



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

**ÁREA DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS
NATURALES NO RENOVABLES.**

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA.

TÍTULO:

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO PARA LA MEDICIÓN
Y CONTROL DE LA PRESIÓN EN UN PROCESO EXPERIMENTAL.**

Tesis Previa a la obtención del
Título de Ingeniero
Electromecánico.

AUTOR:

Luis Arquimides Tandazo Solano

DIRECTOR

Ing. Julio César Cuenca Tinitana, Mg. Sc.

LOJA-ECUADOR

AÑO 2014

CERTIFICACIÓN.

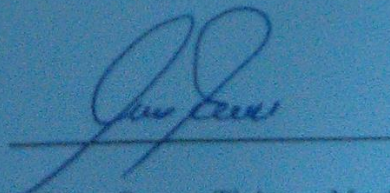
Ing. Julio César Cuenca Tinitana, Mg. Sc.

DIRECTOR DE TESIS.

CERTIFICA:

Haber dirigido, asesorado, revisado y corregido el presente trabajo de tesis de grado, en su proceso de investigación cuyo tema versa en **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO PARA LA MEDICIÓN Y CONTROL DE LA PRESIÓN EN UN PROCESO EXPERIMENTAL.”**, previa a la obtención del título de Ingeniero Electromecánico, realizado por el señor egresado: **Luis Arquimides Tandazo Solano**, la misma que cumple con la reglamentación y políticas de investigación, por lo que autorizo su presentación y posterior sustentación y defensa.

Loja, 06 de Mayo del 2014



Ing. Julio César Cuenca Tinitana, Mg. Sc.

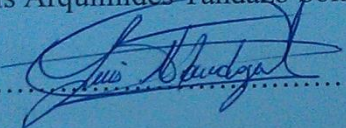
DIRECTOR DE TESIS.

AUTORÍA.

Yo **Tandazo Solano Luis Arquimides**, declaro ser autor del presente trabajo de tesis y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y sus representantes de posibles reclamos o acciones legales por el contenido de la misma.

Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi tesis en el Repositorio Institucional - Biblioteca Virtual.

Autor: Luis Arquimides Tandazo Solano.

Firma: 

Cédula: 1104041809

Fecha: 06 de Mayo del 2014

CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS POR PARTE DEL AUTOR, PARA LA CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL, Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO.

Yo **Luis Arquímides Tandazo Solano**, declaro ser autor de la tesis titulada: **"DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO PARA LA MEDICIÓN Y CONTROL DE LA PRESIÓN EN UN PROCESO EXPERIMENTAL"**, como requisito para optar al grado de: **Ingeniero Electromecánico**; autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Digital Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el RDI, en las redes de información del país y del exterior, con las cuales tenga convenio la universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia de la tesis que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los seis días del mes de mayo del dos mil catorce, firma del autor.

Firma: 

Autor: Tandazo Solano Luis Arquimides.

Cédula: 1104041809

Dirección: UNE I ETAPA.

Correo electrónico: tandazoluis@outlook.com

Teléfono: 2110850

Celular: 0986577791

DATOS COMPLEMENTARIOS.

Director de Tesis: Ing. Julio César Cuenca Tinitana, Mg. Sc.

Tribunal de Grado: Ing. Milton Amable León Tapia, Mg. Sc.

Ing. Edwin Bladimir Paccha Herrera, Mg. Sc.

Ing. José Fabricio Cuenca Granda, Mg. Sc.

PENSAMIENTO.

“La educación es el pasaporte al futuro. El mañana pertenece a quienes se preparan hoy”

Malcom X.

“Nunca consideres el estudio como una obligación, sino como una oportunidad para penetrar en el bello y maravilloso mundo del saber”.

Albert Einstein

DEDICATORIA.

Con todo cariño para mi madre, mi padre y mis hermanos que me han apoyado y colaborado en todo el proceso de desarrollo de mi proyecto de tesis.

AGRADECIMIENTO.

Mi primer agradecimiento es a Dios, por darme la oportunidad de formar parte de una gran familia la cual siempre ha estado presente en mis fracasos y logros apoyándome de una forma incondicional. A mis padres porque ellos siempre me apoyaron para que siguiese estudiando en todo momento, creyendo más ellos que yo en mi propia capacidad física e intelectual. A mis hermanos que han sido una gran referencia para poder crecer con buenos valores tanto en el ámbito profesional como personal.

.

A mi tutor Ing. Julio César Cuenca por haberme ayudado siempre que lo he necesitado. Además de aconsejarme y guiarme a lo largo de todo el proyecto, con un trato excelente que hacía las cosas más fáciles, sin duda una gran persona.

Al Ing. José Benavides, por estar siempre cuando se le necesitaba, siendo el primero que dejaba lo que estaba haciendo si le pedía alguna ayuda.

También agradecerles a todos mis compañeros de Universidad por estos años tan buenos que nunca olvidaré. Cada compañero de alguna forma me ha aportado algo, no doy ningún nombre porque los que han estado compartiendo clase y momentos conmigo saben quiénes son. Aunque a muchos no los volveré a ver, decir a todos que me considero un afortunado de haber podido compartir todos los momentos de la carrera con vosotros.

Por último dar las gracias a todos los profesores que he tenido a lo largo de la carrera y que me han ayudado a finalizar un objetivo más de mi vida.

TABLA DE CONTENIDOS.

a.-TÍTULO.....	13
b. RESUMEN.....	14
c.- INTRODUCCIÓN.....	16
d.- REVISIÓN DE LITERATURA.....	17
d.1 CAPÍTULO I: ESTADO DEL ARTE DE LA AUTOMATIZACIÓN DE SISTEMAS NEUMÁTICOS.....	17
d.1.1 Introducción.....	17
d.1.2 Estado del arte.....	18
d.1.2.1 Sistemas neumáticos.....	18
d.1.2.2 Métodos de control.....	20
d.1.2.2.1 Variables consideradas.....	21
d.1.2.2.2 Estrategias de control.....	22
d.1.2.2.3 Métodos de diseño.....	24
d.1.2.2.4 Implementación.....	25
d.2 CAPÍTULO II: MODELADO MATEMÁTICO E IDENTIFICACIÓN DE PROCESOS.....	26
d.2.1 Introducción.....	26
d.2.2 Modelado matemático de sistemas físicos.....	26
d.2.2.1 Modelado analítico.....	27
d.2.2.2 Identificación de sistemas.....	28
d.2.2.2.1 Procedimiento de identificación.....	28
d.2.2.2.2 Diseño del experimento.....	31
d.2.2.2.3 Tratamiento previo de los datos.....	34
d.2.2.2.4 Selección de la estructura del modelo.....	35
d.2.2.2.5 Estimación de los parámetros del modelo.....	35
d.2.2.2.6 Validación del modelo.....	37
d.3 CAPÍTULO III: SISTEMAS DE ADQUISICIÓN DE DATOS.....	39
d.3.1 Introducción.....	39

