos de forma didáctica para el correcto aprendizaje de la variable presión.

El módulo construido, se ha desarrollado para que el estudiante pueda relacionarse y manejar un proceso de control automático, teniendo la posibilidad de crear HMI's, acordes con la tecnología actual.

CAPITULO I

FUNDAMENTO TEÓRICO DE LA VARIABLE PRESIÓN

1.1 INTRODUCCIÓN

A diferencia de los sólidos, en los gases pequeñas partículas y capas aisladas pueden moverse libremente unas respecto de otras en todas las direcciones; esta movilidad de las partículas en un gas es la causa de que la presión, que se ejerce sobre éste, sea transmitida no solo en el sentido que actúa la fuerza, como ocurre en los sólidos, sino que en todas las direcciones.

Si se dispone de un cierto gas en un recipiente y si a éste se le comprime de alguna manera, entonces se puede ver que las partículas del gas se dispondrán con mayor densidad que la original, como las partículas de este gas tienen movilidad, éstas se dispondrán en todas las direcciones haciendo que esta nueva disposición sea uniforme pero más densa que antes, debido a esto la presión del gas sobre el recipiente también aumentará por todas partes y se transmitirá a todas las partículas del gas.

De esto se puede concluir que un gas transmite sin alteración la presión ejercida sobre él en todas las direcciones. Esta afirmación es conocida como la Ley de Pascal.

1.2 UNIDADES DE PRESIÓN

La Presión es una fuerza por unidad de superficie, es decir, el resultado de la acción de una fuerza no solo depende de su magnitud o módulo, sino también del área de la superficie sobre la cual ella actúa perpendicularmente.

Por lo tanto, para determinar la presión, se debe dividir a la fuerza que actúa sobre una superficie por el área de dicha superficie, así:

$$Presión = \frac{Fuerza}{Area} \quad Ec.1$$

$$P = \frac{F}{S} \quad Ec.2$$

Donde:

P = Presión

F = Fuerza que actúa sobre la superficie.

S = Área de la superficie.

Por unidad de presión se toma a la presión ejercida por una fuerza de 1 Newton en 1 metro cuadrado, a esta unidad se la llama Pascal. De forma que:

$$1Pa = 1 \frac{N}{m^2} \quad Ec.3$$

Por ser esta unidad muy pequeña en la práctica también se utiliza el hectopascal (hPa) y el kilopascal (kPa). Donde:

$$1hPa = 100Pa$$

$$1kPa = 1000Pa$$

Además la presión se puede medir en unidades como: bares, atmósferas, kilogramos por centímetro cuadrado y psi (libras por pulgada cuadrada). En la tabla 1.1 se muestra las equivalencias entre estas unidades.

	PSI	pulg ³ de agua	pulg ³ de Hg	atm	kg/cm ²	cm ³ de agua	mm ³ de Hg	Bar	Pa
PSI	1	27.68	2 036	0.0680	0.0703	70.31	51.72	0.0689	7142
pulg ³ de agua	0.0361	1	0.0735	0.0024	0.0025	2.54	1 868	0.0024	256.4
pulg ³ de Hg	0.4912	13.6	1	0.0334	0.0345	34.53	25.4	0.0333	3448
Atm	14.7	406.79	29.92	1	1 033	1033	760	10 131	1.01x10 ⁻⁵
kg/cm ²	14.22	393.7	28.96	0.9678	1	1000	735.6	0.98	98100
cm ³ de agua	0.0142	0.3937	0.0289	0.00096	0.001	1	0.7355	0.0009	100
mm ³ de Hg	0.0193	0.5353	0.0393	0.0013	0.0013	0.0013	1	0.00133	133
Bar	14.5	408	29.99	0.987	1.02	1024	750	1	1x10 ⁻⁵
Pa	0.00014	0.0039	0.00029	0.99x10 ⁻⁵	0.102x10 ⁻⁴	0.01	0.0075	1x10 ⁻⁵	1

Tabla 1.1

En la industria los instrumentos generalmente miden presiones absolutas o diferenciales, estas presiones se muestran en la figura 1.1 y se detallan a continuación:

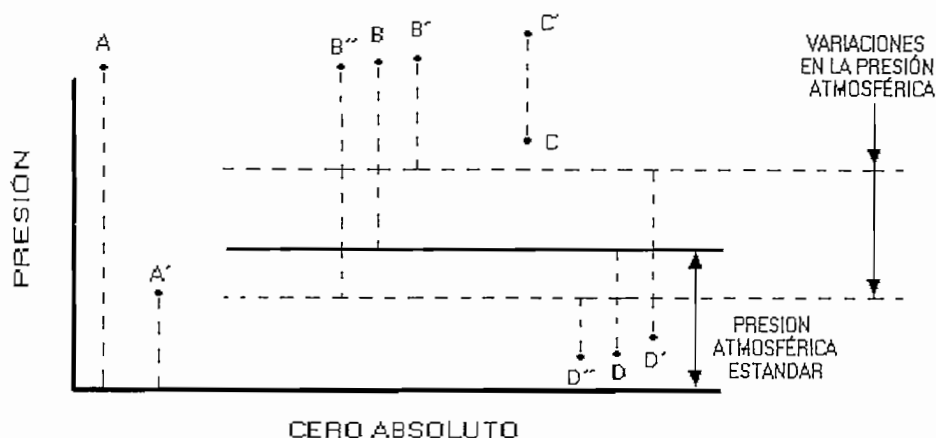


Fig. 1.1 Tipos de presiones

La **presión absoluta** es medida con relación al cero absoluto de presión (puntos A y A' de la figura).

La **presión atmosférica** es la presión que ejerce la atmósfera terrestre y es medida mediante un barómetro. A nivel del mar, esta presión es próxima a 760 mmHg absolutos ó 14.7 psia (libras por pulgada cuadrada absolutas) y estos valores son los que definen la presión ejercida por la atmósfera estándar.

La **presión relativa** es la determinada por un elemento que mide la diferencia entre la presión atmosférica y absoluta del lugar donde se efectúa la medición (punto B de la figura). Si se aumenta ó disminuye la presión atmosférica, disminuye o aumenta respectivamente la presión leída (puntos B' y B'' de la figura), esto se puede despreciar cuando se mide presiones elevadas.

La **presión diferencial** es una diferencia entre dos presiones (puntos C y C' en la figura 1.1).

El **vacío** es la diferencia entre la presión atmosférica existente y la presión absoluta, es decir, es la presión medida por debajo de la atmosférica (puntos D, D' y D''). Viene expresado en milímetros columna de mercurio, milímetros columna de agua o pulgadas de columna de agua. Las variaciones de la presión atmosférica influyen considerablemente en las lecturas de vacío.

El campo de aplicación de los medidores de presión es amplio y abarca desde valores muy bajos (vacío) hasta presiones de miles de bar.

1.3 SENSORES Y TRANSDUCTORES DE PRESIÓN

1.3.1 ELEMENTOS MECÁNICOS

1.3.1.1 Elementos Primarios De Medida Directa

Miden la presión comparándola con la ejercida por un líquido de densidad y altura conocidas (barómetro cubeta, manómetro de tubo en U, manómetro de tubo inclinado, manómetro de toro pendular, manómetro de campana).

	Campo de medida	Precisión en % de toda la escala	Temperatura máxima de servicio	Presión estática máxima
Barómetro Cubeta	3 m cda	0.5 – 1 %	Ambiente	6 bar
Tubo en U	1.2 m cda	0.5 – 1 %	Ambiente	10 bar
Tubo Inclinado	1.2 m cda	0.5 – 1 %	Ambiente	10 bar
Toro Pendular	0.5 – 10 m cda	0.5 – 1 %	Ambiente	100 – 600 bar
Manómetro Campana	0.005 – 1 m cda	0.5 – 1 %	Ambiente	Atmosférica
Tubo Bourdon	0.5 – 6000 bar	0.5 – 1 %	90 ° C	6000 bar
Espiral	0.5 – 2500 bar	0.5 – 1 %	Ambiente	2500 bar
Helicoidal	0.5 – 5000 bar	0.5 – 1 %	Ambiente	5000 bar
Diafragma	50 mm cda – 2 bar	0.5 – 1 %	Ambiente	2 bar
Fuelle	100 mm cda – 2 bar	0.5 – 1 %	Ambiente	2 bar
Presión Absoluta	6 – 760 mm Hg abs	1%	Ambiente	Atmosférica
Sello Volumétrico	3 – 600 bar	0.5 – 1 %	400 ° C	600 bar

Tabla 1.2

1.3.1.2 Elementos Primarios Elásticos

Que se deforman por la presión interna del fluido que contienen. Los más empleados son:

1.3.1.2.1 Tubo Bourdon

Es un tubo de sección elíptica que forma un anillo casi completo, cerrado por un extremo. Al aumentar la presión en el interior del tubo, éste tiene a enderezarse y el movimiento es transmitido a la aguja indicadora, por un sector dentado y un

piñón. Los materiales normalmente empleados son el acero inoxidable, aleación de cobre o aleaciones especiales como hastelloy y monel.

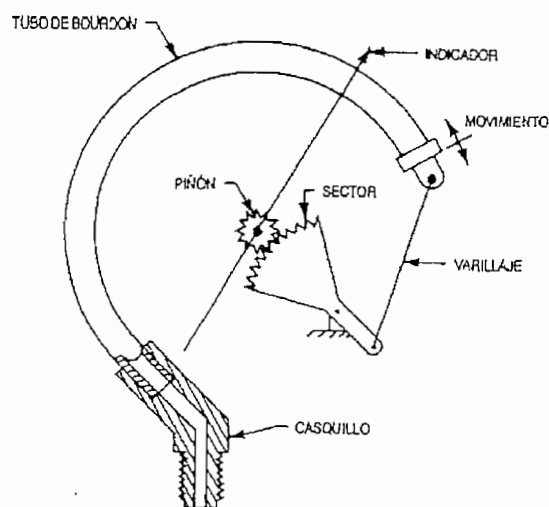


Fig. 1.2 Tubo Bourdon

1.3.1.2.2 Elemento en espiral

Se forma arrollando el tubo Bourdon en forma de espiral alrededor de un eje común, y el helicoidal arrollando más de una espira en forma de hélice.

1.3.1.2.3 Diafragma

Consiste en una o varias cápsulas circulares conectadas rígidamente entre sí por soldadura, de forma que al aplicar presión, cada cápsula se deforma y la suma de los pequeños desplazamientos es amplificada por un juego de palancas. Al aplicar presión, el movimiento se aproxima a una relación lineal en un intervalo de medida lo más amplio posible con un mínimo de histéresis. El diafragma normalmente es de aleación de níquel o inconel x. Es utilizado para pequeñas presiones.

1.3.1.2.4 Fuelle

Es parecido al diafragma compuesto, pero de una sola pieza flexible axialmente, y puede dilatarse o contraerse con un desplazamiento considerable. Son de larga duración, y son fabricados generalmente de bronce fosforoso, y el muelle es tratado térmicamente para mantener fija su constante de fuerza por unidad de compresión. También se emplea para presiones pequeñas.

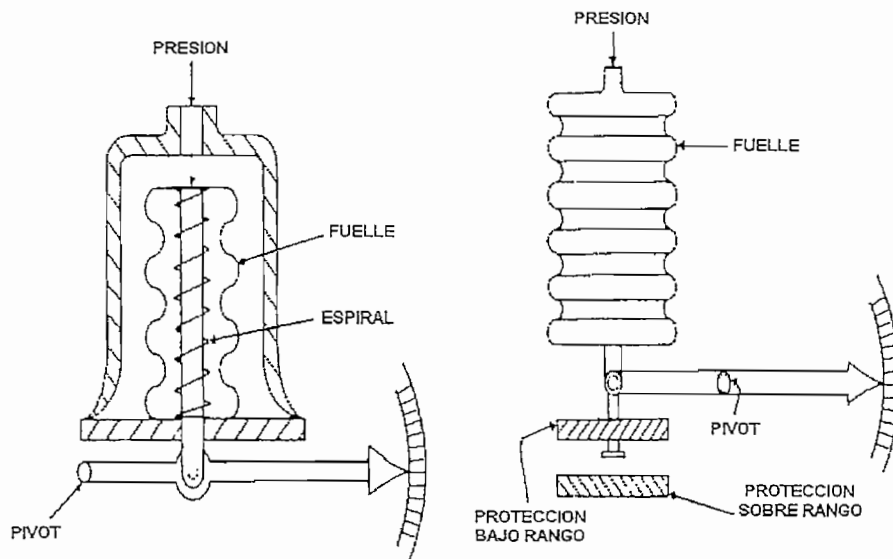


Fig. 1.3 Fuelle

1.3.2 ELEMENTOS ELECTROMECAÑICOS

Emplean un elemento mecánico elástico combinado con un transductor eléctrico que genera la señal eléctrica respectiva. El elemento mecánico lo constituye un tubo Bourdon, espiral, hélice, diafragma, fuelle o una combinación de los mismos que, a través de un sistema de palancas convierte la presión en una fuerza o en un dispositivo mecánico.

Los elementos electromecánicos de presión se los clasifica según el principio de funcionamiento en:

1.3.2.1 Transmisores Electrónicos de Equilibrio de Fuerzas

En este instrumento, el elemento mecánico de medición (tubo Bourdon, espiral, fuelle, ...) ejerce una fuerza sobre una barra rígida del transmisor.

Para cada valor de la presión, la barra adopta una posición determinada excitándose un transductor de desplazamiento tal como un detector de inductancia, un transformador diferencial o un detector fotoeléctrico. Un circuito oscilador asociado con cualquiera de los detectores alimenta una unidad magnética y la fuerza generada reposiciona la barra de equilibrio de fuerzas. Se

completa así un circuito de realimentación variando la corriente de salida en forma proporcional al intervalo de presiones del proceso.

Estos transductores electrónicos de equilibrio de fuerzas se caracterizan por tener un movimiento muy pequeño de la barra de equilibrio, poseen realimentación, una elasticidad muy buena y un nivel alto en la señal de salida. Por su construcción mecánica, presentan un ajuste del cero y del alcance (span) complicado y una alta sensibilidad a vibraciones y su estabilidad en el tiempo es de media a pobre.

1.3.2.2 Resistivos

Son los más sencillos, consisten en un elemento elástico (tubo Bourdon o cápsula) que varia la resistencia óhmica de un potenciómetro en función de la presión. El potenciómetro puede adoptar la forma de un solo hilo continuo o bien estar arrollado a una bobina siguiendo un valor lineal o no de resistencia. Se pueden encontrar potenciómetros de grafito, de resistencia bobinada, de película metálica y de plástico moldeado. En la siguiente figura, se muestra un transductor resistivo que tiene un muelle de referencia, el elemento de presión y un potenciómetro de precisión.

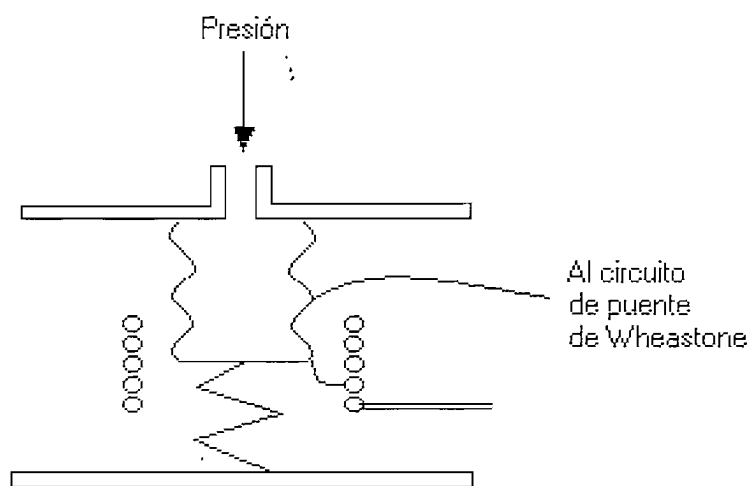


Fig. 1.4 Transductor Resistivo

El muelle de referencia es el corazón del transductor ya que su desviación al comprimirse debe ser únicamente una función de la presión y además deber ser independiente de la temperatura, de la aceleración y de otros factores ambientes externos.

Estos transductores son simples y la señal de salida es suficiente como para proporcionar una corriente de salida adecuada para el funcionamiento de los instrumentos de indicación sin necesidad de amplificación. Sin embargo, son insensibles a pequeños movimientos del contacto del cursor, muy sensibles a vibraciones y presentan una baja estabilidad en el tiempo.

1.3.2.3 Magnéticos

Según el principio de funcionamiento se clasifican en:

1.3.2.3.1 *Transductores de Inductancia Variable*

El desplazamiento de un núcleo móvil dentro de una bobina aumenta la inductancia de ésta en forma casi proporcional a la porción metálica del núcleo contenida dentro de la bobina.

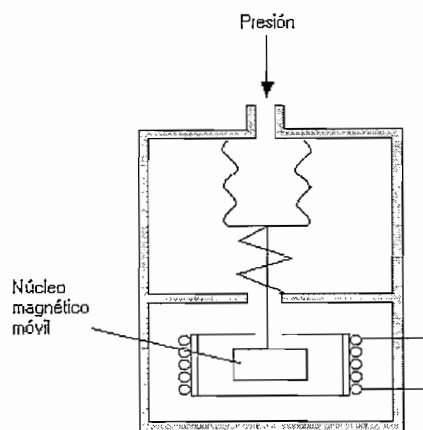


Fig. 1.5 Transductor de Inductancia Variable

El devanado de la bobina se alimenta con una corriente alterna y la f.e.m. de autoinducción generada se opone a la f.e.m. de alimentación, de tal modo que al ir penetrando el núcleo móvil dentro de la bobina la corriente presente en el circuito se va reduciendo por aumentar la f.e.m. de autoinducción ya que la inductancia de una bobina viene dada por:

$$Inductancia = \frac{\mu_r \cdot \mu_0 \cdot N^2 \cdot A}{l} \quad Ec.4$$

Donde l es la longitud de la bobina, N el número de vueltas, A el área transversal, μ_r es la permeabilidad relativa y μ_0 la permeabilidad del espacio libre.

La inductancia depende así del tipo de material que esta en su núcleo. De esta forma, el movimiento de un material de alta permeabilidad en el núcleo tiene un marcado efecto en la inductancia de la bobina.

Entre sus ventajas, no producen rozamiento en la medición, tienen una respuesta lineal, son pequeños y de construcción robusta y no precisan ajustes críticos en el montaje.

1.3.2.3.2 Transductores de Reluctancia Variable

Consisten en un imán permanente o un electroimán que crea un campo magnético dentro del cual se mueve una armadura de material magnético.

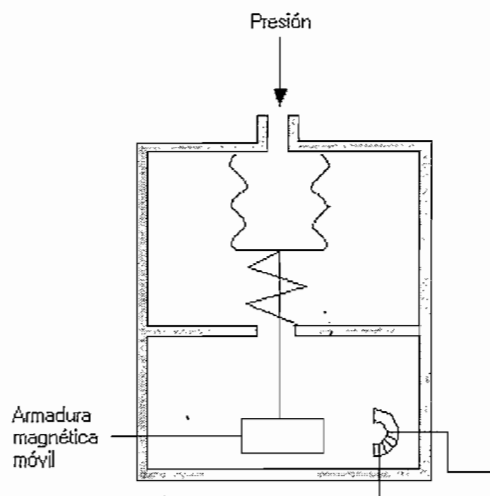


Fig. 1.6 Transductor de Reluctancia Variable

El circuito magnético se alimenta con una fuerza magnetomotriz constante con lo cual al cambiar la posición de la armadura varía la reluctancia y por lo tanto el flujo magnético, variación que da lugar a una corriente inducida en la bobina que es proporcional al grado de desplazamiento de la armadura móvil.

La reluctancia S de un circuito magnético viene dada por:

$$S = \frac{L}{\mu_r \cdot \mu_0 \cdot A} \quad Ec.5$$

Donde μ_r es la permeabilidad relativa, μ_0 es la permeabilidad del espacio libre ($4\pi \cdot 10^{-7}$ H/m), L la longitud del camino de flujo magnético en el circuito y A el área en sección transversal del camino del flujo.

La permeabilidad relativa del aire está cercana a 1, mientras que la del material ferromagnético es de muchos miles. Esto significa que la parte del camino de flujo a través del aire se realiza por un camino de reluctancia mucho mayor que la parte que se realiza a través del material ferromagnético. La reluctancia es parecida a la resistencia en un circuito eléctrico, siendo el flujo la corriente eléctrica y el aire una resistencia alta, mientras que el material ferromagnético es como el cobre del cableado y de baja resistencia. La reluctancia del camino del aire depende de su longitud y, en el transductor de desplazamiento, se modifica ésta por movimientos de la placa ferromagnética.

Esta forma de transductor puede ser utilizada para la medida de desplazamiento y fuerza, puesto que la fuerza puede ser usada para medir un desplazamiento de la placa ferromagnética.

1.3.2.4 Capacitivos

Se basan en la variación de capacitancia producida en un capacitor al desplazarse una de sus placas por la aplicación de presión.

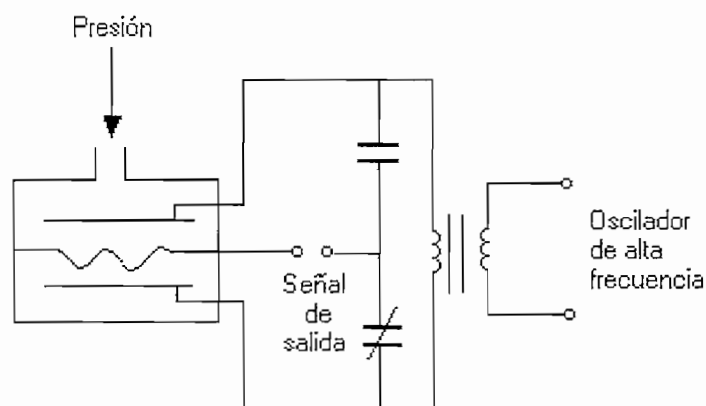


Fig. 1.7 Transductor Capacitivo

La placa móvil tiene forma de diafragma y se encuentra situada entre dos placas fijas, obteniéndose dos capacitores, uno de capacitancia fija y otro de

capacitancia variable, los cuales pueden compararse en un circuito oscilante o en circuitos de puente de Wheastone alimentados con corriente alterna.

Se sabe que la capacidad C de un condensador de placas paralelas viene dada por:

$$C = \frac{\varepsilon_r \cdot \varepsilon_0 \cdot A}{d} \quad Ec.6$$

Donde ε_r es la permisividad relativa del dieléctrico entre las placas del condensador, ε_0 la permisividad del espacio libre ($8.85 \cdot 10^{-12}$ F/m), A el área de solapamiento entre las dos placas y d la separación entre las placas.

Se caracterizan por su pequeño tamaño y su construcción robusta, tienen un pequeño desplazamiento volumétrico u son adecuados para medidas estáticas y dinámicas. La señal de salida es débil por lo que se requieren de amplificadores con el riesgo de introducir errores en la medición. Son sensibles a las variaciones de temperatura y a las aceleraciones transversales y precisan de un ajuste de los circuitos oscilantes y de los puentes de corriente alterna a los que están acoplados.

Dentro de los transductores capacitivos tenemos tres tipos:

- a) Transductor de separación de placa variable.
- b) Transductor de área de placa variable.
- c) Transductor dieléctrico variable.

1.3.2.4.1 Transductor de separación con placa variable

La capacidad de un condensador de placas paralelas depende de la separación entre las placas y, por tanto, una alteración en esta separación produce un cambio en la capacidad. Si la separación aumenta un valor x, entonces la capacidad llegaría a ser:

$$C = \frac{\varepsilon_r \cdot \varepsilon_0 \cdot A}{d + x} \quad Ec.7$$

Esta relación entre la capacidad y el desplazamiento x no es lineal. Una galga de presión basada en esto consiste en un diafragma circular, sujeto por sus bordes, haciendo la función de una placa del condensador, y una placa fija por el otro lado. Los cambios de presión hacen que el diafragma se desvíe y cambie, por tanto, la separación entre este y la placa fija. El resultado es un cambio de capacidad.

1.3.2.4.2 Transductor de área de placa variable.

La capacidad de un condensador de placas paralelas depende también del área superpuesta de dos placas y, por tanto, un cambio de área produce una alteración en la capacidad.

1.3.2.4.3 Transductor dieléctrico variable.

La capacidad de un condensador de placas paralelas depende del dieléctrico entre las placas. Así, si la suma relativa de los dos dieléctricos entre las placas varía, entonces la capacidad varía, puesto que la capacidad de este condensador es la suma de las capacidades de los dos condensadores formados por los dos dieléctricos, como se ve en la figura 1.8.

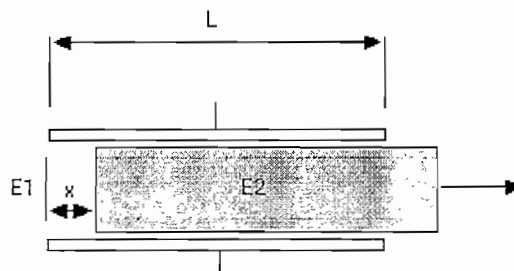


Fig. 1.8 Condensador de Dieléctrico Variable

Así si la anchura de las placas es ω , entonces la capacidad C es:

$$C = \frac{\varepsilon_1 \cdot \varepsilon_0 \cdot \omega \cdot x}{d} + \frac{\varepsilon_2 \cdot \varepsilon_0 \cdot \omega \cdot (L-x)}{d} = \frac{\varepsilon_0 \cdot \omega}{d} [\varepsilon_2 \cdot L - (\varepsilon_2 - \varepsilon_1)x] \quad \text{Ec.8}$$

Dicho transductor puede utilizarse para medir desplazamientos. No obstante, una versión del mismo se utiliza para medir el nivel de un líquido como se muestra en la figura 1.9. El diseño consiste en dos cilindros conductores concéntricos que

forman las placas del condensador. La capacidad por unidad de longitud C de cilindros coaxiales, y radios a y b viene dada por:

$$C = \frac{2 \cdot \pi \cdot \epsilon_r \cdot \epsilon_0}{\ln(b/a)} \quad \text{Ec.9}$$

Donde ϵ_r es la permisividad relativa del medio entre los cilindros. En un sensor de nivel de líquido hay capacidad para la parte entre los cilindros en donde hay líquido y para la parte entre los que hay aire. Los dos condensadores están colocados en paralelo y, por tanto, la capacidad total es la suma de las dos capacidades separadas, una longitud h y otra $(L-h)$. Por tanto:

$$C = \frac{2 \cdot \pi \cdot \epsilon_r \cdot \epsilon_0 \cdot h}{\ln(b/a)} + \frac{2 \cdot \pi \cdot \epsilon_0 (L-h)}{\ln(b/a)} = \frac{2 \cdot \pi \cdot \epsilon_0}{\ln(b/a)} [L + (\epsilon_r - 1)h] \quad \text{Ec.10}$$

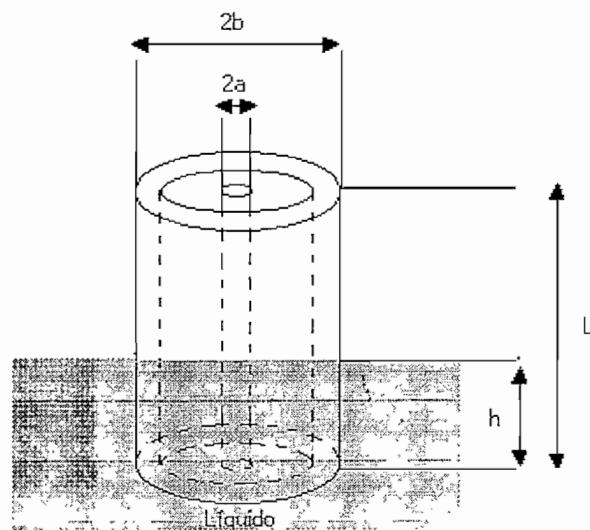


Fig. 1.9 Condensadores en Paralelo

1.3.2.5 Extensiométricos

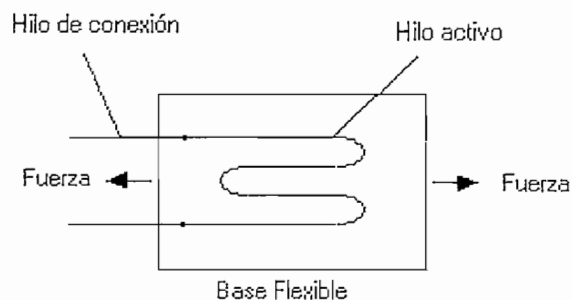


Fig. 1.10 Galga Extensométrica

Se basan en la variación de longitud y de diámetro, por lo tanto de resistencia, provocada cuando un hilo de resistencia se encuentra sometido a una tensión mecánica por la acción de una presión.

Se tienen dos tipos de galgas extensiométricas, galgas cementadas, formadas por varios bucles de hilo muy fino que están pegados en una hoja base de cerámica, papel o plástico, y galgas sin cementar, en las que los hilos de resistencia descansan entre un armazón fijo y otro móvil bajo una ligera tensión inicial.

En cualquier caso, la aplicación de presión estira o comprime los hilos según sea la disposición que el fabricante haya adoptado, modificando pues la resistencia de los mismos.

La galga forma parte de un puente de Wheastone (Fig. 1.11) y cuando esta sin voltaje tiene una resistencia determinada. Se aplica al circuito un voltaje nominal tal que la pequeña corriente que circula por la resistencia crea una caída de tensión en ésta y el puente se equilibra con estas condiciones. Cualquier variación de presión que mueva el diafragma del transductor cambiará la resistencia de la galga y desequilibrará el puente.

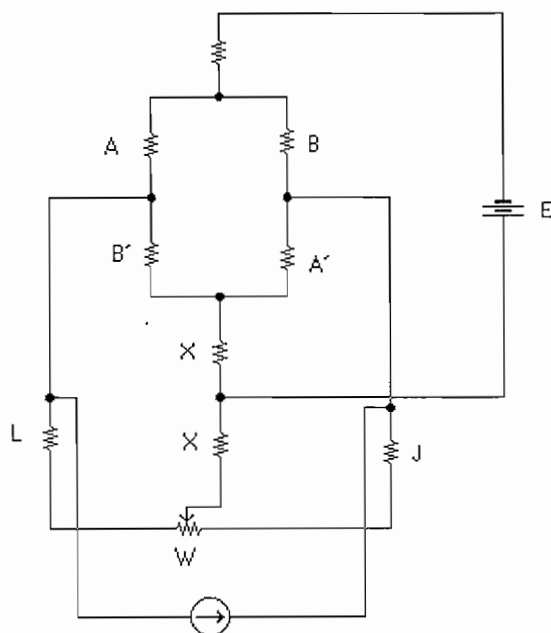


Fig. 1.11 Puente de Wheastone

1.3.2.6 Piezoeléctricos

Los elementos piezoeléctricos son materiales cristalinos que, al deformarse físicamente por la acción de una presión, generan una señal eléctrica.

Su señal de respuesta a una variación de presión es lineal y son adecuados para medidas dinámicas, al ser capaces de respuestas frecuenciales de hasta un millón de ciclos por segundo. Tienen la desventaja de ser muy sensibles a los cambios de la temperatura. Puesto que se trata de un elemento de alta impedancia requiere cuidadoso blindaje y compensación, también su señal de salida es relativamente débil por lo que precisa de amplificadores y acondicionadores de presión, los cuales pueden introducir errores en la medición.

Dos materiales típicos utilizados en los transductores piezoeléctricos son el cuarzo y el titanato de bario, capaces de soportar temperaturas del orden de 150 °C en servicio continuo y 230 °C en servicio intermitente. Además se tienen materiales como la turmalina y sal de Rochelle.

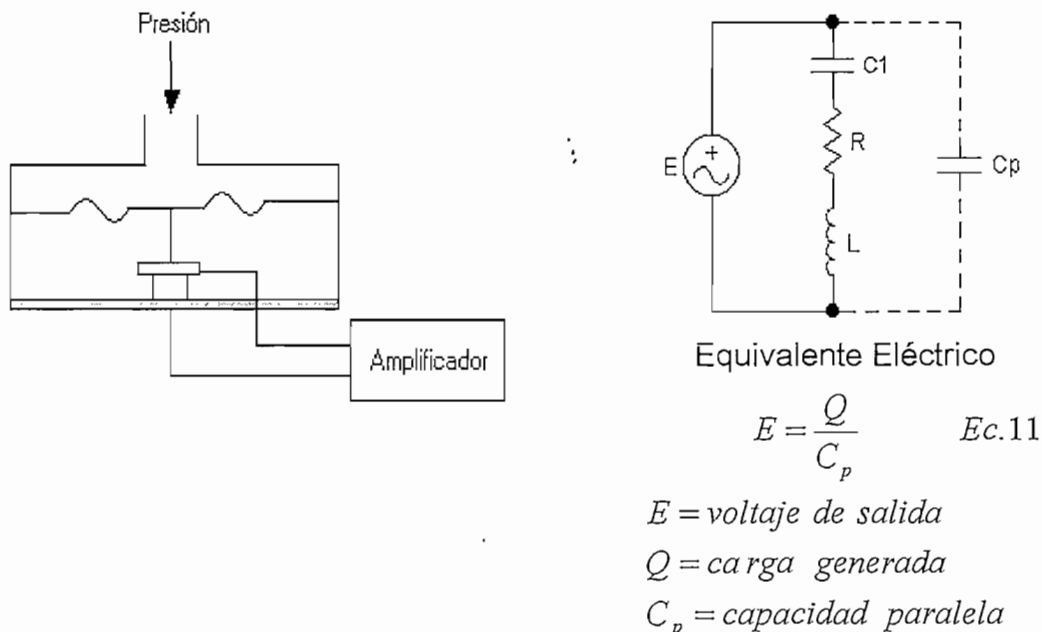


Fig. 1.12 Transductor Piezoeléctrico

	Margen en bar	Precisión en % de toda la escala	Estabilidad en el Tiempo	Sobrecarga	Temp. Max de Servicio °C	Nivel Señal Salida	Impedancia Salida	Resolución	Sensibilidad a vibraciones
Equilibrio de Fuerzas	2 – 6000	0.5	Media a mala	150 %	65	10 V	600 Ω	Continua	Alta
Resistivos	0 – 300	1	Mala	150 %	80	Variac. Res	0 – res total	0.25 %	Alta
Inductancia Variable	0 – 300	0.5	Media	150 %	80	0 – 5 V	2 kΩ	Continua	Alta
Magnéticos	0 – 300	1	Media	150 %	80	0 – 5 V	2 kΩ	Continua	Alta
Capacitivos	0.05 – 5 a 0.05 – 600	1	Media a buena	150 %	150	0 – 5 V	5 kΩ	Continua	Media
Cementadas	0 – 0.5 a 0 – 3000	0.5	Mala	150 %	120	35 mV	350 Ω	Continua	Alta
Galgas extensométricas	0 – 0.01 a 0 – 600	1	Mala	200 %	120	35 mV	350 Ω	Continua	Alta
Silicio difundido	0 – 2 a 0 – 600	0.3	Muy buena	200 %	107	2 – 10 V	600 Ω	Continua	Despreciable
Piezoeléctricos	0.1 – 600	1	Mala	200 %	90	600 mV / bar	1000 MΩ	1 / 5000	Baja

Tabla 1.3

1.3.3 ELEMENTOS ELECTRÓNICOS DE VACÍO

Son utilizados para mediciones en alto vacío, son muy sensibles y se clasifican en los siguientes tipos:

1.3.3.1 Transductores Mecánicos de Fuelle y de Diafragma

Trabajan en forma diferencial entre la presión atmosférica y la presión del proceso. Generalmente están compensados con relación a la presión atmosférica y calibrados en unidades absolutas. Al ser dispositivos mecánicos, estos instrumentos no son adecuados para mediciones de alto vacío menores a 1 mmHg abs. Pueden llevar acoplados transductores eléctricos del tipo de galga extensométrica o capacitivos.

1.3.3.2 Medidor McLeod

Es utilizado como aparato de precisión y como calibrador de otros instrumentos para medir presión. Se basa en comprimir una muestra de un gas de gran volumen conocido a un volumen mas pequeño y a mayor presión mediante una columna de mercurio en un tubo capilar.

1.3.3.3 Transductores térmicos

Se basan en el principio de la proporcionalidad entre la energía disipada, desde la superficie caliente de un filamento calentado por una corriente constante, y la presión del gas ambiente cuando el gas está a bajas presiones absolutas. Se clasifican en:

1.3.3.3.1 Transductor Térmico de Termopar

Contiene un filamento en forma de V y lleva incorporado un pequeño termopar. Al pasar una corriente constante a través del filamento, su temperatura es inversamente proporcional a la presión absoluta del gas. La f.e.m. generada por el termopar indica la temperatura del filamento y por lo tanto señala el vacío del ambiente. Para compensar la temperatura ambiente se emplea una segunda unidad contenida dentro de un tubo sellado al vacío. La señal de salida diferencial de los dos termopares es proporcional a la presión.

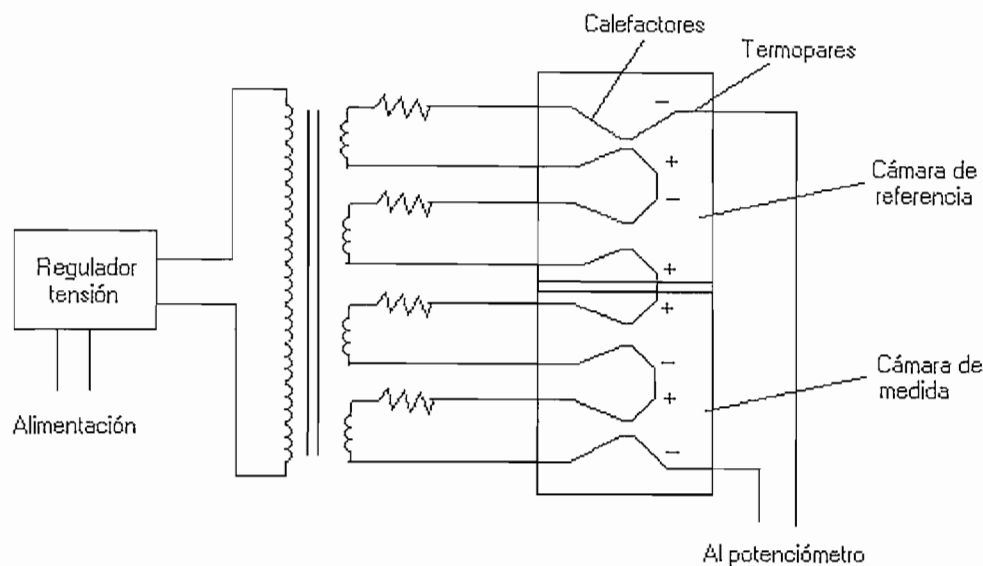


Fig. 1.13 Transductor Térmico de Termopar

Estos transductores son de bajo costo, larga duración y gran confiabilidad. Tienen el inconveniente de ser sensibles a la composición del gas además de ser no lineales y presentan riesgo de combustión si se expone a presión atmosférica cuando el filamento está caliente.

1.3.3.3.2 Transductor Pirani

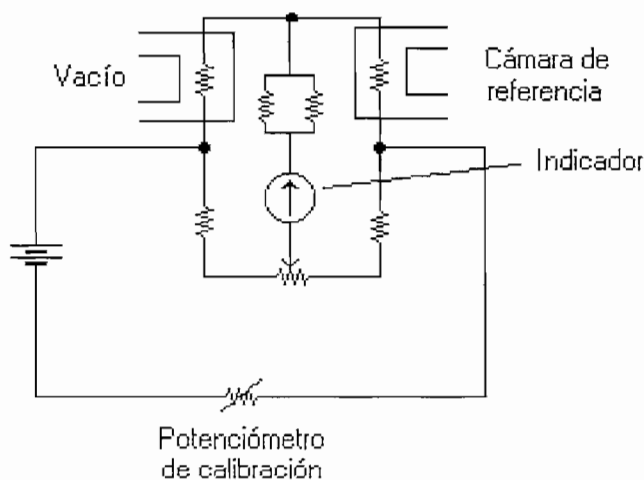


Fig. 1.14 Transductor Pirani

Utiliza un circuito de puente de Wheastone que compara las resistencias de dos filamentos de tungsteno, el uno está sellado en alto vacío en un tubo y el otro está en contacto con el gas medido y por lo tanto éste pierde calor por conducción. En

este transductor es la resistencia del filamento la que refleja la presión en lugar de ser su temperatura.

Este transductor es compacto y con un funcionamiento sencillo, pudiendo estar a presión atmosférica sin peligro de combustión, su calibración depende de la composición del gas medido.

1.3.3.3 Transductor Bimetálico

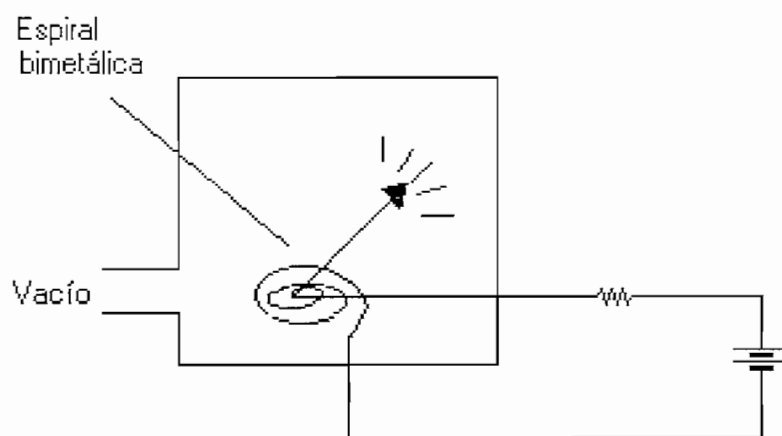


Fig. 1.15 Transductor Bimetálico

Utiliza una espiral bimetalica que es calentada por una fuente de voltaje regulada. Cualquier cambio en la presión produce una deflexión del espiral, que a su vez está acoplada a un índice que señala en la escala el vacío.

1.3.3.4 Transductores de Ionización

Se basan en la formación de iones que producen las colisiones existentes entre moléculas y electrones. La velocidad de formación de éstos iones (corriente iónica) varía directamente con la presión. Se dividen en:

1.3.3.4.1 Transductor de Filamento Caliente

Consiste en un tubo electrónico con un filamento de tungsteno que está rodeado por una rejilla en forma de bobina, la cual a su vez está envuelta por una placa colectora. Los electrones emitidos por el filamento caliente se aceleran hacia la rejilla positiva, pasan a través de ella y, en su camino hacia la placa colectora de carga negativa, algunos colisionan con las moléculas del gas. La corriente

positiva formada es una función del número de iones y, por lo tanto, constituye una medida de la presión de gas.

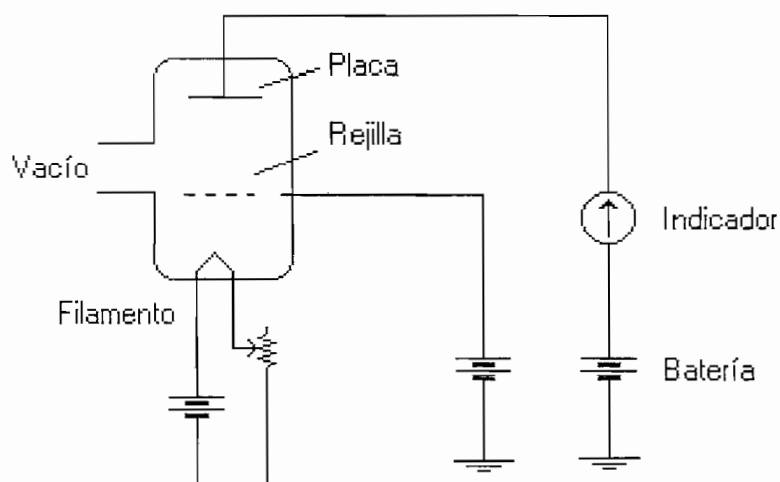


Fig. 1.16 Transductor de Filamento Caliente

Estos instrumentos son muy delicados y deben manejarse con cuidado, el filamento puede quemarse si se somete accidentalmente a presiones superiores a 0.001 mmHg absolutos, además son muy sensibles y capaces de medir vacíos extremadamente altos, su señal eléctrica de salida es lineal con la presión. Es muy sensible a la composición del gas, de tal modo que en ocasiones el filamento caliente provoca cambios significativos en su composición entre el volumen medido y el volumen contenido dentro del tubo electrónico.