d.3.2 LabView.....	39
d.3.2.1 Programación gráfica.....	40
d.3.2.2 Instrumentos Virtuales.....	41
d.3.2.3 Menús de LabView.....	41
d.3.2.4 Paletas de controles, funciones y herramientas.	42
d.3.2.5 Flujo de Datos.....	45
d.3.2.6 Sub VI.....	46
d.3.2.7 Arquitectura básica de programación.	47
d.3.3 Adquisición de datos, supervisión y control.	48
d.3.3.1 Equipos para la adquisición de datos y el control.	49
d.3.3.2 Measurement & Automation Explorer (Max).	60
e.- MATERIALES Y MÉTODOS.....	62
e.1 Materiales.....	62
e.2 Métodos.....	62
e.2.1 Descripción y dimensionamiento del prototipo diseñado e implementado.....	62
e.2.2 Procedimiento de identificación de procesos para obtener el modelo.	64
e.2.2.1 Adquisición de datos de la Planta.	64
e.2.2.2 Identificación de sistemas con Matlab.....	66
e.2.3 Desarrollo del controlador.....	73
e.2.4 Implementación.	76
e.2.5 Valorización económica.	79
f.- RESULTADOS.	80
f.1 Modelo matemático.....	80
f.2 Controlador.....	80
f.3 Implementación.	82
g.- DISCUSIÓN.	85

h.- CONCLUSIONES.	87
i.- RECOMENDACIONES.	88
j.- BIBLIOGRAFÍA.	90
k. ANEXOS.	92
k. 1. ANEXO 1: Catalogo del transductor de presión NOSHOK series 300.	92
k. 2. ANEXO 2: Catalogo válvula proporcional OMEGA FSV10 SERIES	94
k. 3. ANEXO 3: Catalogo del módulo FieldPoint FP-AIO-600.	95
k. 4. ANEXO 4: Catalogo del módulo FieldPoint FP-RLY-420.	97
k. 7. ANEXO 7. Esquema neumático del banco de presión.	99
k. 8. ANEXO 8. Croquis del prototipo.	101
k. 5. ANEXO 5. Diagrama eléctrico de control del banco de presión.	103
k. 6. ANEXO 6. Diagrama de fuerza del banco de presión.	105
k. 9. ANEXO 9: Construcción del banco de presión.	107
k. 10. ANEXO 10. Manual de operación del sistema.	108
k. 11. ANEXO 11. Anteproyecto.	111

ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura 1. Sistema neumático Básico.....	19
Figura 2. Sistema de control básico.....	21
Figura 3. Sistema de control de lazo abierto.	22
Figura 4. Sistema de control de lazo cerrado.....	24
Figura 5. El procedimiento de identificación.	30
Figura 6. Respuesta a un sistema de primer orden	32
Figura 7. Respuesta segundo orden estándar.....	33
Figura 8. Esquema de la identificación en línea.....	37
Figura 9. Menús disponibles en el panel frontal (arriba) y en el diagrama de bloques (abajo) de LabView	41
Figura 10. Paleta de controles.....	44
Figura 11. Paleta de funciones.....	45
Figura 12. Acceso para crear un subVI.	47
Figura 13. CPU del fieldPoint2010.	49
Figura 14. Conexión del FieldPoint2010 a una red Ethernet	50
Figura 15. FP-2010 conectado a un concentrador Ethernet.....	52
Figura 16. FP-20xx conectado directamente con un cable cruzado	52
Figura 17. Conector de alimentación.....	53
Figura 18. Conexión campo básico	55
Figura 19. Circuito de entrada del FP-AIO-600	56
Figura 20. Conexión de una fuente de alimentación a un canal de entrada.	57
Figura 21. Conexión de una fuente de corriente al FP-AIO-600.....	57
Figura 22. Conectar un canal de salida con carga.	58
Figura 23. Conexión básica de los canales de relé.	60
Figura 24. MAX y la conexión establecida con el FieldPoint.....	61
Figura 25. Esquema neumático del banco de presión a implementar.	63
Figura 26. Diagrama de bloques del VI para adquirir los datos del prototipo.	64
Figura 27. Panel Frontal del VI para adquirir los datos del prototipo.	65
Figura 28. Variables de entrada y salida de la planta guardadas en el workspace de Matlab.....	66
Figura 29. Ventana de <i>system identification</i>	67
Figura 30. Ventana <i>Import Data</i> , se coloca las variables de entrada y salida del <i>workspace</i>	68

Figura 31. Gráfica de los datos importados.....	68
Figura 32. Ventana <i>Process Models</i> de <i>System identification</i>	69
Figura 33. Muestra las gráficas del modelo de función de transferencia.	70
Figura 34. Medición y simulación del modelo de salida.	71
Figura 35. Representación de polos y ceros de la función.	72
Figura 36. Función de transferencia obtenida de la herramienta <i>ident</i> de matlab.	72
Figura 37. Diagrama de bloques del modelo de la planta.	73
Figura 38. Parámetro del bloque de funciones del controlador PID	74
Figura 39. Diseño del controlador PID.....	75
Figura 40. Respuesta del controlador PID.....	76
Figura 41. Panel frontal del control PID realizado.....	76
Figura 42. Diagrama de bloques del control PID	77
Figura 43. Modelos de los controladores de la planta implementada.	81
Figura 44. Representación gráfica del controlador de la planta implementado.	83
Figura 45. Visualización gráfica del proceso de estabilización.....	83
Figura 46. Elaboración del prototipo para la medición y control de la presión.	107
Figura 47. Prototipo con todos los elementos que permiten realizar el control de la presión.	107
Figura 48. Pantalla de control, medición y monitoreo del proceso de la planta.....	109

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1. Tipos comunes de cables.	46
Tabla 2. Ocupación de los bornes de entrada del módulo FP-AIO-600.....	55
Tabla 3. Ocupación de los bornes de salida del módulo FP-AIO-600.	56
Tabla 4. Asignación de terminales del módulo FP-RLY-420.	59
Tabla 5. Gastos realizados para la implementación del banco de pruebas.....	79
Tabla 6. Parámetros de los controladores	82

a.-TÍTULO.

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO PARA LA MEDICIÓN Y CONTROL DE LA PRESIÓN EN UN PROCESO EXPERIMENTAL.

b. RESUMEN.

El presente proyecto de tesis tiene la finalidad de proveer al laboratorio de automatización un banco de pruebas para la medición y control de la presión en un proceso experimental que sea funcional y útil para quienes realicen prácticas en este laboratorio.

Para cumplir con este objetivo se diseñó y construyó un banco de pruebas que cuenta con un sistema de tuberías donde circula aire impulsado por un compresor, la variable que se controla es la presión, para ello se implementó un sistema en lazo cerrado en donde la medición de presión se la realiza por medio de sensores de presión. Para el control de dicha variable se diseñó un sistema PID con la ayuda de una válvula proporcional OMEGA que permite variar la entrada de flujo y una válvula manual que simula perturbaciones (fugas de aire).

Para el diseño del sistema de control se implementó un sistema de medición y control mediante el FieldPoint2010 de *National Instruments*. En primer lugar se obtuvo el modelo matemático del proceso, a través del procedimiento de identificación de sistema. Con el modelo obtenido en el entorno de *Matlab/Simulink* se diseñó y ajusta un controlador PID para el proceso. Finalmente, en el entorno de *LabView* se implementa el sistema de control PID para el proceso y se realiza las pruebas de funcionamiento comprobando que el modelo obtenido de la planta funciona correctamente en tiempo real.

SUMMARY.

The present thesis project aims to provide to the laboratory automation a testing bench for the measurement and control of the pressure in an experimental process that is functional and useful for those who practice in this laboratory.

To meet this objective a testing bench was designed and built, with a piping system which circulates air driven by a compressor, the variable that is controlled is the pressure, so we implemented a closed-loop system in where the pressure measurement is via pressure sensors. For control, it was designed A PID system with the help of a proportional valve OMEGA that allows you to vary the flow inlet and a manual valve that simulates disturbances (air leakage).

For the design of the control system was implemented a system of measurement and control using the National Instruments FieldPoint2010. First of all, the mathematical model of the process was obtained through the system identification procedure. With the model obtained in the Matlab/Simulink environment is designed and set a PID controller for the process. Finally in the LabView environment, the PID control system is implemented in for the process and performance tests are performed by checking that the model obtained from the plant works correctly in a real time.

c.- INTRODUCCIÓN.

Los sistemas controlados han estado evolucionando de forma acelerada en los últimos tiempos y hoy en día pasan desapercibidos por mucha gente pues presentan pocos o ningún problema, las técnicas de control se han mejorado a través de los años, sin embargo es muy importante que se conozca la teoría básica de control.

Por esta razón el proyecto se basa en el diseño y construcción de un banco para la medición y control de la presión en un proceso experimental, para lo cual se emplean programas de ingeniería como *Matlab* donde se obtiene la función de transferencia de la planta, utilizando la herramienta *IDENT* y *SIMULINK* que simula la función de transferencia y calcula un controlador PID.

La implementación de la planta se la realiza en el software *LabView*, con el que se puede establecer una comunicación directa con el FieldPoint2010 de *National Instruments*, permitiendo crear un VI (Instrumento Virtual) para la medición y control del banco de pruebas.

Para el desarrollo del presente proyecto se planteó el siguiente objetivo general:

- Implementar un banco de pruebas para la medición y control de la presión de un proceso experimental, para el laboratorio de Automatización Industrial.

Y los siguientes objetivos específicos:

- Definir el sistema tecnológico, sistema de control, instrumentación requerida, croquis y planos de montaje para el banco de pruebas a implementar.
- Construir un proceso experimental para la medición y control de presión con recursos propios y tecnología al alcance.
- Seleccionar el software necesario para la adquisición de datos, configuración y visualización de parámetros y el control del proceso.

d.- REVISIÓN DE LITERATURA.

d.1 CAPÍTULO I: ESTADO DEL ARTE DE LA AUTOMATIZACIÓN DE SISTEMAS NEUMÁTICOS.

d.1.1 Introducción.

La neumática ha jugado un rol importante como tecnología en el mejoramiento del trabajo mecánico. Es también utilizada en el desarrollo de soluciones para la automatización.

En la actualidad, los procesos tecnológicos realizados en materiales, diseño y procesos de producción han mejorado la calidad y diversidad de los componentes neumáticos y de esta forma han contribuido a su amplio uso en la automatización.

A continuación se describen algunas de las ventajas y desventajas del aire comprimido:

Ventajas:

- El aire está prácticamente disponible en todas partes y en cantidades ilimitadas.
- El aire comprimido puede ser almacenado en un depósito y usado cuando se requiera.
- El aire sin lubricante es limpio. Cualquier aire sin lubricante que escape a través de las conexiones o componentes no causa ninguna contaminación.
- El aire comprimido es un medio de trabajo rápido. Esto permite obtener altas velocidades de trabajo.
- El aire no posee propiedades explosivas, por lo que no existen riesgos de chispas.
- El trabajo con aire no dañan los componentes de un circuito por efecto de golpes de ariete.
- Las sobrecargas no constituyen situaciones peligrosas o que dañen los equipos en forma permanente.
- Los cambios de temperatura no afectan en forma significativa.

Desventajas.

- El aire comprimido requiere buena preparación. Suciedad y condensación no deben de estar presentes.
- En circuitos muy extensos se producen pérdidas de cargas considerables.
- Requiere de instalaciones especiales para recuperar el aire previamente empleado.
- Las presiones a las que trabajan normalmente, no permiten aplicar grandes fuerzas.
- Altos niveles de ruido generado por la descarga del aire hacia la atmósfera.

d.1.2 Estado del arte.

Muchos procesos existentes en la industria presentan una evolución secuencial con el tiempo; es decir, el estado actual en que está el proceso depende del estado anterior. Estos procesos pueden automatizarse empleando un autómata programable. Todo proceso que se pretende automatizar puede descomponerse para su análisis en dos partes: una parte operativa, que comprenden las acciones que determinan los elementos, como motores, cilindros neumáticos, válvulas, etc., y una parte de control, que programa las secuencias necesarias para la actuación de la parte operativa.

d.1.2.1 Sistemas neumáticos.

Un sistema neumático básico se compone de dos secciones principales:

- Sistemas de producción y distribución de aire.
- Sistemas de consumo de aire o utilización.

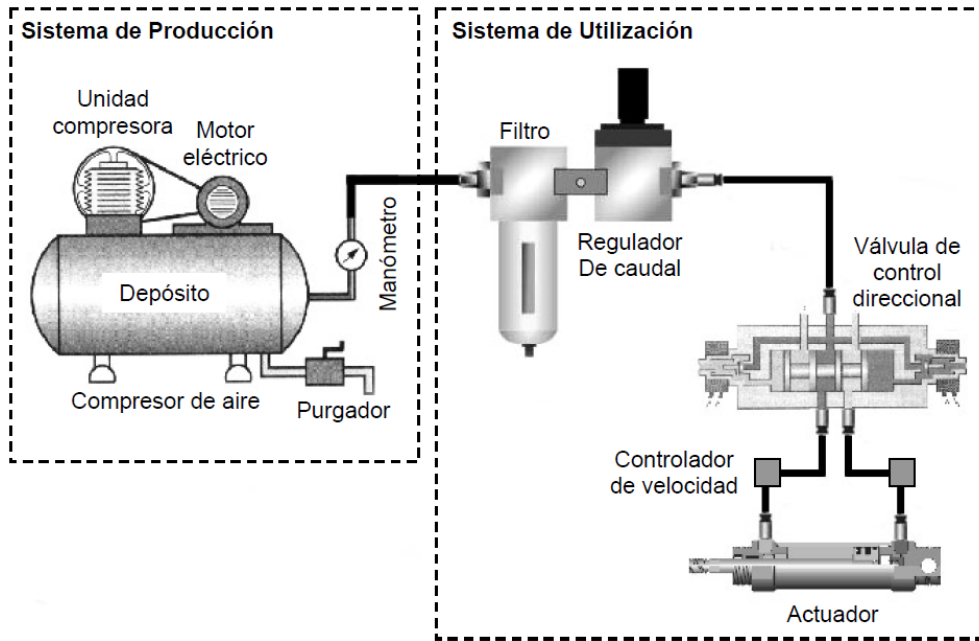


Figura 1. Sistema neumático Básico.