1.3.3.4.2 Transductor de Cátodo Frío

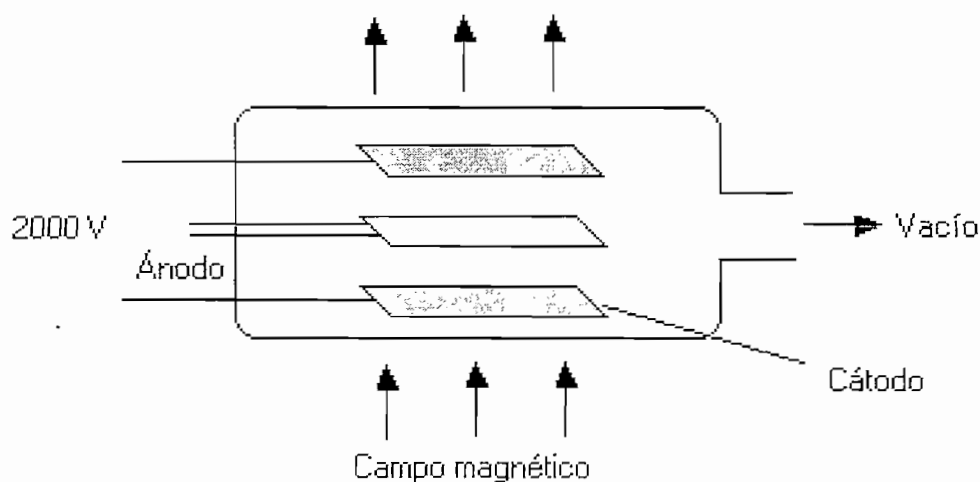


Fig. 1.17 Transductor de Cátodo Frío

Se basa en la medida de una corriente iónica que es producida por una descarga de alta tensión. Los electrones que se desprenden del cátodo toman un movimiento en espiral al irse moviendo a través de un campo magnético en su camino hacia el ánodo. Este movimiento en espiral da lugar a que el camino libre medio entre electrones sea mayor que la distancia entre electrodos. Por todo lo anterior aumenta la posibilidad de colisiones con las moléculas del gas presente, lo que da lugar a una mayor corriente iónica y de este modo la descarga catódica se mantiene en una presión mas baja, o sea a un vacío mas alto.

Estos transductores son robustos y no presentan el problema de la combustión del filamento. Es susceptible de contaminación por el mercurio y puede provocar la descomposición química de vapores orgánicos a altas tensiones.

1.3.3.4.3 Transductor de Radiación

En este transductor una fuente de radio sellada produce partículas alfa que ionizan las moléculas de gas ubicadas en la cámara de vacío. Los iones resultantes se recogen en un electrodo y generan una corriente que varía directamente con el número de moléculas existentes en la cámara de vacío y que por lo tanto, es proporcional a la presión total del sistema.

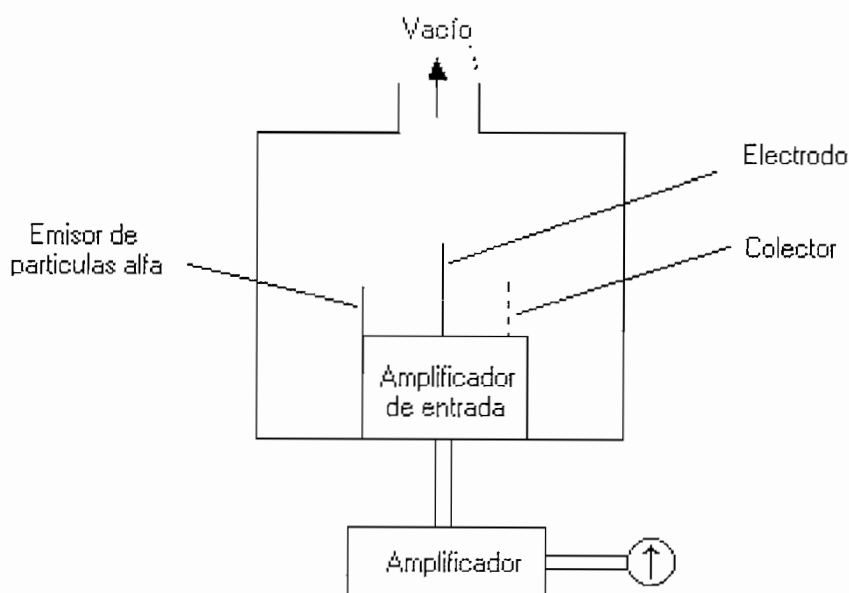


Fig. 1.18 Transductor de Radiación

No tiene problemas al exponerle a presión atmosférica pues no posee ningún filamento caliente, tiene una emisión estable y no es frágil. A muy bajas presiones requiere un pre-amplificador ya que las corrientes producidas son muy pequeñas del orden de 10^{-11} a 10^{-13} A.

	Margen (torrs)	Escala	Precisión	
Mecánicos	760 – 5	Lineal	1 %	
McLeod	$5 - 10^{-5}$	Lineal	1 – 10 % lectura	
Térmicos	Termopar	$0.5 - 10^{-3}$	Logarítmica	Alta
	Pirani	$2 - 10^{-3}$	Logarítmica	—
	Bimetal	$1 - 10^{-3}$	Logarítmica	—
Ionización	Filamento caliente	$10^{-3} - 10^{-11}$	Logarítmica	—
	Cátodo frío	$10^{-2} - 10^{-7}$	Logarítmica	—
	Radiación	$760 - 10^{-4}$	Lineal	—

Tabla 1.4

1.4 ACUMULADOR DE AIRE COMPRIMIDO

El acumulador o depósito de aire comprimido sirve para estabilizar el suministro de aire comprimido. Compensa las fluctuaciones de presión en todo el sistema de distribución a medida que se consume aire comprimido. Hace frente a las demandas puntas de caudal sin que se provoquen caídas de presión. Separa el agua de condensación producida, es decir, ayuda a la refrigeración del aire.

La función del acumulador es necesaria, porque en caso de perturbaciones, por ejemplo, un fallo de la corriente, los dispositivos neumáticos deben alcanzar su posición de partida o de reposo.

Gracias a la gran superficie del acumulador, el aire se refrigera adicionalmente. Por este motivo, en el acumulador se desprende una parte de la humedad del aire en forma de agua.

No se debe confundir un depósito con una fuente de energía por aire, pues, cuando el depósito actúa de acumulador (si se dispone de reserva de aire suficiente), es para atender una demanda de aire instantánea y nunca para suministrar aire continuamente. Tampoco es recomendable conectar varios compresores a un solo depósito. Lo que sí es conveniente, en muchas circunstancias, es instalar uno o más recipientes adicionales después del depósito principal.

En el depósito, el aire se enfría, dando lugar a una mezcla de aceite con agua, la cual deberá ser evacuada por un drenado, sea éste continuo o periódico.

Las paredes de los depósitos se calientan sufriendo una alteración acelerada por el contacto con el aire a presión y las altas temperaturas. Esta oxidación produce un calor, que puede no disiparse totalmente, dando lugar a la combustión espontánea de la masa combustible y del aerosol aceite–aire, pudiendo dar origen a una explosión considerable.

1.4.1 CAPACIDAD DEL DEPÓSITO

El tamaño del depósito es función del consumo de aire comprimido y de la potencia del compresor. Depende de otros factores como la regulación del funcionamiento del compresor y de la frecuencia de conexión máxima.

El tamaño de un acumulador de aire comprimido depende:

- Del caudal de suministro del compresor.
- Del consumo de aire.
- De la red de tuberías (volumen suplementario).
- Del tipo de regulación.
- De la diferencia de presión admisible en el interior de la red.

1.4.2 DETERMINACIÓN DEL ACUMULADOR CUANDO EL COMPRESOR FUNCIONA INTERMITENTEMENTE.

El tamaño de un acumulador puede determinarse, conociendo el caudal, la frecuencia de conmutación z y la diferencia de presión Δp que se tenga, según el siguiente diagrama:

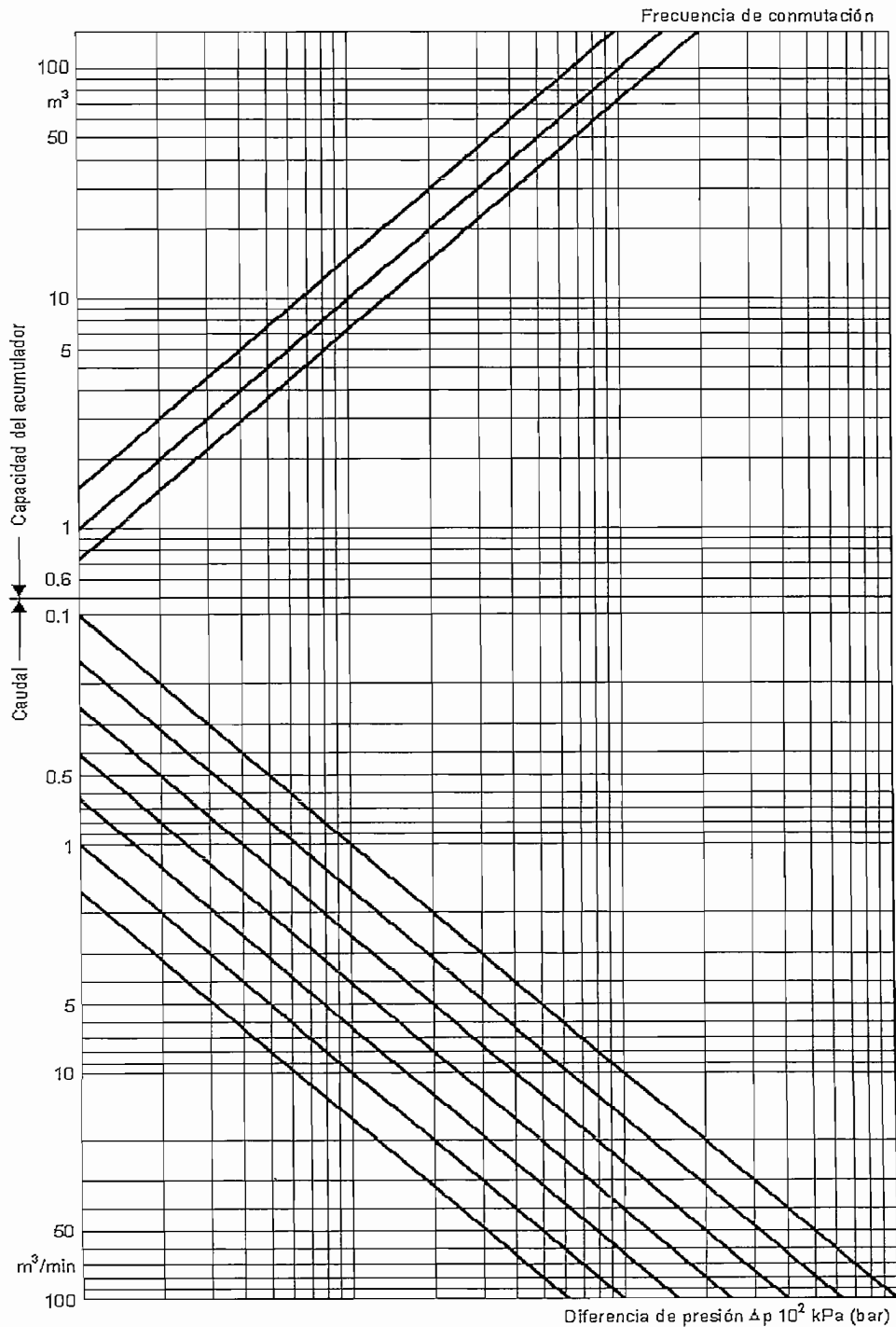


Fig. 1.19 Cálculo del Acumulador

1.5 VÁLVULAS DE CONTROL

En un lazo de control la válvula realiza una muy importante misión, esta es la de variar el caudal del fluido de control que modifica la variable controlada. Su función es tan importante como la del propio controlador.

1.5.1 ELEMENTOS

1.5.1.1 Servomotor

Puede ser neumático o eléctrico. El servomotor neumático posiciona el vástago de la válvula según el equilibrio entre un resorte calibrado y la señal neumática de 3 – 15 psi, mientras que el servomotor eléctrico lo hace por medio de un motor eléctrico posicionado por un circuito todo–nada, flotante o proporcional.

La válvula por su construcción interna y por su servomotor puede ser de:

Acción directa. Son las válvulas que al quedarse sin aire (o sin corriente) se quedan abiertas.

Acción inversa. Son las que al quedarse sin aire (o sin corriente) se quedan cerradas.

1.5.1.2 El obturador y los asientos

Son las partes internas de la válvula que están en contacto con el fluido y en conjunto forman el órgano de control del caudal del fluido.

1.5.1.3 El cuerpo

Contiene en su interior el fluido y debe resistir las condiciones de servicio que se den, además provee de los medios de fijación para el acoplamiento de la tubería.

1.5.1.4 La tapa

Une el cuerpo con el servomotor, contiene la empaquetadura para impedir cualquier escape, y a su través se desliza el vástago del obturador accionado por el servomotor.

1.5.2 CURVAS CARACTERÍSTICAS DE LA VÁLVULA

Es importante analizar las posibles variaciones de ganancia de la válvula de control de acuerdo con su grado de abertura, ya que este conocimiento dará como resultado un buen escogimiento del tipo de válvula a utilizar en un proceso de control.

1.5.2.1 Características de Caudal Inherentes

En la figura 1.20 se representa las relaciones más habituales entre el porcentaje de caudal máximo y la carrera del obturador de la válvula, todo esto se lo hace a presión diferencial constante.

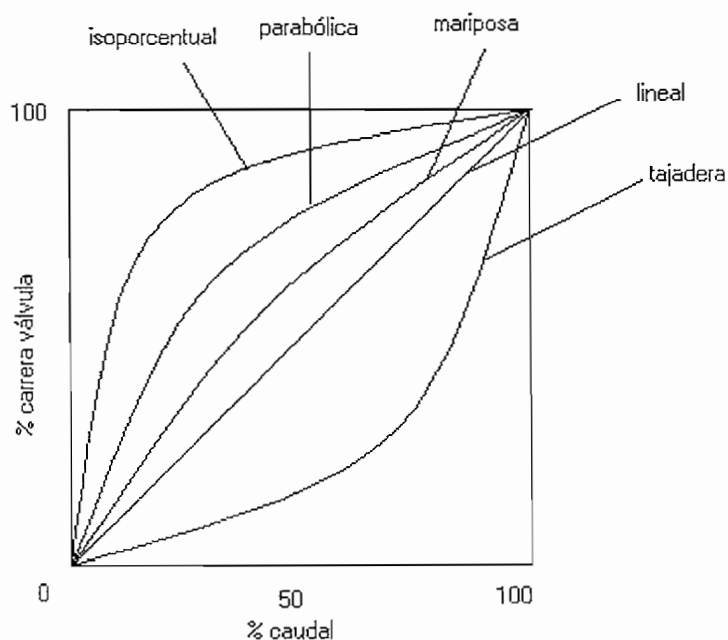


Fig. 1.20 Curvas Características Inherentes

En el obturador que tiene la característica lineal la curva es una línea recta y tiene por ecuación:

$$q = k \cdot l \quad \text{Ec.12}$$

donde :

q = caudal a pérdida de carga cte

k = constante

l = carrera de la válvula

En el obturador que tiene característica isoporcentual, es decir, de igual porcentaje, cada incremento de carrera del obturador produce un cambio en el caudal que fluía antes de la variación. La ecuación que corresponde a esta curva es:

$$\frac{dq}{dl} = a \cdot q \quad Ec.13$$

de aquí resulta:

$$\frac{dq}{q} = a \cdot dl \quad Ec.14$$

e integrando:

$$q = b \cdot e^{al} \quad Ec.15$$

Donde a y b son constantes y e es la base de los logaritmos neperianos.

Aquí puede intervenir el concepto denominado Rangeability o capacidad de control entre márgenes de caudal de la válvula que es:

$$\frac{q_{\max}}{q_{\min}} = R \quad Ec.16$$

y así :

$$\text{para } l = 0, q = q_{\min} = b$$

$$\text{para } l = 1, q = q_{\max} = q_{\min} \cdot e^a = b \cdot e^a$$

quedando :

$$\frac{q}{q_{\max}} = \frac{1}{R} \cdot R^l \quad Ec.17$$

En el obturador con característica parabólica la ecuación viene dada por:

$$q = k \cdot l^2 \quad Ec.18$$

Otras curvas características son intrínsecas del tipo de válvula empleada, tales como la válvula de tajadera y de mariposa.

1.5.2.2 Características de Caudal Efectivas

Las características de caudal inherentes anteriormente citadas consideran una presión diferencial constante a través de la válvula, esto muchas veces no corresponde a la realidad de una industria.

En este caso se deben analizar no solo la válvula, sino también la bomba y la tubería. El grado de abertura de la válvula hace variar la presión de impulsión de la bomba y la pérdida de carga absorbida por la válvula. Sea r la relación entre la pérdida de presión de la válvula, abierta totalmente, y la pérdida de carga del sistema (línea más válvula). Para cada valor de r puede construirse una curva característica efectiva que se apartará de la curva inherente pero coincidirá con ella cuando $r = 1$, es decir, cuando la presión que se absorbe queda totalmente disponible para la válvula.

El caudal que pasa a través de la válvula corresponde a la ecuación:

$$Q_v = k \cdot A \cdot \Delta p \quad Ec.19$$

en la que:

Q_v = caudal que pasa a través de la válvula.

k = constante

A = área de paso

Δp = presión diferencial a través de la válvula.

Si K_v es el caudal que circula para una presión diferencial de 1 kg/cm^2 se tiene:

$$K_v = k \cdot A \quad y \quad Q_v = K_v \cdot \Delta p \quad Ec.20$$

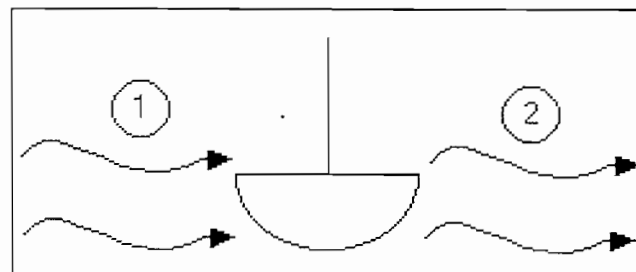


Fig. 1.21 Sección de válvula de control

De la figura 1.21 se puede establecer las siguientes relaciones:

$$H = H_1 + H_2 \quad Ec.21$$

$$Q = K_v \sqrt{H_1} = K_1 \sqrt{H_2} = K_e \sqrt{H} \quad Ec.22$$

$$q_i = \frac{K_v}{K_{v \max}} \quad q_e = \frac{K_e}{K_{e \max}} \quad r = \frac{H_1}{H} \quad Ec.23$$

de aquí:

$$r = \frac{H_1}{H} = \frac{\frac{Q_{\max}^2}{K_{v \max}^2}}{\frac{Q_{\max}^2}{K_{v \max}^2} + \frac{Q_{\max}^2}{K_i^2}} = \frac{1}{1 + \left(\frac{K_{v \max}}{K_1}\right)^2} \quad Ec.24$$

$$K_e = \frac{Q}{\sqrt{H}} = \frac{Q}{\sqrt{H_1 + H_2}} = \frac{K_v}{\sqrt{1 + \left(\frac{K_v}{K_1}\right)^2}} = \frac{K_{v \max}}{\sqrt{\frac{1}{q_i^2} + \left(\frac{K_{v \max}}{K_1}\right)^2}} \quad Ec.25$$

$$K_{e \max} = \frac{K_{v \max}}{\sqrt{1 + \left(\frac{K_{v \max}}{K_1}\right)^2}} \quad Ec.26$$

operando lo anterior resulta:

$$q_e = \frac{1}{\sqrt{1 - r + \frac{r}{q_i^2}}} \quad ; \quad Ec.27$$

Que es una familia de curvas características efectivas en función del valor de r y de la característica inherente q_i .

En una válvula de característica lineal $q_i = k \cdot l$ dando como resultado:

$$q_e = \frac{1}{\sqrt{1 - r + \frac{r}{k^2 \cdot l^2}}} \quad Ec.28$$

Aquí se puede observar que si r disminuye, la característica isoporcentual se desplaza hacia la forma lineal, además la característica lineal pasa gradualmente a una curva característica de apertura rápida.

De esto se pueden sacar las siguientes conclusiones:

- ❖ La característica efectiva de la válvula debe ser tal que el lazo de control tenga una ganancia constante para todas las variaciones de carga del proceso. Esto es muy difícil conseguirlo en la práctica.
- ❖ Para seleccionar la característica de la válvula, es necesario compensar las condiciones particulares de servicio de cada proceso, teniendo en cuenta que la válvula de característica lineal tiene una ganancia constante para todos los intervalos de caudal, mientras que la válvula con característica isoporcentual tiene una ganancia proporcional al caudal.
- ❖ Para control de presión, si la presión diferencial es constante se emplea la característica lineal. En fluidos compresibles (gases y vapores) si las variaciones de presión diferencial a través de la válvula son inferiores a la relación 2:1 se debe utilizar la característica lineal y si son superiores se debe emplear la característica isoporcentual.

1.6 MANÓMETRO BOURDON

El tubo Bourdon es uno de los primeros manómetros mecánicos y de los que mejores resultados ha dado y aun se emplea mucho por su adaptabilidad. Su precisión alcanza hasta $\pm 2.5\%$ de la desviación total para la gama de presiones de 0.35 kg/cm^2 a 700 kg/cm^2 ; los de forma modificada y construidos con materiales especiales dan lecturas de hasta 7000 kg/cm^2 .

El manómetro de Bourdon consta de un tubo de pared delgada, de sección ligeramente aplanada y doblado en arco o en espiral. El extremo libre del tubo está cerrado y va unido a un varillaje. Al aplicar la presión interna al tubo, éste se endereza proporcionalmente a dicha presión y el movimiento resultante del extremo libre es ampliado por el mecanismo en un recorrido apropiado de un indicador sobre una escala.

El libre movimiento del extremo del tubo depende del tipo de este y de su longitud; pues a mayor longitud, será más amplio el movimiento para una misma presión. Para medir presiones bajas, el arco se prolonga en una espiral plana completa.

Para presiones de trabajo de hasta 70 kg/cm^2 , el tubo suele ser de bronce fosforoso. Para presiones entre 70 y 120 kg/cm^2 se prefiere generalmente el cobre al berilio. El acero y el acero inoxidable se reservan para presiones aún mayores.

A pesar de que las características de fatiga de los materiales utilizados para los tubos de estos manómetros son excelentes, el tubo Bourdon tiende a desajustarse con el uso y requiere comprobaciones regulares y reajustes en algunos casos.

Siempre debe elegirse el manómetro teniendo en cuenta el intervalo de presiones a medir, haciendo que el punto máximo a medir esté ubicado en la parte superior del manómetro, con lo cual se asegura la mayor precisión de la lectura.

Los manómetros de Bourdon son sensibles a los choques mecánicos y a las pulsaciones de presión y deben protegerse contra ambos. La protección contra las pulsaciones de presión se consigue con una empaquetadura de fricción en la línea de conexión, que restrinja el flujo y amortigüe dichas pulsaciones.

Sin embargo, estas formas de frenado y de restricción son menos eficaces con aire que con fluidos, debido a la menor viscosidad del aire. Si se prevén pulsaciones en un sistema neumático, la mejor protección del manómetro la constituyen las válvulas de estrangulamiento o las de desconexión, que respondan positivamente a cualquier incremento brusco de presión.

1.7 PÉRDIDAS DE PRESIÓN EN TUBERÍAS

Una instalación de tuberías contiene comúnmente codos, curvas, variaciones de diámetro, válvulas, etc., obstáculos que contribuyen a la creación de una pérdida de presión suplementaria. Si hay contados accesorios en una instalación, puede prescindirse de calcular la pérdida de presión que presentan, pero, si en el sistema aparece un número considerable de accesorios, es indispensable tenerlos en cuenta.

Para efectos de cálculo, basta añadir, a la longitud propia de la tubería que se está proyectando, un suplemento de longitud de tubería que compense la pérdida de presión ocasionada por dichos elementos. La siguiente tabla muestra la longitud en metros, equivalente a la pérdida de presión en diversos accesorios de tubería.

ACCESORIOS	Longitud equivalente en metros						
	Diámetro interior de tubería						
	1"	1½"	2"	3"	4"	5"	6"
Válvula de diafragma	1.5	2	3	4.5	6	8	10
Válvula de compuerta	0.3	0.5	0.7	1	1.5	2	2.5
Curvas de 90°	0.3	0.5	0.6	1	1.5	2	2.5
Curvas de 45°	0.15	0.25	0.3	0.5	0.8	1	1.5
Codos redondos	1.5	2.5	3.5	5	7	10	15
Codos con enlace	1	2	2.5	4	6	7.5	10
T's	2	3	4	7	10	15	20
Manguitos de reducción	0.5	0.7	1	2	2.5	3.5	4

Tabla 1.5

La pérdida de presión real, entre dos puntos de circuito, será igual a la suma de todas las pérdidas de carga de los accesorios y la correspondiente a la tubería recta que los une.

Por lo tanto al proyectar una instalación se debe procurar emplear el menor número de accesorios posibles por las repercusiones negativas que tienen sobre la presión de trabajo.

CAPÍTULO II

MÓDULO DE CONTROL DE PRESIÓN, PARTES CONSTITUTIVAS

2.1 GENERALIDADES

En este capítulo, se ven las partes de las que está compuesto el módulo de control de presión, así como sus principales características de funcionamiento y utilidades para el control de presión.

Para un mejor análisis de los elementos del módulo, se lo ha dividido en cuatro partes o etapas fundamentales:

- ❖ Panel de control
- ❖ Elementos de control
- ❖ Elementos auxiliares

2.2 PANEL DE CONTROL

Se considera dentro del panel de control a dos partes fundamentales que son:

- ❖ Estructura metálica
- ❖ Panel principal

2.2.1 ESTRUCTURA METÁLICA

El módulo está compuesto por una estructura metálica rígida, hecho con perfiles de hierro y láminas de tol lo suficientemente robustas, para soportar el peso de todos los componentes, además del uso que el módulo pueda tener en el laboratorio; también está provisto de ruedas para facilitar su desplazamiento.

En la parte superior de dicha estructura está ubicado el panel de control principal, en la parte inferior se tiene el tanque de proceso y en la parte superior derecha se tiene el transmisor y la válvula reguladora de presión. Toda esta estructura esta hecha con el suficiente espacio y una adecuada distribución para el fácil manejo y

visualización del proceso, es por eso que este módulo es muy didáctico y funcional. En la figura 2.1 se puede ver la estructura completa del módulo.

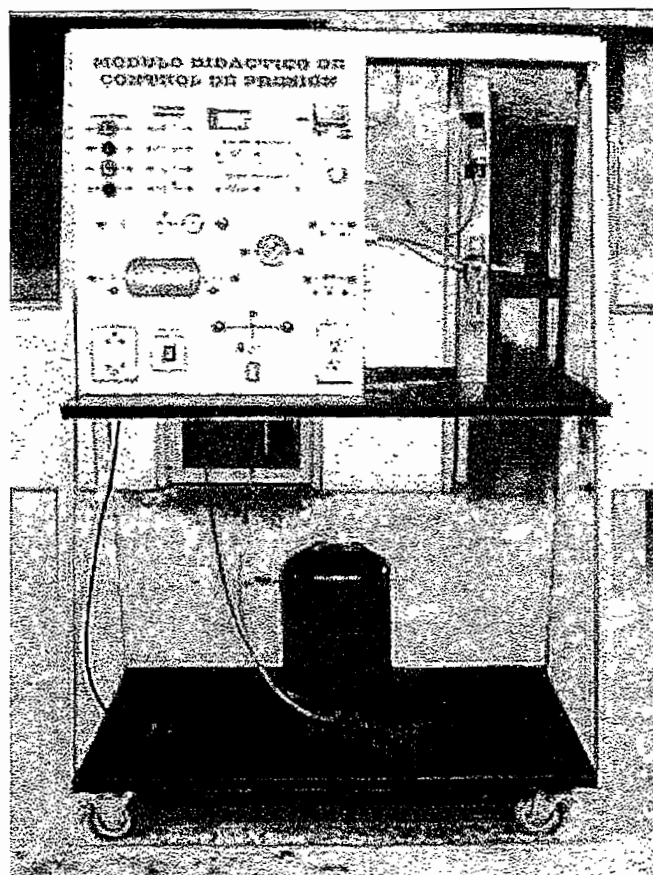


Fig. 2.1 Módulo Didáctico de Control de Presión

2.2.2 PANEL PRINCIPAL

El Panel Principal está constituido por una caja hecha con tol, dotada de una puerta trasera con llave, y en cuyo interior se tienen la mayor parte de los elementos constitutivos del módulo, dispuestos de tal forma que se toma en cuenta aspectos técnicos y de estética, tanto en el cableado como en la disposición de dichos elementos. El Panel Principal ha sido creado, tomando en cuenta aspectos didácticos que faciliten al estudiante conocer y manipular los diferentes elementos del módulo, para involucrarlos en el control de un determinado proceso. La portada del Panel Principal, ha sido dibujada íntegramente gracias a la ayuda del paquete computacional **AutoCad 2002**, impreso y colocado con la ayuda de un material adhesivo transparente con objeto

manejo que se le de al módulo. Esta portada se la puede observar en la figura 2.2.

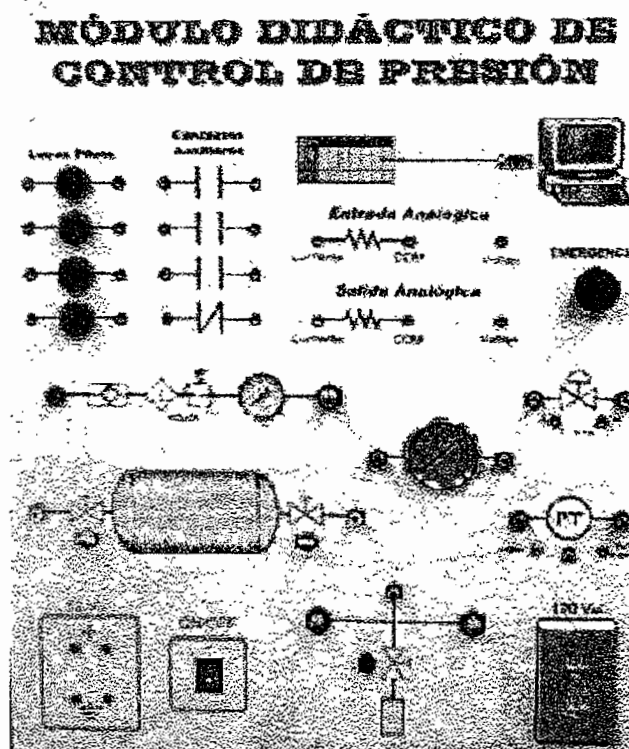


Fig. 2.2 Portada del Panel Principal

A continuación se dará a conocer las partes de las que está constituido el panel principal:

- ❖ **Pulsador de Emergencia.** Es un pulsador que sirve para apagar y detener todo el proceso en caso de emergencia; este pulsador es de tipo hongo con enclavamiento, para que no regrese a la posición anterior si no se ha solucionado el problema por el cual se lo pulsó.



Fig. 2.3 Botón de Emergencia

- ❖ **Válvulas ON/OFF manuales.** Son válvulas que están ubicadas a la entrada y salida del tanque de proceso y también a la entrada del silenciador, sirven principalmente para tener una solución de cierre manual en caso de error o falla de los equipos automáticos de control.

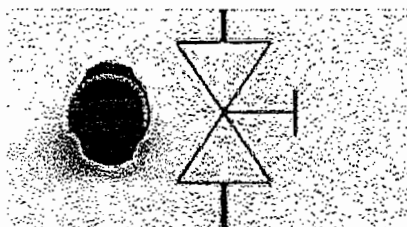


Fig. 2.4 Válvula ON/OFF manual

- ❖ **Conectores y Racores.** Son los puntos de unión de los diferentes elementos y sirven para hacer diferentes conexiones, dependiendo de la aplicación o el proceso a controlar. En el panel interior y exterior, se han puesto varios tipos de conectores neumáticos. A continuación se dan las principales características de los racores y elementos adicionales utilizados.

RACOR RÁPIDO MACHO

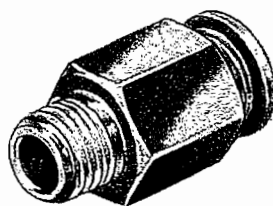


Fig. 2.5 Racor Rápido Macho

Descripción:

Esencialmente sirve para unir una rosca con un tubo, tiene una forma recta y su empalme se lo hace calibrando con la parte externa del tubo.

Características Técnicas:

Tipo

QS-1/8-6 y QS-1/4-6

Denom. de artículo

Racor rápido

Características

Tipo de junta

Propiedades

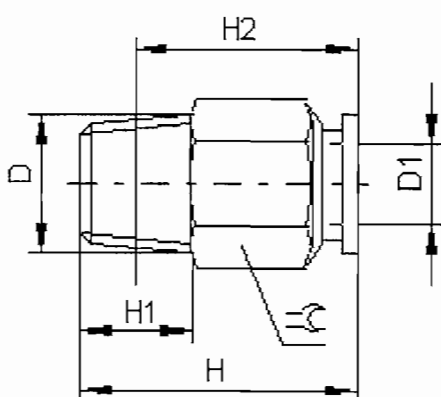
Revestimiento

Díámetro nominal racor

4,6 mm

Tamaño nominal conexión manguera	6
Presión de servicio mín.	-0,95 bar
Presión de trabajo máx.	10 bar
Temperatura ambiente mín.	0 °C
Temperatura ambiente máx.	60 °C
Fluido de servicio	Aire comprimido filtrado lubricado o no lubricado
Número de conexiones	1

Vista 2D:



Tipo	D	D1 øø	H	H1	H2	☞
QS-1/8-4	R1/8	4	21	8	17	10
QS-1/8-6	R1/8	6	22,5	8	18,5	12
QS-1/8-8	R1/8	8	28	8	24	14
QS-1/8-10	R1/8	10	30.3	8	26.3	17
QS-1/4-4	R1/4	4	21	11	15	14
QS-1/4-6	R1/4	6	24,5	11	18,5	14
QS-1/4-8	R1/4	8	26,5	11	20,5	14
QS-1/4-10	R1/4	10	30	11	24	17
QS-1/4-12	R1/4	12	36	11	30	21
QS-3/8-6	R3/8	6	23.5	12	17.1	17
QS-3/8-8	R3/8	8	24	12	17.5	17
QS-3/8-10	R3/8	10	29,5	12	23	17
QS-3/8-12	R3/8	12	32	12	25,5	21
QS-3/8-16	R3/8	16	46	12	40	22
QS-1/2-10	R1/2	10	30.3	15	22.1	21
QS-1/2-12	R1/2	12	34	15	26	21
QS-1/2-16	R1/2	16	41,5	15	33,5	24

Fig. 2.6 Vista 2D y Tipos

RACOR RÁPIDO HEMBRA

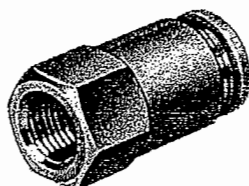


Fig. 2.7 Racor Rápido Hembra

Descripción

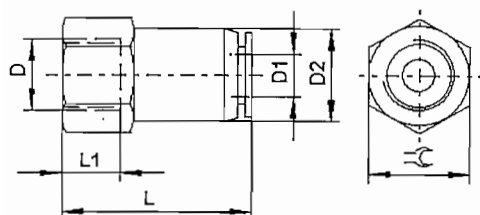
Esencialmente sirve para unir una rosca con un tubo, tiene una forma recta con rosca interna y su empalme se lo hace calibrando con la parte externa del tubo.

Características Técnicas:

Tipo	Denom. de artículo
QSF-1/4-6-B	Racor rápido

Características	Propiedades
Diámetro nominal racor	4,6 mm
Tamaño nominal conexión manguera	6
Presión de servicio mín.	-0,95 bar
Presión de trabajo máx.	10 bar
Temperatura ambiente mín.	0 °C
Temperatura ambiente máx.	60 °C
Fluido de servicio	Aire comprimido filtrado lubricado o no lubricado
Número de conexiones	1

Vista 2D:



Tipo ;	D	D1 ø	D2 øø	L	L1	⌀
QSF-1/8-4-B	G1/8	4	11	24,5	8	14
QSF-1/8-6-B	G1/8	6	13	26,5	8	14
QSF-1/8-8-B	G1/8	8	14,5	28	8	14
QSF-1/4-4-B	G1/4	4	11	27,4	11	17
QSF-1/4-6-B	G1/4	6	13	29	11	17
QSF-1/4-8-B	G1/4	8	15	31	11	17
QSF-1/4-10-B	G1/4	10	17,5	34	11	17
QSF-1/4-12-B	G1/4	12	21	35,8	11	21
QSF-3/8-6-B	G3/8	6	13	30,4	12,5	21
QSF-3/8-8-B	G3/8	8	15	32	12	21
QSF-3/8-10-B	G3/8	10	17,5	35	12	21
QSF-3/8-12-B	G3/8	12	21	37	12	21
QSF-1/2-12-B	G1/2	12	20,8	40,8	15,8	24
QSF-1/2-16-B	G1/2	16	25	43,8	17	25

Fig. 2.8 Vista 2D y Tipos

RACOR PASAMUROS

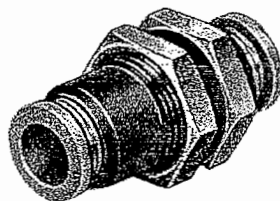


Fig. 2.9 Racor Pasamuros

Descripción:

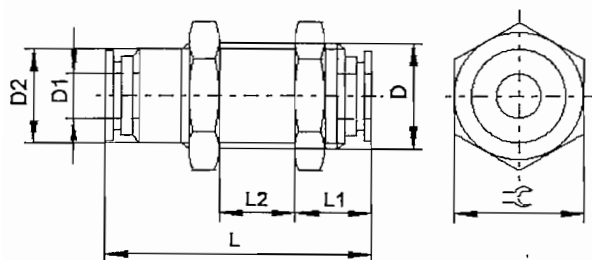
Sirve para unir dos mangueras entre sí, además de permitir el paso por una superficie (denominada muro). Tiene una forma recta y su empalme se lo hace calibrando con la parte externa del tubo.

Características Técnicas:

Tipo	Denom. de artículo
QSS-6	Racor pasamuros

Características	Propiedades
Diámetro nominal conector	4,6 mm
Tamaño nominal conexión manguera	6
Longitud de apriete máx.	10 mm
Presión de servicio mín.	0 bar
Presión de trabajo máx.	10 bar

Vista 2D:



Typ	D	D1	D2	L	L1	L2	⌀
QSS-4	M12x1	4	11	31	9,5	7	14
QSS-6	M14x1	6	12,5	35	10	10	17
QSS-8	M16x1	8	14,5	37,5	10,5	9	19
QSS-10	M20x1	10	18,5	43	11,5	13	24
QSS-12	M22x1	12	20,5	47	12,5	18	27

Fig. 2.10 Vista 2D y Tipos

RACOR RÁPIDO EN T

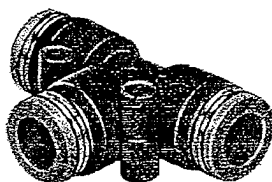


Fig. 2.11 Racor Rápido en T

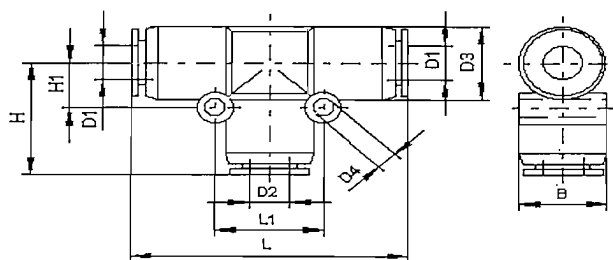
Descripción:

Sirve para unir tres extremos de manguera entre si, este accesorio puede utilizarse para la distribución de aire comprimido, su empalme se lo hace calibrando con la parte externa de la manguera.

Características Técnicas:

Tipo	Denom. de artículo
QST-6	Racor rápido en T
Características	Propiedades
Diámetro nominal conector	4,6 mm
Tamaño nominal conexión manguera	6
Presión de servicio mín.	0 bar
Presión de trabajo máx.	10 bar

Vista 2D:



Tipo	B	D1 ø	D2 ø	D3 ø	D4 øø	H	H1	L	L1
QST-4	10	4	4	10	-	17	-	34	-
QST-6	13	6	6	13	3,2	20	8	40	16
QST-8	15	8	8	15	3,2	22	9	44	18
QST-10	18	10	10	18	4,2	25,5	12	51	24
QST-12	21,5	12	12	21,5	4,2	28	14	56	28
QST-16	25,5	16	16	25,5	4,2	33	12	66	24
OST-6-4	13	6	4	13	3,2	20	8	41	16
OST-8-6	15	8	6	15	3,2	20,5	9	45	18
OST-10-8	17,5	10	8	17,5	4,2	25	12	51	24
OST-12-10	21	12	10	21	4,2	29,5	14	59	28

Fig. 2.12 Vista 2D y Tipos

RACOR CON RETENCIÓN

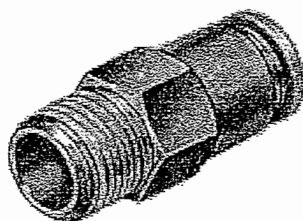


Fig. 2.13 Racor con Retención

Descripción:

Esencialmente sirve para unir una rosca con un tubo, pero únicamente dejara escapar el aire si existe un tubo conectado; tiene una forma recta y su empalme se lo hace calibrando con la parte externa del tubo.

Características Técnicas:

Tipo

QSK-1/4-6

Denom. de artículo

Racor rápido

Características

Tamaño nominal conexión manguera

Propiedades

6

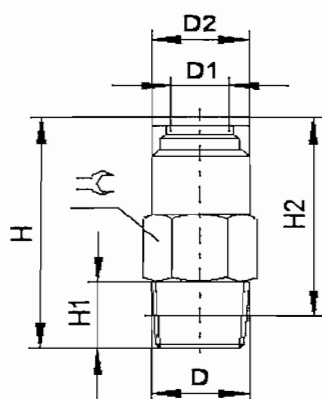
Presión de servicio mín.

-0,95 bar

Presión de trabajo máx.

10 bar

Vista 2D:



Typ	D	D1 ø	D2 øø	H	H1	H2	⌀
QSK-1/8-4	R1/8	4	9	25,5	8	20	10
QSK-1/8-6	R1/8	6	10	27,5	8	23	10
QSK-1/8-8	R1/8	8	14	36	8	32	14
QSK-1/4-6	R1/4	6	12	27,5	11	21	14
QSK-1/4-8	R1/4	8	14	36	11	30	14
QSK-1/4-10	R1/4	10	17	38,5	11	32,5	17
QSK-3/8-8	R3/8	8	15	36	12	29,5	17
QSK-3/8-10	R3/8	10	17	40	12	33,5	17
QSK-3/8-12	R3/8	12	21	46	12	39,5	21
QSK-1/2-12	R1/2	12	21	46	15	38	21

Fig. 2.14 Vista 2D y Tipos

- ❖ **Silenciador.** Está ubicado en la parte inferior del panel principal, es por donde se desfogga el aire a presión en caso de ser requerido, por su estructura este desfogue es de manera silenciosa para no ocasionar daños auditivos a operarios ni contaminación ambiental con el ruido.

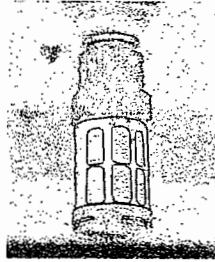


Fig. 2.15 Silenciador

- ❖ **Válvula Reguladora y Filtro.** Consta de una válvula antiretorno, que impide que el aire salga del módulo una vez que se retira la manguera de alimentación del borne izquierdo mostrado en la figura 2.16. Seguidamente se tiene la válvula reguladora conjuntamente con un manómetro, ésta válvula tiene una perilla en su parte superior la cual permite regular la presión que se requiera y mantenerla constante, el valor de ésta presión se la muestra en el manómetro propio de la válvula. Hay que tener en cuenta, que la presión de alimentación, siempre debe ser mayor que la presión de trabajo para el proceso.

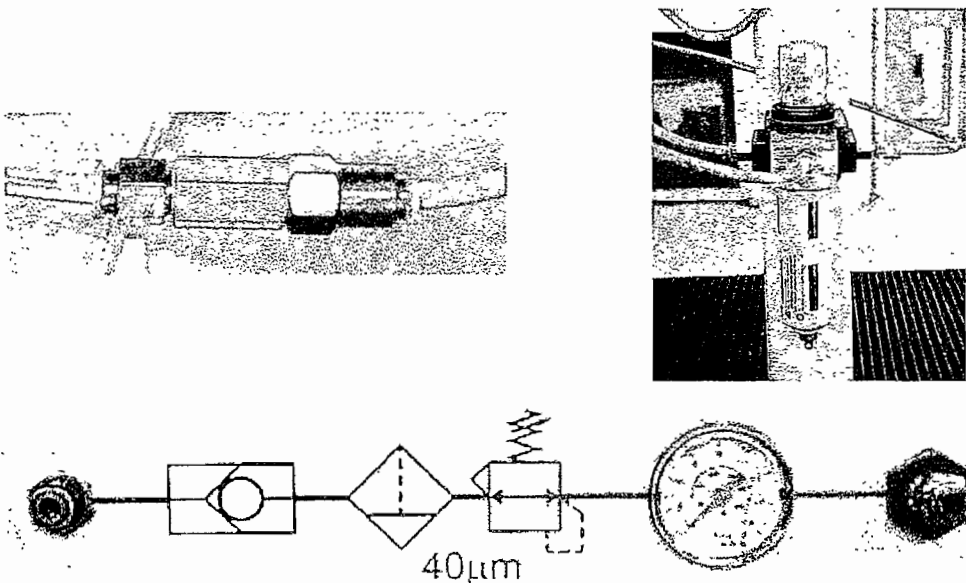


Fig. 2.16 Válv. Antiretorno, Válv. Reguladora y Filtro

- ❖ **Manómetro del Proceso.** Es el instrumento con el cual se puede visualizar la presión del proceso, es decir, la presión que se suministrará a la carga neumática, esta presión siempre deberá ser menor que la presión que marque el manómetro principal.