Fuente: (SMC, 2002)

El sistema de producción y distribución de aire está compuesto básicamente por la compresora de aire la cual a su vez está compuesta por seis componentes (SMC, 2002):

1. Unidad Compresora.- Es un elemento que aspira el aire a presión atmosférica y lo comprime mecánicamente. Existen muchos tipos de unidades compresoras, divididos principalmente en dos categorías.
 - Alternantes:
 - De émbolo
 - De diafragma
 - Rotativos:
 - De paleta
 - De tornillo
2. Motor Eléctrico.- Transforma la energía eléctrica en energía mecánica para mover la unidad de mantenimiento.
3. Depósito.- Es un Tanque especial que almacena el aire comprimido y soporta altas presiones. Entre mayor sea su volumen, mayor deberían ser los intervalos de funcionamiento de la unidad de compresión. El aire es entregado desde el depósito hacia el sistema neumático a una presión más elevada, transformando

así la entrega mecánica de la unidad de compresión en energía neumática.

4. Válvula Anti-retorno.- Deja pasar el aire comprimido de la unidad de compresión al depósito pero impide su retorno.
5. Manómetro.- Indicador visual de la presión de aire dentro del depósito.
6. Purga automática.- Purga toda el agua que se condensa en el depósito sin necesidad de supervisión.

El sistema de utilización de aire está compuesta por (SMC, 2002):

1. Unidad de accionamiento de aire.- Consta de un separador de agua y un filtro de impurezas. El filtro sirve para mantener la línea libre de impurezas como polvo u óxido. El separador de agua hace girar rápidamente el aire para que las partículas de agua que se hayan condensado en las tuberías se depositen en el fondo del vaso.
2. Regulador.- Se trata de una válvula general manual que permite regular fácilmente la presión de salida del depósito hacia el sistema neumático. Muchas veces consta con manómetro propio que indica la presión de flujo.
3. Válvulas de control direccional.- Existen muchos tipos de válvulas neumáticas en el mercado, pero todas tienen como función controlar el paso de aire entre sus vías abriendo, cerrando o cambiando sus conexiones internas dependiendo del tipo de actuador que se desee controlar. Pueden ser activadas de diversas formas: manualmente, por circuitos eléctricos, neumáticos, hidráulicos o mecánicos.
4. Actuadores.- Son los encargados de transformar la energía neumática en energía mecánica.
5. Controladores de velocidad.- También llamadas válvulas de caudal, regulan la cantidad de aire que las atraviesa por unidad de tiempo. Estos elementos dentro del circuito neumático influyen sobre la velocidad final de los actuadores o provocan retardos en los circuitos de mando como un temporizador.

d.1.2.2 Métodos de control.

Se puede pensar en un sistema como una caja negra que tiene una entrada y una salida. Se considera una caja negra debida a que no es importante lo que tiene dentro sino la

relación entre la entrada y la salida. Este sistema es de control si la salida se controla de modo que pueda adoptar un valor o cambio en particular de alguna manera definida.

Hoy en día los procesos de control son indicaciones del proceso industrial que se está viviendo. Estos sistemas se usan típicamente para sustituir un trabajador pasivo que controla un determinado sistema (ya sea eléctrico, mecánico, etc.) con una posibilidad nula o casi nula de error, y un grado de eficiencia mucho más grande que el de un trabajador. Los sistemas de control más modernos en ingeniería automatizan procesos en base a muchos parámetros y reciben el nombre de controladores de automatización programables (PAC).

Los sistemas de control deben conseguir los siguientes objetivos (Perez, 2008):

1. Ser estables y robustos frente a perturbaciones y errores en los modelos.
2. Ser eficiente según un criterio preestablecido evitando comportamientos bruscos e irreales.



Figura 2. Sistema de control básico.

Fuente: (Perez, 2008)

d.1.2.2.1 Variables consideradas.

En un sistema de control, se consideran cuatro grupos de variables. Las perturbaciones, las variables controladas, las variables de control y las variables medidas.

Las perturbaciones son señales que tienden a afectar adversamente el valor de la salida de un sistema. Si la perturbación se genera dentro del sistema se la denomina interna, mientras que una perturbación externa se genera fuera del sistema. Las perturbaciones actúan sobre un sistema modificando su funcionamiento por lo que su presencia implica la necesidad de

control. Normalmente las perturbaciones actúan sobre un sistema aleatoriamente. (Perez, 2008)

Las variables controladas son los parámetros más importantes del proceso, debiéndose mantener estable (sin cambios), pues su variación alteraría las condiciones requeridas en el sistema, su monitoreo a través de un sensor es una condición importante para dar inicio al control.

Variable de control: es un tipo de variable independiente que no se manipula sino que se mantiene constante para neutralizar sus efectos sobre la variable dependiente (ya que en un experimento no es posible estudiar simultáneamente todas las variables independientes)

La variable medida es aquella que se desea mantener estable, puede ser una cantidad, propiedad o condición que se desee medir.

d.1.2.2.2 Estrategias de control.

Control de Lazo Abierto.

En un sistema de control de lazo abierto la salida ni se mide ni se realimenta para compararla con la entrada. Los sistemas de control de lazo abierto son sistemas de control en los que la salida no tiene efecto sobre la señal o acción de control. La Figura 3 muestra la forma de cómo se implementa un sistema de control de este tipo.



Figura 3. Sistema de control de lazo abierto.

Fuente: (Perez, 2008)

Los elementos de un sistema de control en lazo abierto, se pueden dividir en dos partes: el controlador, y el proceso controlado. Una señal de entrada o comando se aplica al controlador, cuya salida actúa como una señal de control o señal actuante, la cual regula el proceso controlado, de tal forma que la variable de salida o variable controlada se desempeñe de acuerdo a ciertas especificaciones o estándares establecidos. En los casos

simples, el controlador puede ser un amplificador, filtro, unión mecánica u otro elemento de control. En los casos más complejos puede ser una computadora tal como un microprocesador.

En los sistemas de control de lazo abierto, **no se compara la salida con la entrada de referencia**. Por lo tanto, para cada entrada de referencia corresponde una condición de operación fijada. (Perez, 2008).

Los sistemas de lazo abierto son económicos pero normalmente inexactos. Un sistema de control de lazo abierto es insensible a las perturbaciones; por consiguiente un sistema de control de este tipo es útil cuando se tiene la seguridad que no existen perturbaciones actuando sobre el mismo. En la práctica solo se puede usar el control de lazo abierto si la relación entre la entrada y la salida es conocida, y si no hay perturbaciones internas ni externas importantes.

Sistemas de Control de Lazo Cerrado.

En los sistemas de control de lazo cerrado, la salida o señal controlada, debe ser realimentada y comparada con la entrada de referencia, y se debe enviar una señal actuante o acción de control, proporcional a la diferencia entre la entrada y la salida a través del sistema, para disminuir el error y corregir la salida.

Un sistema de control de lazo cerrado es aquel en el que la señal de salida tiene efecto directo sobre la acción de control. Esto es, los sistemas de control de lazo cerrado son sistemas de control realimentados. La diferencia entre la señal de entrada y la señal de salida se la denomina señal de error del sistema; esta señal es la que actúa sobre el sistema de modo de llevar la salida a un valor deseado. En otras palabras el término lazo cerrado implica el uso de acción de realimentación negativa para reducir el error del sistema. (Perez, 2008)

La Figura. 4, muestra la relación entrada-salida de un sistema de control de lazo cerrado.