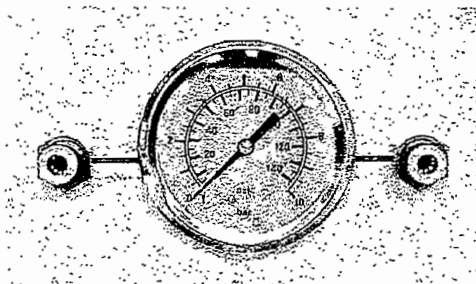


Fig. 2.17 Manómetro del Proceso

- ❖ **Interruptor ON/OFF.** Es un interruptor con el cual se encenderá el módulo y todos sus componentes eléctricos.

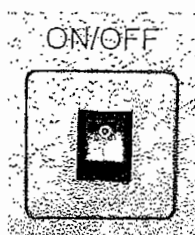


Fig. 2.18 Interruptor ON/OFF

- ❖ **Tomacorriente Frontal.** Es un tomacorriente ubicado en el panel principal, con el fin de que el usuario u operario del módulo, tenga a mano una fuente de 120 VAC para cualquier instrumento que se necesite conectar, es decir, ésta fuente es simplemente una conexión en paralelo de la alimentación del módulo.

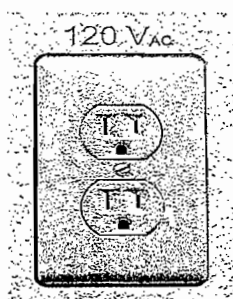


Fig. 2.19 Tomacorriente Frontal

- ❖ **Salidas de Voltaje de 12 VDC.** En el panel principal existen dos salidas de 12 VDC, para que puedan ser utilizadas por el transmisor, luces piloto y cualquier circuito adicional que se implemente.

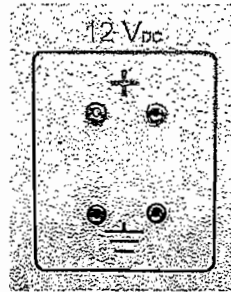


Fig. 2.20 Salidas de Voltaje +12 VDC

- ❖ **Entrada Analógica al PLC.** En el panel frontal se tiene una entrada analógica para ser utilizada en caso de ser necesario, como parte de un proceso, como se muestra en la figura 2.21. Esta señal está conectada a la entrada analógica del PLC, pudiendo ser una entrada de voltaje, una entrada de corriente o ambas. Tener muy en cuenta que éstas señales deben ser entre 0 – 10 VDC o 4 – 20 mA máximo, y en ningún caso excederse de estos límites.

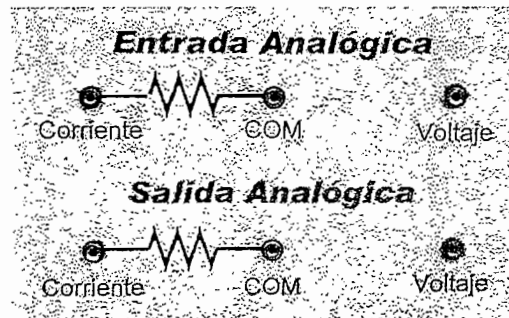


Fig. 2.21 Entrada y Salida Analógicas

- ❖ **Salida Analógica.** En el panel frontal se tiene una salida analógica para ser utilizada en caso de ser necesario como parte de un proceso, como se muestra en la figura 2.21. Esta señal viene desde la salida analógica del PLC, pudiendo ser una salida de voltaje o una salida de corriente. Esta señal tiene rangos ya establecidos por el PLC y son para voltaje de 0 a 10 VDC como máximo y para corriente de 4 a 20 mA como máximo.

- ❖ **Salidas Digitales del PLC.** Se tienen cuatro salidas digitales del PLC para ser utilizadas en caso de ser necesario como parte de un proceso, como se muestra en la figura 2.22. Son contactos que sirven para conectar máquinas, luces piloto, etc. y así poder tener un control sobre ellos. Estos contactos, son prácticamente las salidas digitales del PLC; pero lo que se muestra en el panel frontal son los contactos de relés alimentados por las salidas del PLC, así se logra proteger los contactos digitales del PLC además de aumentar la corriente para control de la salida. La corriente máxima para cada contacto es de 6 A y el voltaje máximo es de 250 V. En el diagrama T05 del anexo E, se muestran las conexiones realizadas para este fin.

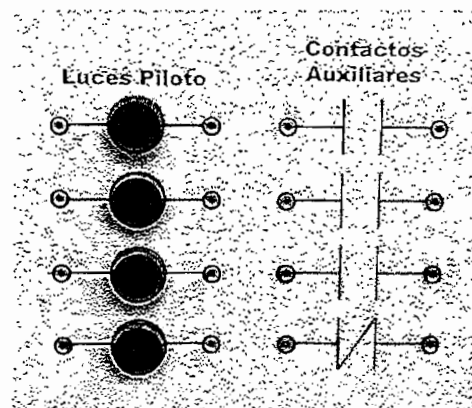


Fig. 2.22 Luces Piloto y Contactos Auxiliares

- ❖ **Luces Piloto Indicadoras.** Se tienen cuatro luces piloto para ser utilizadas en caso de ser necesario como parte de un proceso, como se muestra en la figura 2.22. Son luces indicadoras para poder visualizar estados del proceso, tales como: funcionamiento correcto, funcionamiento incorrecto, alarmas, entre otros. Estas luces son de 120 VAC pero están adaptadas eléctricamente para funcionar correctamente con 12 VDC en los terminales de la luz del panel frontal, esto se logra con un circuito hecho a base de relés de la siguiente forma: los 12 VDC que llegan a los terminales de la luz piloto en el panel frontal, no alimentan directamente al foco sino a un relé cuyo contacto está conectado en un circuito de 120 VAC que es el que encenderá la luz indicadora; este circuito se muestra en el diagrama T05 del anexo E.

- ❖ **Tanque de Proceso.** Sirve para tener un pequeño pulmón en el proceso en caso de ser necesario, puede ser conectado de acuerdo a los requerimientos del proceso a controlar. El panel tiene dos bornes para conexión neumática, como se ve en la figura 2.23, las cuales sirven para hacer pasar el flujo de aire y almacenar aire a una determinada presión en el tanque.

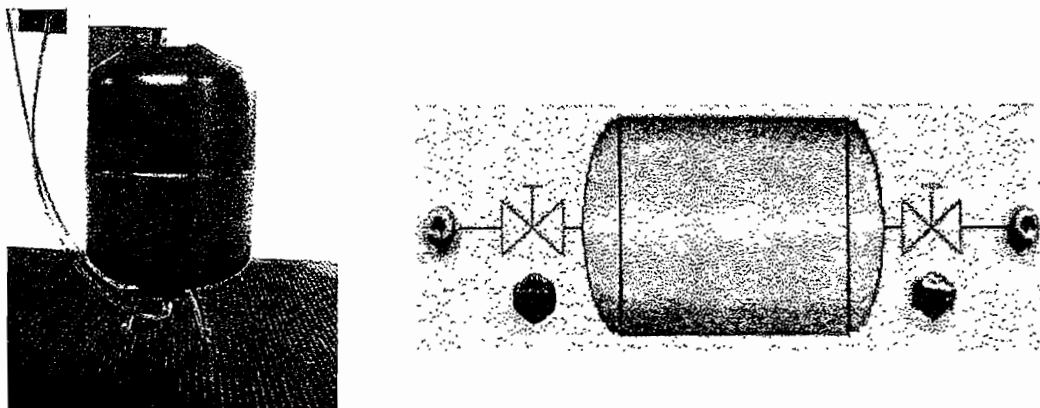


Fig. 2.23 Tanque de Proceso

2.3 ELEMENTOS DE CONTROL

Los elementos de control son los encargados de hacer el control automático del proceso y se los puede dividir principalmente en tres grupos:

- ❖ Elemento primario de control que en este caso es el transmisor de presión.
- ❖ Elemento final de control o actuador que es en este caso la servoválvula.
- ❖ Controlador que es en este caso el PLC.

2.3.1 ELEMENTO PRIMARIO DE CONTROL

Es el encargado de sensar, normalizar y transmitir la señal; en el módulo se utiliza un transmisor de presión el cual recoge una presión en el proceso, la normaliza a una corriente de 4 a 20 mA y la transmite hacia el controlador.

Este transmisor de presión utiliza el principio de los elementos electromecánicos vistos en el capítulo 1.3.2, es decir utiliza elementos mecánicos y electrónicos para sensar y transmitir la señal respectivamente.

El transmisor debe ser alimentado con un voltaje entre 11 y 33 VDC, los cuales se los puede tomar de la fuente de 12 VDC que tiene el módulo o de cualquier otra fuente externa al módulo. El transmisor de presión implementado en el módulo se lo puede ver en la figura 2.24.

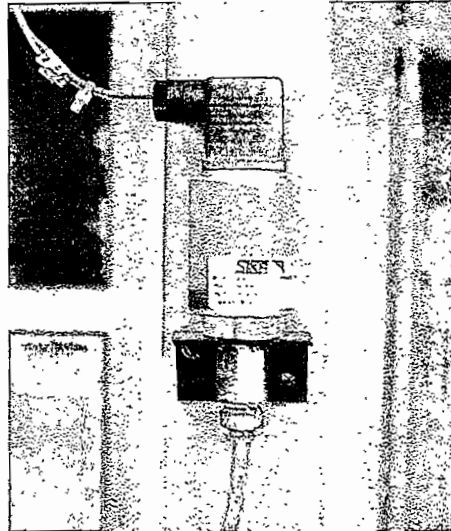


Fig. 2.24 Transmisor de Presión

El transmisor de presión ha sido ubicado exteriormente en la parte derecha del módulo, debidamente asegurado, de tal manera que el estudiante pueda observarlo y conocerlo físicamente, pero no debe ser removido.

A continuación se detallan las características técnicas del transmisor de presión utilizado en el módulo:

- ❖ Fabricante: Sika
- ❖ Modelo: DSK331A1H075
- ❖ Alimentación: 11 – 33 VDC
- ❖ Rango de Presión: 0 – 10 bar
- ❖ Voltaje de Salida: 4 – 20 mA
- ❖ Resistente a bajas temperaturas
- ❖ Linealidad $< \pm 0.5 \%$ a plena escala

2.3.2 ELEMENTO FINAL DE CONTROL

Es el encargado de actuar sobre la variable del proceso, en este caso la presión, en el módulo se utiliza como elemento final de control una servoválvula que tiene un pilotaje de voltaje, es decir con una señal entre 0 y 10 VDC la servoválvula estará cerrada y abierta, respectivamente, de esta manera se puede tener un mejor control de la presión con un cierre o apertura proporcional de acuerdo al valor de voltaje con el que se alimente a los terminales de la servoválvula.

2.3.2.1 Diseño y Construcción de la Servoválvula

Por razones principalmente económicas, pero además por aplicar los conceptos impartidos, se ha decidido construir la servoválvula, la misma que tiene dos partes principales: una **MECÁNICA**, constituida por un moto reductor, una válvula de aguja y un potenciómetro lineal; y un **SISTEMA DE CONTROL**, constituida por un potenciómetro el cual indica la posición de la servoválvula y un circuito electrónico en base a amplificadores operacionales que compara las señales del potenciómetro con el valor que se desea tener en la servoválvula.

Parte Mecánica

Actualmente las servoválvulas comerciales tienen un sistema de control de posición, el cual permite conocer que tan abierta o cerrada está, de esta forma aún cuando la servoválvula haya quedado sin alimentación, es decir sin una referencia de voltaje, al alimentarla nuevamente, se puede conocer la posición en la que se encuentra y no ocasionar algún tipo de error en un control.

Los potenciómetros comunes de carbono, son muy utilizados en circuitos electrónicos y funcionan muy bien, pero presentan la desventaja de ser no lineales, lo cual para el manejo de nuestra servoválvula no es aceptable, por lo que se recurrió al uso de un potenciómetro de alambre, de un mayor costo que los comunes, pero con la ventaja de ser mas durables y presentar un característica lineal, es decir la resistencia es proporcional al desplazamiento de la perilla, con lo cual podemos sensar o detectar la posición en la que se encuentra la válvula de aguja utilizada.

Esta válvula de aguja, está elaborada de acero, con la característica que la perilla tiene que dar muchas vueltas para abrirse o cerrarse, lo cual es beneficioso ya que podemos tener un mayor rango de control. La válvula de aguja está acoplada a un motoreductor, que tiene una pequeña caja de engranajes que permite reducir la velocidad a la salida de ésta. Tanto el motoreductor como la válvula de aguja y el potenciómetro han sido acoplados mediante un sistema de piñones, con el cual se logra tener una relación lineal entre la apertura de la válvula y el valor en ohmios del potenciómetro.

Sistema de Control

Ha sido desarrollado mediante un circuito electrónico a base de comparadores, seguidores unitarios, inversores unitarios y amplificadores inversores o no inversores, hechos con amplificadores operacionales LF347N, los cuales tienen entrada FET, por lo que son menos sensibles al ruido, sus características técnicas, se detallan en el anexo D.

El circuito para manejar la servoválvula se detalla en la figura 2.25.

El potenciómetro de alambre tiene un valor de 200Ω , alimentado con 12 VDC, mediante pruebas se determinó el valor máximo de resistencia al que llega una vez que la válvula de aguja está completamente abierta. Éste valor de resistencia del potenciómetro tiene un respectivo valor de voltaje, el cual ingresa al amplificador operacional inversor **U2D**, mediante el potenciómetro **R3** se calibra para tener un voltaje de -10 a 0 VDC, luego pasa al operacional **U3A** que actúa como inversor unitario, finalmente la señal pasa a un seguidor unitario **U3B** lográndose de ésta forma tener una señal normalizada de $0 - 10$ VDC. Con esto podemos conocer la posición en la que se encuentra la servoválvula.

La servoválvula presenta una histéresis positiva y negativa aplicada al valor del voltaje de referencia, es decir al voltaje de control que llega desde el PLC. Por tal motivo se tiene un pequeño error, ya que originalmente esta histéresis está en un valor de 0.5 VDC tanto positivo como negativo, sin embargo éste error se lo puede reducir, disminuyendo la histéresis.

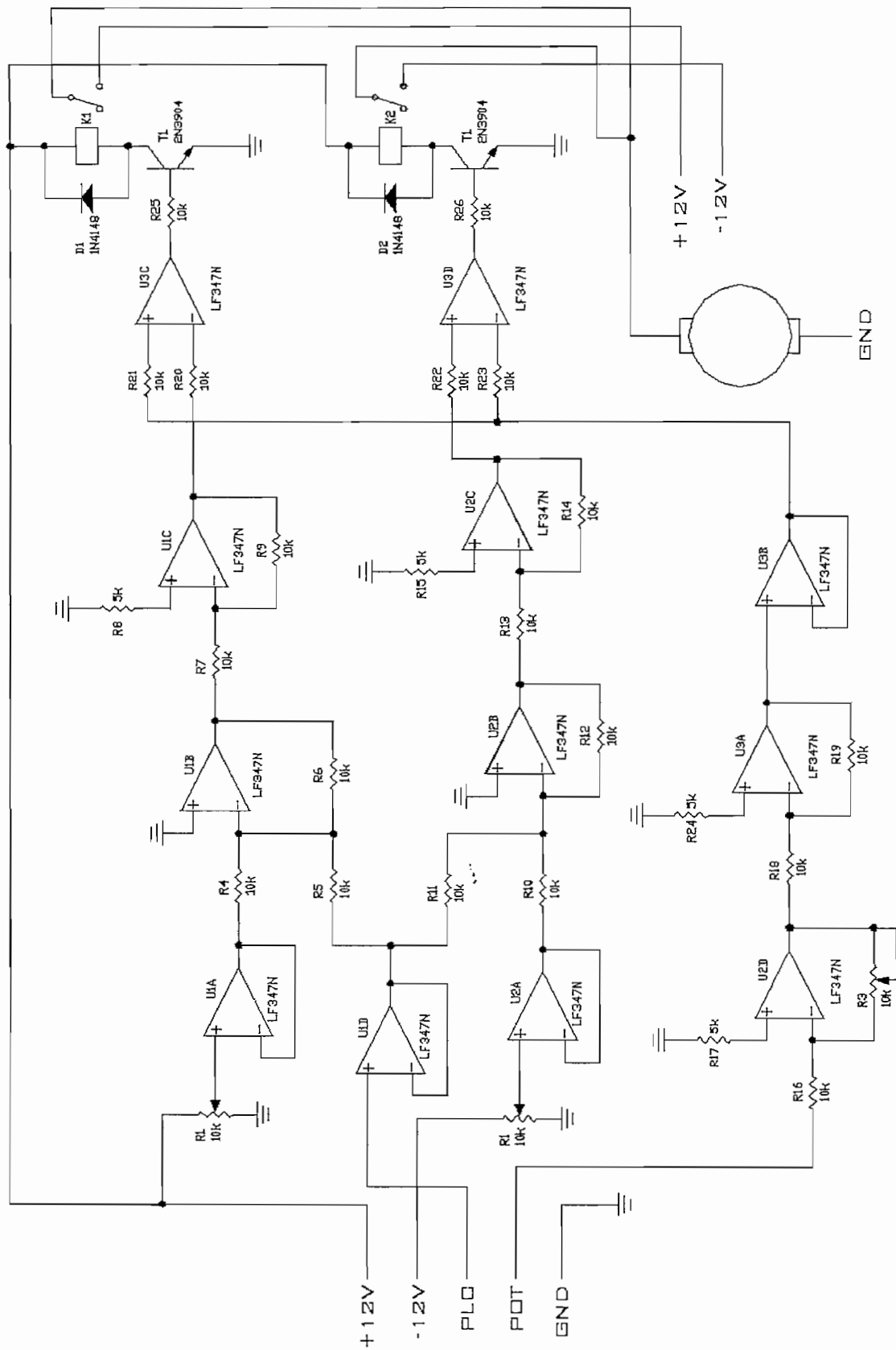


Fig. 2.25 Circuito Control Servoválvula

La histéresis positiva se la calibra mediante el potenciómetro **R1** alimentado con +12 VDC, éste voltaje pasa a través de un seguidor unitario **U1A** e ingresa al sumador inversor unitario **U1B**. La histéresis negativa se la calibra mediante el potenciómetro **R2** alimentado con -12 VDC, éste voltaje pasa a través de un seguidor unitario **U2A** e ingresa al sumador inversor unitario **U2B**.

La señal de referencia llega a un seguidor unitario **U1D**, que se suma tanto al sumador **U1B** como al **U2B**, luego cada señal de estos sumadores se invierte mediante inversores unitarios **U1C** y **U2C**, respectivamente, obteniéndose en el primer caso el voltaje de control mas la histéresis positiva y en el segundo el voltaje de control menos la histéresis negativa.

El voltaje a la salida de **U1C** se compara con la señal normalizada del potenciómetro mediante el comparador **U3C**, cuya salida se saturará cuando el voltaje del potenciómetro sea mayor que la salida de **U1C**. El voltaje a la salida de **U2C** se compara con la señal normalizada del potenciómetro mediante el comparador **U3D**, cuya salida se saturará cuando el voltaje del potenciómetro sea menor que la salida de **U2C**.

Si **U3C** se pone en alto, el transistor **T1** se satura y alimenta al relé **K1**, cerrando su contacto normalmente abierto, el cual accionará el motoreductor para que gire en un sentido, de tal forma que la válvula se cierre, de la misma manera, si **U3D** se pone en alto, el transistor **T2** se satura y alimenta al relé **K2**, cerrando su contacto normalmente abierto, el cual accionará el motoreductor para que gire en el otro sentido, de tal forma que la válvula se abra. Los transistores usados son 2N3904, suficientes para manejar la bobina de los relés. Los relés han sido protegidos por dos diodos **D1** y **D2** (1N4148). La configuración para que el motoreductor gire en uno u otro sentido, se la puede observar en el diagrama T04 ubicado en el anexo E.

El uso de la histéresis se consideró debido a que al realizar la comparación entre el voltaje de referencia o control y la señal de posición del potenciómetro, ambos llegan a ser iguales, con lo cual la salida de ambos comparadores se pondrían en alto, así los contactos de los dos relés se accionan, ocasionando que las dos fuentes entren en paralelo, produciendo un daño al motor y a las fuentes.

El ruteo de la placa de circuito impreso para el circuito de control, se lo diseñó mediante la ayuda del programa computacional Eagle versión 3.54r1.

En la figura 2.26 se observa la placa del Sistema de Control implementado y el acoplamiento mecánico entre el potenciómetro, válvula de aguja y motoreductor.

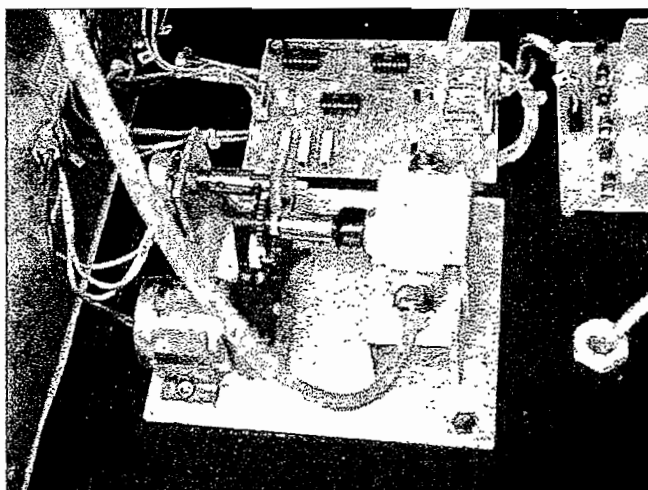


Fig. 2.26 Servoválvula

Por razones de seguridad, tanto la placa del circuito impreso del sistema de control, como la construcción mecánica de la servoválvula, han sido ubicadas al interior del módulo.

2.3.3 CONTROLADOR

Es el encargado de hacer el control propiamente dicho del proceso, es decir es la parte inteligente del control, en el módulo se utiliza un PLC (Controlador Lógico Programable) Micrologix 1000 Analog, además de las herramientas dadas por Intouch; con lo cual dependiendo del programa implementado se pueden realizar distintos tipos de control de la variable. En la figura 2.27 se muestran las herramientas utilizadas como controlador.

El controlador toma la señal de 4 a 20 mA que da el transmisor de presión, la procesa, evalúa un error y devuelve otra señal eléctrica de corrección entre 0 y 10 VDC que es enviada hacia la servoválvula con lo cual se logra el control en lazo cerrado del proceso. En el capítulo 3, se tiene como se hace el control del proceso más detalladamente.

El PLC debe ser alimentado con la red comercial de 120 VAC, lo cual se lo hace internamente en el módulo; además el PLC puede ser utilizado también para dar avisos de emergencia o indicaciones del proceso, según se lo requiera, con los contactos de salida que se han ubicado en el panel principal; así como también se le puede hacer ingresar una señal digital o analógica, según se requiera, con los contactos de entrada ubicados en el panel principal del módulo. Todos estos señales y variantes se las puede realizar con un programa del PLC adecuado a las necesidades de el proceso a controlar.

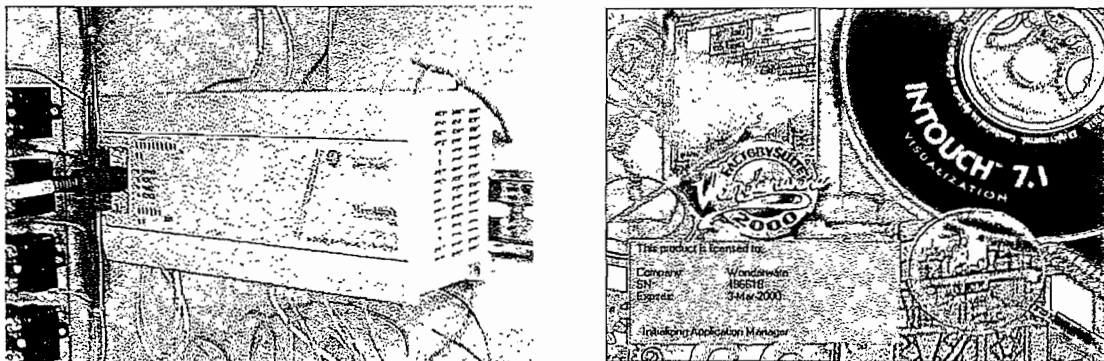
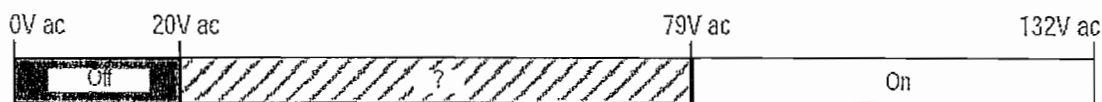


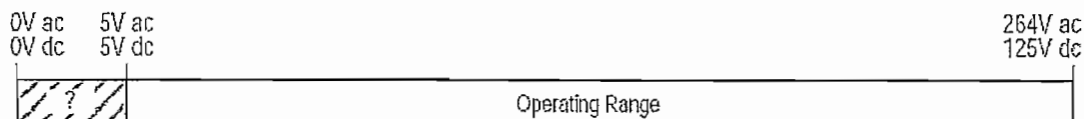
Fig. 2.27 Herramientas para Control

Las principales características del PLC se las detalla a continuación:

- ❖ Fabricante: Allen-Bradley
- ❖ Modelo: 1761-L20AWA-5A
- ❖ Alimentación: 110 VAC
- ❖ Entradas Digitales: 12
- ❖ Salidas Digitales: 8
- ❖ Entradas Analógicas: 4
- ❖ Salidas Analógicas: 1
- ❖ Rango de voltaje para las entradas digitales:



- ❖ Rango de voltaje para las salidas digitales:



❖ Rango de operación de las entradas analógicas:

0 – 10 V 4 – 20 mA

❖ Rango de operación de las salidas analógicas:

0 – 10 V 4 – 20 mA

2.4 ELEMENTOS AUXILIARES

Como elementos auxiliares se pueden mencionar principalmente a las fuentes de alimentación con las que funciona el módulo que son las siguientes:

❖ Alimentación de la red comercial.

❖ Alimentación de 12 VDC.

❖ Alimentación neumática.

2.4.1 ALIMENTACIÓN DE LA RED COMERCIAL

Esta fuente de alimentación es tomada directamente de la red comercial y es una fuente de 120 VAC y 60 Hz, sirve principalmente para dar energía al PLC y a todos los circuitos internos que funcionan con este voltaje como relés y luces piloto, además de aquí se saca un punto en paralelo para ubicarlo en el panel principal, como protección se tiene un fusible de protección contra cortocircuitos.

El esquema de conexiones realizadas se puede ver en el diagrama T01, del anexo E.

2.4.2 ALIMENTACIONES DE 12 V DE CORRIENTE CONTINUA

El módulo tiene una fuente regulada de voltaje, compuesta de dos salidas de +12 VDC y una salida de –12 VDC, las cuales sirven para la alimentación de todos los circuitos que funcionan con este voltaje, como circuitos de relés, servoválvula y otros, además cada una de las fuentes de +12 VDC tiene terminales de conexión ubicados en el panel frontal para hacer conexiones externas como luces piloto, transmisor, y otros.

2.4.2.1 Diseño y Construcción de la Fuente de ± 12 VDC

La fuente regulada de ± 12 VDC ha sido diseñada y construida de la siguiente manera: Se utiliza un transformador de 3 A con tap central, lo cual nos va a ayudar a tener una fuente positiva y otra negativa independientes, el transformador tiene una relación de transformación de cinco a uno, es decir, en el primario se tiene un voltaje de 120 VAC, mientras que en el secundario se tiene un voltaje de 24 VAC y mediante el tap central podemos tener dos fuentes de 12 VAC, en donde el tap se convierte en la tierra de la fuente.

Los terminales del secundario del transformador se conectan a un rectificador integrado tipo puente de 2 A, con lo cual se consigue un voltaje rectificado de onda completa, señal que se filtra mediante capacitores en paralelo. Con el fin de tener un rizado aceptable, se usaron capacitores electrolíticos de 470 μF a 50 V, y capacitores cerámicos de 0.1 μF .

Con esto se tiene una señal de voltaje filtrada y sin mucho rizado a la entrada de los reguladores integrados de voltaje LM7812 y LM7912, de +12 VDC y -12 VDC, respectivamente. A la salida de los reguladores se colocaron capacitores cerámicos de 0.01 μF , con el objeto de reducir el ruido que se pueda producir.

Como medida de protección para evitar el deterioro y el daño por posibles cortocircuitos o sobrecargas, se han colocado a la salida de cada una de las fuentes, fusibles de 1 A, corriente que es la máxima que pueden entregar los reguladores, con lo cual se previene que éstos se quemen.

Las principales características técnicas del rectificador se detallan a continuación:

$I_{O(DC)}$: **2 A**

PRV : **400 V**

Corriente directa pico: **50 A**

V_F : **1 V**

T_{Amax} : **25 °C**

Los datos técnicos de estos reguladores se dan a continuación:

I_o (DC) : **1 A**

V_{IN} (DC) : **máx 27 V**

mín 14.5 V

P_D : **12 watts**

La figura 2.28 muestra el circuito desarrollado para las fuentes reguladas de voltaje. El ruteo de la placa de circuito impreso para el circuito de control, se lo diseñó mediante la ayuda del programa computacional Eagle versión 3.54r1.

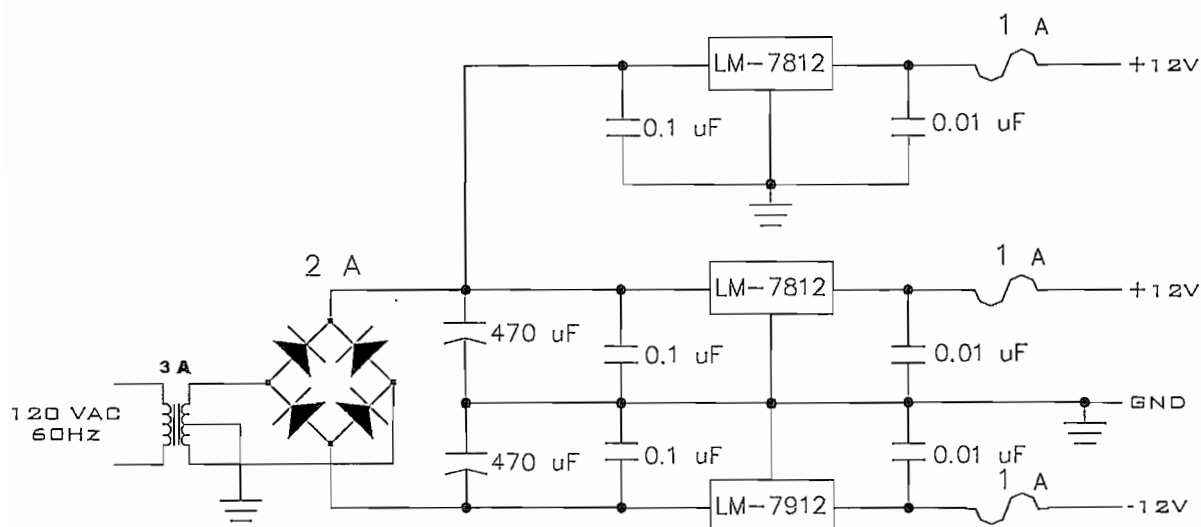


Fig. 2.28 Circuito de la Fuente ± 12 VDC

En la figura 2.29, se observa la placa del Sistema de Control implementado y el acoplamiento mecánico entre el potenciómetro, válvula de aguja y motoreductor.

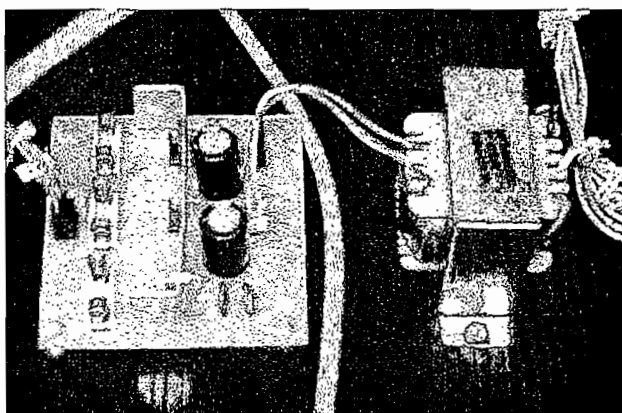


Fig. 2.29 Fuente ± 12 VDC

Al igual que la servoválvula y su tarjeta de control, la tarjeta de las fuentes reguladas de voltaje, han sido colocada por razones de seguridad al interior del módulo.

2.4.3 ALIMENTACIÓN NEUMÁTICA

La alimentación neumática con la que trabaja en el módulo esta dada por una fuente neumática externa, ésta alimentación ingresa al módulo, el cual se encarga de filtrar y regular el aire ingresado. En la figura 2.30 se muestra la fuente exterior de alimentación neumática usada en la aplicación.

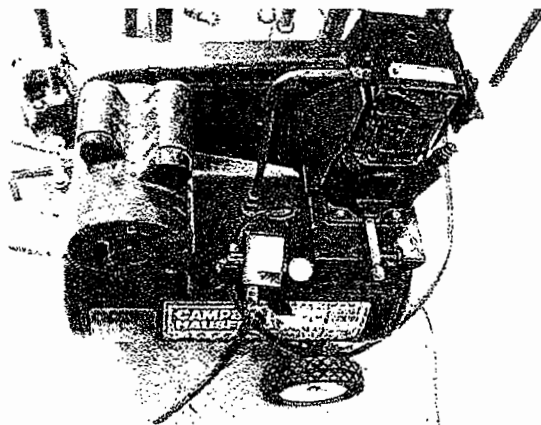


Fig. 2.30 Alimentación Neumática

CAPÍTULO III

HERRAMIENTAS DE CONTROL INDUSTRIAL

3.1 GENERALIDADES DEL CONTROL

Un controlador automático es el encargado de comparar el valor de la salida de una planta con un valor de referencia o setpoint (valor deseado de trabajo), luego de lo cual determina el error existente y produce una señal de control correctiva, la cual reducirá el error a un valor muy cercano a cero o a cero de ser posible. Para realizar todo el proceso de control de una variable es necesario utilizar una acción de control, las acciones de control más conocidas son las siguientes:

- ❖ Acción de dos posiciones o intermitentes (ON / OFF)
- ❖ Acción Proporcional
- ❖ Acción Integral
- ❖ Acción Proporcional – Integral (PI)
- ❖ Acción Proporcional – Derivativa (PD)
- ❖ Acción Proporcional – Integral – Derivativa (PID)

La figura 3.1 muestra un diagrama de bloques de un Sistema de Control Industrial en el cual se tienen un controlador automático, un actuador, la planta y un sensor o elemento de medición (transmisor si nos entrega la señal normalizada).

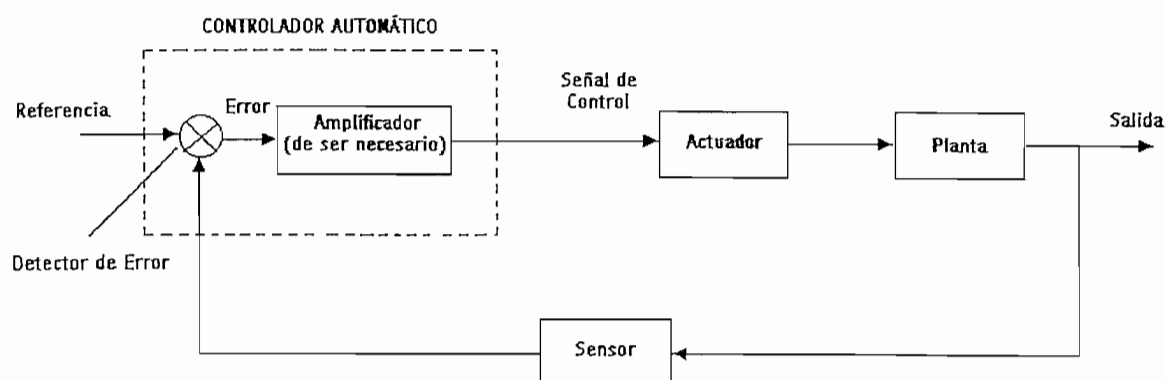


Fig. 3.1 Diagrama de Bloques de un Sistema de Control

El controlador tiene la función de detectar la señales del sensor y señal de referencia y con ellas obtener una señal de error (que en ocasiones necesita ser amplificada), con la señal de error se aplica una acción de control y entrega una señal corregida al actuador, quien actúa directamente sobre la planta.

ACCIÓN PROPORCIONAL

Al presentarse una perturbación en la planta, se tiene un error en el controlador, la acción proporcional provee una "fuerza" de restauración linealmente proporcional al error que se trata de minimizar. Es la ganancia proporcional K_p la encargada de realizar esta acción. Si ésta ganancia es muy baja, la fuerza de restauración hará muy lenta o suave la respuesta, es decir podemos controlar la **rapidez** del sistema. Si la ganancia es muy alta, el sistema podría **saturarse**, la respuesta podría tener un **sobreimpulso** o tener una respuesta **oscilatoria**. Por lo que se debe procurar un valor de ganancia medio. La acción proporcional nunca eliminará el error en estado estable, conocido también con el nombre de **offset** o desplazamiento.

ACCIÓN INTEGRAL

Es implementada mediante la introducción de un integrador. La acción integral **elimina el error** en estado estable u **offset**, y aunque un valor alto de la ganancia integral provee una rápida compensación, puede conducir a una respuesta oscilatoria de amplitud decreciente lenta o, incluso, de amplitud creciente, en ambos casos inconveniente. Razón por la cual, y debido a que la acción integral crece linealmente con el tiempo, su ganancia debe ser ajustada a un valor mínimo que satisfaga las condiciones mínimas de sobreimpulso, tiempo de establecimiento, y para que la respuesta no sea muy oscilante.

La relación entre la salida del controlador $u(t)$ y la señal de error $e(t)$ es:

$$u(t) = K_i \int e(t) dt \quad Ec.29$$

ACCIÓN DERIVATIVA

Este tipo de control tiene el efecto de incrementar la estabilidad del sistema, es decir, reduce el sobreimpulso y las oscilaciones de la respuesta transitoria.

Una ventaja de usar la acción derivativa es que responde a la velocidad del cambio del error y produce una corrección significativa antes de que la magnitud del error se vuelva demasiado grande. Por tanto, ésta acción de control prevé el error, inicia una acción correctiva oportuna y tiende a aumentar la estabilidad del sistema. Esta habilidad de predicción es posible porque la respuesta es determinada por la reacción del sistema en un rango de tiempo.

Debido a que el control derivativo opera sobre la velocidad de cambio del error, y no sobre el error mismo, esta acción no se usa sola. Siempre se emplea junto con una acción proporcional o proporcional–integral.

La relación entre la salida del controlador $u(t)$ y la señal de error $e(t)$ es:

$$u(t) = K_a \frac{de(t)}{dt} \quad Ec.30$$

ACCIÓN PROPORCIONAL–INTEGRAL–DERIVATIVA

Los efectos de cada una de éstas están resumidos en la tabla 3.1.

Acción de Control	Sobreimpulso	Tiempo de Establecimiento	Error en Estado Estable
Proporcional	Aumenta	Pequeño cambio	Disminuye
Integral	Aumenta	Aumenta	Elimina
Derivativa	Disminuye	Disminuye	Pequeño cambio

Tabla 3.1

Nótese que estas características pueden cambiar, ya que las acciones de control son dependientes una de otra, de hecho, cambiando una de las ganancias puede cambiar el efecto de las otras dos. Por esta razón, la tabla debería usarse solamente como una referencia para determinar los valores de las ganancias.

Algunos sistemas de control pueden trabajar bien solo con un controlador tipo Proporcional P o Proporcional–Integral PI. Para mantener la consistencia y superar el retardo de tiempo inherente en un control a tiempo real, se necesita un sistema sofisticado que tenga la habilidad de predecir. Esto se consigue añadiendo la acción derivativa al lazo Proporcional–Integral PI, formándose de ésta manera el control Proporcional–Integral–Derivativo PID, tal como se indica en la figura 3.2.

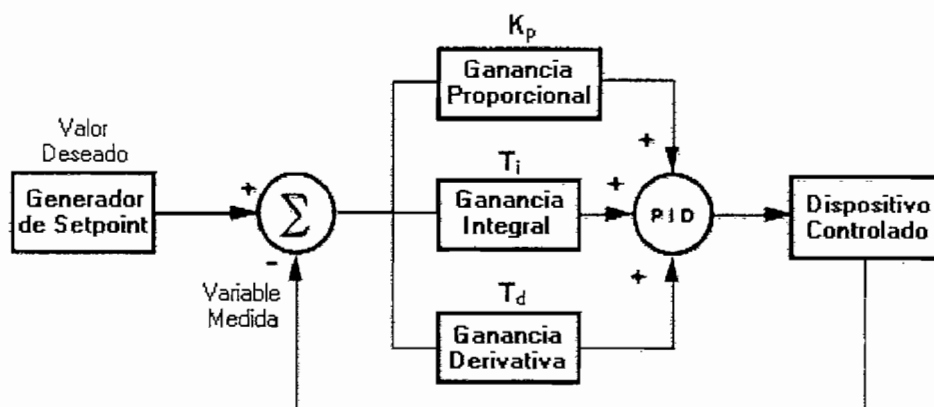


Fig. 3.2 Diagrama de Bloques PID

De todo esto, la acción Proporcional–Integral–Derivativa, está descrita por la siguiente ecuación:

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad \text{Ec.31}$$

El controlador PID en un sistema de lazo cerrado trabaja de la siguiente manera: el error e , que es la diferencia entre el valor deseado (setpoint) representado por R y el valor medido de la variable a controlar Y , se la envía al controlador PID el cual calcula la integral y la derivada de éste error. La señal u del controlador es ahora igual a la magnitud del error multiplicado por la ganancia proporcional más, la integral del error multiplicada por la ganancia integral más, la derivada del error multiplicada por la ganancia derivativa.

Ésta señal u es enviada a la planta, y una nueva señal de salida Y se obtendrá, la misma que será enviada de vuelta al sensor para encontrar la nueva señal de

error e . El controlador toma esta nueva señal y calcula su integral y su derivada otra vez, repitiéndose sucesivamente el procedimiento descrito.

La figura 3.3 muestra los tipos de control discutidos y la respuesta relativa que se espera. El control proporcional tiene una respuesta lenta. El control proporcional–integral es un poco más rápido pero presenta oscilaciones alrededor del valor de setpoint deseado hasta alcanzar estabilizarse. El control proporcional–integral–derivativo es el más rápido y tiene la habilidad de estabilizarse rápidamente en el valor deseado de setpoint.

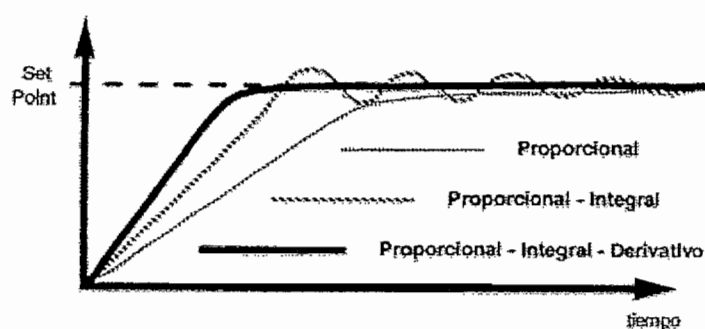


Fig. 3.3 Comparación Controles: P – PI – PID

La calibración de un controlador PID es muy difícil y consume mucho tiempo, debido a que los tres parámetros interactúan entre sí, procurando conseguir el mejor ajuste posible de acuerdo a las especificaciones de diseño del sistema.

3.1.1 ACCIÓN DE CONTROL PROPORCIONAL

3.1.1.1 Introducción

El control proporcional se basa en la señal de error $e(t)$ y la señal de salida del controlador $u(t)$, y su relación es la siguiente:

$$u(t) = K_p \cdot e(t) \quad Ec.32$$

Su equivalente en transformadas de Laplace:

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p \quad Ec.33$$

Donde K_p es la ganancia del controlador y se la denomina Ganancia Proporcional. Con lo cual la función de transferencia del control proporcional es:

$$G_c(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = K_p \quad \text{Ec.34}$$

Para algunos controladores, la acción proporcional es ajustada por medio del ajuste de ganancia, mientras que para otros se usa una "**banda proporcional**". Ambos tienen los mismos propósitos y efectos.

3.1.1.2 Control Proporcional con Ajuste de Ganancia

El controlador proporcional trabaja como un amplificador con ganancia ajustable, donde el K_p proporciona la ganancia y, por consiguiente, la rapidez con la que el control va a acercar el error a cero al igualar la señal de entrada al controlador con la señal de referencia, en la figura 3.4 se tiene un diagrama de bloques de un control proporcional.