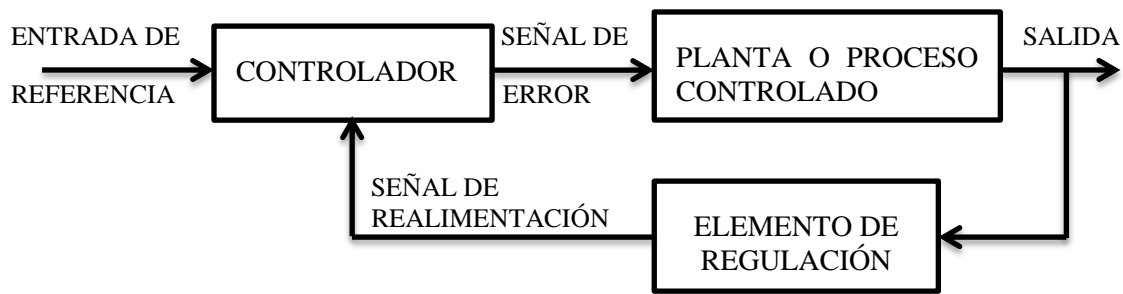


Figura 4. Sistema de control de lazo cerrado.

Fuente: (Perez, 2008)

d.1.2.2.3 Métodos de diseño.

Los métodos de análisis de sistemas y de diseño de los controladores han evolucionado del mismo modo que la mayoría de las herramientas utilizadas en ingeniería. La evolución en los sistemas informáticos ha permitido que actualmente estén disponibles entornos en los que se pueden realizar simulaciones dinámicas (por ejemplo Matlab). Es por ello que en los últimos años, estos progresos han permitido que las investigaciones y aplicaciones en la teoría de control automático hayan pasado de utilizar una implementación analógica y mono-variable a una implementación digital y multi-variable. (Alvarez Brotons, 2004)

Forma digital vs. Forma analógica

En un esquema analógico, todas las variables son función de un tiempo continuo; en cambio, en un esquema digital las variables se conocen en unos instantes determinados, en un tiempo discreto.

Los sistemas de control digital presentan una serie de ventajas como son una menor susceptibilidad al deterioro debido al transcurso del tiempo o a factores del entorno, presenta unos componentes menos sensibles a los ruidos y a las vibraciones en las señales, tienen una mayor flexibilidad a la hora de programar, o poseen una mejor sensibilidad frente a la variación de parámetros. En cambio, la evolución de los ordenadores y de sus capacidades de cálculo permite reducir los inconvenientes que presentan los controladores digitales, por lo que últimamente su uso se ha extendido en gran cuantía.

La variable medida en el sistema mediante el sensor llega al controlador en forma analógica, de modo que para este caso no se necesita realizar ninguna conversión de señal ya que el controlador recibe y envía señales análogas. (Alvarez Brotons, 2004)

Métodos monovariantes vs. métodos multivariantes

Un controlador es mono-variable si trabaja con una única variable de entrada y una única variable de salida, es decir con variables escalares. En cambio, un controlador es multi-variable cuando trabaja con más de una variable de entrada y más de una variable de salida, es decir, las variables de entrada y salida son vectoriales.

La mayoría de los métodos desarrollados para control de presión se basan en controladores lineales mono-variantes en lazo cerrado de tipo PID (proporcional, integral, diferencial). (Alvarez Brotons, 2004)

d.1.2.2.4 Implementación.

Dentro de la implementación para un proceso de regulación en control es posible distinguir diversos aspectos como son la configuración (centralizado o descentralizado), los mecanismos (válvulas manuales o automáticas), la instrumentación (sensor de presión, manómetros, PLC, válvula proporcional), sistemas de comunicación (Ethernet), procedimientos de cálculo (empíricos, mediante ordenador). Dentro de estos aspectos el más importante para entender el proceso de regulación en control es la configuración.

La configuración del sistema tiene relación con la variable a controlar y el tipo de controlador a utilizar ya que de esto depende la robustez del sistema de control de la planta implementada.

d.2 CAPÍTULO II: MODELADO MATEMÁTICO E IDENTIFICACIÓN DE PROCESOS.

d.2.1 Introducción.

En la actualidad la mayoría de las propuestas de sistemas de control están basadas en un modelo del proceso considerado y sujeto a parámetros determinados, por lo que el modelado y la identificación se convierten en etapas importantes en los diseños. Para satisfacer los requerimientos deseados en un proceso, el sistema de control debe garantizar la operación de éste con un buen desempeño sobre un rango amplio de condiciones de operación.

Las técnicas y modelos matemáticos utilizados comúnmente se basan en aproximaciones teóricas que no describen los procesos en su totalidad. Los modelos matemáticos de plantas o procesos son obtenidos mediante dos técnicas fundamentales, modelamiento e identificación, siendo la identificación la más utilizada al obtener modelos matemáticos en sistemas de control. En este caso, el modelo se obtiene a partir de datos experimentales del proceso sin tener en cuenta las leyes internas, únicamente observando los datos de entrada y salida del sistema. Esta técnica es la que se emplea generalmente cuando el proceso que se quiere controlar existe realmente. Los experimentos realizados para obtener los valores de las variables del sistema juegan un papel muy importante en la identificación del modelo. (Martín, 2007)

d.2.2 Modelado matemático de sistemas físicos.

El uso de modelos matemáticos para resolver problemas reales (en oposición a los problemas artificiales – académicos, de libros) se ha generado en tiempos recientes. La metodología usada se puede resumir como sigue:

- Formulación del problema.
- Descripción matemática.
- Análisis matemático.
- Interpretación del análisis para obtener la solución.

La fase más crucial e importante es la traducción satisfactoria del problema desde el mundo físico real en una descripción matemática. Una vez que se hace esto, se pueden

utilizar técnicas de análisis matemático para obtener una solución al problema. La validez de la solución dependerá en gran parte de cuan bien la descripción matemática propuesta modela el mundo real.

La importancia del análisis y del modelado ha aumentado en varias disciplinas como la economía, la biología, en medicina, la ecología, lógicamente en todas las ramas de la ingeniería y en el control y automatización de procesos o sistemas.

El diseño de modelos matemáticos es necesario para entender el comportamiento dinámico de los procesos y el modelado pretende entonces el desarrollo metodológico de los mismos. La resolución del modelado matemático de un sistema se realiza mediante algoritmos numéricos apropiados implementados en un computador digital. (Lischinsky, 2004)

d.2.2.1 Modelado analítico.

Procedimiento para la elaboración de modelos matemáticos

1. Dibujar un diagrama esquemático del sistema y definir las variables.
2. Utilizando las leyes de la física, escribir ecuaciones para cada componente, combinándolos de acuerdo con el diagrama del sistema y obtener un modelo matemático.
3. Para verificar la validez del modelo, la predicción acerca del funcionamiento obtenida al resolver las ecuaciones del modelo, se compara con resultados experimentales.

Si los resultados experimentales se alejan de la predicción en forma considerable, debe modificarse el modelo; hasta obtener una concordancia satisfactoria entre la predicción y los resultados experimentales.

Utilización de los modelos matemáticos.

Los modelos matemáticos pueden ser utilizados para estudiar propiedades y/o predecir el comportamiento del sistema ante diferentes situaciones. Existen dos grandes grupos de técnicas para tal fin: (López, 1999)

- Análisis Teórico de los modelos matemáticos: Métodos matemáticos de análisis cualitativo (estabilidad, etc.) y cuantitativo (resolución de ecuaciones, etc.)

- Análisis Experimental de los modelos matemáticos: Estudio de propiedades cuantitativas y cualitativas del Modelo Matemático mediante experimentos en equipos de cómputo programables: Simulación o Matemática Experimental.

d.2.2.2 Identificación de sistemas.

La identificación de sistemas consiste en construir modelos matemáticos de sistemas dinámicos basándose en las entradas y salidas observadas.

El modelo obtenido a partir de los datos experimentales de entrada y salida se conoce como modelo de caja negra o modelo entrada – salida, ya que no se centra en estudiar el interior del sistema sino en su comportamiento respecto al entorno.

Identificar un sistema consiste en encontrar un conjunto de reglas y parámetros asociados que describan un modelo aceptable para el proceso que en él se está llevando a cabo. (López, 1999)

d.2.2.2.1 Procedimiento de identificación.

En términos generales, el proceso de identificación comprende los siguientes pasos: (López, 1999).

1. *Obtención de datos de entrada - salida.* Para ello se debe excitar el sistema mediante la aplicación de una señal de entrada y registrar la evolución de sus entradas y salidas durante un intervalo de tiempo.
2. *Tratamiento previo de los datos registrados.* Los datos registrados están generalmente acompañados de ruidos indeseados u otro tipo de imperfecciones que puede ser necesario corregir antes de iniciar la identificación del modelo. Se trata, por tanto, de ‘preparar’ los datos para facilitar y mejorar el proceso de identificación.
3. *Elección de la estructura del modelo.* Si el modelo que se desea obtener es un modelo paramétrico, el primer paso es determinar la estructura deseada para dicho modelo. Este punto se facilita en gran medida si se tiene un cierto conocimiento sobre las leyes físicas que rigen el proceso.
4. *Obtención de los parámetros del modelo.* A continuación se procede a la estimación de los parámetros de la estructura que mejor ajustan la respuesta del

modelo a los datos de entrada-salida obtenidos experimentalmente.

5. *Validación del modelo.* El último paso consiste en determinar si el modelo obtenido satisface el grado de exactitud requerido para la aplicación en cuestión. Si se llega a la conclusión de que el modelo no es válido, se deben revisar los siguientes aspectos como posibles causas:
 - a) El conjunto de datos de entrada-salida no proporciona suficiente información sobre la dinámica del sistema.
 - b) La estructura escogida no es capaz de proporcionar una buena descripción del modelo.
 - c) El criterio de ajuste de parámetros seleccionado no es el más adecuado.

Dependiendo de la causa estimada, deberá repetirse el proceso de identificación desde el punto correspondiente. Por tanto, el proceso de identificación es un proceso iterativo, cuyos pasos pueden observarse en el organigrama de la siguiente figura.

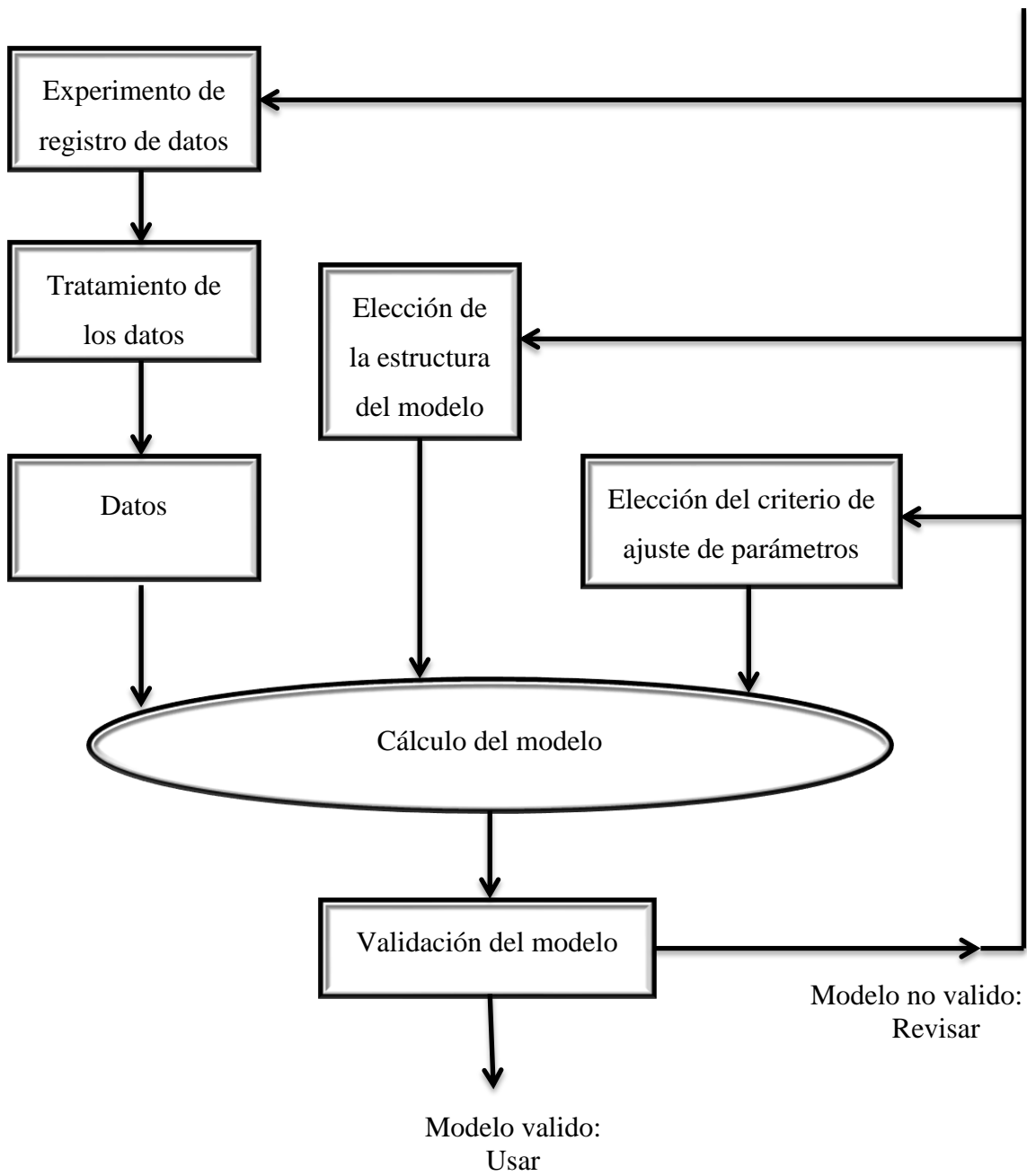


Figura 5. El procedimiento de identificación.

Fuente: (López, 1999)

d.2.2.2.2 Diseño del experimento.

Para la obtención de datos de entrada-salida, deberán realizarse experimentos informativos, los de un grupo (M) de modelos pueden ser discriminatorios entre dos modelos del grupo; para ello, debe excitarse el sistema con señales lo suficientemente ricas, insistentemente excitadas.