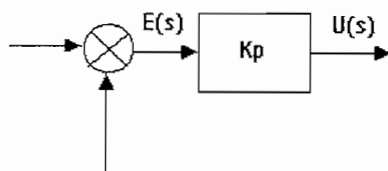


Fig. 3.4 Diagrama de Bloques, Control Proporcional

Cuanto mayor es la ganancia del control proporcional, mayor es la señal de control generada para un mismo valor de señal de error. De este modo, se puede decir que para una señal de control determinada cuanto mayor sea la ganancia, menor es la señal de error actuante.

Por lo que tener una señal de error diferente de cero es para obtener una señal de control diferente de cero, así:

$$e(t) = 0 \Rightarrow u(t) = 0; \quad e(t) \neq 0 \Rightarrow u(t) \neq 0 \quad \text{Ec.35}$$

Para poder eliminar un error estacionario es necesario que la función de transferencia de lazo abierto contenga algún elemento integrador (polo en $s = 0$), siendo el sistema estable, y el control proporcional no añade al sistema ningún

elemento integrador. Este hecho permite llegar a una conclusión importante del control proporcional, "el control proporcional no permite eliminar el error estacionario".

La respuesta proporcional es la base de los tres modos de control (proporcional, derivativo e integral), si los otros dos, acción integral 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.

3.1.1.3 Control Proporcional con Banda Proporcional

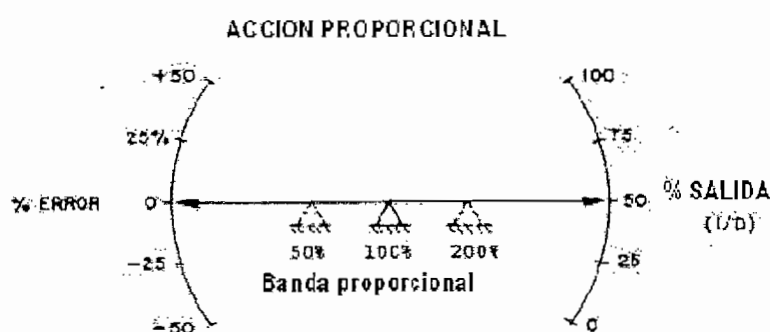


Fig. 3.5 Respuesta Controlador proporcional

La figura 3.5 ilustra la respuesta de un controlador proporcional por medio de un indicador de entrada/salida pivotando en una de estas posiciones. Con el pivó en el centro entre la entrada y la salida dentro del gráfico, un cambio del 100% en la medición es requerido para obtener un 100% de cambio en la salida, o un desplazamiento completo de la válvula. Un controlador ajustado para responder de ésta manera se dice que tiene una banda proporcional del 100%. Cuando el pivó es hacia la mano derecha, la medición de la entrada debería tener un cambio del 200% para poder obtener un cambio de salida completo desde el 0% al 100%, esto es una banda proporcional del 200%. Finalmente, si el pivó estuviera en la posición de la mano izquierda y si la medición se moviera sólo cerca del 50% de la escala, la salida cambiaría 100% en la escala. Esto es un valor de banda proporcional del 50%. Por lo tanto, cuanto más chica sea la banda proporcional, menor será la cantidad que la medición debe cambiar para el mismo tamaño de

cambio en la medición; o, en otras palabras, menor banda proporcional implica mayor cambio de salida para el mismo tamaño de medición. Esta misma relación está representada por la figura 3.6.

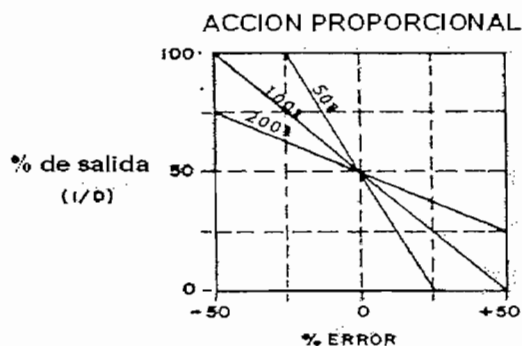


Fig. 3.6 Relación %Salida - %Error

Este gráfico muestra cómo la salida del controlador responderá a medida que la medición se desvía del valor de consigna. Cada línea sobre el gráfico representa un ajuste particular de la banda proporcional. Dos propiedades básicas del control proporcional pueden ser observadas a partir de éste gráfico:

- ❖ Por cada valor de la banda proporcional toda vez que la medición se iguala al valor de consigna, la salida es del 50%.
- ❖ Cada valor de la banda proporcional define una relación única entre la medición y la salida. Por cada valor de medición existe un valor específico de salida.

Por ejemplo, usando una línea de banda proporcional del 100%, cuando la medición está 25% por encima del valor de consigna, la salida del controlador deberá ser del 25%. La salida del controlador puede ser del 25% sólo si la medición está 25% por encima del valor de consigna. De la misma manera, cuando la salida del controlador es del 25%, la medición será del 25% por encima del valor de consigna. En otras palabras, existe un valor específico de salida por cada valor de medición.

Para cualquier lazo de control de proceso sólo un valor de la banda proporcional es el mejor. A medida que la banda proporcional es reducida, la respuesta del

controlador a cualquier cambio en la medición se hace mayor. En algún punto dependiendo de la característica de cada proceso particular, la respuesta en el controlador será lo suficientemente grande como para controlar que la variable medida retome nuevamente en dirección opuesta a tal punto de causar un ciclo constante de la medición. Este valor de banda proporcional, conocido como la última banda proporcional, es un límite en el ajuste del controlador para dicho lazo. Por otro lado, si se usa una banda proporcional muy ancha, la respuesta del controlador a cualquier cambio en la medición será muy pequeña y la medición no será controlada en la forma suficientemente ajustada. La determinación del valor correcto de banda proporcional para cualquier aplicación es parte del procedimiento de ajuste para dicho lazo. El ajuste correcto de la banda proporcional puede ser observado en la respuesta de la medición a una alteración.

Idealmente, la banda proporcional correcta producirá una amortiguación de amplitud de cuarto de ciclo en cada ciclo, en el cual cada medio ciclo es la mitad de la amplitud de del medio ciclo previo. La banda proporcional que causará una amortiguación de onda de un cuarto de ciclo será menor, y por lo tanto alcanzará un control mas ajustado sobre la variable medida, a medida que el tiempo muerto en el proceso decrece y la capacidad se incrementa.

3.1.1.4 Control Proporcional Implementado en la Aplicación

Visto todo lo anterior, en la aplicación se la ha realizado con un control proporcional con ajuste de ganancia K_p , este control tiene la ventaja principal que para funcionar necesita un solo parámetro de ajuste que es el K_p y es relativamente sencillo obtener este parámetro haciendo pruebas de campo sin necesidad de obtener una función de transferencia de la planta, sin embargo adolece de una desventaja; este control opera con una desviación, que no es más que un error de posición. A esta desviación se la puede disminuir incrementando el parámetro K_p pero el control se vuelve más oscilatorio mientras más grande sea esta constante hasta llegar a un punto en el cual ya no existe atenuación de la oscilación y se convierte en un control oscilatorio puro. En la figura 3.7 se

muestran dos curvas de respuesta que corresponden a dos diferentes valores de K_p y se puede apreciar lo dicho anteriormente.

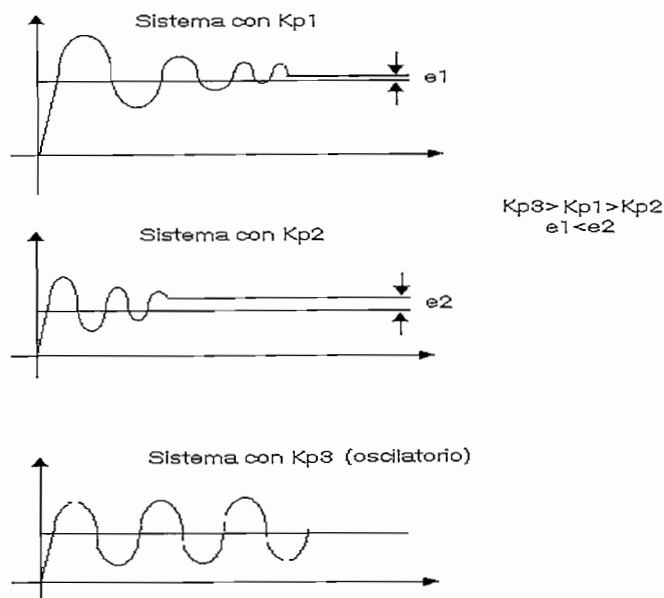


Fig. 3.7 Comparación entre valores de K_p

La ecuación utilizada en el control de la aplicación es la siguiente:

$$u_{(t)} = \bar{u} + K_p \cdot e_{(t)} \quad Ec.36$$

$$u_{(t)} = \bar{u} + K_p \cdot (r_{(t)} - c_{(t)}) \quad Ec.37$$

Donde:

$u_{(t)}$ Es la salida del controlador

$r_{(t)}$ Es el punto de control deseado o requerido

$c_{(t)}$ Variable a controlar, esta señal es la que llega del transmisor.

$e_{(t)}$ Es la señal de error, es la diferencia entre el punto de control y la variable que se controla.

K_p Ganancia del controlador

\bar{u} Es un valor base. El significado de este valor es la salida del controlador cuando el error es cero; este valor en la aplicación se ha fijado con el mismo valor del setpoint.

3.2 INTOUCH COMO HERRAMIENTA DE CONTROL

3.2.1 GENERALIDADES ACERCA DE INTOUCH 7.1

Intouch, es una aplicación dentro del paquete computacional denominado Wonderware® FactorySuite 2000 V 7.1, que soporta sistemas operativos como Windows 95 o superior y Windows NT 4.0 SP4 o superiores.

Intouch es una Interfaz de Usuario Gráfica para plantas industriales y procesamiento de datos. Permite realizar la visualización gráfica y el control de un proceso determinado, y mediante animaciones puede dar una mejor idea de lo que realmente está ocurriendo en el proceso industrial.

InTouch adquiere, muestra y guarda datos de un proceso y los presenta al operador, confiablemente, en un formato fácil de usar, los criterios de control están bajo el esquema del diseñador de la aplicación, de tal manera, que el diseño puede ser simple o puede ser extremadamente complejo.

Intouch es una poderosa Interfaz Hombre Máquina (HMI) que toma datos de dispositivos de campo (PLC's, sensores, etc.) y los muestra de modo que sea útil a un operador. Diseñado para ser la herramienta de desarrollo y aplicación de ambientes industriales. Intouch es poderoso, simple de usar, una vez que se entiendan los conceptos básicos.

Permite hacer el control de procesos industriales, mediante un PLC, el cual puede ser comandado desde el computador, mediante una aplicación que facilita la comunicación entre el PLC y el computador, a través de programas llamados I/O Servers los cuales dependen de la marca y el modelo del PLC que se desee usar.

Intouch es un programa para control y visualización, que permite trabajar y controlar señales tanto digitales como analógicas; estas señales pueden ser de intercambio de datos con un controlador externo o pueden ser de intercambio de datos internos del Intouch. A cada una de estas señales se debe asignar un Tag que será el mismo para toda la aplicación.

3.2.2 INICIALIZACIÓN DE INTOUCH

Al iniciar Intouch aparece la ventana Application Manager que es donde se puede crear aplicaciones y ver aquellas que ya han sido creadas. Para crear una nueva aplicación, se siguen los siguientes pasos:

- ❖ En el menú File, se da click en *New*, o un click en el icono *New* en la barra de herramientas. Aparece la ventana Create New Application.

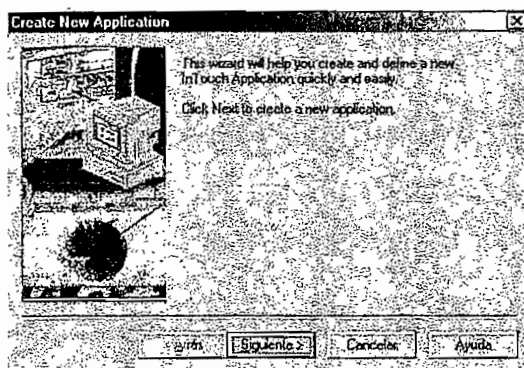


Fig. 3.8 Creación de una nueva Aplicación

- ❖ Dar click en *Siguiente* y aparece una segunda ventana Create New Application. Por default, el sistema mostrará la ruta del directorio de Intouch seguido de "NewApp".

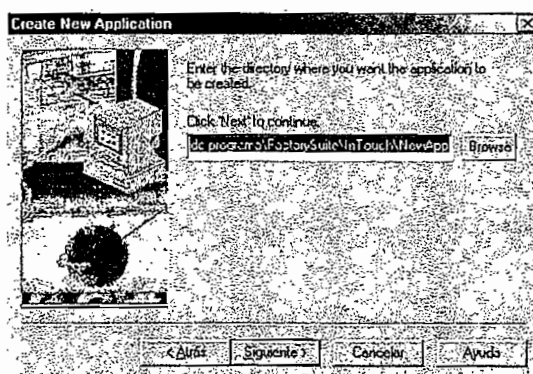


Fig. 3.9 Ingreso del Directorio de Trabajo

- ❖ En el cuadro de entrada ingrese la ruta en la cual quiera que su aplicación sea creada, o de click en *Browse* para localizar un directorio.

- ❖ De click en *Siguiente*. Si un directorio no existe, un cuadro de diálogo le preguntará si quiere crearlo, de click en *OK*. Una tercera ventana Create New Application aparecerá.

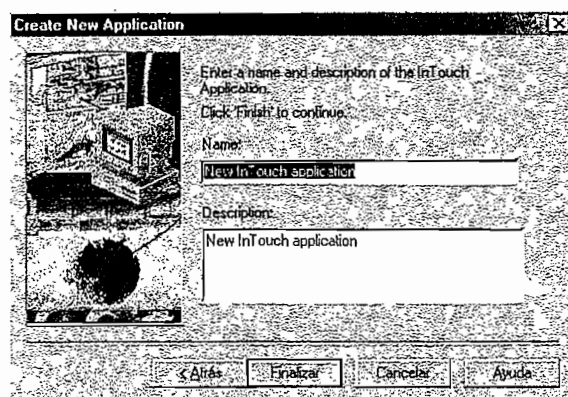


Fig. 3.10 Ingreso del Nombre de la Aplicación

- ❖ En el cuadro *Name*, ingrese el nombre para el icono de su nueva aplicación que aparece listada en la ventana Application Manager.
- ❖ En el cuadro *Description*, ingrese una descripción de la aplicación. Puede ser opcional y con una extensión máxima de 255 caracteres.
- ❖ De click en *Finish*. La ventana Application Manager aparece mostrando un icono con el nombre de la nueva aplicación creada.

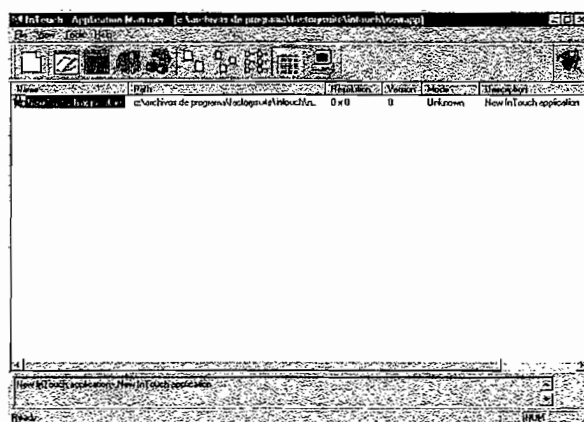


Fig. 3.11 Application Manager

Intouch incluye dos aplicaciones adicionales: *WindowMaker* y *WindowViewer*.

WindowMaker es la herramienta de desarrollo propiamente dicha, en la cual se va a realizar el diseño del proceso para visualizarlo, dar movimiento, establecer condiciones de funcionamiento, etc.

WindowViewer es la que nos permite correr el programa o aplicación elaborada en WindowMaker.

Al dar doble click en el icono recién creado, se abre en primer lugar WindowMaker.

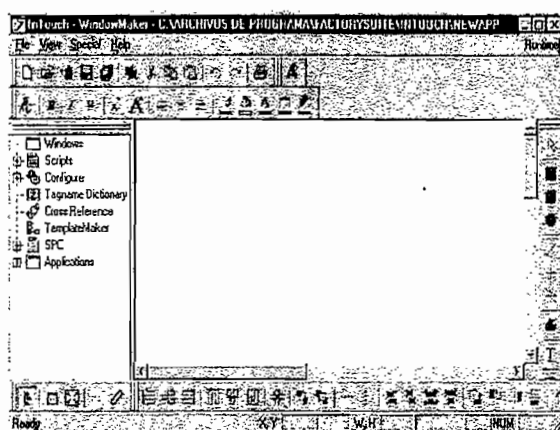


Fig. 3.12 WindowMaker

Una vez en esta ventana, se puede crear la aplicación de control deseada y luego ejecutarla y probarla con *WindowViewer*.

3.3 RSLOGIX 500 EN EL CONTROL

3.3.1 GENERALIDADES ACERCA DEL PROGRAMA RSLOGIX 500

El programa RsLogix 500 es el software de programación para los PLCs de la serie SLC500 y MicroLogix 1000 Analog como el utilizado en el módulo; con éste software y un computador se programa de acuerdo con las exigencias de control, para después descargar este programa en el PLC.

Este software presta algunas facilidades para el usuario pues tiene un ambiente Windows el cual es muy amigable para el usuario. La forma de programación de este programa es de tipo ladder o escalera, que es la más conocida y general en el campo de los PLCs.

Otra ventaja es que se puede trabajar con el PLC en línea antes de ser instalado en campo para verificar que todo este funcionando correctamente y según los requerimientos de control; cuando está en este modo de trabajo se pueden simular y cambiar de estado desde el computador a todos los bits y memorias utilizadas en el programa. Es necesario acotar que para hacer una simulación y verificación del programa es necesario tener en línea al PLC físico, pues el programa RsLogix no simula al PLC.

3.3.2 TRABAJO CON RSLOGIX 500

3.3.2.1 Ingreso al Ambiente de Programación

Para empezar a trabajar con RsLogix 500, es necesario instalar en el computador el software, conjuntamente con la licencia de uso que es exclusiva para cada máquina. Una vez instalado el programa; a continuación se dan los pasos a seguir para empezar con un programa:

- ❖ Abrir el programa RsLogix 500.

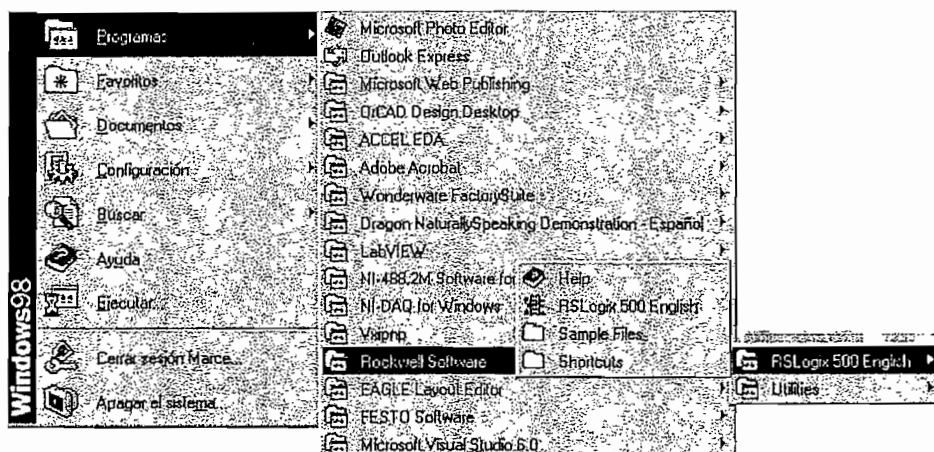


Fig. 3.13 Ingreso a RSLogix 500

- ❖ Una vez abierto el programa, hacer click en *File* y luego en *New*.

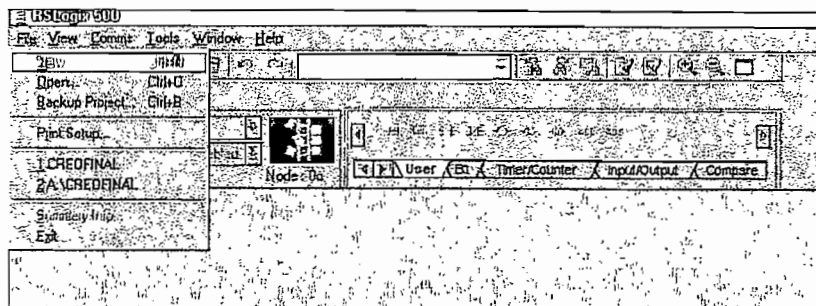


Fig. 3.14 Crear Nuevo Programa

- ❖ Al abrir un nuevo archivo sale una nueva ventana en la que hay que escoger el PLC con el cual se va a trabajar, en este caso utilizamos el MicroLogix 1000 Analog.

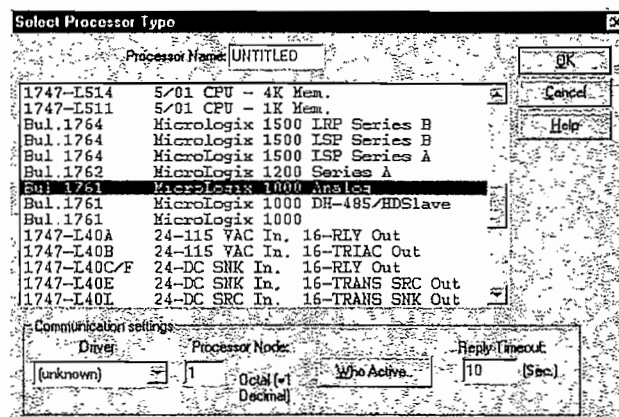


Fig. 3.15 Selección de Procesador

En la parte donde dice poner *Processor Name* se debe colocar el nombre con el cual los programas adicionales como por ejemplo el Intouch le va a identificar al PLC.

- ❖ Una vez escogido el PLC adecuado para el control está lista la pantalla principal en donde se puede empezar a programar según los requerimientos de control.

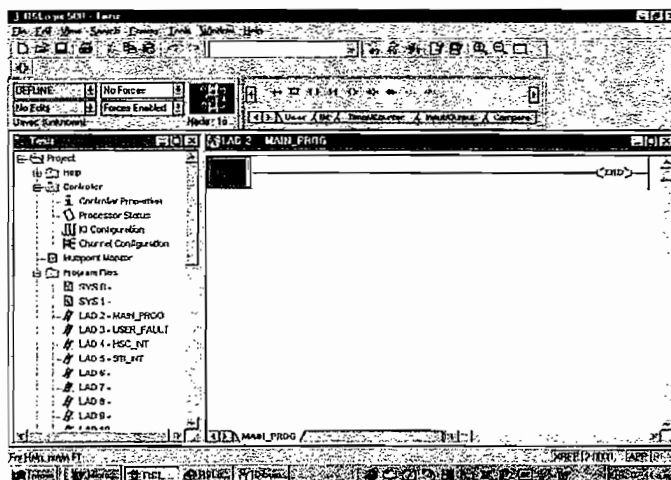


Fig. 3.16 Ambiente del RSLogix 500

3.3.2.2 Descarga del Programa y Puesta en Marcha del PLC

Una vez terminado el programa se lo debe descargar en el PLC desde el computador para lo cual se deben seguir los siguientes pasos:

- ❖ Conectar el cable de comunicación serial entre el PLC y el computador.
- ❖ Para descargar el programa, ir al menú *Comms* y dentro de éste, dar clic sobre *Download...*

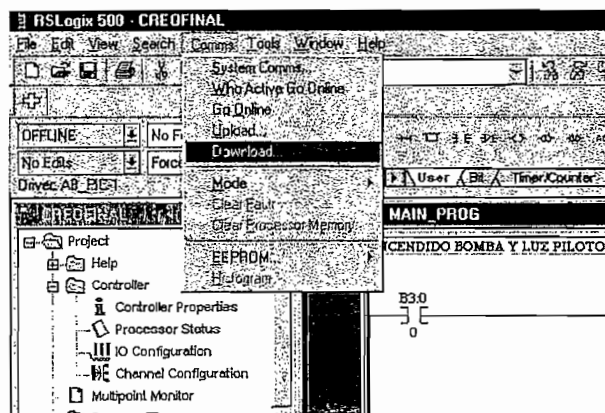


Fig. 3.17 Descarga del Programa

En este momento el programa RSLinx se inicializa, el mismo que permite establecer la comunicación entre el PLC y el computador.

- ❖ Hacer click en *Aceptar* en la siguiente pantalla:

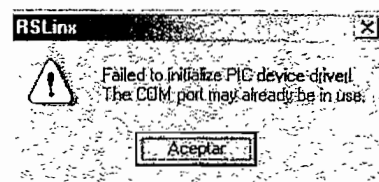


Fig. 3.18 Inicio de la Descarga

- ❖ Hacer click en *Sí* en las siguientes pantallas:

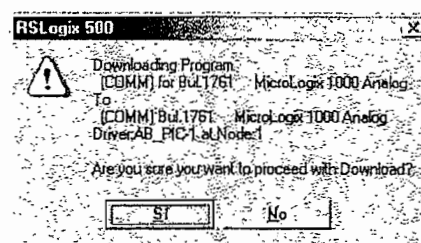


Fig. 3.19 Confirmación de la Descarga

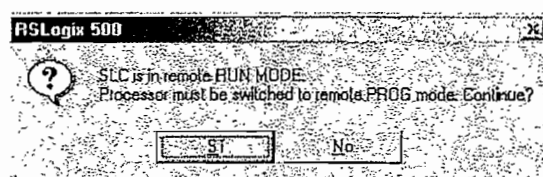


Fig. 3.20 Cambio a Modo PROG

- ❖ Se debe esperar a que el programa termine de ser descargado...

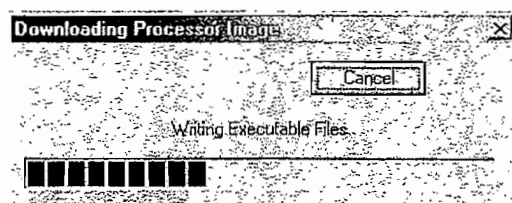


Fig. 3.21 Descargando

- ❖ Dar un clic en *Sí* ya que esto permitirá que el programa descargado corra en el PLC.

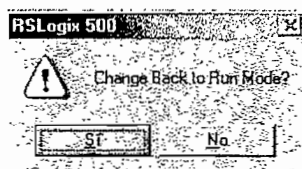


Fig. 3.22 Cambio a Modo RUN

- ❖ Dar un clic en *No* ya que no queremos comunicar el PLC con el RsLogix.



Fig. 3.23 Comunicación PLC – RSLogix Terminada

- ❖ Dar un clic sobre el icono señalado con una flecha.

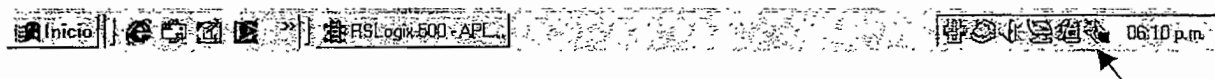


Fig. 3.24 RSLinx en la Barra de Estado

- ❖ Cerrar el programa RSLinx dando un clic en la opción *Exit and Shutdown*. Responder *Sí*.

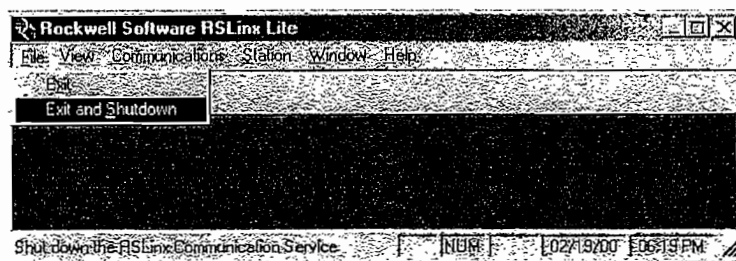


Fig. 3.25 Cerrando el RSLinx

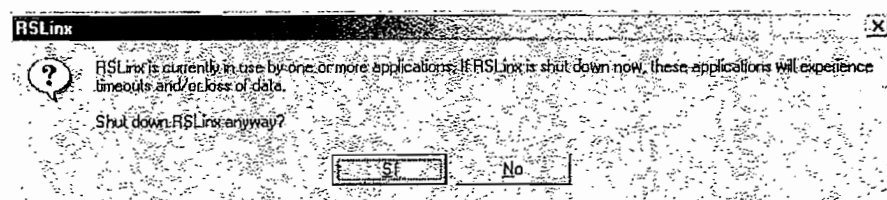


Fig. 3.26 Confirmación de Cierre

- ❖ Una vez terminados todos los pasos anteriores, el PLC estará listo para trabajar independientemente haciendo el control de la aplicación.

- ❖ Es muy importante realizar estos últimos pasos, ya que de otra forma, al mantener abierto el canal de comunicación entre el PLC y su software de programación RSLogix, a través del software de comunicación RSLinx, no se podrá establecer una comunicación entre el PLC y el Intouch, que es lo que necesitamos para nuestros fines didácticos y de control.

CAPÍTULO IV

CONTROL DE LA PRESIÓN DE UN TANQUE DE AGUA UTILIZANDO COMPENSACIÓN NEUMÁTICA

4.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA APLICACIÓN

4.1.1 PARTES CONSTITUTIVAS DE LA APLICACIÓN

En este capítulo, se describe en detalle la aplicación realizada utilizando el Módulo Didáctico de Control de Presión, la misma que trata acerca del control de presión de un tanque de agua, utilizando compensación neumática. El control realizado por el módulo, hará que la presión interna en el tanque permanezca constante, y por consiguiente, el caudal de salida de agua también lo sea, mientras exista el suficiente volumen de agua en el tanque.

La aplicación consta de tres partes fundamentales que son:

❖ El sistema a controlar

El sistema que se va a controlar, está compuesto por: un tanque de presión para agua, una bomba elevadora monofásica con la cual ingresa el agua al tanque, y la tubería con sus accesorios necesarios, para hacer una correcta distribución y manejo del agua a presión. Se debe mencionar a la electroválvula como un elemento auxiliar de control, vista en la figura 4.1.

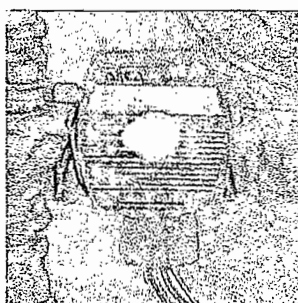


Fig. 4.1 Electroválvula para la Aplicación

En la figura 4.2, se puede ver el sistema a controlar completamente integrado y listo para trabajar.

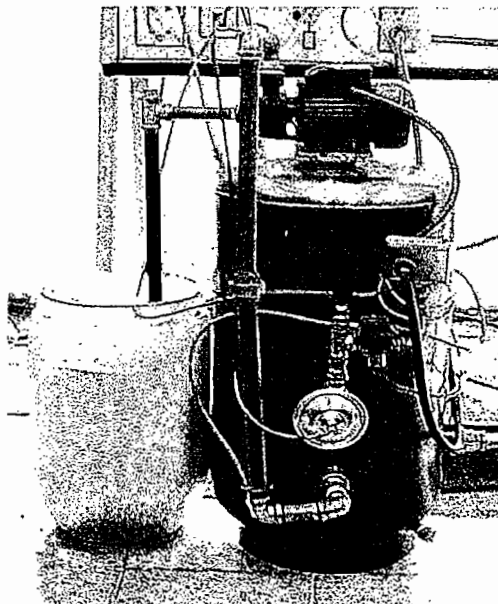


Fig. 4.2 Sistema a Controlar

❖ **Módulo de Control de Presión**

Es el módulo construido con fines didácticos, por medio del cual, se hace el control del sistema implementado. La descripción completa de éste y sus partes, constan en el Capítulo II de este Proyecto de Titulación, por lo que se obviará el detalle de esta parte.

❖ **HMI implementado**

Es el HMI (Interfaz Hombre Máquina) que es desarrollado con el programa Intouch, esta interfaz sirve para controlar la planta desde el computador, el mismo que consta de pantallas ilustrativas y fáciles de operar por un usuario.

En la figura 4.3, se puede observar una de las pantallas del HMI de la aplicación, instalado en el computador.

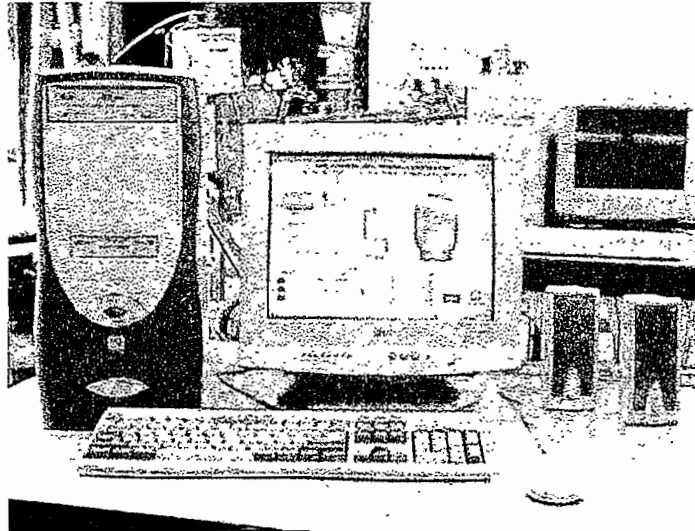


Fig. 4.3 El PC con una de las Pantallas del HMI

El HMI, a más de permitir visualizar y enviar señales de control hacia el PLC, también hace el control propiamente dicho. El PLC MicroLogix 1000 Analog presenta limitaciones al emplear decimales, por lo que el control es efectuado a través del Intouch, que es una herramienta sumamente versátil que no presenta restricciones al trabajar con señales analógicas. Por este motivo, la ecuación del control proporcional se la procesa dentro del Intouch y no en éste PLC.

4.1.2 FUNCIONAMIENTO DE LA APLICACIÓN

La aplicación consiste en controlar la presión al interior de un tanque con agua, de la siguiente manera: cuando el tanque de agua esta vacío y listo para funcionar, desde el computador y por intermedio del HMI se da una señal de inicio del proceso, con lo cual, la bomba de agua se prende por un determinado tiempo y empieza a llenar de agua el tanque, al mismo tiempo, para asegurar que el tanque no inicie con ninguna presión, se abre la electroválvula por donde escapa el aire, que es desplazado por el agua. Una vez concluido el tiempo de llenado de agua, la bomba se apaga y la electroválvula se cierra, dejando al sistema listo para introducir el setpoint de la presión de trabajo desde el HMI, previamente, se debe establecer el valor de la constante proporcional K_p . Una vez que se introduce el

punto de trabajo de presión deseado, automáticamente entra en funcionamiento el control, haciendo que la servoválvula se abra según los requerimientos del setpoint.

Si se desea cambiar de punto de trabajo en cualquier instante del proceso, basta con variar el valor del setpoint en el HMI, y el control otra vez actúa, abriendo o cerrando la servoválvula según el requerimiento. Si el nuevo setpoint es menor que el anterior, se da la orden de abrir la electroválvula para que el control tome ese valor más rápidamente, cuando llega al valor deseado, en ese instante se cierra de nuevo la electroválvula, dejando completamente el control a la servoválvula. El proceso en si concluye, cuando el tanque se queda sin agua, en este caso, se deja escapar el aire presurizado al interior del tanque, y así reiniciar una nueva secuencia de operación, que se inicia con la carga de agua.

En este proceso se utilizan tres salidas digitales, una entrada analógica de corriente, y una salida analógica de voltaje del PLC, todas estas señales son conectadas desde el panel frontal del módulo, ya que las conexiones al PLC son internas y ya han sido hechas.

El PLC maneja las tres salidas digitales, de la siguiente forma: la **primera**, a través de un contacto normalmente abierto conectado en serie con la fase, enciende la bomba, la **segunda**, controla la electroválvula de la misma manera y, la **tercera**, a través de una luz piloto, da una indicación visual del estado de la bomba (prendida o apagada).

La entrada analógica de corriente se la utiliza para recibir la señal proveniente del transmisor de presión, y es la señal que da el estado de presión actual del proceso. La salida analógica de voltaje controlada, incide directamente sobre el actuador, que es la servoválvula.

Existen otras señales de control, pero estas son internas del HMI, es decir no son señales para ser conectadas al módulo pues interactúan desde el HMI al PLC y viceversa, por intermedio del cable de comunicación serial; estas señales están ubicadas en el HMI como botones de mando.

4.2 CONTROL HECHO PARA LA APLICACIÓN

A continuación se da a conocer, en términos generales, el control de la aplicación mencionada, mediante el siguiente diagrama de flujo, mostrado en la figura 4.4.

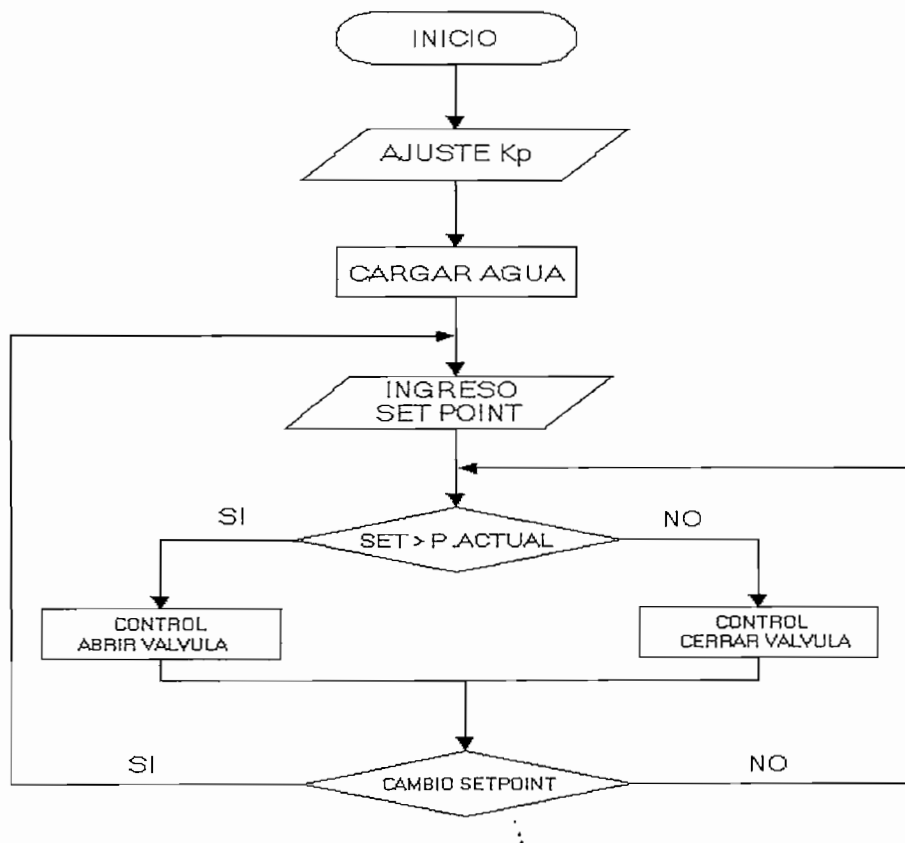


Fig. 4.4 Diagrama de Flujo General de la Aplicación

Como se ve, el control realizado se basa en la comparación de la variable medida con el punto de trabajo deseado, y en base a esto se efectúa el control proporcional para corregir el error si existiese.

Este control se lo realiza mediante el PLC Micrologix 1000 y mediante el Intouch. El PLC es quien se encarga de supervisar y administrar el proceso, también maneja las señales digitales de salida, además de dar y recibir las señales hacia la servoválvula y desde el transmisor de presión respectivamente.

El Intouch se encarga de realizar el procesamiento y las operaciones del control proporcional, teniendo en cuenta que tanto la señal de ingreso al Intouch para ser

procesada, como la señal de salida del Intouch ya procesada, están bajo la administración del PLC que es el ente central de control.

A continuación se ve detalladamente como se realiza el control tanto en el PLC como en el Intouch.

4.2.1 CONTROL REALIZADO POR EL PLC

El PLC se encarga de administrar el proceso, es decir es él quien controla lo que se debe de hacer y dejar de hacer dentro del proceso. A continuación se describe todos los procesos que realiza el PLC dentro de la aplicación.

Por intermedio del HMI se da una señal de inicio del proceso, esta señal es tomada por el PLC y con la cual se da la orden mediante una salida digital de cargar agua al tanque durante un tiempo de 40 segundos, además se activa otra salida del PLC con la cual se ordena abrir la electroválvula con el fin de que el agua que ingresa al tanque únicamente desplace al aire en el interior y no comprima al mismo. Al terminar los 40 segundos la bomba se apaga y la electroválvula se vuelve a cerrar; en este punto el sistema esta listo para recibir el punto de trabajo de presión deseado, y este valor es interno del Intouch, es decir no ingresa al PLC. El transmisor sensa la presión del proceso y envía una señal entre 4 y 20 mA al PLC para un rango entre 0 y 145 PSI, esta señal al llegar al PLC es acondicionada para un rango de trabajo entre 0 y 50 PSI que es con lo que va a funcionar la aplicación, una vez cambiado el rango de trabajo, esta señal es enviada al Intouch para el procesamiento respectivo; del Intouch regresa al PLC la señal de control que es enviada por éste hacia la servoválvula.

Además existe otra salida digital que es manejada por el PLC, esta es una luz piloto que se enciende cuando está prendida la bomba.

En el diagrama de flujo, mostrado en la figura 4.5, se ve lo explicado anteriormente.

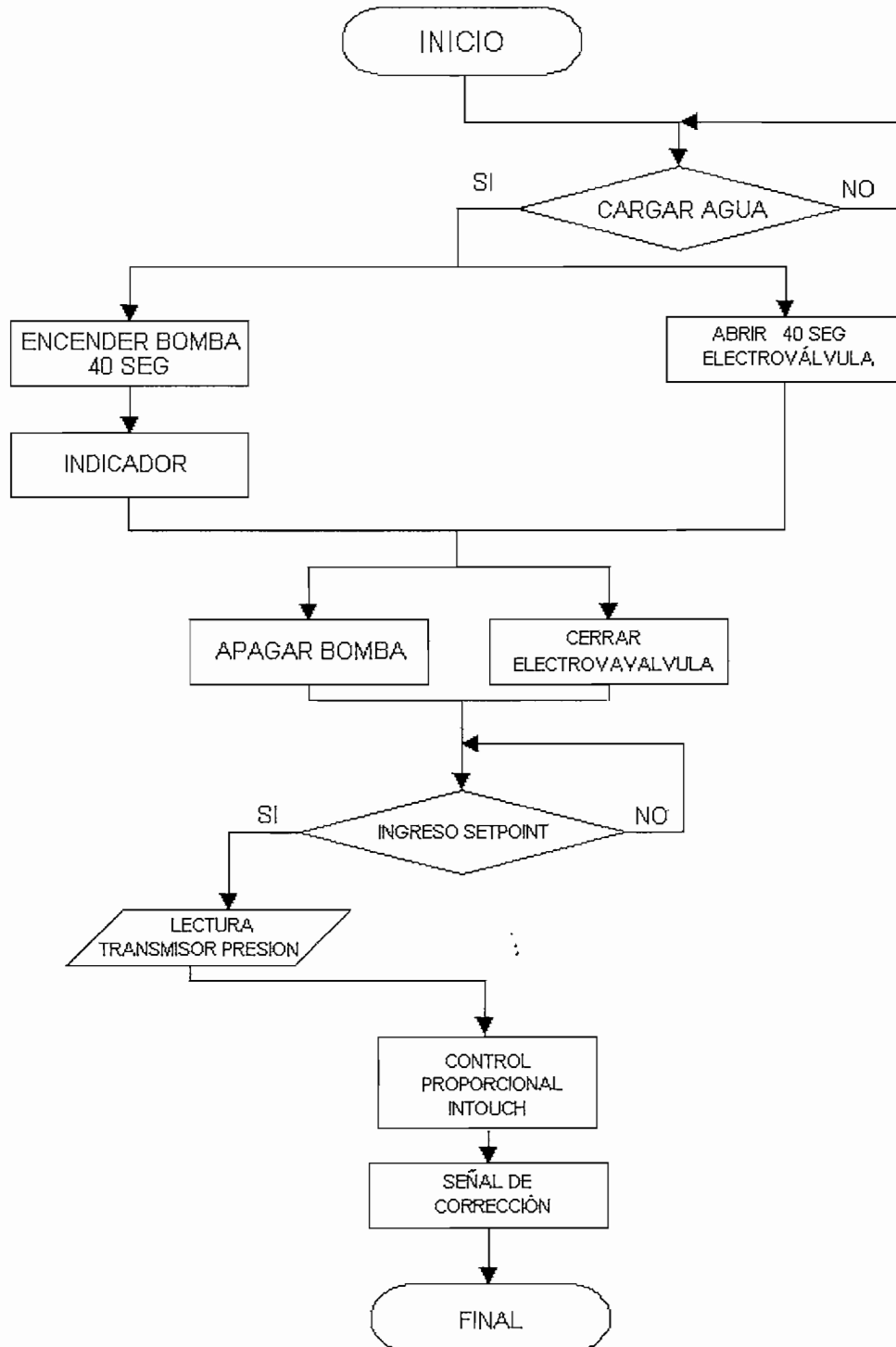


Fig. 4.5 Diagrama de Flujo. Control PLC

El programa fuente realizado para el PLC, se lo puede ver en el anexo A de este proyecto.