La elección de las señales se realiza teniendo en cuenta, (Sedano, 2005):

1. Las propiedades asintóticas de la estimación (vías y variance) solo dependen del espectro de entrada y no de la forma de onda de la señal. $\text{Error} = \text{Bias} + \text{variance}$
 - Bias (desvío): errores sistemáticos causados por características de la señal de entrada, elección de la estructura del modelo (complejidad de la representación) y modo de operación (lazo cerrado o lazo abierto)
 - Variance (varianza): errores aleatorios introducidos por la presencia de ruidos en los datos, que impiden que el modelo reproduzca exactamente la salida. Está afectado por los siguientes factores: número del parámetro del modelo, duración del experimento de identificación, relación señal - ruido.
2. La entrada debe estar limitada en amplitud.
3. El orden de la señal, persistentemente excitada, tiene que ser mayor o igual al número de parámetros que van a ser estimados.
4. Las señales periódicas tienen ciertas ventajas.

Será necesario tener en cuenta: periodo de muestreo, número de muestras a tomar, tiempos de comunicación, amplitud y duración de la señal, bandas de frecuencia.

d.2.2.2.2.1 Experimento con señal escalón.

Este método consiste en aplicar sobre un sistema en equilibrio, una entrada en forma de escalón y observar la respuesta del mismo. Posteriormente se analiza esta respuesta obteniendo un polinomio denominado “función de transferencia”, que pretende ser un fiel reflejo del comportamiento del proceso.

Básicamente todos los procesos existentes en la naturaleza pueden clasificarse en dos tipos, sistemas de primer orden y sistemas de segundo orden.

Respuestas sobre-amortiguadas.

Primer orden Puro.

La respuesta típica de estos sistemas no presenta sobreoscilación, esto quiere decir que nunca llegan al valor exacto de la consigna y por lo tanto, son sistemas relativamente lentos. Por ejemplo: el calentamiento de un horno.

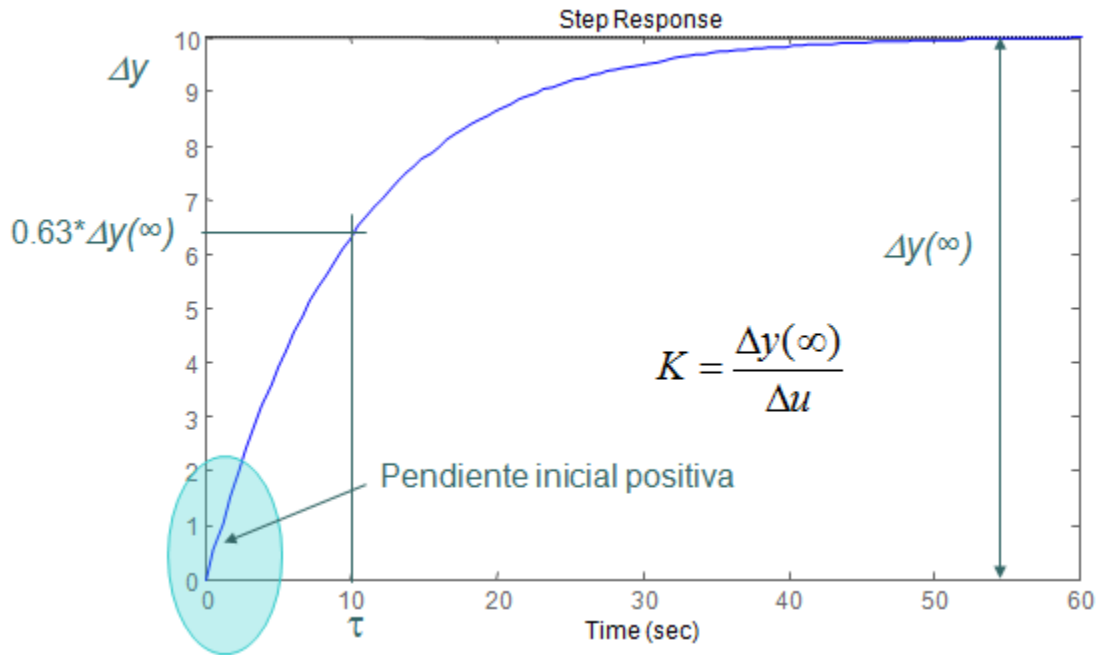


Figura 6. Respuesta a un sistema de primer orden

Fuente: (Martínez, 2011)

La función de transferencia de un sistema de primer orden es la siguiente.

$$G(s) = \frac{K}{1+\tau.s} \tag{1}$$

Donde:

K: Ganancia del sistema.
$$K = \frac{\text{Señal salida}}{\text{Señal entrada}} = \frac{\Delta y}{\Delta u} \tag{2}$$

τ : Constante de tiempo

El valor de la constante de tiempo se obtiene sobre la gráfica, para ello se observa de tiempo correspondiente a un valor del 63% Δy . Normalmente se trabaja con un factor denominado tiempo de establecimiento, que suele estar comprendido entre un 95 – 98

%. Este factor determina el tiempo en el cual la respuesta se estabiliza entre los límites indicados a ese porcentaje. (Martínez, 2011)

Respuesta subamortiguada.

Segundo orden estándar.

La mayoría de los sistemas industriales se comportan como un sistema de este tipo, en el cual posteriormente el control pretende limitar parámetros como la sobre-oscilación, tiempo de establecimiento y error en régimen permanente.

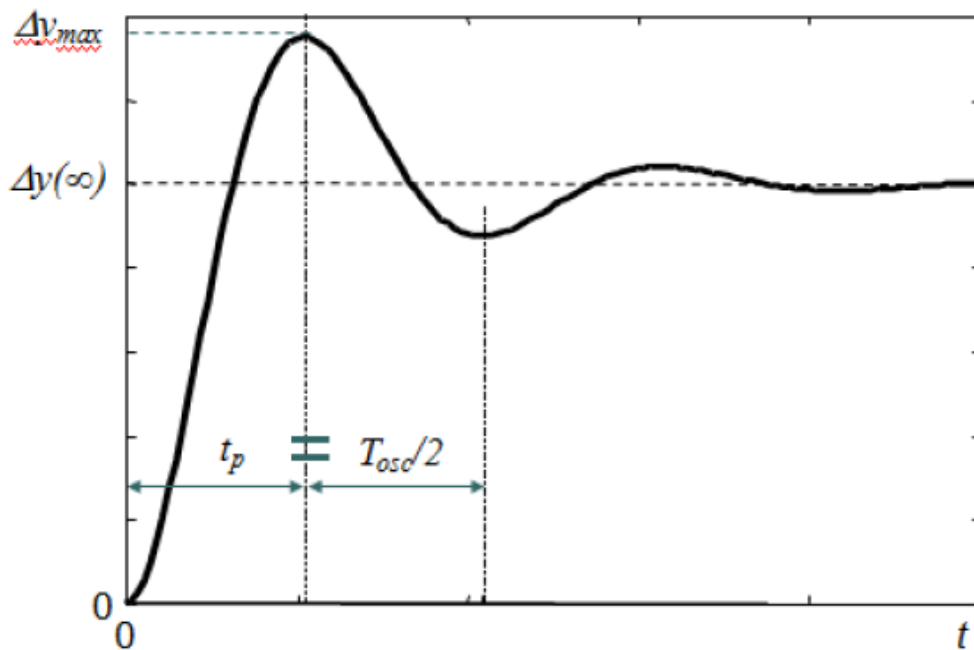


Figura 7. Respuesta segundo orden estándar.