4.2.2 CONTROL REALIZADO POR EL INTOUCH

Como se dijo anteriormente Intouch es el encargado de procesar la señal de entrada, que llega desde el PLC ya escalada, para hacer una corrección con un control proporcional de la siguiente forma:

El transmisor de presión envía al PLC una señal entre 4 a 20 mA, el cual realiza el escalamiento y envía hacia el Intouch una señal entre 0 y 50 PSI, respectivamente, el Intouch recibe esta señal y junto con el setpoint introducido realiza el proceso de control con la ecuación siguiente:

$$u_{(t)} = \bar{u} + K_p \cdot e_{(t)} \quad Ec.36$$

$$u_{(t)} = \bar{u} + K_p \cdot (r_{(t)} - c_{(t)}) \quad Ec.37$$

Donde:

- $u(t)$ Es una señal correctiva de salida y va hacia la servoválvula .
- $r(t)$ Es el setpoint que se introduce desde Intouch y puede ser entre 0 y 50 PSI
- $c(t)$ Es la señal que llega desde el transmisor ya escalada, entre 0 y 50 PSI.
- $e(t)$ Es la señal de error, es la diferencia entre $r(t)$ y $c(t)$.
- K_p Es la ganancia del controlador y es también introducida desde el Intouch.
- \bar{u} Es un valor base. El significado de este valor es la salida del controlador cuando el error es cero; este valor en la aplicación se ha fijado con el mismo valor del setpoint.

Una vez realizado el procesamiento de las señales con la ecuación Ec.37, el Intouch envía el resultado $u(t)$ hacia el PLC, el cual se encarga de escalar la señal y enviar hacia la servoválvula una señal de control entre 0 y 10 VDC.

Todo el proceso de control realizado por el Intouch se detalla en el diagrama de flujo, mostrado en la figura 4.6.

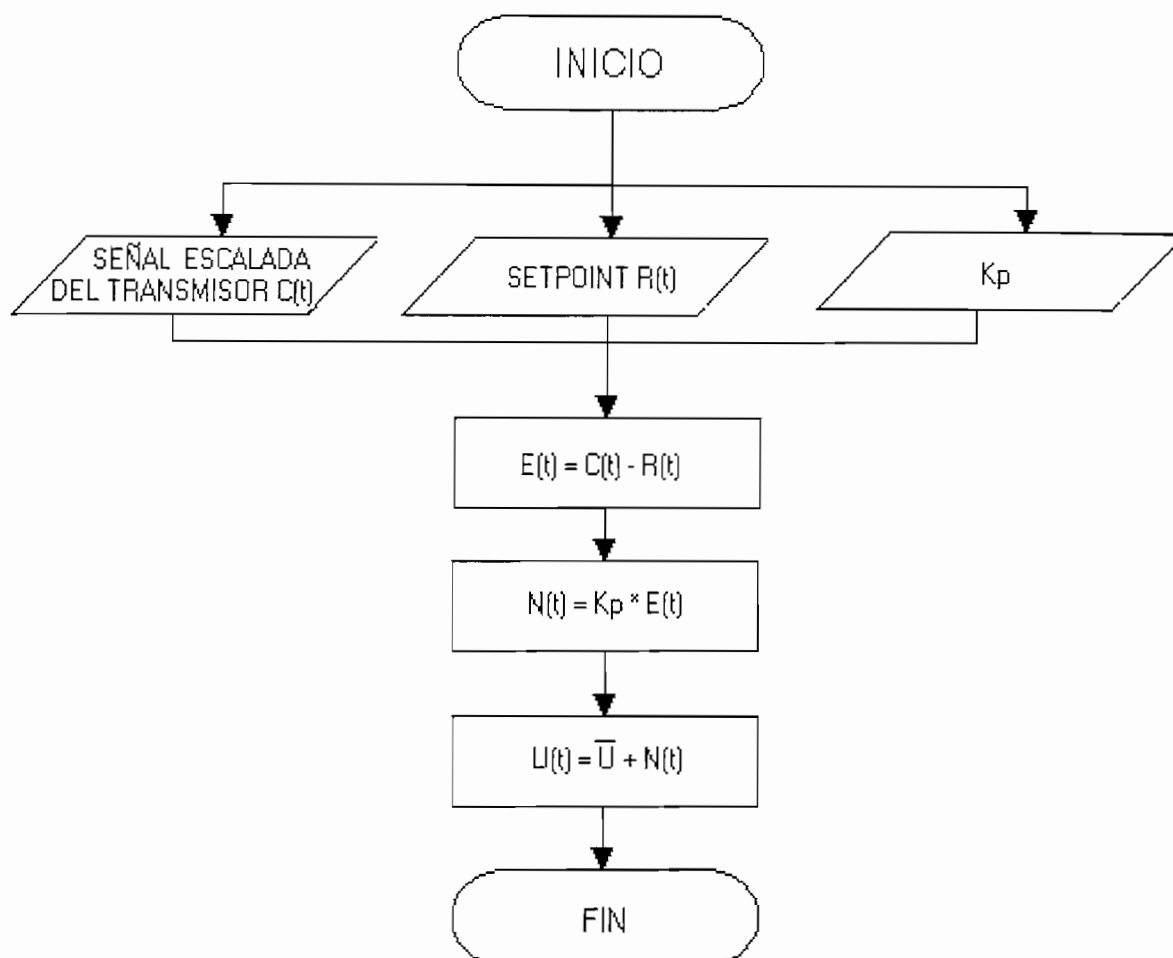


Fig. 4.6 Diagrama de Flujo. Control Intouch

El script del control, realizado en el Intouch, se lo puede ver en el anexo B de este proyecto.

Además de hacer el procesamiento de control, el Intouch también realiza algunas operaciones propias del HMI, como mandos de **encendido y paro** de procesos, siendo éstos:

- ❖ Inicio para cargar el agua al tanque.
- ❖ Abrir o cerrar la electroválvula en cualquier momento.
- ❖ Hacer que la servoválvula se cierre completamente.
- ❖ Pausar el proceso de carga de agua, cuando éste ya esté ejecutado.

4.3 INTERFAZ HOMBRE MÁQUINA HMI

4.3.1 GENERALIDADES

El Interfaz hombre máquina que en adelante se lo llama únicamente HMI, no es sino el vínculo que existe entre la persona o las personas encargadas de controlar el proceso y el proceso en si. El HMI generalmente es un entorno gráfico y muy amigable para el usuario, pues por intermedio de animaciones y dibujos, se muestra lo que está sucediendo realmente en el proceso de planta.

Existen HMI's que son solo para visualización, es decir, en los cuales se puede visualizar el comportamiento de la planta, tener datos específicos de algún proceso y otras ayudas visuales, pero no se puede hacer control, puesto que en éste no existe ningún tipo de mando para aquello.

Hay HMI's desde los cuales, además de tener la visualización también se tiene la posibilidad de hacer control, esto quiere decir que desde el HMI se pueden ingresar parámetros, hacer correcciones y dar mandos de proceso.

La tendencia de los HMI's a futuro, es hacer el control de una planta remotamente, es decir poder visualizar y ejercer el control de una planta desde una página web, es claro que para realizar éste tipo de HMI se necesitan grandes seguridades.

4.3.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL HMI REALIZADO

El HMI realizado está conformado por pantallas, en las cuales se puede obtener información acerca del módulo y de la aplicación. Permite realizar tanto visualización como control, y está compuesto por tres pantallas principales:

Pantalla Autores, presenta el título, los autores y director del proyecto.

Pantalla Manual Interactivo, es de carácter informativo y didáctico, donde se dan a conocer características de los elementos involucrados en el módulo, además en esta pantalla se ilustra y se da animación a un proceso de control de presión ideal.

Pantalla Aplicación, es la más importante pues en ella se presenta la aplicación y todos los mandos y visualizadores del proceso, además desde esta pantalla se puede ingresar a las ventanas de ingreso de parámetros y ventanas de gráficas y de históricos.

4.3.3 DESCRIPCIÓN DEL HMI POR PANTALLAS

El interfaz consta de varias ventanas, las cuales se describen a continuación:

4.3.3.1 Ventana de Autores

En esta ventana se muestran los datos del Proyecto de Titulación, y se la puede ver en la figura 4.7.

Es una ventana con animación, y el script de la realización de esta ventana se lo puede ver en el anexo B de este Proyecto de Titulación.



Fig. 4.7 Ventana de Autores

4.3.3.2 Ventana Ilustrativa del Manual Interactivo

Al presionar el botón continuar de la ventana de autores, se abrirá la ventana del manual interactivo que se puede ver en la figura 4.8, en la cual se permite conocer las características técnicas de los elementos utilizados en el módulo.

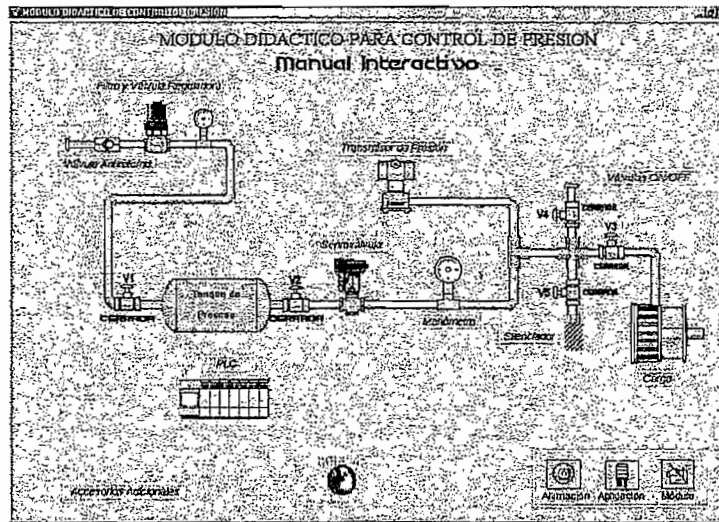


Fig. 4.8 Ventana Ilustrativa del Manual Interactivo

Para desplegar las características del elemento deseado solo basta con hacer click sobre el mismo, con lo cual se despliega un archivo tipo pdf que muestra las principales características del elemento señalado.

En la esquina inferior derecha de esta ventana existen tres botones: con el primero se le da una animación a la ventana actual y permite visualizar un proceso ideal, cuando se presiona este botón se pueden ver algunas animaciones en la pantalla como por ejemplo animación de flujo de aire y de flujo de datos, además es posible abrir y cerrar válvulas de paso como una recreación del proceso; todo lo que ocurre en esta pantalla es únicamente una recreación de un proceso ideal, y no tiene que ver en nada con lo que ocurrirá en el proceso real a controlar; el script de toda esta animación se lo puede ver en el anexo B de este proyecto de titulación.

Al presionar el segundo botón se abrirá la ventana de control de la aplicación que es la ventana más importante de este proyecto pues desde allí se hace el control

y visualización de la presión del tanque de agua pues en esta pantalla están todos los botones de mando y visualizadores de la variable a controlar.

Al presionar el último botón se mostrará la foto del Módulo de Control de Presión.

4.3.3.3 Ventana de la Aplicación

En la figura 4.9 se puede ver la ventana para control de la aplicación.

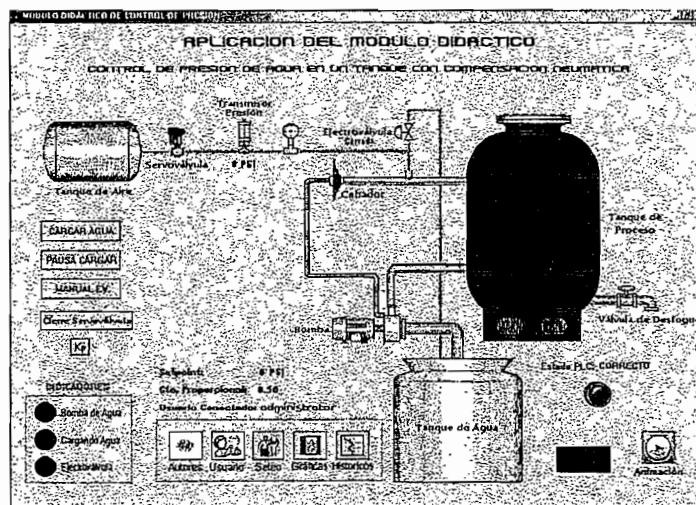


Fig. 4.9 Ventana de la Aplicación

Desde esta ventana se hace el control de la aplicación; tiene algunos botones y opciones de configuración que se describen a continuación:

Botón Cargar Agua.- Este es el botón que manda a encender la bomba para llenar con una determinada cantidad de agua el tanque. Este mando va hacia el PLC que es el encargado cerrar el contacto y de dar el tiempo de encendido de la bomba, en este caso este tiempo es de 40 segundos.

Botón Pausa Cargar.- Da una pausa en el encendido de la bomba, en el momento que se vuelve a presionar este botón, la bomba se encenderá de nuevo y terminará de cargar el agua con la cantidad que faltaba antes de presionar la pausa. Este mando va hacia el PLC.

Botón Manual EV.- Con este botón se logra encender y apagar la electroválvula en el momento que se desee, sin necesidad que la encienda o apague el control; es decir este mando es independiente de la necesidad de encendido o apagado que tenga el control, es un mando que se lo a puesto para poder maniobrar la presión interna sin necesidad de utilizar la servoválvula. Este mando va hacia el PLC.

Botón Cierre Servoválvula.- Al presionar este botón se cierra la servoválvula completamente en el momento que se desee, y al volver a presionarlo, deja nuevamente a la servoválvula bajo el control del PLC. Lo que hace este botón es dar la orden al PLC para que mande un voltaje de 0 V hacia la salida analógica y por ende a la servoválvula independientemente de los requerimientos del control.

Botón Kp.- Es el botón que permite variar la constante proporcional del control, al presionarlo, aparece una pantalla, que se muestra en la figura 4.10, en la cual se puede variar el valor de K_p de ser necesario. Este valor se queda en el Intouch, pues es él quien maneja las variables del control proporcional.

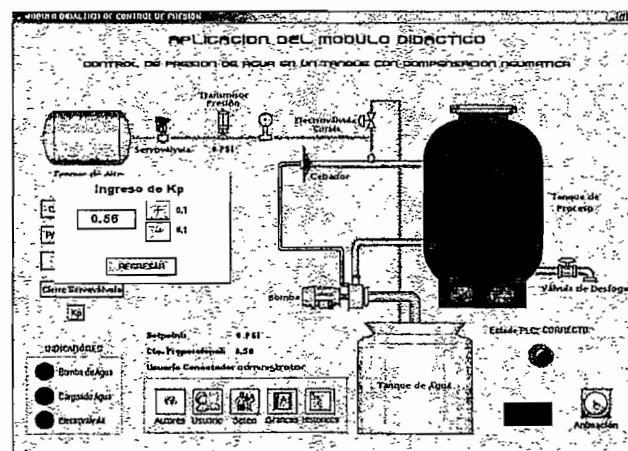


Fig. 4.10 Ingreso de la Constante Kp

Botón Autores.- Al presionar sobre esta opción, se abrirá la Ventana Autores descrita anteriormente, mostrada en la figura 4.7.

Botón Usuarios.- Da la posibilidad de ingresar a un usuario diferente el cual puede o no tener un diferente nivel de acceso. En la aplicación se han puesto tres niveles distintos de acceso para usuario, que se describen en la tabla 4.1.

USUARIO	NIVEL DE ACCESO	RESTRICCIONES
ADMINISTRATOR	9999	NO TIENE RESTRICCIONES
JEFE	7500	RESTRICCIÓN BOTÓN: Kp
NONE	0	RESTRICCIÓN BOTONES: Kp Pausa Cargar Manual EV Cierre Servoválvula

Tabla 4.1

Al hacer clic sobre el botón de Usuarios, se abre la ventana mostrada en la figura 4.11.

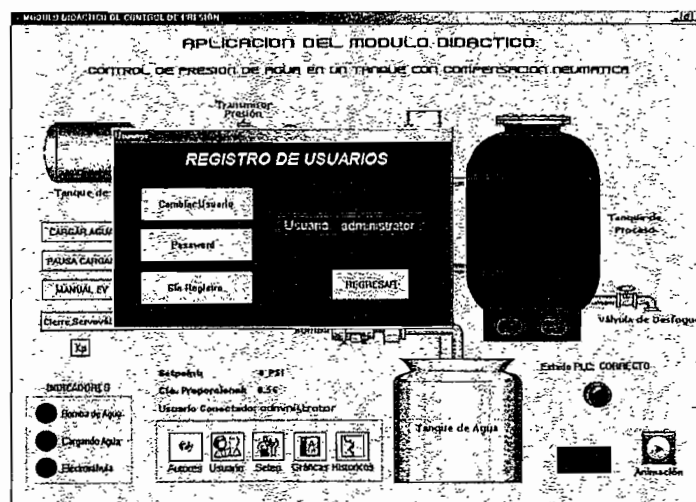


Fig. 4.11 Registro de Usuarios

En ésta ventana, el botón *Cambiar Usuario*, al ser presionado da la posibilidad de ingresar el nombre de un usuario, para lo cual, mientras se digita el nombre, se puede ver en la pantalla, una vez ingresado, pulsar ENTER. A continuación,

presionar el botón *Password*, donde se ingresa la contraseña de usuario y luego dar un ENTER. Al hacer esto correctamente, el usuario ya está ingresado, y se muestra en la parte derecha de la pantalla. Al presionar el botón *Sin Registro*, se carga al usuario *None* que tiene el nivel de acceso más bajo. Para salir de la ventana Usuarios se debe presionar el botón *REGRESAR*.

Cuando se regresa a la ventana de la aplicación, está habilitado el usuario ingresado anteriormente, con todas las restricciones descritas en la tabla 4.1.

Botón Seteo.- Permite abrir la ventana *Ingreso de Setpoint*. La ventana que se abre al hacer clic sobre este botón, se muestra a continuación, en la figura 4.12.

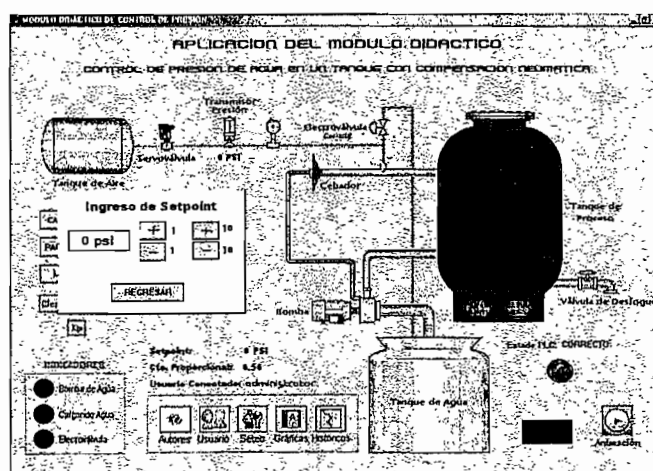


Fig. 4.12 Ingreso de Setpoint

Desde esta ventana el usuario acreditado puede ingresar y cambiar el valor del setpoint deseado. Existe un script utilizado para guardar el valor antiguo en un registro diferente al registro del setpoint, pues de lo contrario, el nuevo setpoint borra el anterior, y de ésta manera no se podría hacer la comparación para abrir o no la electroválvula.

Para regresar a la pantalla de la aplicación, basta con presionar *REGRESAR*. El script utilizado se lo puede ver en el anexo B de este proyecto de titulación.

Botón Gráficas.- Abre la ventana donde se visualizan las gráficas del proceso: setpoint, lectura del transmisor y error. Esto se lo puede ver en la figura 4.13.



Fig. 4.13 Gráficas de Presiones

Para regresar a la pantalla de la aplicación basta con presionar *REGRESAR*.

Botón Históricos.- Al hacer clic, abre la pantalla *Históricos de Presión*, que permite mirar el registro de históricos de la variable, tal como se muestra en la figura 4.14.

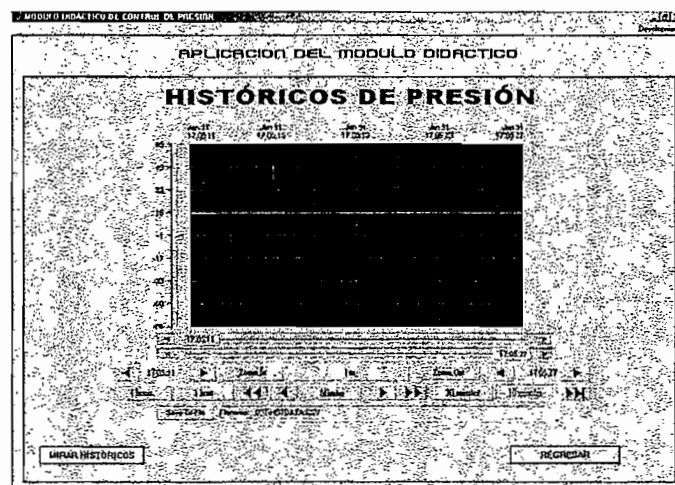


Fig. 4.14 Históricos de Presión

En esta pantalla se registran los valores que toma la variable de presión en el tiempo, tiene la opción de actualización o retroceso presionando las flechas respectivas, para hacer un Zoom se necesita seleccionar el rango adecuado moviendo los valores de escala ubicados en la parte inferior del gráfico.

Para mirar los valores de los históricos en una hoja de Excel, presionar *Save to File* y luego presionar *MIRAR HISTORICOS*.

Al presionar el botón *REGRESAR*, se volverá a la pantalla de la aplicación.

Aparte de los botones de mando y de acceso a ventanas de control y visualización, existen algunos indicadores visuales en la ventana de aplicación, que se describen a continuación y se los puede ver en la figura 4.15.

Indicador Bomba Agua.- Este indicador se enciende cuando la bomba esté encendida.

Indicador Cargando Agua.- Este indicador se enciende junto con el indicador bomba agua, e indica que está ingresando agua al tanque de presión.

Indicador Electroválvula.- Este indicador se prende cuando la electroválvula esté abierta.

Indicador Estado PLC.- Cuando cambia de verde a rojo quiere decir que el PLC a entrado en falla, verde quiere decir, un funcionamiento correcto.



Fig. 4.15 Indicadores y Estado del PLC

4.4 RESULTADOS DEL CONTROL DE LA APLICACIÓN

Después de realizar las pruebas de funcionamiento del control proporcional de la planta se obtuvieron los resultados que se muestran en la tabla 4.2. En esta tabla se dan a conocer algunos de los valores tomados y que representan el comportamiento de la planta.

Kp	Setpoint (PSI)	Lectura Transmisor (PSI)	Error %
0.4	35	29	17
	20	16	20
	10	8	20
0.5	38	33	13
	25	22	12
	8	6	25
0.6	34	33	3
	22	21	4.5
	12	11	8
0.7	30	33	9
	20	22	9
	9	10	10
>1	CUALQUIERA	SISTEMA OSCILANTE	NE

Tabla 4.2

Como se ve en la tabla 4.2, con diferentes valores de Kp se puede elevar o reducir el error de posición, también se observa que para valores bajos de presión el error es un poco desproporcional con respecto a los otros valores.

Esto tiene una razón principal, la visualización de la variable es únicamente aproximada, puesto que se lo expresa solo como números enteros, lo cual, a valores bajos de presión, conlleva a un error mayor de visualización.

De las pruebas realizadas, se concluye que para el valor de $K_p = 0.6$, los errores son los menores que se obtienen para la planta, es por eso que se trabaja con ese valor de K_p . Como es lógico, si cambian las condiciones de la planta o cambian sus componentes, el valor de K_p ideal será otro.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- ❖ La neumática es una parte muy importante en la industria moderna, ya que constituye una fuente inagotable de energía, limpia, segura y fácil de almacenar.
- ❖ Una de las formas más didácticas de aprender el funcionamiento de una planta real, es con la manipulación de las variables e interactuando con ellas para así poder establecer una forma de aprendizaje visual y muy ilustrativo de una variable, en este caso la presión.
- ❖ El Módulo Didáctico de Control de Presión ha sido diseñado, desarrollado y construido de tal manera que el estudiante pueda observar y manipular las diferentes partes que lo constituyen, con el fin de entender sus características y comportamiento para aplicarlo en cualquier proceso.
- ❖ El Módulo Didáctico de Control de Presión será un valioso e importante aporte para la Escuela Politécnica Nacional, y en particular para la implementación del laboratorio de Control de Procesos, el mismo que permitirá que generaciones futuras adquieran nuevos conocimientos y experiencias en el manejo de componentes neumáticos, como los que ofrece éste módulo.
- ❖ La posibilidad de manejar un módulo con distintos tipos de HMI, varios tipos de control y poderlo interconectar con otros módulos de características similares da a esta herramienta una característica de flexibilidad de uso muy grande.
- ❖ El control realizado por el módulo se lo puede hacer con distintos tipos de controladores y no únicamente con PLCs.
- ❖ Cuando se trabaja con señales de corriente no se corre el riesgo de tener datos erróneos por caídas de voltajes en conductores, pues la corriente se puede transmitir a distancias muy largas sin ningún tipo de pérdida.

- ❖ La servoválvula se ha diseñado y construido, tomando en cuenta los principios fundamentales y conceptos de su funcionamiento, obteniéndose un desempeño correcto de acuerdo a las exigencias y capacidad para las cuales ha sido construido el módulo.
- ❖ Intouch es una herramienta no solo para hacer un HMI, sino también para hacer control con él, pues da las facilidades de operación y manejo de las variables con una relativa facilidad.
- ❖ Se decidió hacer un control proporcional para la aplicación por ser esta simplemente una demostración del funcionamiento el módulo y no por causas técnicas de precisión o velocidad.
- ❖ En un control proporcional siempre existe un error de posición, si se desea eliminar este error es necesario hacer un control proporcional-integral (PI) o un control proporcional-integral-derivativo (PID), con lo cual se logra en el primer caso un control sin error de posición y en el segundo caso un control sin error de posición y con una respuesta muy rápida.
- ❖ La presión que existe dentro del tanque de agua, es igual para el aire como para el agua, pues las presiones de ambos se igualan y por tal motivo se puede controlar la presión del agua utilizando un colchón de aire.
- ❖ Intouch, ha constituido una herramienta importante para desarrollar la aplicación propuesta para el módulo, permitiendo la visualización, monitoreo y control del proceso descrito anteriormente, con lo cual queda visto su capacidad de comunicarse con PLC's, en nuestro caso, uno de la familia Allen-Bradley.
- ❖ Al diseñar y construir la servoválvula, se ha logrado tener un ahorro significativo en comparación con las que actualmente existen en el mercado de similares características.
- ❖ Al realizar el control de la aplicación, a bajas presiones se tiene un pequeño error adicional al existente por el tipo de control utilizado, ocasionado por un defecto de fábrica de la válvula de aguja de la servoválvula, la cual no cierra

totalmente ocasionando que se tenga un pequeño escape de aire aún cuando el control de la orden de cerrarla.

- ❖ Se tiene un módulo muy didáctico y flexible con un costo relativamente bajo, pero con todas las ventajas de la tecnología moderna, el análisis de costos de este módulo se lo puede ver en el anexo F de este proyecto de titulación.
- ❖ Se decidió hacer un control combinado (PLC e Intouch) para mostrar la flexibilidad que tiene el módulo y la conectividad que existe entre estas dos herramientas de control industrial.

5.2 RECOMENDACIONES

- ❖ Hacer todas las conexiones físicas externas al módulo estando este apagado y únicamente encenderlo cuando ya tenga el proceso a controlar armado y listo para trabajar.
- ❖ La servoválvula siempre debe estar con un voltaje de referencia aunque sea 0 V, porque sino el control de posición de ella no sabe donde ubicarse y empieza a moverse aleatoriamente. En caso de no utilizar esta servoválvula en el proceso también es necesario hacer lo indicado anteriormente.
- ❖ Hacer siempre uso de la válvula reguladora y del filtro a la entrada para evitar daños en los instrumentos de medida, válvulas y conectores.
- ❖ Hacer periódicamente un mantenimiento general del módulo, esto es limpieza de filtro de aire, revisión de conexiones eléctricas y neumáticas, chequeo de fusibles tanto del módulo, PLC y de las fuentes.
- ❖ En ningún caso exceder los límites permitidos de operación de los elementos, tanto eléctrica como neumáticamente.
- ❖ Manejar con mucho cuidado las válvulas de cierre, puesto que están fijadas a presión en el panel principal del módulo y pueden aflojarse causando el deterioro del mismo.

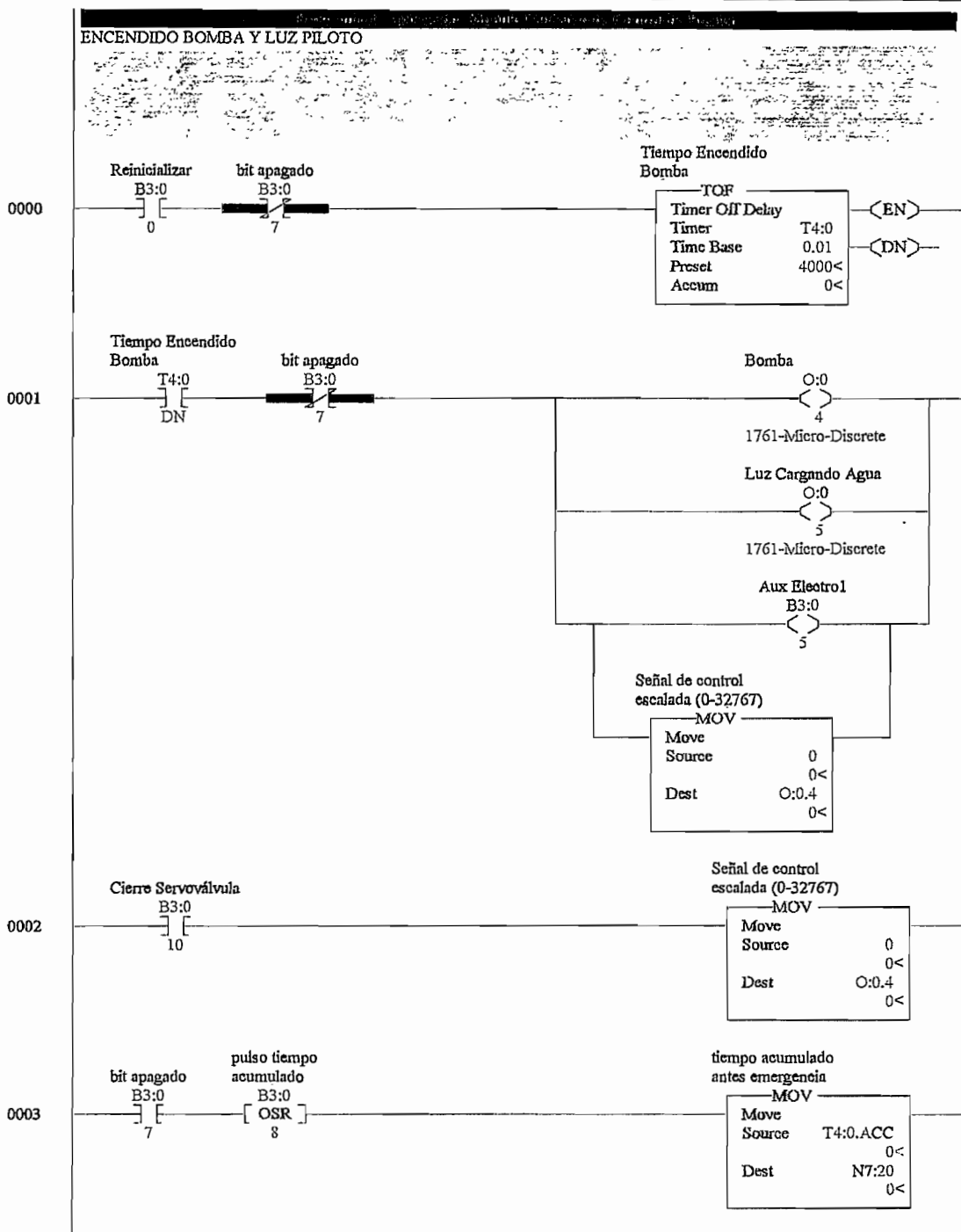
- ❖ Como una nueva aplicación para el Módulo Didáctico de Control de Presión, se recomienda desarrollar un HMI, utilizando como herramienta de control y supervisión, una página web desarrollada para este fin.

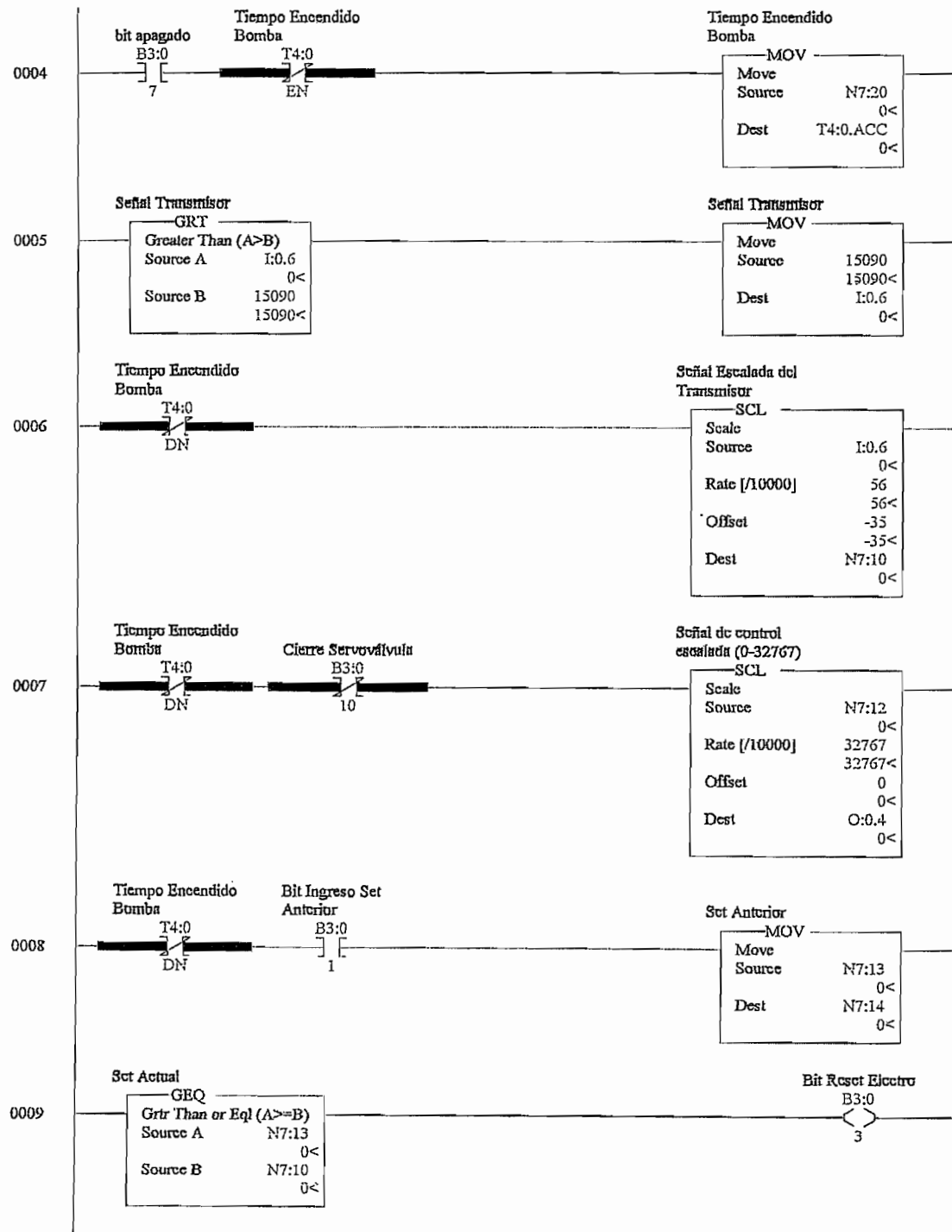
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

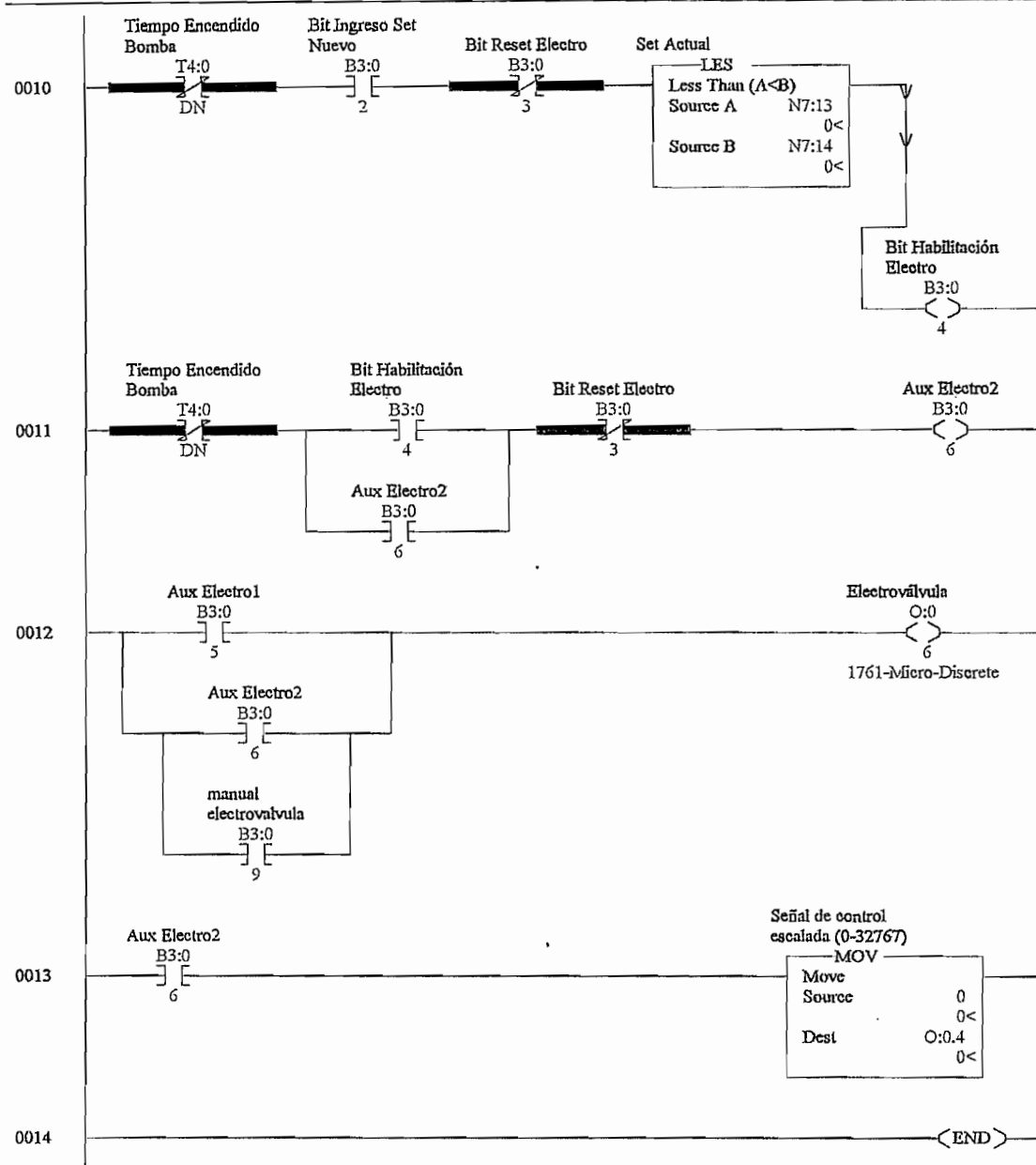
- CORRALES, Luis, Instrumentación Industrial, Escuela Politécnica Nacional, 1998.
- CREUS, Antonio, Instrumentación Industrial, 6ta. Edición.
- OGATA, Katsuhito, Ingeniería de Control Moderna, 3ra. Edición, 1998.
- SÁNCHEZ, Tarquino, Electrónica II, Escuela Politécnica Nacional, 1995.
- Manual del PLC Allen-Bradley Micrologix 1000 Analog.
- Catálogo interactivo de elementos neumáticos de Festo.
- Información adquirida de páginas web en Internet.

;

ANEXO A
PROGRAMA DEL PLC







ANEXO B

SCRIPTS DEL INTOUCH

Script pantalla Autores

```
barrer = barrer + 30;
IF barrer >= 751 THEN
    barrer = 0;
ENDIF;
IF barrer >= 0 AND barrer <= 375 THEN
    girar = girar + 16;
ENDIF;
IF barrer >= 376 AND barrer <= 750 THEN
    girar = girar - 16;
ENDIF;
```

Script pantalla Animación

```
IF swich == 1 THEN
    llenado = llenado + 100;
    IF llenado >= 1800 THEN
        IF valvula1 == 1 THEN
            llenado1 = llenado1 + 100;
            IF llenado1 >= 5000 THEN
                llenado1 = 5000;
            ENDIF;
            IF llenado1 <= 0 THEN
                llenado1 = 0;
            ENDIF;
            tanque1 = 1;
            IF valvula2 == 1 THEN
                llenado3 = llenado3 + 100;
            ELSE
                llenado3 = 0;
                llenadocarga = 0;
                llenadoaux = 0;
                llenado6 = 0;
                silenciador = 0;
            ENDIF;
            IF llenado3 >= 1400 THEN
                llenado4 = 1;
            ELSE
```

```

llenado4 = 0;
ENDIF;
IF llenado3 >= 1500 THEN
  IF valvula3 == 1 THEN
    llenadocarga = llenadocarga + 100;
  ELSE
    llenadocarga = 0;
  ENDIF;
  IF valvula4 == 1 THEN
    llenadoaux = llenadoaux + 100;
  ELSE
    llenadoaux = 0;
  ENDIF;
  IF valvula5 == 1 THEN
    silenciador = silenciador + 100;
    llenadocarga = 0;
    llenadoaux = 0;
  ELSE
    silenciador = 0;
  ENDIF;
ENDIF;
ELSE
  IF valvula2 == 1 THEN
    IF tanque1 == 1 THEN
      llenado3 = llenado3 + 100;
      IF llenado3 >= 1700 THEN
        llenado4 = 1;
      ENDIF;
    ENDIF;
  ENDIF;
ELSE
  IF llenado3 >= 1700 THEN
    llenado4 = 1;
  ELSE
    llenado4 = 0;
  ENDIF;
  llenado3 = 0;
  llenadocarga = 0;
  llenadoaux = 0;
  llenado6 = 0;
  silenciador = 0;

```

```

ENDIF;
IF llenado3 >= 1500 THEN
  IF valvula3 == 1 THEN
    llenadocarga = llenadocarga + 100;
    llenado1 = llenado1 - 10;
    IF llenado1 <= 0 THEN
      llenado3 = 0;
      llenadocarga = 0;
      llenadoaux = 0;
      tanque1 = 0;
      silenciador = 0;
    ENDIF;
  ELSE
    llenadocarga = 0;
  ENDIF;
  IF valvula4 == 1 THEN
    llenadoaux = llenadoaux + 100;
    llenado1 = llenado1 - 10;
    IF llenado1 <= 0 THEN
      llenado3 = 0;
      llenadocarga = 0;
      llenadoaux = 0;
      tanque1 = 0;
      silenciador = 0;
    ENDIF;
  ELSE
    llenadoaux = 0;
  ENDIF;
  IF valvula5 == 1 THEN
    silenciador = silenciador + 100;
    llenadocarga = 0;
    llenadoaux = 0;
    llenado1 = llenado1 - 300;
    IF llenado1 <= 0 THEN
      llenado3 = 0;
      llenadocarga = 0;
      llenadoaux = 0;
      tanque1 = 0;
      silenciador = 0;
    ENDIF;
  ENDIF;

```

```

        ELSE
            silenciador = 0;
        ENDIF;
    ENDIF;
ENDIF;
ENDIF;
ELSE
    llenado = 0;
    tanque1 = 0;
    llenado1 = 0;
    llenado2 = 0;
    llenado3 = 0;
    llenado4 = 0;
    llenado5 = 0;
    llenado6 = 0;
    llenadocarga = 0;
    llenadoaux = 0;
    silenciador = 0;
    plc = 0;
ENDIF;

barrer = barrer + 30;
IF barrer >= 751 THEN
    barrer = 0;
ENDIF;

IF barrer >= 0 AND barrer <= 375 THEN
    girar = girar + 16;
ENDIF;

IF barrer >= 376 AND barrer <= 750 THEN
    girar = girar - 16;
ENDIF;

```

Script pantalla Aplicación

```
IF PT <= 5 THEN
  PT = 0;
ENDIF;
setload = 0;
cargando = 40 - tcarga / 100;
IF tcarga > 0 THEN
  habilit = 1;
  IF tcarga == 4000 THEN
    habilit = 0;
  ENDIF;
ENDIF;
mprom = setpoint;
salida = mprom * 0.4 + Kp * (mprom - PT);
control = (salida ) * 200;
IF control >= 10000 THEN
  control = 10000;
ENDIF;
IF control <= 0 THEN
  control = 0;
ENDIF;
IF PT >= 50 THEN
  PT = 50;
ENDIF;
IF PT <= 0 THEN
  PT = 0;
ENDIF;
```

Script pantalla Set Kp

```
IF maxima <= 0 THEN
  maxima = 0;
ENDIF;
IF maxima >= 100 THEN
  maxima = 100;
ENDIF;
```

Script pantalla Setpoint

```
setant = 0;  
IF setpoint <= 0 THEN  
    setpoint = 0;  
ENDIF;  
IF setpoint >= 50 THEN  
    setpoint = 50;  
ENDIF;
```

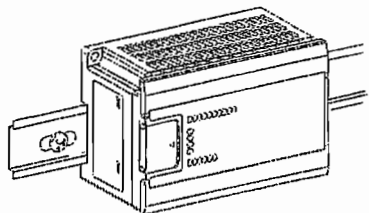
ANEXO C
MANUAL DEL PLC
MICROLOGIX 1000 ANALOG



Allen-Bradley

**MicroLogix™ 1000
Programmable
Controllers**

(Bulletin 1761 Controllers)

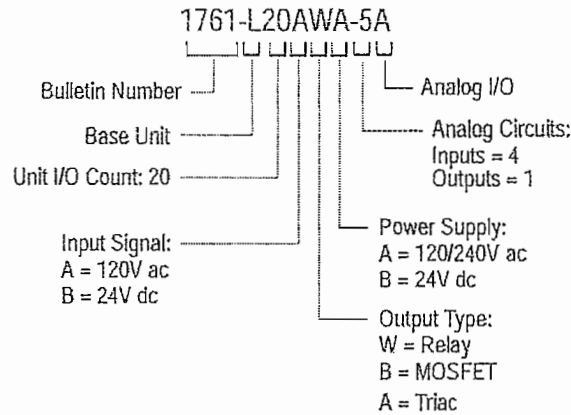


User Manual

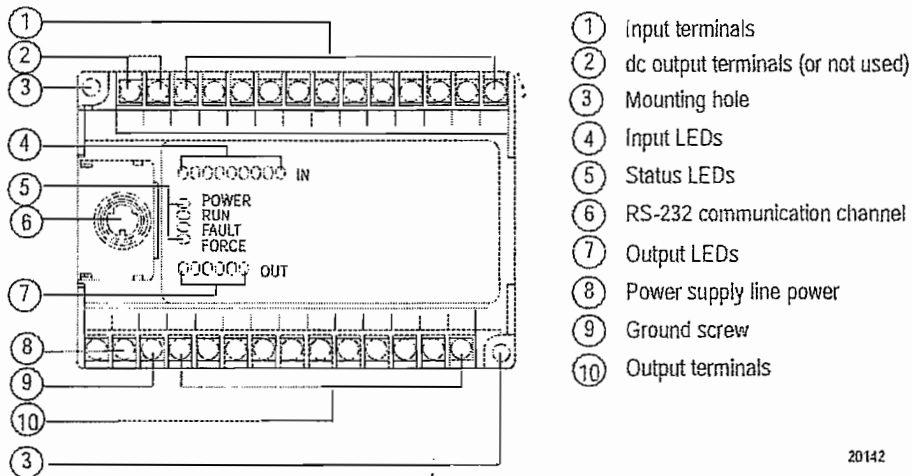
Hardware Overview

The MicroLogix 1000 programmable controller is a packaged controller containing a power supply, input circuits, output circuits, and a processor. The controller is available in 10 I/O, 16 I/O and 32 I/O configurations, as well as an analog version with 20 discrete I/O and 5 analog I/O.

The catalog number for the controller is composed of the following:



The hardware features of the controller are:

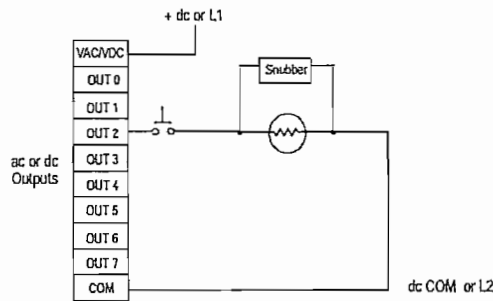


20142

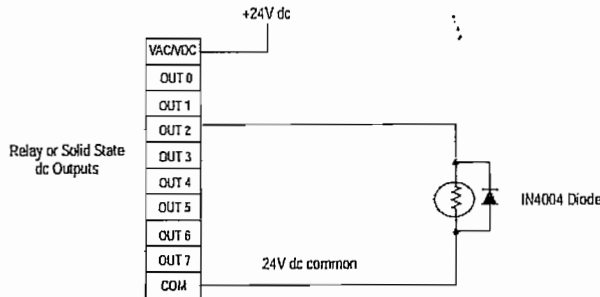
Using Surge Suppressors

Inductive load devices such as motor starters and solenoids require the use of some type of surge suppression to protect the controller output contacts. Switching inductive loads without surge suppression can *significantly* reduce the lifetime of relay contacts. By adding a suppression device directly across the coil of an inductive device, you will prolong the life of the switch contacts. You will also reduce the effects of voltage transients caused by interrupting the current to that inductive device, and will prevent electrical noise from radiating into system wiring.

The following diagram shows an output with a suppression device. We recommend that you locate the suppression device as close as possible to the load device.

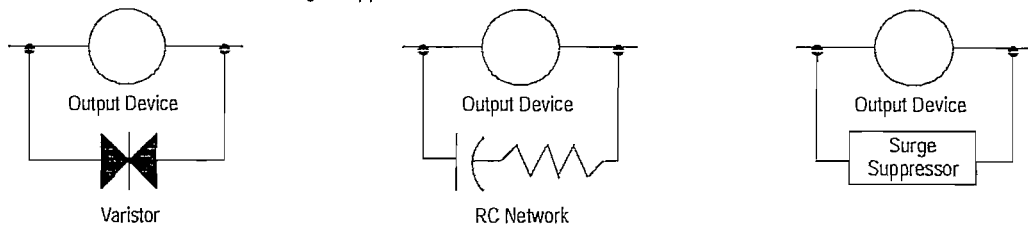


If you connect a micro controller FET output to an inductive load, we recommend that you use an 1N4004 diode for surge suppression, as shown in the illustration that follows.



Suitable surge suppression methods for inductive ac load devices include a varistor, an RC network, or an Allen-Bradley surge suppressor, all shown below. These components must be appropriately rated to suppress the switching transient characteristic of the particular inductive device. See the table on page 1-10 for recommended suppressors.

Surge Suppression for Inductive ac Load Devices

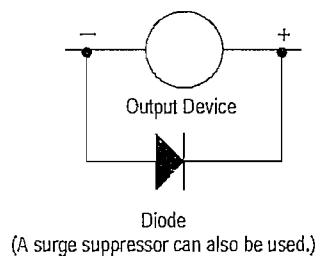


If you connect a micro controller triac output to control an inductive load, we recommend that you use varistors to suppress noise. Choose a varistor that is appropriate for the application. The suppressors we recommend for triac outputs when switching 120V ac inductive loads are a Harris MOV, part number V175 LA10A, or an Allen-Bradley MOV, catalog number 599-K04 or 599-KA04. Consult the varistor manufacturer's data sheet when selecting a varistor for your application.

For inductive dc load devices, a diode is suitable. An 1N4004 diode is acceptable for most applications. A surge suppressor can also be used. See the table on page 1-10 for recommended suppressors.

As shown in the illustration below, these surge suppression circuits connect directly across the load device. This reduces arcing of the output contacts. (High transient can cause arcing that occurs when switching off an inductive device.)

Surge Suppression for Inductive dc Load Devices



Safety Considerations

Safety considerations are an important element of proper system installation. Actively thinking about the safety of yourself and others, as well as the condition of your equipment, is of primary importance. We recommend reviewing the following safety considerations.

Disconnecting Main Power



Explosion Hazard — Do not replace components or disconnect equipment unless power has been switched off and the area is known to be non-hazardous.

The main power disconnect switch should be located where operators and maintenance personnel have quick and easy access to it. In addition to disconnecting electrical power, all other sources of power (pneumatic and hydraulic) should be de-energized before working on a machine or process controlled by a controller.

Safety Circuits



Explosion Hazard — Do not connect or disconnect connectors while circuit is live unless area is known to be non-hazardous.

Circuits installed on the machine for safety reasons, like overtravel limit switches, stop push buttons, and interlocks, should always be hard-wired directly to the master control relay. These devices must be wired in series so that when any one device opens, the master control relay is de-energized thereby removing power to the machine. Never alter these circuits to defeat their function. Serious injury or machine damage could result.

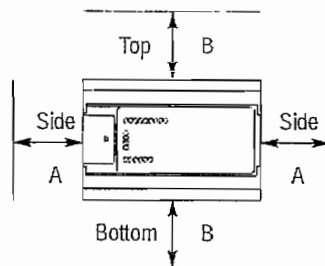


Controller Spacing

The following figure shows the recommended *minimum* spacing for the controller. (Refer to appendix A for controller dimensions.)



Explosion Hazard — For Class I, Division 2 applications, this product must be installed in an enclosure. All cables connected to the product must remain in the enclosure or be protected by conduit or other means.



A. Greater than or equal to 50.8 mm (2 in.).

B. Greater than or equal to 50.8 mm (2 in.).

20142

Mounting the Controller

This equipment is suitable for Class I, Division 2, Groups A, B, C, D or non-hazardous locations only, when product or packaging is marked.



Explosion Hazard:

- Substitution of components may impair suitability for Class I, Division 2.
- Be careful of metal chips when drilling mounting holes for your controller. Drilled fragments that fall into the controller could cause damage. Do not drill holes above a mounted controller if the protective wrap is removed.

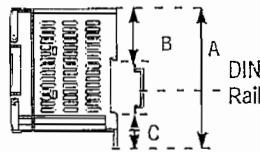
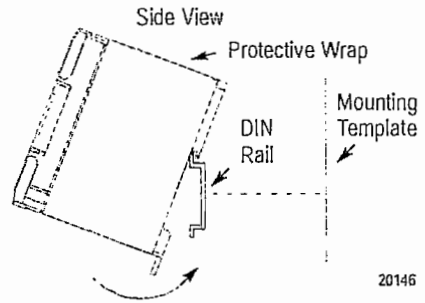
The controller should be mounted horizontally within an enclosure, using a DIN rail or mounting screws.

Using a DIN Rail

Use 35 mm (1.38 in.) DIN rails, such as item number 199-DR1 or 1492-DR5 from Bulletin 1492.

To install your controller on the DIN rail:

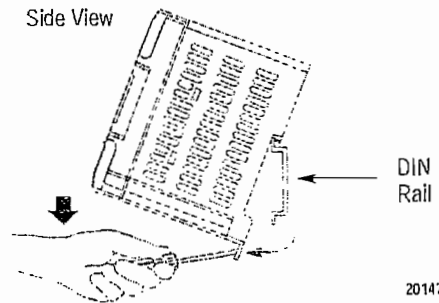
1. Mount your DIN rail. (Make sure that the placement of the controller on the DIN rail meets the recommended spacing requirements. Refer to controller dimensions in appendix A.)
2. Hook the top slot over the DIN rail.
3. While pressing the controller against the rail, snap the controller into position.
4. Leave the protective wrap attached until you are finished wiring the controller.



Call-out	Dimension
A	84 mm (3.3 in.)
B	33 mm (1.3 in.)
C	16 mm (.63 in.)

To remove your controller from the DIN rail:

1. Place a screwdriver in the DIN rail latch at the bottom of the controller.
2. Holding the controller, pry downward on the latch until the controller is released from the DIN rail.

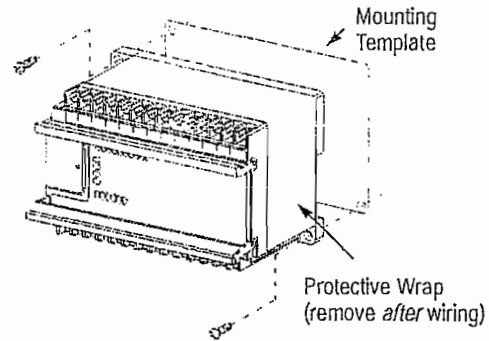


Using Mounting Screws

To install your controller using mounting screws:

Note Leave the protective wrap attached until you are finished wiring the controller.

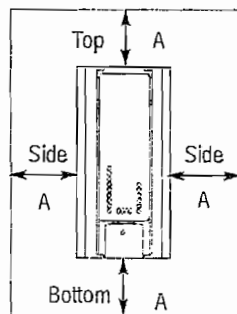
1. Use the mounting template from the *MicroLogix 1000 Programmable Controllers Installation Instructions*, publication 1761-5.1.2 or *MicroLogix 1000 (Analog) Programmable Controllers Installation Instructions*, publication 1761-5.1.3, that was shipped with your controller.
2. Secure the template to the mounting surface. (Make sure your controller is spaced properly.)
3. Drill holes through the template.
4. Remove the mounting template.
5. Mount the controller.



Mounting Your Controller Vertically

Your controller can also be mounted vertically within an enclosure using mounting screws or a DIN rail. To insure the stability of your controller, we recommend using mounting screws.

To insure the controller's reliability, the following environmental specifications must not be exceeded.



A. Greater than or equal to 50.8 mm (2 in.).

Description:	Specification:
Operating Temperature	Discrete: 0°C to +45°C (+32°F to +113°F) [Ⓢ] Analog: 0°C to +40°C (+32°F to +113°F) [Ⓢ]
Operating Shock (Panel mounted)	9.0g peak acceleration (11±1 ms duration) 3 times each direction, each axis
Operating Shock (DIN rail mounted)	7.0g peak acceleration (11±1 ms duration) 3 times each direction, each axis


[Ⓢ] DC input voltage derated linearly from +30°C (30V to 26.4V).

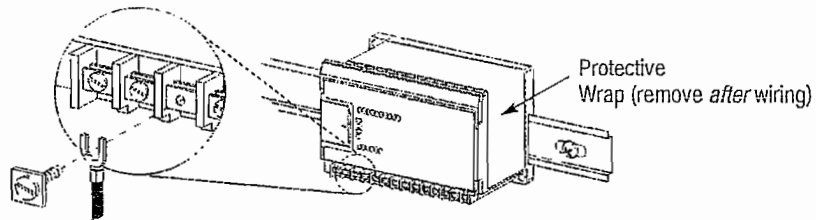
Note: When mounting your controller vertically, the nameplate should be facing downward.

Grounding Guidelines

In solid-state control systems, grounding helps limit the effects of noise due to electromagnetic interference (EMI). Use the heaviest wire gauge listed for wiring your controller with a maximum length of 152.4 mm (6 in.). Run the ground connection from the ground screw of the controller (third screw from left on output terminal rung) to the ground bus.

Note

 This symbol denotes a functional earth ground terminal which provides a low impedance path between electrical circuits and earth for non-safety purposes, such as noise immunity improvement.



All devices that connect to the user 24V power supply or to the RS-232 channel must be referenced to chassis ground or floating. Failure to follow this procedure may result in property damage or personal injury.



Chassis ground, user 24V ground, and RS-232 ground are internally connected. You must connect the chassis ground terminal screw to chassis ground prior to connecting any devices.



On the 1761-L10BWB, 1761-L16BWB, 1761-L16BBB, 1761-L20BWB-5A, 1761-L32BBB, and 1761-L32BWB controllers, the user supply 24 V dc IN and chassis ground are internally connected.

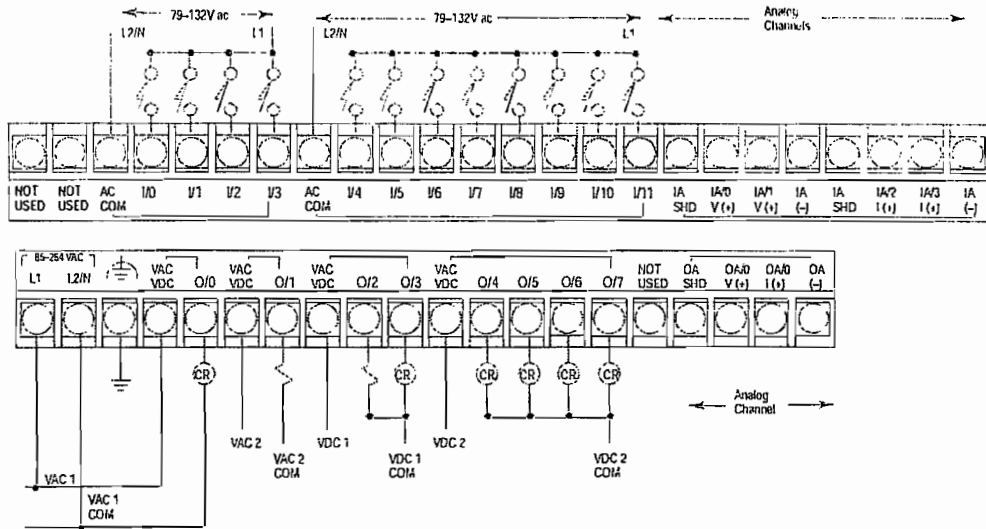
You must also provide an acceptable grounding path for each device in your application. For more information on proper grounding guidelines, see the *Industrial Automation Wiring and Grounding Guidelines* publication 1770-4.1.



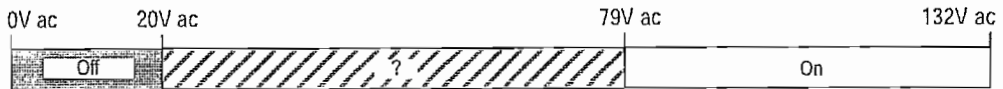
Remove the protective wrap before applying power to the controller. Failure to remove the wrap may cause the controller to overheat.

1761-L20AWA-5A Wiring Diagram

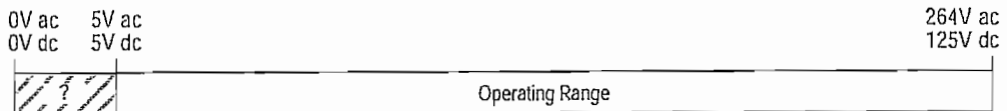
Note: Refer to pages 2-21 through 2-23 for additional information on analog wiring.



1761-L20AWA-5A Input Voltage Range



1761-L20AWA-5A Output Voltage Range



Connecting the DF1 Protocol

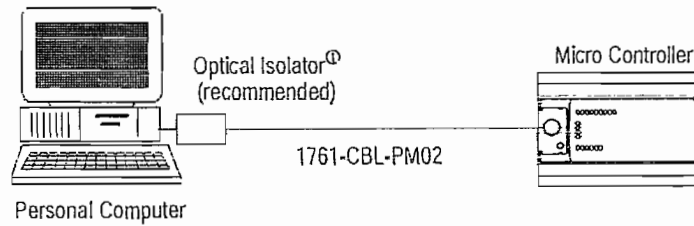
There are two ways to connect the MicroLogix 1000 programmable controller to your personal computer using the DF1 protocol: using an isolated point-to-point connection, or using a modem. Descriptions of these methods follow.



Chassis ground, user 24V ground, and RS-232 ground are internally connected. You must connect the chassis ground terminal screw to chassis ground prior to connecting any devices. It is important that you understand your personal computer's grounding system before connecting to the controller. An optical isolator is recommended between the controller and your personal computer.

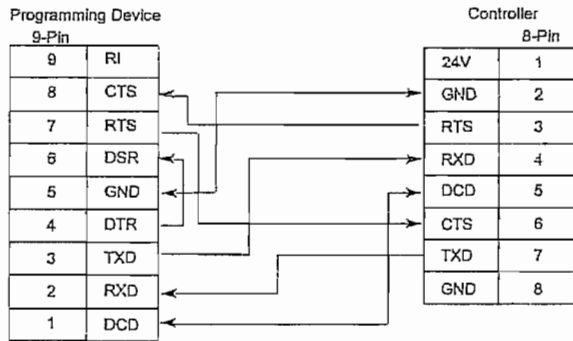
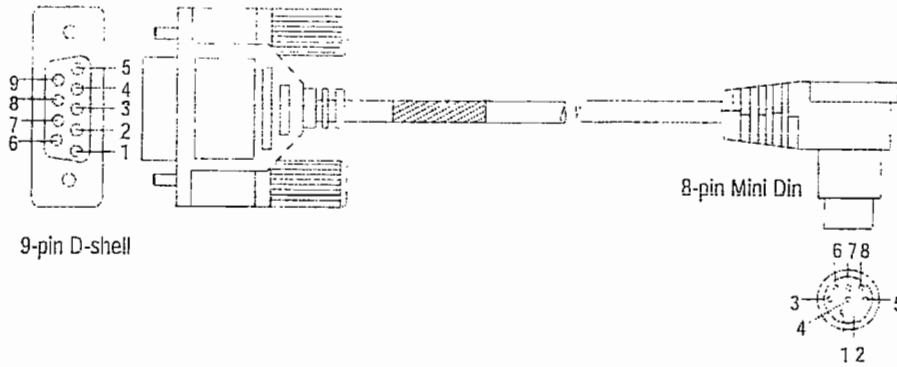
Making an Isolated Point-to-Point Connection

You can connect the MicroLogix 1000 programmable controller to your personal computer using a serial cable from your personal computer's serial port to the micro controller.



[Ⓢ] We recommend using an AIC+, catalog number 1761-NET-AIC, as your optical isolator. See page 3-11 for specific AIC+ cabling information.

1761-CBL-PM02 Series B Cable

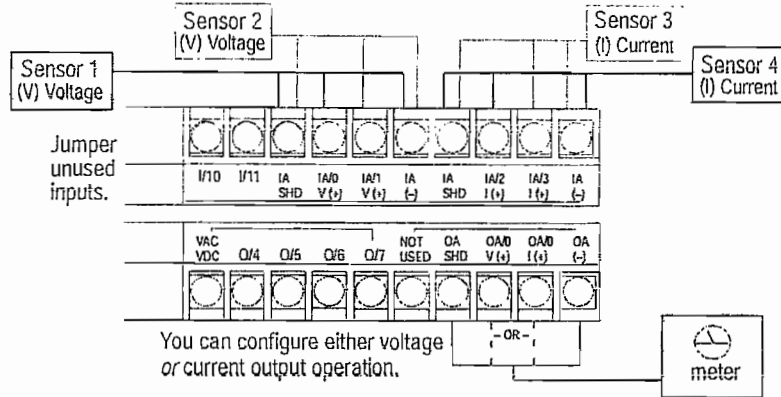


Using a Modem

You can also use modems to connect a personal computer to one MicroLogix 1000 controller (using DF1 full-duplex protocol) or to multiple controllers (using DF1 half-duplex protocol), as shown in the illustration that follows. Do not attempt to use DH-485 protocol through modems under any circumstance. (For information on types of modems you can use with the micro controllers, see page D-9.)

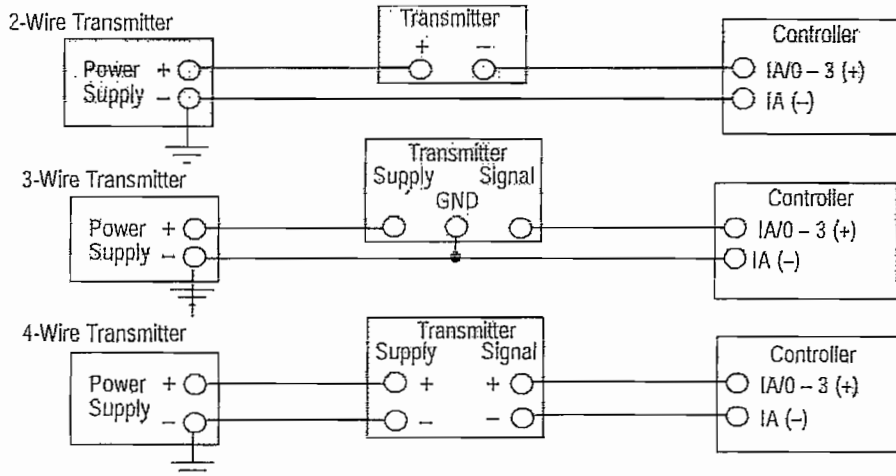
Wiring Your Analog Channels

Analog input circuits can monitor current *and* voltage signals and convert them to serial digital data. The analog output can support either a voltage *or* a current function.



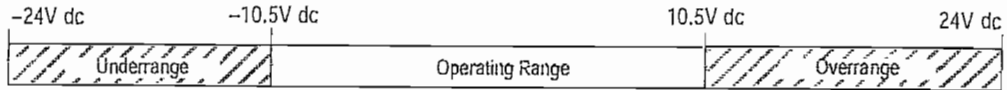
For increased noise immunity, connect a ground wire directly from the shield terminals to chassis ground.

important: The controller does *not* provide loop power for analog inputs. Use a power supply that matches the transmitter specifications.

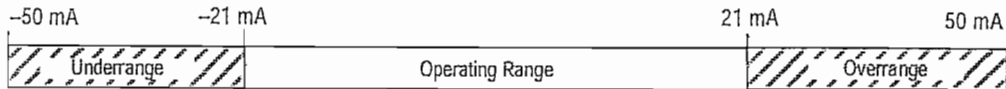


Analog Voltage and Current Input and Output Ranges

Analog Voltage Input Range



Analog Current Input Range



Note

The analog voltage inputs are protected to withstand the application of $\pm 24V$ dc without damage to the controller. The analog current inputs are protected to withstand the application of ± 50 mA without damage.

Analog Voltage Output Range



Analog Current Output Range



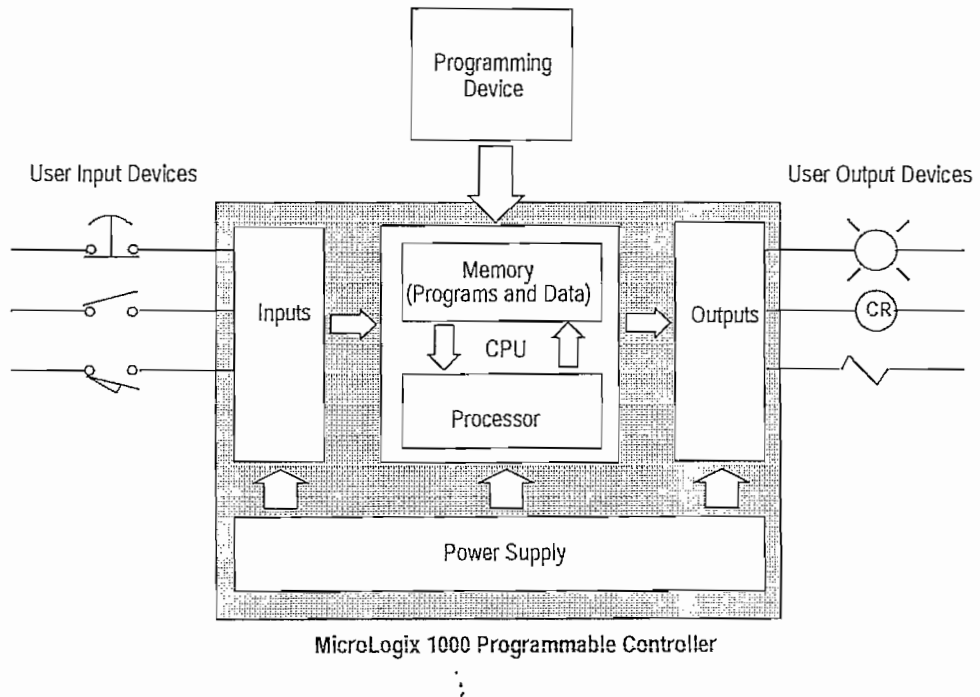
Note

The analog outputs are protected to withstand the short circuiting of the voltage or current outputs without damage to the controller.

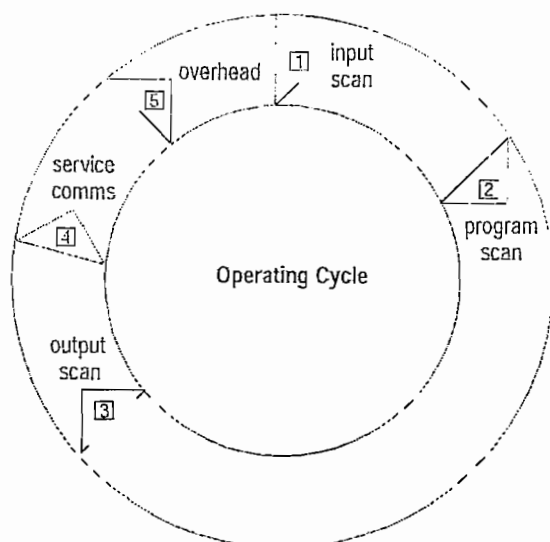
For information on analog signal and data word values using the nominal transfer function formula, see page 5-5.

Principles of Machine Control

The controller consists of a built-in power supply, central processing unit (CPU), inputs, which you wire to input devices (such as pushbuttons, proximity sensors, limit switches), and outputs, which you wire to output devices (such as motor starters, solid-state relays, and indicator lights).



With the logic program entered into the controller, placing the controller in the Run mode initiates an operating cycle. The controller's operating cycle consists of a series of operations performed sequentially and repeatedly, unless altered by your program logic.



- ① input scan – the time required for the controller to scan and read all input data; typically accomplished within μ seconds.
- ② program scan – the time required for the processor to execute the instructions in the program. The program scan time varies depending on the instructions used and each instruction's status during the scan time.
- ③ output scan – the time required for the controller to scan and write all output data; typically accomplished within μ seconds.
- ④ service communications – the part of the operating cycle in which communication takes place with other devices, such as an HHP or personal computer.
- ⑤ housekeeping and overhead – time spent on memory management and updating timers and internal registers.

Note

Subroutine and interrupt instructions within your logic program may cause deviations in the way the operating cycle is sequenced.

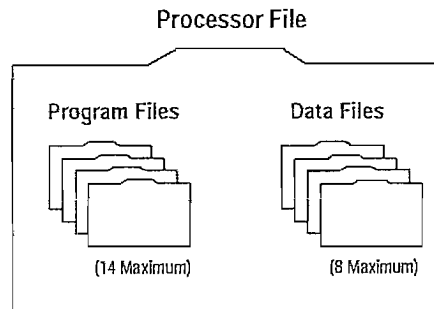
You enter a logic program into the controller using a programming device. The logic program is based on your electrical relay print diagrams. It contains instructions that direct control of your application.

Understanding File Organization

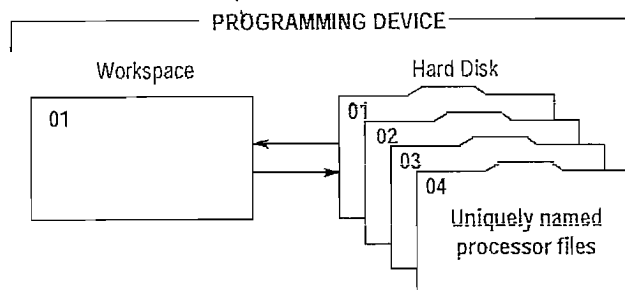
The processor provides control through the use of a program you create, called a processor file. This file contains other files that break your program down into more manageable parts.

Processor File Overview

Most of the operations you perform with the programming device involve the processor file and the two components created with it: program files and data files.



The programming device stores processor files on *hard disk (or floppy disk)*. Monitoring and editing of processor files is done in the *workspace* of the computer. After you select a file from disk and edit it, you then *save* the file hard to disk, replacing the original disk version with the edited version. The hard disk is the recommended location for a processor file.

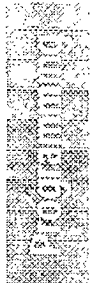


Processor files are created in the offline mode using the programming device. These files are then restored (downloaded), to the processor for online operation.

Program Files

Program files contain controller information, the main ladder program, interrupt subroutines, and any subroutine programs. These files are:

- **System Program (file 0)** – This file contains various system related information and user-programmed information such as processor type, I/O configuration, processor file name, and password.
- **Reserved (file 1)** – This file is reserved.
- **Main Ladder Program (file 2)** – This file contains user-programmed instructions defining how the controller is to operate.
- **User Error Fault Routine (file 3)** – This file is executed when a recoverable fault occurs.
- **High-Speed Counter Interrupt (file 4)** – This file is executed when an HSC interrupt occurs. It can also be used for a subroutine ladder program.
- **Selectable Timed Interrupt (file 5)** – This file is executed when an STI occurs. It can also be used for a subroutine ladder program.
- **Subroutine Ladder Program (files 6 – 15)** – These are used according to subroutine instructions residing in the main ladder program file or other subroutine files.



Data Files

Data files contain the status information associated with external I/O and all other instructions you use in your main and subroutine ladder program files. In addition, these files store information concerning processor operation. You can also use the files to store “recipes” and look-up tables if needed.

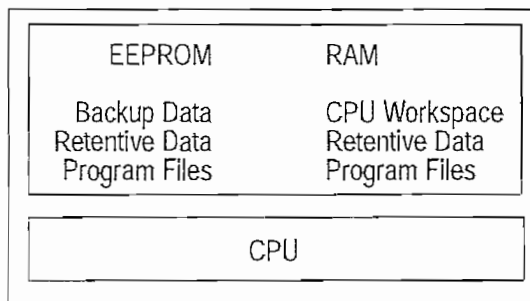
These files are organized by the type of data they contain. The data file types are:

- **Output (file 0)** – This file stores the state of the output terminals for the controller.
- **Input (file 1)** – This file stores the status of the input terminals for the controller.
- **Status (file 2)** – This file stores controller operation information. This file is useful for troubleshooting controller and program operation.
- **Bit (file 3)** – This file is used for internal relay logic storage.
- **Timer (file 4)** – This file stores the timer accumulator and preset values and status bits.

- Counter (file 5) – This file stores the counter accumulator and preset values and the status bits.
- Control (file 6) – This file stores the length, pointer position, and status bits for specific instructions such as shift registers and sequencers.
- Integer (file 7) – This file is used to store numeric values or bit information.

Understanding How Processor Files are Stored and Accessed

The MicroLogix 1000 programmable controller uses two devices for storing processor files: RAM and EEPROM. The RAM provides easy access storage (i.e., its data is lost on a power down), while the EEPROM provides long-term storage (i.e., its data is not lost on a power down). The diagram below shows how the memory is allocated in the micro controller's processor.

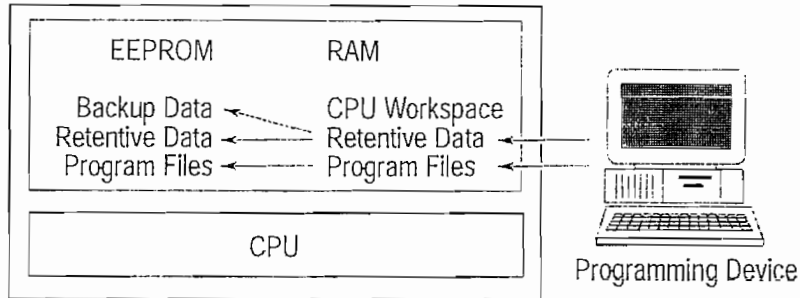


The memory device that is used depends on the operation being performed. This section describes how memory is stored and accessed during the following operations:

- download
- normal operation
- power down
- power up

Download

When the processor file is downloaded to the micro controller, it is first stored in the volatile RAM. It is then transferred to the non-volatile EEPROM, where it is stored as both backup data and retentive data.



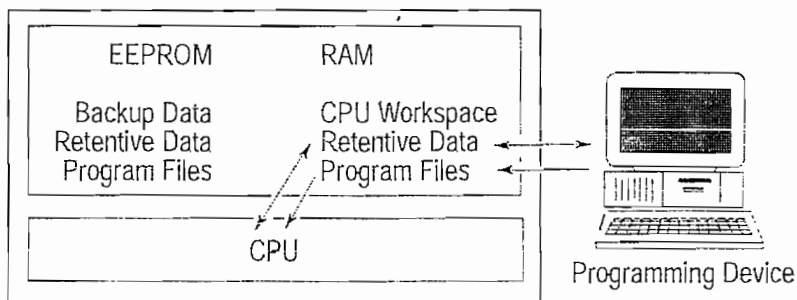
Note

If you want to ensure that the backup data is the same for every micro controller you are using, save the program to disk before downloading it to a micro controller.

Normal Operation

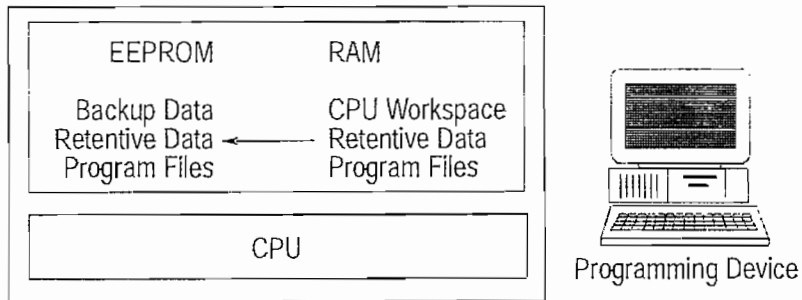
During normal operation, both the micro controller and your programming device can access the processor files stored in the RAM. Any changes to retentive data that occur due to program execution or programming commands affect only the retentive data in the RAM.

The program files are never modified during normal operation. However, both the CPU and your programming device can read the program files stored in RAM.



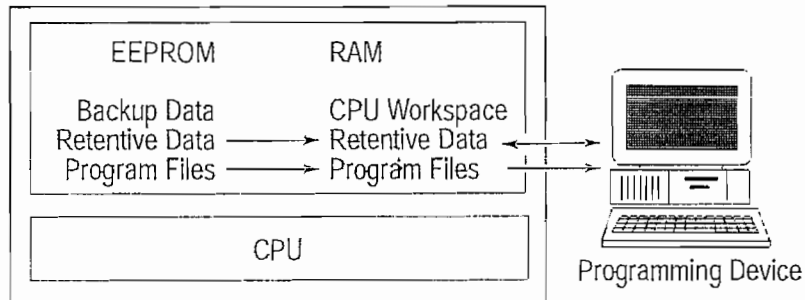
Power Down

When a power down occurs, only the retentive data is transferred from the RAM to the EEPROM. (The program files do not need to be saved to the EEPROM since they cannot be modified during normal operation.) If for some reason power is lost before all of the retentive data is saved to the EEPROM, the retentive data is lost. This may occur due to an unexpected reset or a hardware problem.

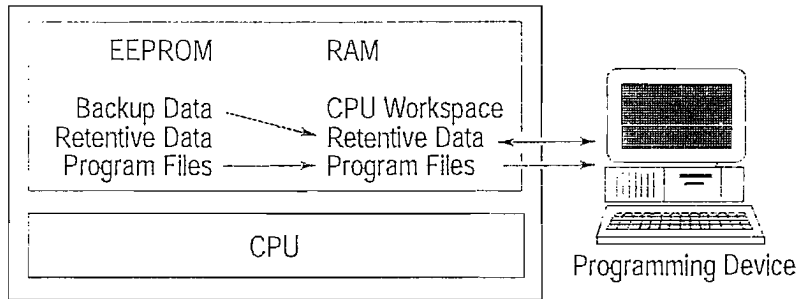


Power Up

During power up, the micro controller transfers the program files from the EEPROM to the RAM. The retentive data is also transferred to the RAM, provided it was not lost on power down, and normal operation begins.



If retentive data was lost on power down, the backup data from the EEPROM is transferred to the RAM and used as the retentive data. In addition, status file bit S2:5/8 (retentive data lost) is set and a recoverable major error occurs when going to run.



Addressing Data Files

For the purposes of addressing, each data file type is identified by a letter (identifier) and a file number.

File Type	Identifier	File Number
Output	O	0
Input	I	1
Status	S	2
Bit	B	3
Timer	T	4
Counter	C	5
Control	R	6
Integer	N	7

The addresses are made up of alphanumeric characters separated by delimiters. Delimiters include the colon, slash, and period.

Specifying Logical Addresses

The format of a logical address, $x:f:e$, corresponds directly to the location in data storage.

Where:	Is the:
x	File type: O—output I—input S—status B—binary T—timer C—counter R—control N—integer
f	File #: 0—output 1—input 2—status 3—binary 4—timer 5—counter 6—control 7—integer
:	File delimiter: Colon or semicolon delimiter separates file and structure/word numbers.
e	Element number: 0 to: 0—output 1—input 32—status 31—binary 39—timer 31—counter 15—control 104—integer

You assign logical addresses to instructions from the highest level (element) to the lowest level (bit). Addressing examples are shown in the table below.

To specify the address of a:	Use these parameters: ¹
Word within an integer file	<p>File Type File Number File Delimiter Word Number</p>
Word within a structure file (e.g., a timer file)	<p>File Type File Number File Delimiter Structure Number Delimiter Word</p>
Bit within an integer file	<p>File Type File Number File Delimiter Word Number Bit Delimiter Bit Number</p>
Bit within a bit file	<p>File Type File Number Bit Delimiter Bit Number</p> <p>Bit files are bit stream continuous files, and therefore you can address them in two ways: by word and bit, or by bit alone.</p>
Bit within a structure file (e.g., a control file)	<p>File Type File Number File Delimiter Structure Number Delimiter Mnemonic</p>

¹ Some programming devices support short addressing. This allows you to eliminate the file number and file delimiter from addresses. (For example: N7:2=N2, T4:12.ACC=T12.ACC, B3:2/12=B2/12) Consult your programming device's user manual for information on addressing capabilities.

You can also address at the bit level using mnemonics for timer, counter, or control data types. The available mnemonics depend on the type of data. See chapters 6 through 13 for more information.

Specifying Indexed Addresses

The indexed address symbol is the # character. Place the # character immediately before the file-type identifier in a logical address. You can use more than one indexed address in your ladder program.

Enter the offset value in word 24 of the status file (S:24). All indexed instructions use the same word S:24 to store the offset value. The processor starts operation at the base address plus the offset. You can manipulate the offset value in your ladder logic before each indexed address operation.

When you specify indexed addresses, follow these guidelines:

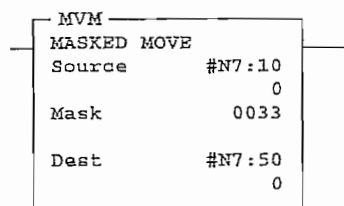
- Make sure the index value (positive or negative) does not cause the indexed address to exceed the file type boundary.
- When an instruction uses more than two indexed addresses, the processor uses the same index value for each indexed address.
- Set the index word to the offset value you want immediately before enabling an instruction that uses an indexed address.



Instructions with a # sign in an address manipulate the offset value stored at S:24. Make sure you monitor or load the offset value you want prior to using an indexed address. Otherwise unpredictable machine operation could occur with possible damage to equipment and/or injury to personnel.

Example of Indexed Addressing

The following Masked Move (MVM) example uses an indexed address in the source and destination addresses. If the offset value is 10 (stored in S:24), the processor manipulates the data stored at the base address plus the offset.



In this example, the processor uses the following addresses:

Value:	Base Address:	Offset Value in S:24	Offset Address:
Source	N7:10	10	N7:20
Destination	N7:50	10	N7:60

Addressing File Instructions – Using the File Indicator (#)

The file instructions below manipulate data table files. These files are addressed with the # sign. They store an offset value in word S:24 (index register), just as with indexed addressing discussed in the last section.

COP	Copy File	LFL	(LIFO Load)
FLL	Fill File	LFU	(LIFO Unload)
BSL	Bit Shift Left	SQO	Sequencer Output
BSR	Bit Shift Right	SQC	Sequencer Compare
FFL	(FIFO Load)	SQL	Sequencer Load
FFU	(FIFO Unload)		



If you are using file instructions and also indexed addressing, make sure that you monitor and/or load the correct offset value prior to using an indexed address. Otherwise, unpredictable operation could occur, resulting in possible personal injury and/or damage to equipment.

Numeric Constants

You can enter numeric constants directly into many of the instructions you program. The range of values for most instructions is $-32,768$ through $+32,767$. These values can be displayed or entered in several radices. The radices that can be *displayed* are:

- Integer
- Binary
- ASCII
- Hexadecimal

When *entering* values into an instruction or data table element, you can specify the radix of your entry using the “&” special operator. The radices that can be used to enter data into an instruction or data table element are:

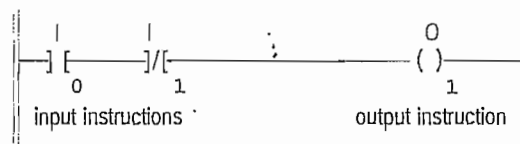
- Integer (&N)
- Binary (&B)
- ASCII (&A)
- Hexadecimal (&H)
- BCD (&D)
- Octal (&O)

Numeric constants are used in place of data file elements. They cannot be manipulated by the user program. You must enter the offline program editor to change the value of a constant.

Applying Ladder Logics to Your Schematics

The logic you enter into the micro controller makes up a ladder program. A ladder program consists of a set of instructions used to control a machine or a process.

Ladder logic is a graphical programming language based on electrical relay diagrams. Instead of having electrical rung continuity, ladder logic is looking for logical rung continuity. A ladder diagram identifies each of the elements in an electromechanical circuit and represents them graphically. This allows you to see how your control circuit operates before you actually start the physical operation of your system.

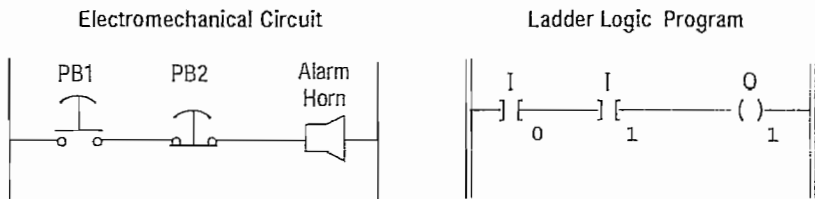


In a ladder diagram each of the input devices are represented in series or parallel combinations across the rung of the ladder. The last element on the rung is the output that receives the action as a result of the conditional state of the inputs on the rung.

Each output instruction is executed by the controller when the rung is scanned and the conditions on the rung are true. When the rung is not scanned or the logic conditions on the rung do not create a true logic path, the output is not executed.

The programming device allows you to enter a ladder logic program into the micro controller.

In the following illustration, the electromechanical circuit shows PB1 and PB2, two pushbuttons, wired in series with an alarm horn. PB1 is a normally open pushbutton, and PB2 is normally closed. This same circuit is shown in ladder logic by two contacts wired in series with an output. Contact I/0 and I/1 are examine-if-closed instructions.[†] (For more information on this instruction, refer to page 6-4.)



[†] Contact I1 would be an examine-if-open instruction (I/I) if PB2 was a normally open electromechanical circuit.

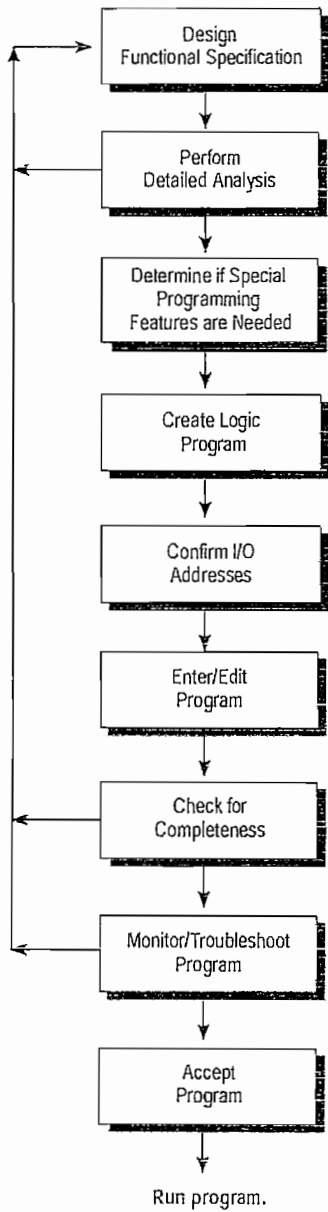
The table below shows how these circuits operate. The table shows all possible conditions for the electromechanical circuit, the equivalent state of the ladder logic instructions, and the resulting output state.

If PB1 is:	I/0 state is:	And PB2 is:	I/1 state is:	Then the Alarm Horn (O/1) is:
not pushed	0	not pushed	1	silent
not pushed	0	pushed	0	silent
pushed	1	not pushed	1	alarm
pushed	1	pushed	0	silent

Developing Your Logic Program – A Model

The following diagram can help you develop your application program. Each process block represents one phase of program development. Use the checklist at the right of the process block to help you identify the tasks involved with each process.

Program Development Process



Program Development Checklist

- Prepare a general description of how you want your automated process to operate.
- Identify the hardware requirements.
- Match inputs and outputs with actions of the process.
- Add these actions to the functional specifications.
- Do you need:
 - Special interrupt routines?
 - High-speed counting features?
 - Sequencing Operations?
 - FIFO or LIFO stack operations?
- Use worksheets if necessary to create program.
- Make sure I/O addresses match correct input and output devices.
- Enter program using the programming device.
- Review your functional specification and detailed analysis for missing or incomplete information.
- Monitor and, if necessary, troubleshoot the program that you entered.
- Resulting programs should match functional specifications.

I/O Image

The input and output image files of the MicroLogix 1000 analog controllers have the following format:

Address	Input Image	Output Image	Address
I:0.0	Discrete Input Word 0	Discrete Output Word 0	O:0.0
I:0.1	Discrete Input Word 1	Reserved	O:0.1
I:0.2	Reserved	Reserved	O:0.2
I:0.3	Reserved	Reserved	O:0.3
I:0.4	Analog Input 0 (Voltage)	Analog Output 0 (Voltage or Current)	O:0.4
I:0.5	Analog Input 1 (Voltage)		
I:0.6	Analog Input 2 (Current)		
I:0.7	Analog Input 3 (Current)		

Input words 0 and 1 contain discrete input data. Unused inputs in the discrete inputs image space are reset during each input scan. Input words 2 and 3 are reserved and are not updated by the controller. These inputs have no direct effect on controller operation, but they can be modified like other data bits.

Input words 4–7 contain the status of the four analog input channels respectively. Analog input image words are cleared at Going To Run (GTR). For enabled channels, the analog input image is updated on a cyclical basis.

Output word 0 contains discrete output data. Output words 1–3 are reserved output image space. Unused outputs in both the discrete output image space and the reserved output image space have no direct effect on controller operation. But these outputs can be modified like other data bits. Output word 4 holds the value of the analog output channel.

I/O Configuration

The analog input channels are single-ended (unipolar) circuits and can be individually enabled or disabled. The default is all input channels enabled. The two voltage inputs accept $\pm 10.5\text{V}$ dc, and the two current inputs accept ± 21 mA.

The analog output channel is also a single-ended circuit. You can configure either voltage (0V dc to +10V dc) or current (+4 to +20 mA) output operation. The default is voltage output.

The output must be configured for either voltage *or* current, *not both*. This is determined by the output configuration. When in the Run mode and the output is configured for voltage, the voltage output terminal is active and the current output terminal is inactive. Similarly, when in the Run mode and the output is configured for current, the current output terminal is active and the voltage output terminal is inactive. When the system is not in Run mode, both the voltage and current outputs are inactive.

Input Filter and Update Times

The MicroLogix analog input filter is programmable. The slower the filter setting, the more immune the analog inputs are to electrical noise. The more immune the analog inputs are to electrical noise, the slower the inputs will be to update. Similarly, the faster the filter setting, the less immune the analog inputs are to electrical noise. The less immune the analog inputs are to electrical noise, the faster the inputs will be to update.

Programmable Filter Characteristics				
1st Notch Freq (Hz)	Filter Bandwidth (-3 dB Freq Hz)	Update Time (mSec)	Settling Time (mSec)	Resolution (Bits)
10	2.62	100.00	400.00	16
50	13.10	20.00	80.00	16
60 ^①	15.72	16.67	66.67	16
250	65.50	4.00	16.00	15

^① 60 Hz is the default setting.

The total update time for each channel is a combination of the Update Time and the Settling Time. When more than one analog input channel is enabled, the maximum update for each channel is equal to one ladder scan time plus the channel's Update Time plus Settling Time. When only one analog input channel is enabled, the maximum update for the channel is equal to the Update Time plus one ladder scan time.

Update Examples

Example 1 – All (4) channels enabled with 60 Hz filter selected (default settings).

$$\begin{aligned} \text{Maximum Update Time} &= (4) \times \text{ladder scan time} \\ &+ (4) \times 16.67 \text{ ms} \\ &+ (4) \times 66.67 \text{ ms} \\ &= 333.36 \text{ ms} + (4) \times \text{ladder scan times} \end{aligned}$$

(Each channel will be updated approximately three times per second.)

Example 2 – 1 channel enabled with 250 Hz filter selected.

$$\text{Maximum Update Time} = \text{ladder scan time} + 4 \text{ ms}$$

Input Channel Filtering

The analog input channels incorporate on-board signal conditioning. The purpose of this conditioning is to reject the AC power line noise that can couple into an analog input signal while passing the normal variations of the input signal.

Frequency components of the input signal at the filter frequency are rejected. Frequency components below the filter bandwidth (–3 dB frequency) are passed with under 3 dB of attenuation. This pass band allows the normal variation of sensor inputs such as temperature, pressure and flow transducers to be input data to the processor.

Noise signals coupled in at frequencies above the pass band are sharply rejected. An area of particular concern is the 50/60 Hz region, where pick-up from power lines can occur.

Converting Analog Data

The analog input circuits are able to monitor current and voltage signals and convert them to digital data. There are six terminals assigned to the input channels that provide two voltage inputs, two current inputs and two return signals (commons).

The analog outputs can support either a current *or* voltage function. There are three terminals assigned to the output channels that provide one voltage output, one current output and a common (shared) terminal.

The following table shows sample Analog Signal and Data Word values using the nominal transfer function formula:

$$N = I_{in} \times 32767/21 \quad \text{where } I_{in} \text{ (analog signal) is in milliamperes (mA)}$$

$$N = V_{in} \times 32767/10.5 \quad \text{where } V_{in} \text{ (analog signal) is in volts (V)}$$

$$N = (I_{out} - 4 \text{ mA}) \times 32767/16 \text{ mA} \quad \text{where } I_{out} \text{ (analog signal) is in milliamperes (mA)}$$

$$N = V_{out} \times 32767/10V \quad \text{where } V_{out} \text{ (analog signal) is in volts (V)}$$

Analog Signal	Data Word	
	Input	Output
0V	0	0
5V	15603	16384
10V	31207	32767
4 mA	6241	0
11 mA	17164	14336
20 mA	31207	32767

Converting Analog Input Data

Analog inputs convert current and voltage signals into 16-bit two's complement binary values. To determine an approximate voltage that an input value represents, use one of the equations shown on the following page.

$$\frac{10.5V}{32,767} \times \text{input value}^{(1)} = \text{input voltage(V)}$$

⁽¹⁾The Input Value is the decimal value of the word in the input image for the corresponding analog input.

For example, if an input value of 16,021 is in the input image, the calculated value is:

$$\frac{10.5V}{32,767} \times 16,201 = 5.1915(V)$$

It should be noted that the actual value may vary within the accuracy limitations of the module.

To determine an approximate current that an input value represents, you can use the following equation:

$$\frac{21 \text{ mA}}{32,767} \times \text{input value}^{(2)} = \text{input current (mA)}$$

⁽²⁾The Input Value is the decimal value of the word in the input image for the corresponding analog input.

For example, if an input value of 4096 is in the input image, the calculated value is:

$$\frac{21 \text{ mA}}{32,767} \times 4096 = 2.625 \text{ (mA)}$$

It should be noted that the actual value may vary within the accuracy limitations of the module.

Converting Analog Output Data

Use the following equation to determine the decimal value for the current output:

$$\frac{32,767}{16 \text{ mA}} \times [\text{Desired Current Output (mA)} - 4 \text{ mA}] = \text{Output Decimal Value}$$

For example, if an output value of 8 mA is desired, the value to be put in the corresponding word in the output image can be calculated as follows:

$$\frac{32,767}{16 \text{ mA}} \times (8 \text{ mA} - 4 \text{ mA}) = 8192$$

Use the following equation to determine the decimal value for the voltage output:

$$\frac{32,767}{10V \text{ dc}} \times \text{Desired Voltage Output (V dc)} = \text{Output Decimal Value}$$

For example, if an output value of 1V dc is desired, the value to be put in the corresponding word in the output image can be calculated as follows:

$$\frac{32,767}{10V \text{ dc}} \times 1V \text{ dc} = 3277$$

Understanding the Controller LED Status

Between the time you apply power to the controller and the time it has to establish communication with a connected programming device, the only form of communication between you and the controller is through the LEDs.

When Operating Normally

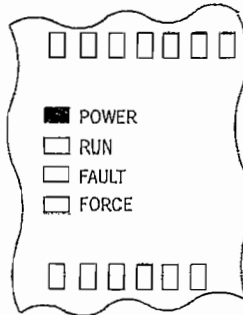
When power is applied, only the power LED turns on and remains on. This is part of the normal powerup sequence.

When the controller is placed in REM Run mode, the run LED also turns on and remains on, as shown on the right in the figure below. If a force exists, the force LED is on as well.

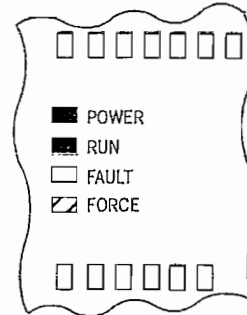
Refer to the following key to determine the status of the LED indicators:

- Indicates the LED is OFF.
- Indicates the LED is ON.
- Indicates the LED is FLASHING.
- Status of LED does not matter.

When powered up:



When placed in RRUN:



ANEXO D

MANUALES ADICIONALES

Pressure Sensors with Ceramic Element

- for relative pressure measurement -

Series DSK ...

- Reasonably priced
- Linearity < $\pm 0.5\%$ of full scale value
- 2-fold overpressure-safe
- High temperature resistance
- No mechanical ageing or creepage
- No filling liquid necessary

Functional description

The series DSK pressure sensors are precise, temperature-stable but not nonetheless reasonably priced units for measuring pressure in liquids and gases.

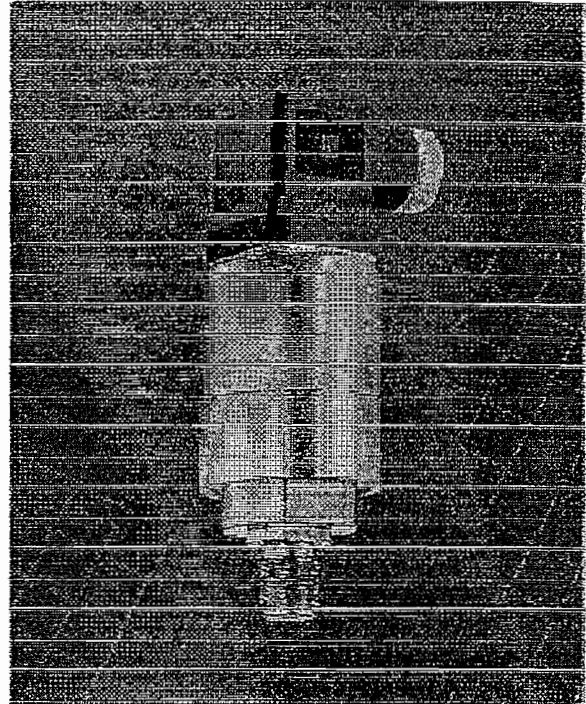
A new type of ceramic sensor forms the core of these units.

It consists of a thin aluminium oxide diaphragm, on the rear side of which thick-film resistors are fitted in a Wheatstone bridge circuit.

For stabilisation purpose, this diaphragm is connected to a thick aluminium oxide baseplate and is mounted in an appropriate casing with threaded connections.

If the diaphragm is subjected to pressure, it bends slightly, thereby changing the resistance of the thick-film resistors.

The downstream electronic converts the resistance into an analog signal.

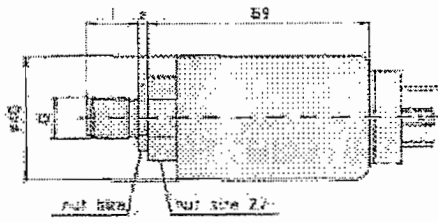


Areas of application

- Refrigeration technology
- Mechanical engineering
- Process engineering
- Hydraulics

Technical Data:

Accuracy:	
Linearity:	< ±0.5%FS
Hysteresis:	< ±0.5%FS
Influence of temperature:	
Zero point:	< ±0.04% FS/K
Sensitivity:	< ± 0.015%FS/Ktyp.
Response time:	< 5 m sec
Allowable medium temperature:	-15°C ... +80°C
Allowable ambient temperature:	-15°C ... +80°C
Overpressure safety device:	2-fold full scale value
Fitting position:	any
Connection:	G1/4, G1/2 male thread
Protection:	IP 65



Bis 40 bar

G	l	s	SW
1/4*BSP	16	3	19
1/2*BSP	20	5	24

Ab 60 bar

G	l	s
1/4*BSP	12	10
1/2*BSP	16	10

Electrical Data:

Supply:	output 0-10 V : 18 - 33 V DC, 3-wire output 0-20 mA : 18-33 V DC, 3-wire output 4-20 mA : 1 1-33 V DC, 2-wire
Connection:	sparkplug DIN 43650
Output:	0-20 mA, 4-20 mA, 0-10 V
Load:	output 0-10 V : > 10 kΩ output 0-20 mA : < 500 Ω output 4-20 mA : < (U _b -11 V) / 0.02 A

Material:

Housing:	aluminium, anodised
Metering element:	ceramics
O-Ring	Viton, EPDM or NBR
Connection:	stainless steel (mat.-no.: 1.4305)

Ordering code =

Type +
↓

Measuring range no.
↓

Connection	O-Ring	Output	Type
G 1/4 male thread	Viton	0 - 20 mA	DSK 330 A1 H
		4 - 20 mA	DSK 331 A1H
		0 - 10 V	DSK 332 A1 H
	EPDM	0 - 20 mA	DSK 530 A1 H
		4 - 20 mA	DSK 531 A1H
		0 - 10 V	DSK 532 A1 H
	NBR	0 - 20 mA	DSK 430 A1 H
		4 - 20 mA	DSK 431 A1H
		0 - 10 V	DSK 432 A1 H
G 1/2 male thread	Viton	0 - 20 mA	DSK 330 A3H
		4 - 20 mA	DSK 331 A3H
		0 - 10 V	DSK 332 A3H
	EPDM	0 - 20 mA	DSK 530 A3H
		4 - 20 mA	DSK 531 A3H
		0 - 10 V	DSK 532 A3H
	NBR	0 - 20 mA	DSK 430 A3H
		4 - 20 mA	DSK 431 ASH
		0 - 10 V	DSK 432 A3H

Measuring range no.	Measuring range (bar)
315	-1 ... 0
505	-1 ... +0.6
515	-1 ... +1.5
525	-1 ... +3
535	-1 ... +5
545	-1 ... +9
025	0 ... +1
035	0 ... +1.6
045*)	0 ... +2.5
055*)	0 ... +4
065*)	0 ... +6
075*)	0 ... +10
085	0 ... +16
095	0 ... +25
105	0 ... +40
115	0 ... +60
125	0 ... +100
135	0 ... +160
145	0 ... +250
155	0 ... 400
165	0 ... +600

*) stock type: BSP 1/2" male / Viton

LF347

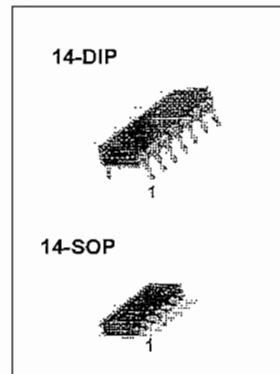
Quad Operational Amplifier (JFET)

Features

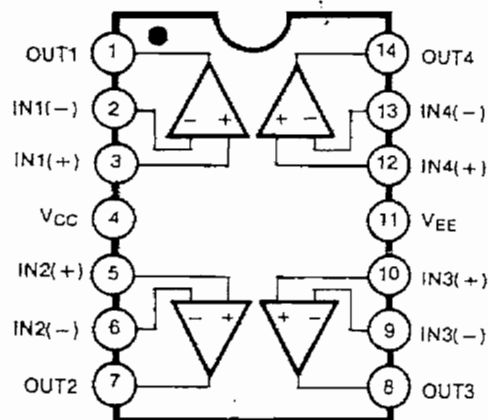
- Low input bias current
- High input impedance
- Wide gain bandwidth: 4 MHz Typ.
- High slew rate: 13 V/ μ s Typ.

Description

The LF347 is a high speed quad JFET input operational amplifier. This feature high input impedance, wide bandwidth, high slew rate, and low input offset voltage and bias current. LF347 may be used in circuits requiring high input impedance. High slew rate and wide bandwidth, low input bias current.

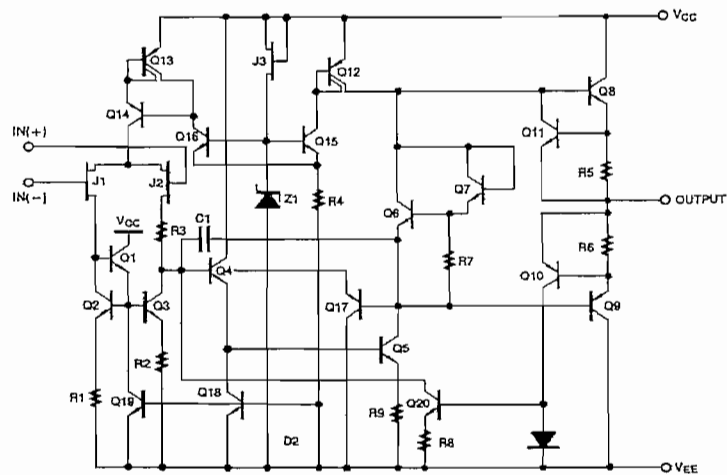


Internal Block Diagram



Schematic Diagram

(One Section Only)



Absolute Maximum Ratings

Parameter	Symbol	Value	Unit
Supply Voltage	VCC	±18	V
Differential Input Voltage	VI(DIFF)	30	V
Input Voltage Range	VI	±15	V
Output Short Circuit Duration	-	Continuous	-
Power Dissipation	PD	570	mW
Operating Temperature Range	TOPR	0 ~ + 70	°C
Storage Temperature Range	TSTG	-65 ~ + 150	°C

Electrical Characteristics

($V_{CC} = +15V$, $V_{EE} = -15V$, $T_A = 25^\circ C$, unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	LF347			Unit
			Min.	Typ.	Max.	
Input Offset Voltage	V_{IO}	$R_S = 10K\Omega$	-	5	10	mV
			Note 1	-	-	
Input Offset Voltage Drift(Note2)	$\Delta V_{IO}/\Delta T$	$R_S = 10K\Omega$	-	10	-	$\mu V/^\circ C$
Input Offset Current	I_{IO}		-	25	100	pA
			Note 1	-	-	4
Input Bias Current	I_{BIAS}		-	50	200	pA
			Note 1	-	-	8
Large Signal Voltage Gain	G_V	$R_L = 2K\Omega$ $V_{O(P-P)} = \pm 10V$	25	100	-	V/mV
			Note 1	15	-	
Output Voltage Swing	$V_{O(PP)}$	$R_L = 10K\Omega$	± 12	± 13.5	-	V
Input Voltage Range	$V_{I(R)}$	-	± 11	+15 -12	-	V
Common-Mode Rejection Ratio	CMRR	$R_S \leq 10K\Omega$	80	100	-	dB
Power Supply Rejection Ratio	PSRR	$R_S \leq 10K\Omega$	80	100	-	dB
Input Resistance	R_I	-	-	10^{12}	-	Ω
Supply Current	I_{CC}	-	-	7.2	11	mA
Slew Rate	SR	-	-	13	-	V/ μS
Gain Bandwidth Product(Note2)	GBW	-	-	4	-	MHz
Channel Separation	CS	$f = 1Hz \sim 20KHz$ (input referenced)	-	120	-	dB
Equivalent Input Noise Voltage	e_N	$R_S = 100\Omega$ $f = 1KHz$	-	20	-	nV/\sqrt{Hz}
Equivalent Input Noise Current	i_N	$f = 1KHz$	-	0.01	-	pA/\sqrt{Hz}

Note :

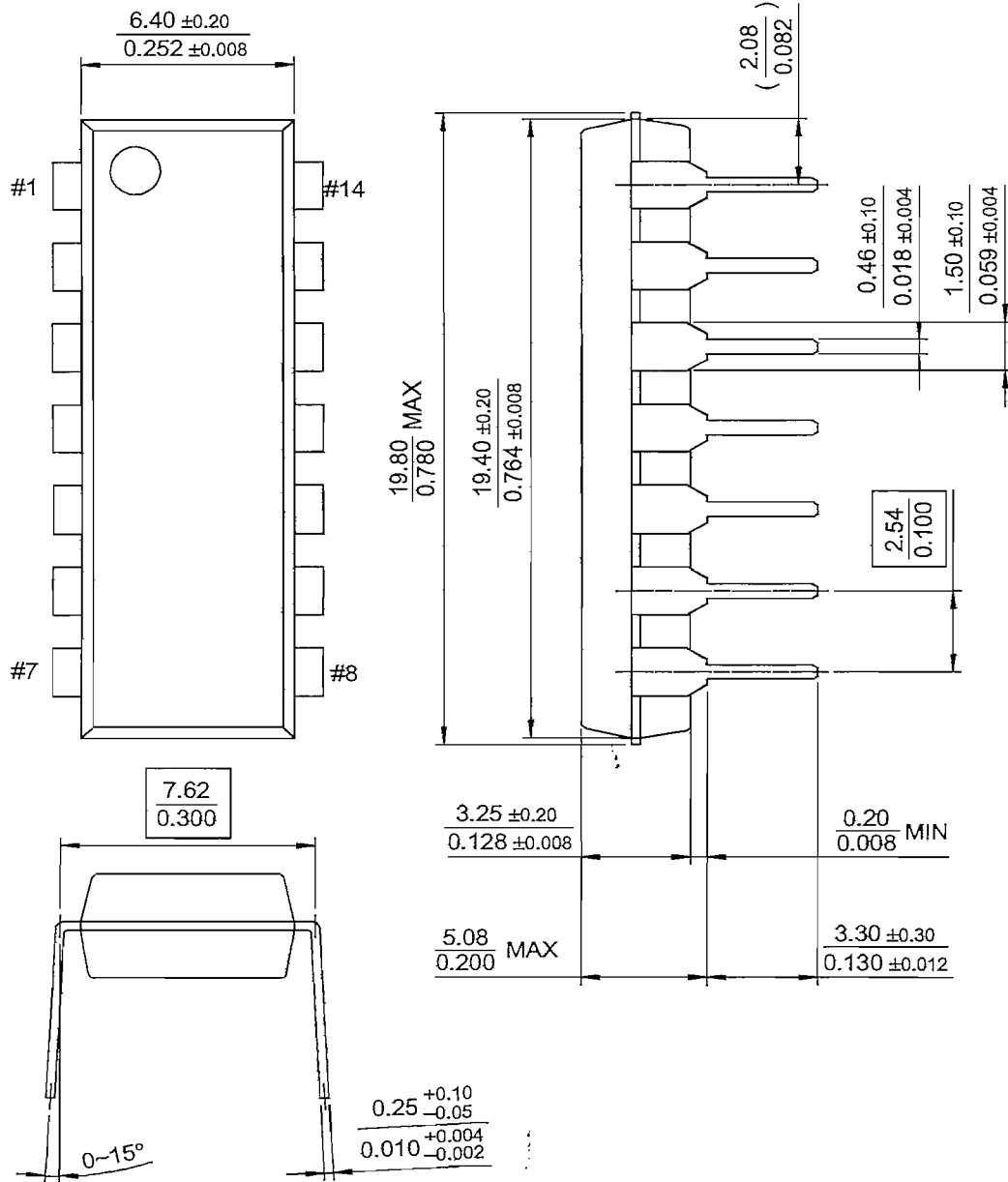
1. LF347 : $0 \leq T_A \leq +70^\circ C$
2. Guaranteed by design

Mechanical Dimensions

Package

Dimensions in millimeters

14-DIP



LM341/LM78MXX Series 3-Terminal Positive Voltage Regulators

General Description

The LM341 and LM78MXX series of three-terminal positive voltage regulators employ built-in current limiting, thermal shutdown, and safe-operating area protection which makes them virtually immune to damage from output overloads.

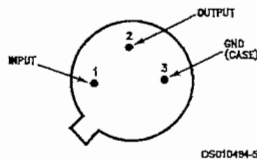
With adequate heatsinking, they can deliver in excess of 0.5A output current. Typical applications would include local (on-card) regulators which can eliminate the noise and degraded performance associated with single-point regulation.

Features

- Output current in excess of 0.5A
- No external components
- Internal thermal overload protection
- Internal short circuit current-limiting
- Output transistor safe-area compensation
- Available in TO-220, TO-39, and TO-252 D-PAK packages
- Output voltages of 5V, 12V, and 15V

Connection Diagrams

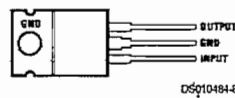
TO-39 Metal Can Package (H)



Bottom View

Order Number LM78M05CH, LM78M12CH or LM78M15CH
See NS Package Number H03A

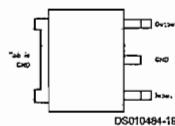
TO-220 Power Package (T)



Top View

Order Number LM341T-5.0, LM341T-12, LM341T-15, LM78M05CT, LM78M12CT or LM78M15CT
See NS Package Number T03B

TO-252



Top View

Order Number LM78M05CDT
See NS Package Number TD03B

Absolute Maximum Ratings (Note 1)

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.

Lead Temperature (Soldering, 10 seconds)	
TO-39 Package (H)	300°C
TO-220 Package (T)	260°C

Storage Temperature Range	-65°C to +150°C
Operating Junction Temperature Range	-40°C to +125°C
Power Dissipation (Note 2)	Internally Limited
Input Voltage	5V ≤ V _O ≤ 15V
ESD Susceptibility	TBD

Electrical Characteristics

Limits in standard typeface are for T_J = 25°C, and limits in boldface type apply over the -40°C to +125°C operating temperature range. Limits are guaranteed by production testing or correlation techniques using standard Statistical Quality Control (SQC) methods.

LM341-5.0, LM78M05C

Unless otherwise specified: V_{IN} = 10V, C_{IN} = 0.33 μF, C_O = 0.1 μF

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
V _O	Output Voltage	I _L = 500 mA	4.8	5.0	5.2	V
		5 mA ≤ I _L ≤ 500 mA	4.75	5.0	5.25	
		P _D ≤ 7.5W, 7.5V ≤ V _{IN} ≤ 20V				
V _{R LINE}	Line Regulation	7.2V ≤ V _{IN} ≤ 25V			50	mV
		I _L = 100 mA			100	
V _{R LOAD}	Load Regulation	5 mA ≤ I _L ≤ 500 mA			100	
I _Q	Quiescent Current	I _L = 500 mA		4	10.0	mA
ΔI _Q	Quiescent Current Change	5 mA ≤ I _L ≤ 500 mA			0.5	
		7.5V ≤ V _{IN} ≤ 25V, I _L = 500 mA			1.0	
V _n	Output Noise Voltage	f = 10 Hz to 100 kHz		40		μV
$\frac{\Delta V_{IN}}{\Delta V_O}$	Ripple Rejection	f = 120 Hz, I _L = 500 mA		78		dB
V _{IN}	Input Voltage Required to Maintain Line Regulation	I _L = 500 mA	7.2			V
ΔV _O	Long Term Stability	I _L = 500 mA			20	mV/khrs

Electrical Characteristics

Limits in standard typeface are for $T_J = 25^\circ\text{C}$, and limits in boldface type apply over the -40°C to $+125^\circ\text{C}$ operating temperature range. Limits are guaranteed by production testing or correlation techniques using standard Statistical Quality Control (SQC) methods. (Continued)

LM341-12, LM78M12C

Unless otherwise specified: $V_{IN} = 19\text{V}$, $C_{IN} = 0.33\ \mu\text{F}$, $C_O = 0.1\ \mu\text{F}$

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
V_O	Output Voltage	$I_L = 500\ \text{mA}$	11.5	12	12.5	V
		$5\ \text{mA} \leq I_L \leq 500\ \text{mA}$	11.4	12	12.6	
		$P_D \leq 7.5\text{W}$, $14.8\text{V} \leq V_{IN} \leq 27\text{V}$				
$V_{R\ \text{LINE}}$	Line Regulation	$14.5\text{V} \leq V_{IN} \leq 30\text{V}$	$I_L = 100\ \text{mA}$		120	mV
			$I_L = 500\ \text{mA}$		240	
$V_{R\ \text{LOAD}}$	Load Regulation	$5\ \text{mA} \leq I_L \leq 500\ \text{mA}$			240	
I_Q	Quiescent Current	$I_L = 500\ \text{mA}$		4	10.0	mA
ΔI_Q	Quiescent Current Change	$5\ \text{mA} \leq I_L \leq 500\ \text{mA}$			0.5	
		$14.8\text{V} \leq V_{IN} \leq 30\text{V}$, $I_L = 500\ \text{mA}$			1.0	
V_n	Output Noise Voltage	$f = 10\ \text{Hz to } 100\ \text{kHz}$		75		μV
$\frac{\Delta V_{IN}}{\Delta V_O}$	Ripple Rejection	$f = 120\ \text{Hz}$, $I_L = 500\ \text{mA}$		71		dB
V_{IN}	Input Voltage Required to Maintain Line Regulation	$I_L = 500\ \text{mA}$	14.5			V
ΔV_O	Long Term Stability	$I_L = 500\ \text{mA}$			48	mV/khrs

LM341-15, LM78M15C

Unless otherwise specified: $V_{IN} = 23\text{V}$, $C_{IN} = 0.33\ \mu\text{F}$, $C_O = 0.1\ \mu\text{F}$

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
V_O	Output Voltage	$I_L = 500\ \text{mA}$	14.4	15	15.6	V
		$5\ \text{mA} \leq I_L \leq 500\ \text{mA}$	14.25	15	15.75	
		$P_D \leq 7.5\text{W}$, $18\text{V} \leq V_{IN} \leq 30\text{V}$				
$V_{R\ \text{LINE}}$	Line Regulation	$17.6\text{V} \leq V_{IN} \leq 30\text{V}$	$I_L = 100\ \text{mA}$		150	mV
			$I_L = 500\ \text{mA}$		300	
$V_{R\ \text{LOAD}}$	Load Regulation	$5\ \text{mA} \leq I_L \leq 500\ \text{mA}$			300	
I_Q	Quiescent Current	$I_L = 500\ \text{mA}$		4	10.0	mA
ΔI_Q	Quiescent Current Change	$5\ \text{mA} \leq I_L \leq 500\ \text{mA}$			0.5	
		$18\text{V} \leq V_{IN} \leq 30\text{V}$, $I_L = 500\ \text{mA}$			1.0	
V_n	Output Noise Voltage	$f = 10\ \text{Hz to } 100\ \text{kHz}$		90		μV
$\frac{\Delta V_{IN}}{\Delta V_O}$	Ripple Rejection	$f = 120\ \text{Hz}$, $I_L = 500\ \text{mA}$		69		dB
V_{IN}	Input Voltage Required to Maintain Line Regulation	$I_L = 500\ \text{mA}$	17.6			V
ΔV_O	Long Term Stability	$I_L = 500\ \text{mA}$			60	mV/khrs

Note 1: Absolute maximum ratings indicate limits beyond which damage to the component may occur. Electrical specifications do not apply when operating the device outside of its rated operating conditions.

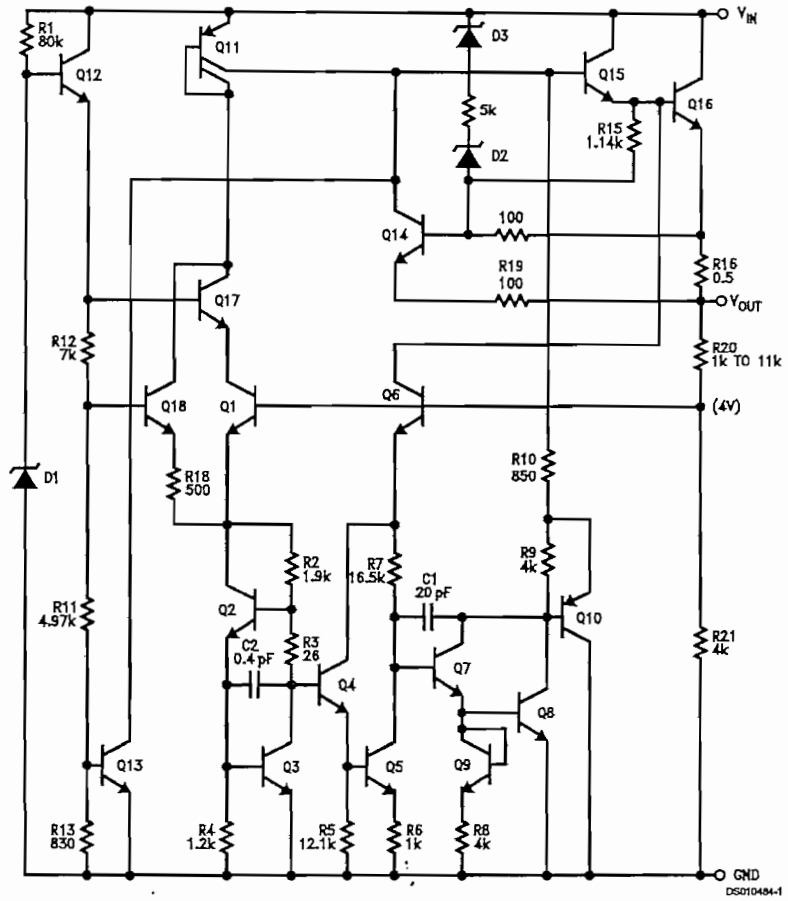
Note 2: The typical thermal resistance of the three package types is:

T (TO-220) package: $\theta_{JA} = 60^\circ\text{C/W}$, $\theta_{JC} = 5^\circ\text{C/W}$

H (TO-39) package: $\theta_{JA} = 120^\circ\text{C/W}$, $\theta_{JC} = 18^\circ\text{C/W}$

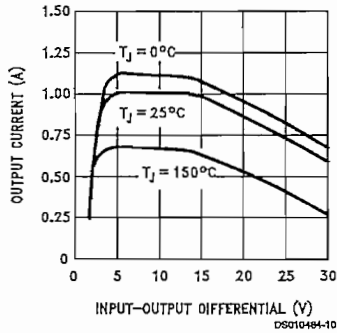
DT (TO-252) package: $\theta_{JA} = 92^\circ\text{C/W}$, $\theta_{JC} = 10^\circ\text{C/W}$

Schematic Diagram

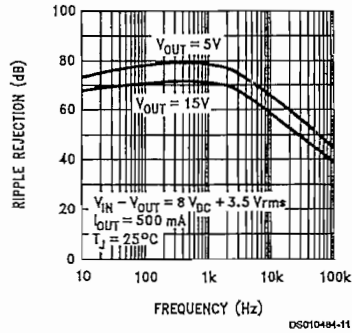


Typical Performance Characteristics

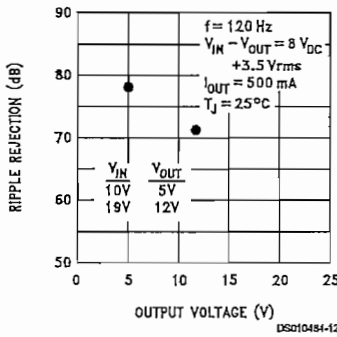
Peak Output Current



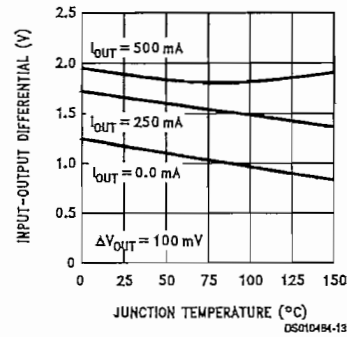
Ripple Rejection



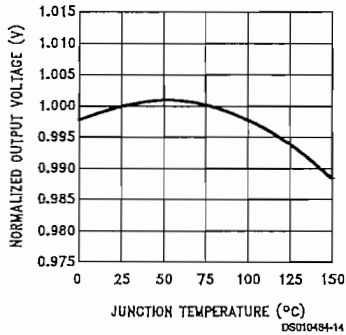
Ripple Rejection



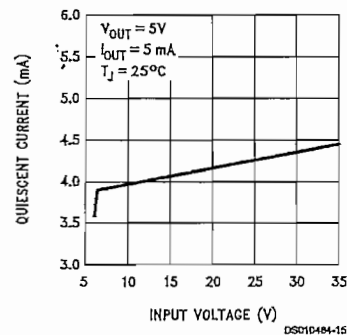
Dropout Voltage



Output Voltage (Normalized to 1V at $T_J = 25^\circ\text{C}$)

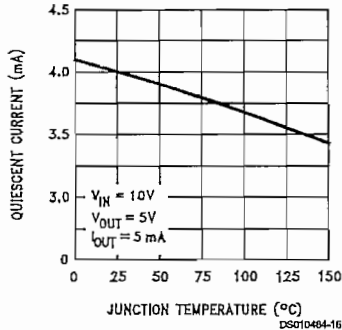


Quiescent Current

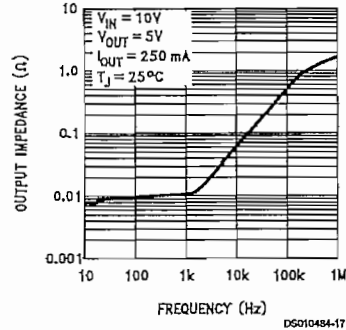


Typical Performance Characteristics (Continued)

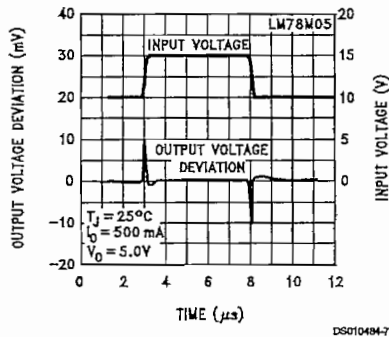
Quiescent Current



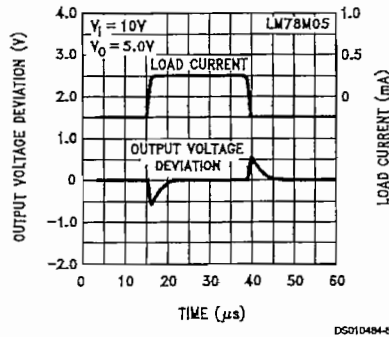
Output Impedance



Line Transient Response



Load Transient Response



Design Considerations

The LM78MXX/LM341XX fixed voltage regulator series has built-in thermal overload protection which prevents the device from being damaged due to excessive junction temperature.

The regulators also contain internal short-circuit protection which limits the maximum output current, and safe-area protection for the pass transistor which reduces the short-circuit current as the voltage across the pass transistor is increased.

Although the internal power dissipation is automatically limited, the maximum junction temperature of the device must be kept below +125°C in order to meet data sheet specifications. An adequate heatsink should be provided to assure this limit is not exceeded under worst-case operating conditions (maximum input voltage and load current) if reliable performance is to be obtained.

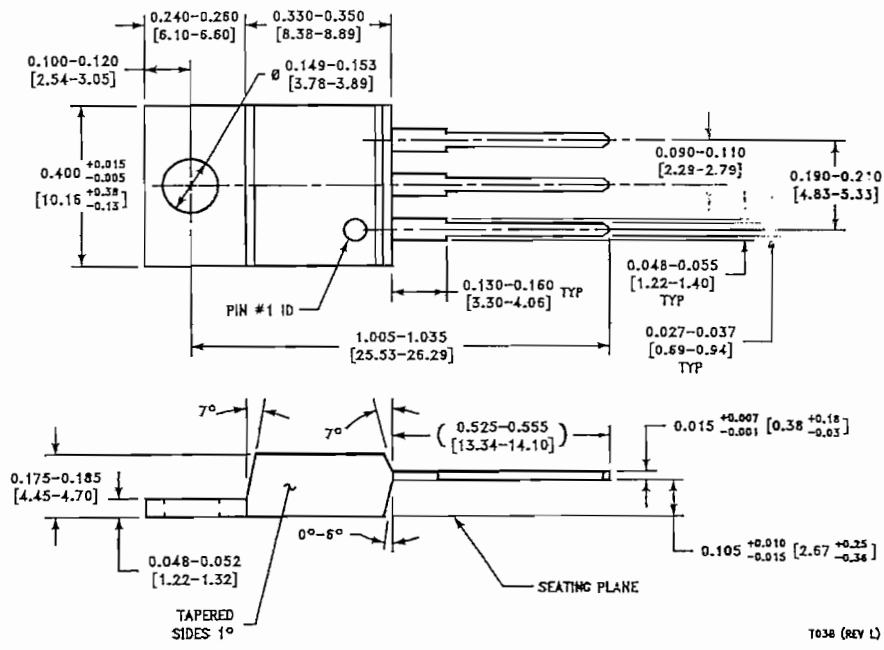
1.0 Heatsink Considerations

When an integrated circuit operates with appreciable current, its junction temperature is elevated. It is important to quantify its thermal limits in order to achieve acceptable performance and reliability. This limit is determined by summing the individual parts consisting of a series of temperature rises from the semiconductor junction to the operating environment. A one-dimension steady-state model of conduction heat transfer is demonstrated in The heat generated at the

device junction flows through the die to the die attach pad, through the lead frame to the surrounding case material, to the printed circuit board, and eventually to the ambient environment. Below is a list of variables that may affect the thermal resistance and in turn the need for a heatsink.

R^{th}_{JC} (Component Variables)	R^{th}_{CA} (Application Variables)
Leadframe Size & Material	Mounting Pad Size, Material, & Location
No. of Conduction Pins	Placement of Mounting Pad
Die Size	PCB Size & Material
Die Attach Material	Traces Length & Width
Molding Compound Size and Material	Adjacent Heat Sources
	Volume of Air
	Air Flow
	Ambient Temperature
	Shape of Mounting Pad

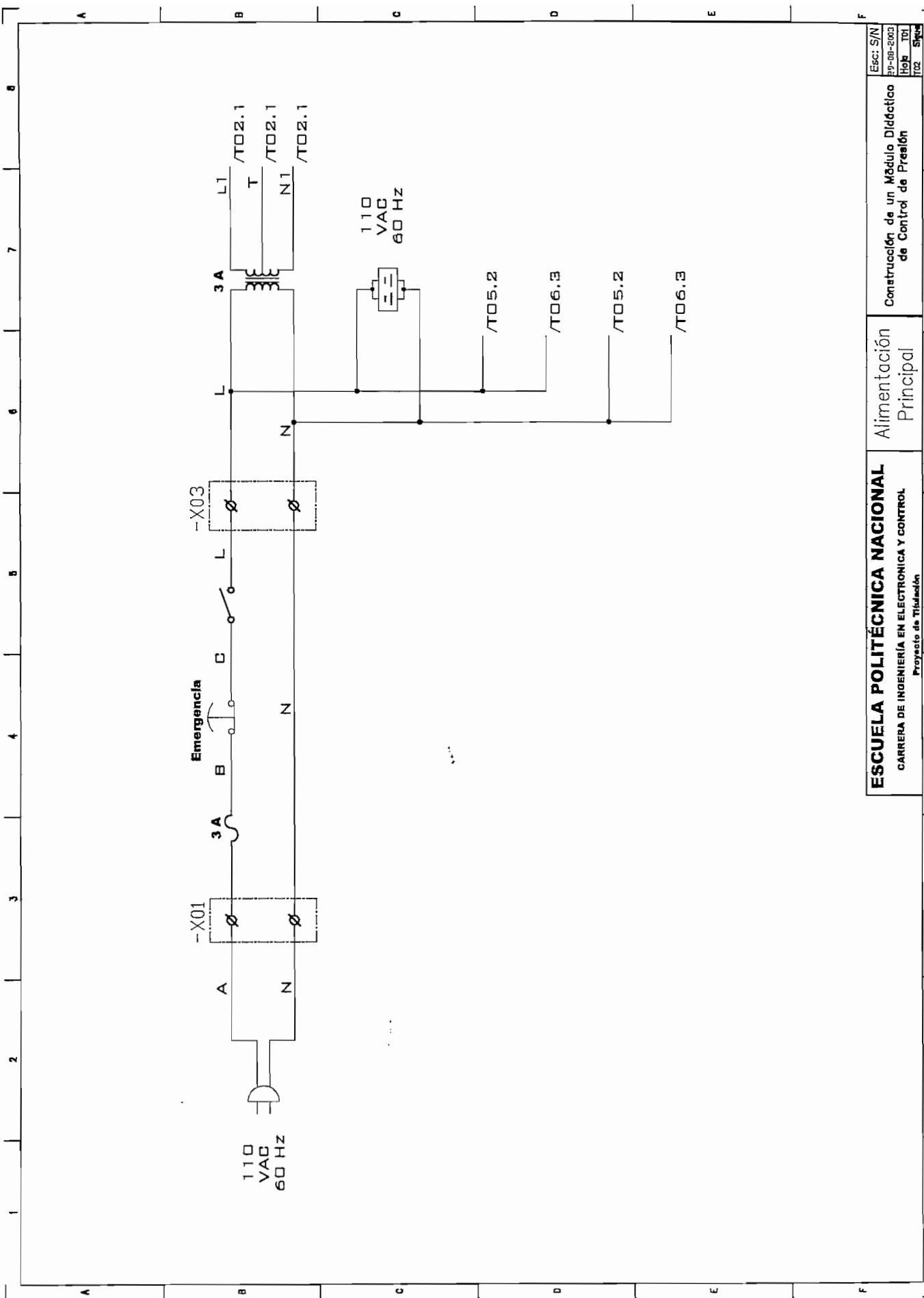
Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted (Continued)



T038 (REV L)

TO-220 Power Package (T)
 Order Number LM341T-5.0, LM341T-12, LM341T-15, LM78M05CT, LM78M12CT or LM78M15CT
 NS Package Number T03B

ANEXO E
DIAGRAMAS ELÉCTRICOS Y
ELECTRÓNICOS



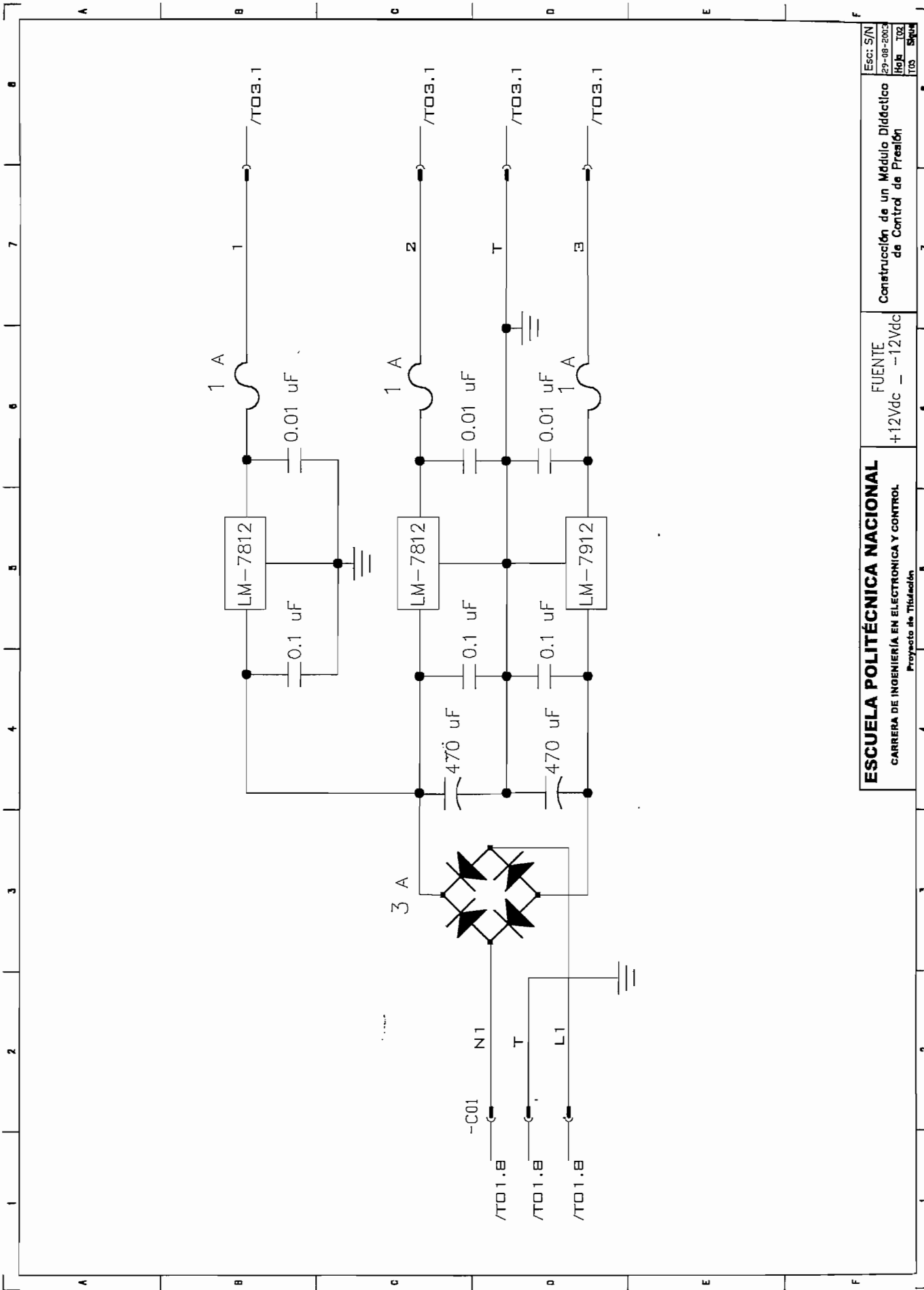
Esc: S/N
 27-08-2023
 H06 T01
 T02 5144

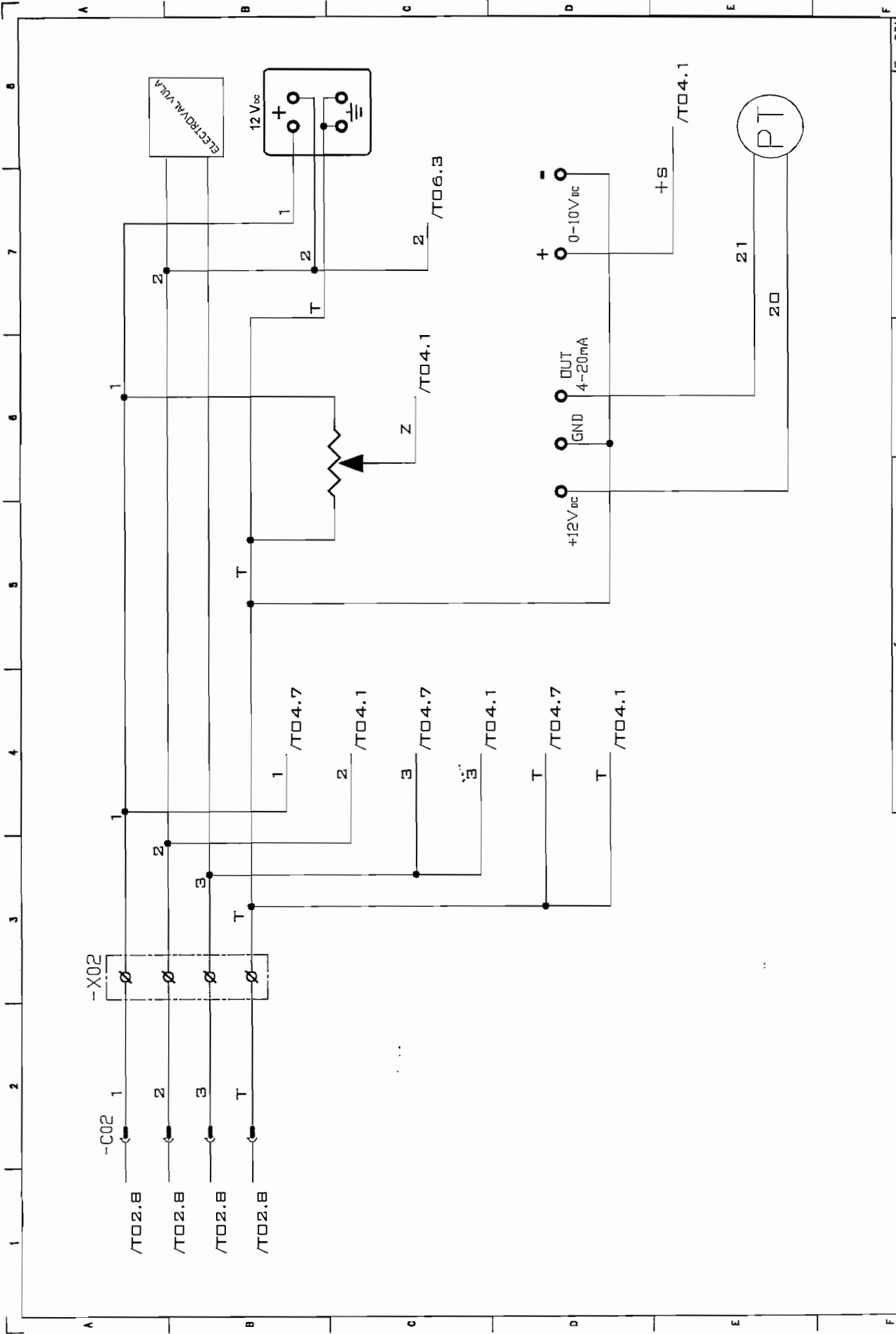
Construcción de un Módulo Didáctico de Control de Presión

Alimentación Principal

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
 CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRONICA Y CONTROL
 Proyecto de Titulación

1 2 3 4 5 6 7 8
 A B C D E F





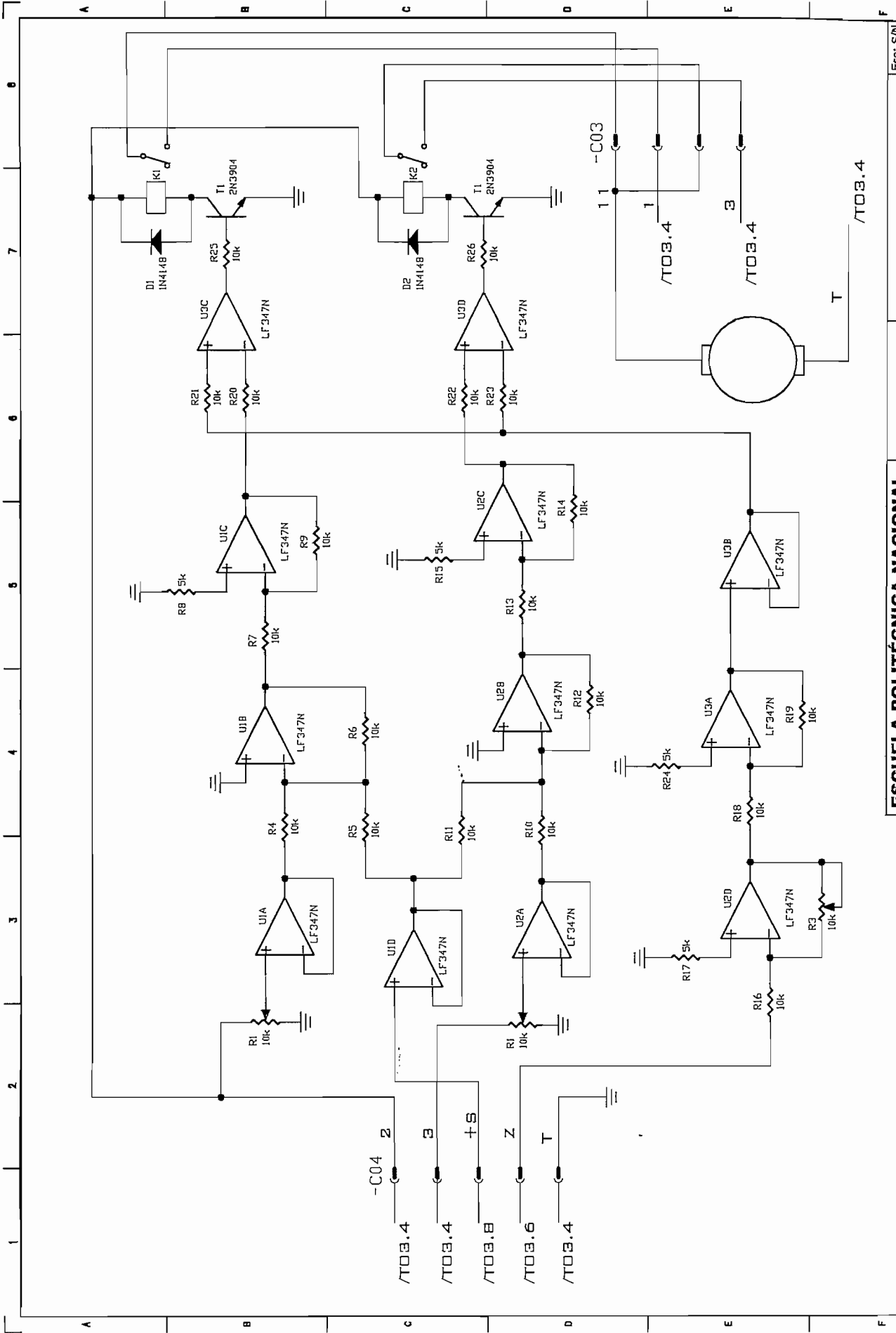
Esc: S/N
29-08-2002
Hoj: 10
T04

Construcción de un Módulo Didáctico de Control de Presión

Distribución

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y CONTROL
Proyecto de Titulación

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 100



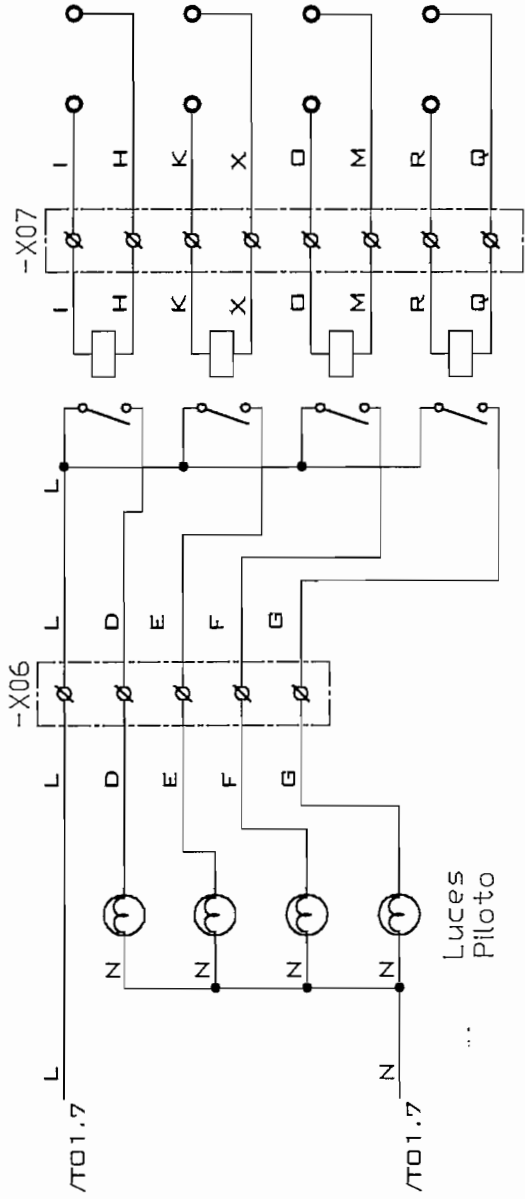
Esc: S/N
29-08-2003
Hoja 104
T08 S04

Construcción de un Módulo Didáctico de Control de Presión

CONTROL SERVOVALVULA

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRONICA Y CONTROL
Proyecto de Titulación

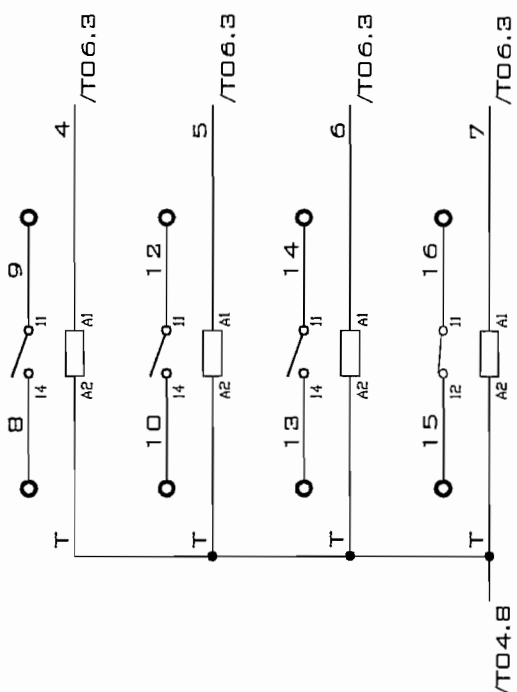
1 2 3 4 5 6 7 8



Conectores
Luces Piloto

Luces
Piloto

Contactos
Auxiliares

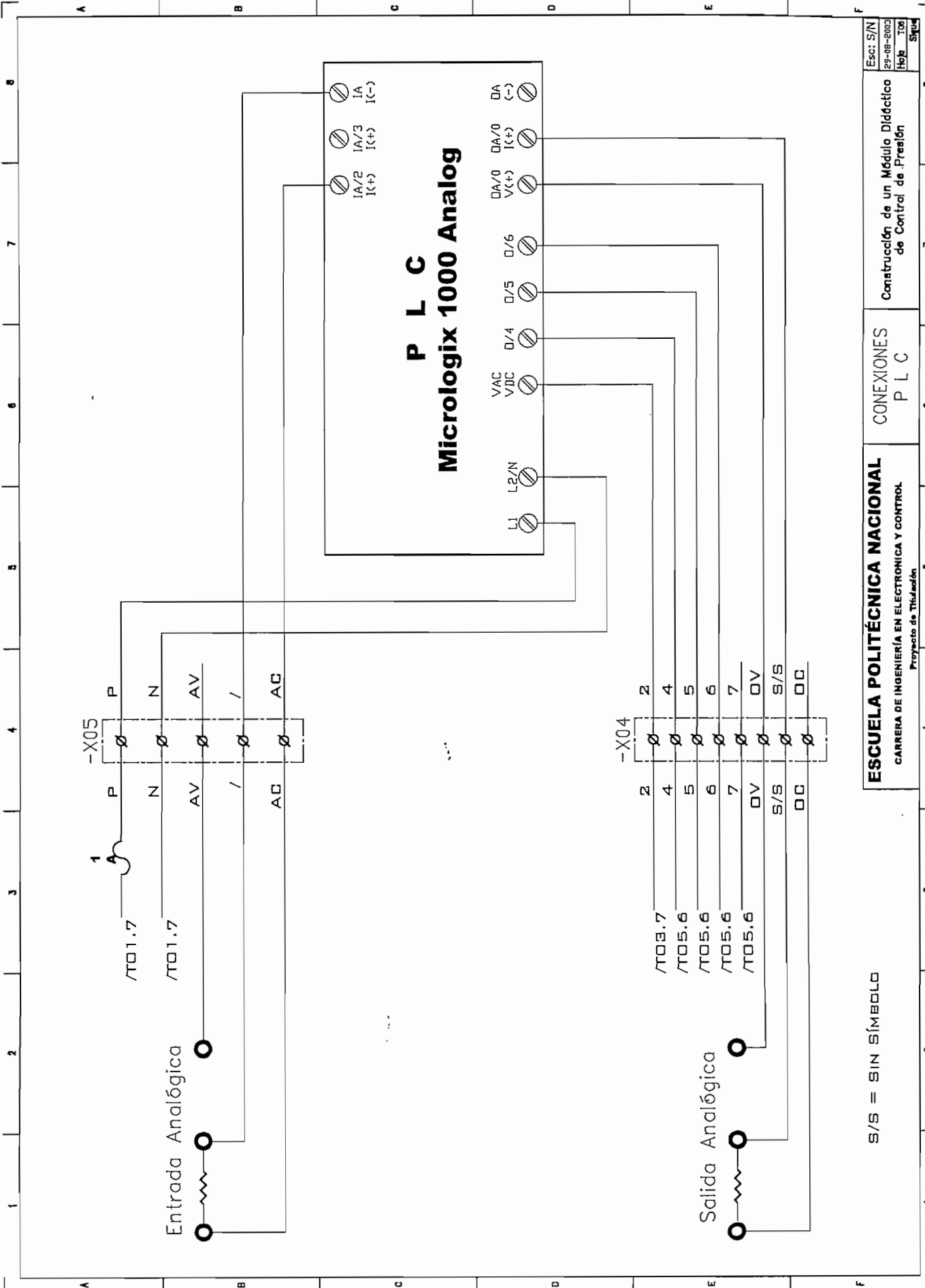


ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRONICA Y CONTROL
Proyecto de Titulación

CONTACTOS AUXILIARES
LUCES PILOTO

Construcción de un Módulo Didáctico
de Control de Presión

Esc: S/N
29-08-2003
Hoja: T05
T06 Signa



S/S = SIN SÍMBOLO

ANEXO F

ANÁLISIS DE COSTO DEL MÓDULO DIDÁCTICO DE CONTROL DE PRESIÓN

Análisis de Costo del Módulo Didáctico de Control de Presión

El presente Proyecto de Titulación ha demandado los siguientes costos, detallados a continuación:

Costo del Módulo				
Nº	Cantidad	Descripción	V. Unitario	V. Total
1	1	Estructura Metálica	255.00	255.00
2	1	PLC Allen Bradley Micrologix 1000 Analog	670.00	670.00
3	1	Sensor de Presión SIKA 0 a 10 Bar 4-20 mA	331.00	331.00
4	1	Pulsador XB2-BS542 tipo Hongo con Retención	8.28	8.28
5	1	Enchufe aterrizado	1.00	1.00
6	2	Cable 2 hilos con tierra	1.79	3.57
7	1	Tomacorriente	0.50	0.50
8	1	Interruptor	0.40	0.40
9	1	Filtro Regulador LFR-1/8-D-MINI	35.15	35.15
10	8	Racor Recto QS-1/4-6	1.34	10.72
11	6	Racor Recto QS-1/8-6	1.20	7.20
12	10	Pasamuro QSS-6	3.11	31.10
13	6	Racor Rosca Interior QSF-1/8-6	2.25	13.50
14	1	Racor T con Rosca QST-1/4-6	3.40	3.40
15	3	Manguito QM-1/4-1/4	1.40	4.20
16	3	Válvula 2/2 Rosca/Racor HE-2-1/8-QS-6	13.19	39.57
17	1	Silenciador U-1/8	3.76	3.76
18	16	Tubo Poliuretano PUN-6X1 BL	0.61	9.76
19	3	Pasamuro con Rosca SCM-1/4	6.56	19.68
20	3	Racor Recto con Retención QSK-1/4-6	3.64	10.92
21	3	Derivación T QST-6	2.83	8.49
22	1	Manómetro Wilka 0-10 Bar / 0-150 PSI	13.80	13.80
23	1	Válvula Antiretomo H-1/8A/J	22.99	22.99
24	1	Tanque de Presión	30.00	30.00
25	8	Conector PG9 4-8 mm	0.30	2.40
26	1	Placa para soporte Válvula Reguladora	1.50	1.50
27	2	Luz Piloto MK/L 110V 22mm Verde	3.45	6.90
28	2	Luz Piloto MK/L 110V 22mm Roja	3.45	6.90
29	4	Relé 12VDC con base para Riel DIN	28.57	114.28
30	4	Relé 12VDC Matsushita	2.00	8.00
31	1	Fusible 1A	0.10	0.10
32	1	Fusible 3A	0.10	0.10
33	3	Cable UTP Cat5 Flexible	0.71	2.14
34	1	Plug Mini DIN 8 pines	0.99	0.99
35	1	Conector Serial DB-9 macho	0.27	0.27
36	2	Conector Serial DB-9 hembra	0.27	0.54
37	3	Tapa Conector Serial DB-9	0.27	0.81
38	22	Conectores color negro panel	0.15	3.30
39	8	Conectores color rojo panel	0.15	1.20

40	1	Transformador 110V / 12V tap central	5.54	5.54
41	3	Portafusible baquelita	0.10	0.29
42	1	Puente de Diodos 2A 1000V	0.31	0.31
43	2	Capacitor Electrolítico 470 uF 50V	0.27	0.54
44	2	Capacitor Cerámico 0.1 uF	0.04	0.09
45	2	Capacitor Cerámico 0.01 uF	0.07	0.14
46	1	Tarjeta Impresa Circuito Fuente +-12VDC	10.71	10.71
47	2	Regulador LM7812 1A	0.80	1.61
48	1	Regulador LM7912 1A	0.45	0.45
49	2	Diodo 1N4148	0.05	0.11
50	17	Resistencias 10kohm 1/4 W	0.03	0.51
51	2	Resistencias 1kohm 1/4 W	0.03	0.06
52	4	Resistencias 4.7kohm 1/4 W	0.03	0.12
53	2	Transistor 2N3904 NPN	0.10	0.20
54	3	Amplificador Operacional LF347N	0.80	2.40
55	3	Potenciómetro de Precisión multivuelta 10kohm	1.34	4.02
56	3	Zócalos 14 pines	0.10	0.30
57	3	Fusible 1A baquelita	0.10	0.30
58	2	Relé 12VDC	2.00	4.00
59	1	Tarjeta Impresa Doble Lado Circuito Servoválvula	31.25	31.25
60	1	Potenciómetro de Panel Lineal 0-200 Ohm	55.20	55.20
61	1	Motor 12VDC con Reductor de Velocidad	10.00	10.00
62	1	Válvula de aguja de 1/4 NPT Parker 2000LB	47.24	47.24
63		Base Servoválvula	6.20	5.00
64	30	Cable flexible AWG 22	0.09	2.69
65	20	Cable flexible AWG 18	0.09	1.78
66	1	Riel DIN	1.50	1.50
67	2	Bomera H.F.W. 660V 3A AC	0.29	0.58
68	1	Libretín Marcador 0-9/A-Z	6.48	6.48
69	1	Funda amarras plásticas 100 pcs	0.67	0.67
70		Pemos / Tuercas	2.00	2.00
71	1	Rollo Teflón 12m	0.31	0.31
72	1	Papel Contact Transparente	2.76	2.76
73	12	Sujetadores Plásticos Adhesivos	0.18	2.16
74	2	Impresión Plotter	1.12	2.23
75	1	Tubo Silicona transparente	1.00	1.00

Suman:	\$ 1 887.99
12% IVA	\$ 226.56
TOTAL	\$ 2 114.55

Los materiales adquiridos para la implementación y construcción de este Proyecto de Titulación, cumplen las características necesarias y los rangos especificados, para los cuales han sido desarrollados.

Se han buscado componentes, que a parte de su buena calidad, rendimiento y rango de trabajo determinado, sean lo suficientemente viables económicamente.

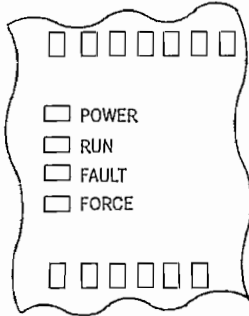
El costo total del proyecto, es relativamente bajo para todas las posibilidades que brindará al Laboratorio de Control de Procesos, así como al estudiante de la Carrera de Ingeniería en Electrónica y Control de la Escuela Politécnica Nacional.

En caso de una eventual comercialización de éste módulo, por parte de la Escuela Politécnica Nacional, se debe incluir el costo de mano de obra, y en caso de requerirlo, se puede cambiar la servoválvula diseñada y construida por los autores, con una de tipo comercial, con el consecuente incremento del costo final.

When an Error Exists

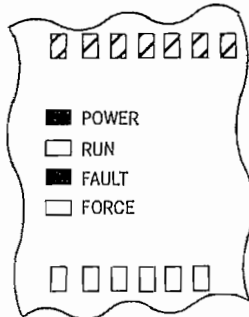
If an error exists within the controller, the controller LEDs operate as described in the following tables.

If the LEDs indicate:



The Following Error Exists	Probable Cause	Recommended Action
No input power or power supply error	No Line Power	Verify proper line voltage and connections to the controller.
	Power Supply Overloaded	This problem can occur intermittently if power supply is overloaded when output loading and temperature varies.

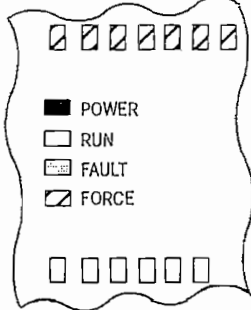
If the LEDs indicate:



The Following Error Exists	Probable Cause	Recommended Action
Hardware faulted	Processor Memory Error	Cycle power. Contact your local Allen-Bradley representative if the error persists.
	Loose Wiring	Verify connections to the controller.

Troubleshooting

If the LEDs indicate:



The Following Error Exists	Probable Cause	Recommended Action
Application fault	Hardware/Software Major Fault Detected	<ol style="list-style-type: none"> 1. Monitor Status File Word S:6 for major error code. 2. Remove hardware/software condition causing fault. 3. Press F10 to clear the fault. 4. Attempt a controller REM Run mode entry. If unsuccessful, repeat recommended action steps above or contact your local Allen-Bradley distributor.

Refer to the following key to determine the status of the LED indicators:

- Indicates the LED is OFF.
- Indicates the LED is ON.
- Indicates the LED is FLASHING.
- Status of LED does not matter.

General Specifications

Description:		Specification: 1761-L													
		16AWA	20AWA-5A	32AWA	10BWA	16BWA	20BWA-5A	32BWA	32AAA	16BBB	10BWB	16BWB	20BWB-5A	32BWB	32BBB
Memory Size/Type		1 K EEPROM (approximately 737 instruction words; 437 data words)													
Power Supply Voltage		85–264V ac, 47–63 Hz								20.4–26.4V dc					
Power Supply Usage	120V ac	15 VA	20 VA	19 VA	24 VA	26 VA	30 VA	29 VA	16 VA	Not Applicable					
	240V ac	21 VA	27 VA	25 VA	32 VA	33 VA	38 VA	36 VA	22 VA						
	24V dc	Not Applicable								5W		10W		7W	
Power Supply Max. Inrush Current ^①		30A for 8 ms								30A for 4 ms		50A for 4 ms		30A for 4 ms	
24V dc Sensor Power (V dc at mA)		Not Applicable			200 mA				Not Applicable						
Max Capacitive Load (User 24V dc)					200 μ F										
Power Cycles		50,000 minimum													
Operating Temp.		Horizontal mounting: 0°C to +55°C (+32°F to +131°F) for horizontal mounting Vertical mounting ^② : 0°C to +45°C (+32°F to +113°F) for discrete; 0°C to +40°C (+32°F to +113°F) for analog													
Storage Temp.		–40°C to +85°C (–40°F to +185°F)													
Operating Humidity		5 to 95% noncondensing													
Vibration		Operating: 5 Hz to 2k Hz, 0.381 mm (0.015 in.) peak to peak/2.5g panel mounted, ^③ 1hr per axis Non-operating: 5 Hz to 2k Hz, 0.762 mm (0.030 in.) peak to peak/5g, 1hr per axis													
Shock ^④		Operating: 10g peak acceleration (7.5g DIN rail mounted) ^⑤ (11 \pm 1 ms duration) 3 times each direction, each axis Non-operating: 20g peak acceleration (11 \pm 1 ms duration), 3 times each direction, each axis													
Agency Certification (when product or packaging is marked)		<ul style="list-style-type: none"> • C-UL Class I, Division 2 Groups A, B, C, D certified • UL listed (Class I, Division 2 Groups A, B, C, D certified) • CE marked for all applicable directives 													
Terminal Screw Torque		0.9 N-m maximum (8.0 in.-lbs)													
Electrostatic Discharge		IEC801-2 @ 8K V Discrete I/O 4K V Contact, 8K V Air for Analog I/O													
Radiated Susceptibility		IEC801-3 @ 10 V/m, 27 MHz – 1000 MHz except for 3V/m, 87 MHz – 108 MHz, 174 MHz – 230 MHz, and 470 MHz – 790 MHz													
Fast Transient		IEC801-4 @ 2K V Power Supply, I/O; 1K V Comms													
Isolation		1500V ac													

① Refer to page 1–13 for additional information on power supply inrush.

② DC input voltage derated linearly from 30°C (30V to 26.4V).

③ DIN rail mounted controller is 1g.

④ Refer to page 1–18 for vertical mounting specifications.

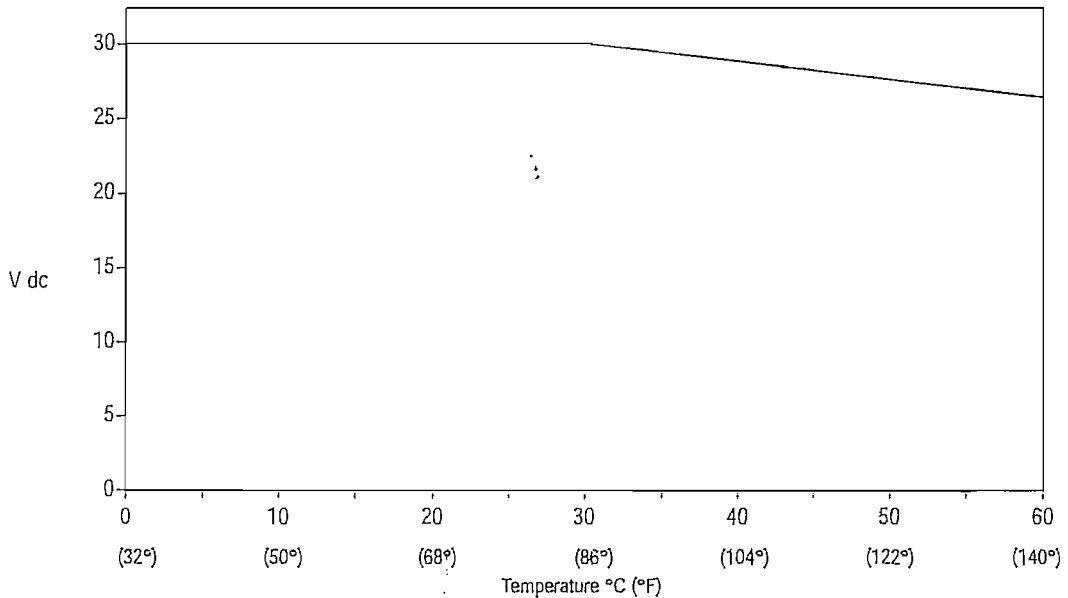
⑤ Relays are derated an additional 2.5g on 32 pt. controllers.

Input Specifications

Description	Specification	
	100-120V ac Controllers	24V dc Controllers
Voltage Range	79 to 132V ac 47 to 63 Hz	14 to 30V dc
On Voltage	79V ac min. 132V ac max.	14V dc min. 24V dc nominal 26.4V dc max. @ 55°C (131°F) 30.0V dc max. @ 30°C (86°F)
Off Voltage	20V ac	5V dc
On Current	5.0 mA min. @ 79V ac 47 Hz 12.0 mA nominal @ 120V ac 60 Hz 16.0 mA max. @ 132V ac 63 Hz	2.5 mA min. @ 14V dc 8.0 mA nominal @ 24V dc 12.0 mA max. @ 30V dc
Off Current	2.5 mA max.	1.5 mA max.
Nominal Impedance	12K ohms @ 50 Hz 10K ohms @ 60 Hz	3K ohms
Inrush Maximum	250 mA max. ^①	Not Applicable

① To reduce the inrush maximum to 35 mA, apply a 6.8K ohm, 5w resistor in series with the input. The on-state voltage increases to 92V ac as a result.

dc Input Derating Graph



General Output Specifications

Type	Relay	MOSFET	Triac
Voltage	See Wiring Diagrams, p. 2-7.		
Maximum Load Current	Refer to the Relay Contact Rating Table.	1.0A per point @ 55° C (131° F) 1.5A per point @ 30° C (86° F)	0.5A per point @ 55° C (131° F) 1.0A per point @ 30° C (86° F)
Minimum Load Current	10.0 mA	1 mA	10.0 mA
Current per Controller	1440 VA	3A for L16BBB 6A for L32BBB	1440 VA
Current per Common	8.0A	3A for L16BBB 6A for L32BBB	Not Applicable
Maximum Off State Leakage Current	0 mA	1 mA	2 mA @ 132V ac 4.5 mA @ 264V ac
Off to On Response	10 ms max.	0.1 ms	8.8 ms @ 60 Hz 10.6 ms @ 50 Hz
On to Off Response	10 ms max.	1 ms	11.0 ms
Surge Current per Point	Not Applicable	4A for 10 ms [Ⓓ]	10A for 25 ms [Ⓓ]

[Ⓓ] Repeatability is once every 2 seconds at 55° C (131° F).

Relay Contact Rating Table (applies to all Bulletin 1761 controllers)

Maximum Volts	Amperes		Amperes Continuous per Point	Voltamperes	
	Make	Break		Make	Break
240V ac	7.5A	0.75A	2.5A	1800 VA	180 VA
120V ac	15A	1.5A			
125V dc	0.22A [Ⓓ]		1.0A	28 VA	
24V dc	1.2A [Ⓓ]		2.0A	28 VA	

[Ⓓ] For dc voltage applications, the make/break ampere rating for relay contacts can be determined by dividing 28 VA by the applied dc voltage. For example, $28 \text{ VA} \div 48 \text{ V dc} = 0.58 \text{ A}$. For dc voltage applications less than 48V, the make/break ratings for relay contacts cannot exceed 2A. For dc voltage applications greater than 48V, the make/break ratings for relay contacts cannot exceed 1A.

Análisis de Costo del Módulo Didáctico de Control de Presión

El presente Proyecto de Titulación ha demandado los siguientes costos, detallados a continuación:

Costo del Módulo				
Nº	Cantidad	Descripción	V. Unitario	V. Total
1	1	Estructura Metálica	255.00	255.00
2	1	PLC Allen Bradley Micrologix 1000 Analog	670.00	670.00
3	1	Sensor de Presión SIKA 0 a 10 Bar 4-20 mA	331.00	331.00
4	1	Pulsador XB2-BS542 tipo Hongo con Retención	8.28	8.28
5	1	Enchufe aterrizado	1.00	1.00
6	2	Cable 2 hilos con tierra	1.79	3.57
7	1	Tomacorriente	0.50	0.50
8	1	Interruptor	0.40	0.40
9	1	Filtro Regulador LFR-1/8-D-MINI	35.15	35.15
10	8	Racor Recto QS-1/4-6	1.34	10.72
11	6	Racor Recto QS-1/8-6	1.20	7.20
12	10	Pasamuro QSS-6	3.11	31.10
13	6	Racor Rosca Interior QSF-1/8-6	2.25	13.50
14	1	Racor T con Rosca QST-1/4-6	3.40	3.40
15	3	Manguito QM-1/4-1/4	1.40	4.20
16	3	Válvula 2/2 Rosca/Racor HE-2-1/8-QS-6	13.19	39.57
17	1	Silenciador U-1/8	3.76	3.76
18	16	Tubo Poliuretano PUN-6X1 BL	0.61	9.76
19	3	Pasamuro con Rosca SCM-1/4	6.56	19.68
20	3	Racor Recto con Retención QSK-1/4-6	3.64	10.92
21	3	Derivación T QST-6	2.83	8.49
22	1	Manómetro Wilka 0-10 Bar / 0-150 PSI	13.80	13.80
23	1	Válvula Antiretorno H-1/8A/J	22.99	22.99
24	1	Tanque de Presión	30.00	30.00
25	8	Conector PG9 4-8 mm	0.30	2.40
26	1	Placa para soporte Válvula Reguladora	1.50	1.50
27	2	Luz Piloto MK/L 110V 22mm Verde	3.45	6.90
28	2	Luz Piloto MK/L 110V 22mm Roja	3.45	6.90
29	4	Relé 12VDC con base para Riel DIN	28.57	114.28
30	4	Relé 12VDC Matsushita	2.00	8.00
31	1	Fusible 1A	0.10	0.10
32	1	Fusible 3A	0.10	0.10
33	3	Cable UTP Cat5 Flexible	0.71	2.14
34	1	Plug Mini DIN 8 pines	0.99	0.99
35	1	Conector Serial DB-9 macho	0.27	0.27
36	2	Conector Serial DB-9 hembra	0.27	0.54
37	3	Tapa Conector Serial DB-9	0.27	0.81
38	22	Conectores color negro panel	0.15	3.30
39	8	Conectores color rojo panel	0.15	1.20

40	1	Transformador 110V / 12V tap central	5.54	5.54
41	3	Portafusible baquelita	0.10	0.29
42	1	Puente de Diodos 2A 1000V	0.31	0.31
43	2	Capacitor Electrolítico 470 uF 50V	0.27	0.54
44	2	Capacitor Cerámico 0.1 uF	0.04	0.09
45	2	Capacitor Cerámico 0.01 uF	0.07	0.14
46	1	Tarjeta Impresa Circuito Fuente +-12VDC	10.71	10.71
47	2	Regulador LM7812 1A	0.80	1.61
48	1	Regulador LM7912 1A	0.45	0.45
49	2	Diodo 1N4148	0.05	0.11
50	17	Resistencias 10kohm 1/4 W	0.03	0.51
51	2	Resistencias 1kohm 1/4 W	0.03	0.06
52	4	Resistencias 4.7kohm 1/4 W	0.03	0.12
53	2	Transistor 2N3904 NPN	0.10	0.20
54	3	Amplificador Operacional LF347N	0.80	2.40
55	3	Potenciómetro de Precisión multivuelta 10kohm	1.34	4.02
56	3	Zócalos 14 pines	0.10	0.30
57	3	Fusible 1A baquelita	0.10	0.30
58	2	Relé 12VDC	2.00	4.00
59	1	Tarjeta Impresa Doble Lado Circuito Servoválvula	31.25	31.25
60	1	Potenciómetro de Panel Lineal 0-200 Ohm	55.20	55.20
61	1	Motor 12VDC con Reductor de Velocidad	10.00	10.00
62	1	Válvula de aguja de 1/4 NPT Parker 2000LB	47.24	47.24
63		Base Servoválvula	6.20	5.00
64	30	Cable flexible AWG 22	0.09	2.69
65	20	Cable flexible AWG 18	0.09	1.78
66	1	Riel DIN	1.50	1.50
67	2	Bomera H.F.W. 660V 3A AC	0.29	0.58
68	1	Libretín Marcador 0-9/A-Z	6.48	6.48
69	1	Funda amarras plásticas 100 pcs ;	0.67	0.67
70		Pemos / Tuercas	2.00	2.00
71	1	Rollo Teflón 12m	0.31	0.31
72	1	Papel Contact Transparente	2.76	2.76
73	12	Sujetadores Plásticos Adhesivos	0.18	2.16
74	2	Impresión Plotter	1.12	2.23
75	1	Tube Silicona transparente	1.00	1.00
			Suman:	\$ 1 887.99
			12% IVA	\$ 226.56
			TOTAL	\$ 2 114.55

Los materiales adquiridos para la implementación y construcción de este Proyecto de Titulación, cumplen las características necesarias y los rangos especificados, para los cuales han sido desarrollados.

Se han buscado componentes, que a parte de su buena calidad, rendimiento y rango de trabajo determinado, sean lo suficientemente viables económicamente.

El costo total del proyecto, es relativamente bajo para todas las posibilidades que brindará al Laboratorio de Control de Procesos, así como al estudiante de la Carrera de Ingeniería en Electrónica y Control de la Escuela Politécnica Nacional.

En caso de una eventual comercialización de éste módulo, por parte de la Escuela Politécnica Nacional, se debe incluir el costo de mano de obra, y en caso de requerirlo, se puede cambiar la servoválvula diseñada y construida por los autores, con una de tipo comercial, con el consecuente incremento del costo final.