Autor: (Martínez, 2011)

La función de transferencia de segundo orden estándar es la siguiente. (Martínez, 2011)

$$G(s) = \frac{k\omega_n^2}{s^2 + 2\xi\omega_n s + \omega_n^2} \quad (3)$$

Donde:

k: Ganancia del sistema $k = \frac{\Delta y}{\Delta u}$ (4)

ω_n : Frecuencia natural del sistema.

ξ: Amortiguamiento.

d.2.2.2.2 Experimento con señal SBSA.

La generación de una secuencia pseudo aleatoria de números binarios es muy útil en ciertas ambientes de test y desarrollo. Un generador de secuencia binaria pseudo aleatoria, SBSA, (en inglés, Pseudo Random Binary Sequence, PRBS) es un circuito que genera una serie de números binarios de n-bits, un número por ciclo de reloj, sin seguir un patrón determinado, pero que se repite luego de 2^n-1 ciclos de reloj. Por lo general un PRBS se implementa como un registro de desplazamiento de realimentación lineal (en inglés Linear Feedback Shift Register, LFSR). Dicho de otra manera con el término PRBS se describe lo que el circuito hace, mientras que con el término LFSR se describe cómo el circuito está implementado. (Cristian, 2012)

d.2.2.2.3 Tratamiento previo de los datos.

El pre procesamiento de los datos es un requisito importante previo a la fase de estimación, el cual consiste en reemplazar o reparar datos perdidos o mal tomados, incluyendo la reacomodación de segmentos de datos.

Una vez los datos del experimento han sido capturados, no se pueden usar inmediatamente en los algoritmos de identificación, generalmente deben pasar por un pre tratamiento antes de ser usados. (Briceño Quintanilla, 2009):

- Durante el proceso de adquisición se introducen disturbios de alta frecuencia, por fuera de las frecuencias de interés
- Picos ocasionales, pérdida de datos o discontinuidad en el proceso de adquisición
- Oscilaciones, disturbios de baja frecuencia, niveles de offset, tendencias. Se deben inspeccionar los datos adquiridos para verificar si existe alguna de estas deficiencias. Existen básicamente dos formas de tratar con este tipo de problema:
 - Removiendo los disturbios en el pre tratamiento de datos
 - Permitiendo que el modelo de ruido se encargue de manejar estas señales.

La primera forma consiste en remover las tendencias y el offset por sustracción directa, mientras la segunda consiste en identificar el ruido y tratarlo dentro del modelo.

d.2.2.2.4 Selección de la estructura del modelo.

Como criterio de identificación se dice que el orden del sistema va aumentando gradualmente mientras que el error de predicción va bajando hasta un punto mínimo, así se siga aumentando el orden del sistema.

Aunque un modelo complejo puede aproximar mejor el comportamiento de un sistema real, la elección de la complejidad del modelo es un compromiso entre la flexibilidad de la estructura del modelo para poder describir una gama más amplia de sistemas y la simplicidad con el objetivo de tener variaciones más pequeñas en los parámetros calculados. Como regla general se deben tratar primero con los modelos sencillos para luego moverse hacia los más complejos.

La ruta hacia la estructura de un modelo involucra tres pasos. (Briceño Quintanilla, 2009):

Seleccionar el tipo de modelo.

Esto envuelve por ejemplo la selección entre modelos lineales y no-lineales, entre entrada-salida, caja negra y modelos espacio-estado entre otros.

Seleccionar el tamaño del modelo.

Esto implica seleccionar el orden de un modelo espacio-estado, el grado del polinomio o el número de neuronas si se trabaja con una red neuronal. También se seleccionan las variables a incluir en la descripción del modelo.

Parametrización del modelo.

Una vez decidido el conjunto de modelos se debe seleccionar uno apropiado, cuyos parámetros se ajusten a los requerimientos del proceso.

d.2.2.2.5 Estimación de los parámetros del modelo.

En el proceso de estimación del modelo y su subsiguiente validación es necesario contar con un criterio que exprese la bondad del ajuste del modelo a los datos, es decir, que

expresen la calidad del modelo obtenido. Normalmente, se utilizan criterios que toman la forma:

$$J(\theta) = \sum_{k=1}^N g(e(k)) \quad (5)$$

Donde θ es el vector de parámetros que se trata de ajustar, $e(k)$ es el error de estimación para la medida k , N es el número de observaciones o medidas disponibles y $g(\cdot)$ es una función cuadrática.

El proceso de ajuste del modelo se realiza de manera que se busca el valor del vector de parámetros θ que hace mínimo el índice o criterio $J(\theta)$. El método más antiguo que emplea esta estrategia es el de los mínimos cuadrados, debido a Gauss.

Para resolver el problema de estimación de los parámetros del modelo se requiere de los siguientes elementos: datos experimentales, un tipo de modelo y un criterio. Estimar los parámetros es resolver un problema de optimización en el cual, el mejor modelo es el que hace mínimo el criterio. Es necesario tener en cuenta que el modelo obtenido dependerá de los elementos anteriores, como por ejemplo de la amplitud y contenido frecuencial de la señal de entrada. Hay diversas formas de llevar a cabo el proceso de estimación. Una distinción amplia es aquella que distingue entre identificación en línea e identificación fuera de línea. (Rodríguez, 2005)

Identificación en línea.

En los métodos de identificación en línea, la estimación se efectúa usando medidas que se van obteniendo en tiempo real, y normalmente se usa cálculos recursivos. El esquema de este tipo de identificación será el mostrado en la figura 8. En este esquema aparece un nivel de supervisión que es necesario para evitar, por ejemplo, que el modelo actualizado se salga de ciertos límites o cambie bruscamente (esto no sería bueno para ciertas leyes de control basadas en modelos). Este método suele ser el único apropiado cuando se pretende usar una estrategia de control adaptativo, o el proceso varía su dinámica con el tiempo.

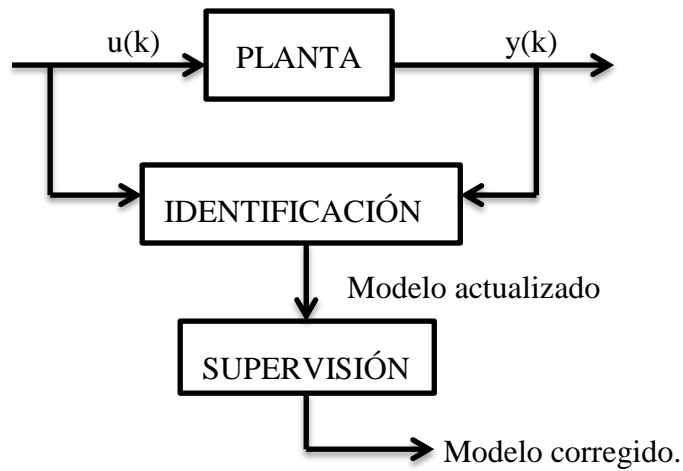


Figura 8. Esquema de la identificación en línea

Fuente: (Rodríguez, 2005)

Identificación fuera de línea.

En este caso se toman los datos del experimento (es decir, series de medidas) y posteriormente, se ajusta el modelo usando para ello todo el conjunto de datos. Este tipo de procedimientos suelen obtener modelos más precisos y son más fiables en cuanto a la convergencia de los parámetros estimados a los parámetros reales del proceso. En cualquier caso, existe un consenso general en que no existe un método universalmente bueno, por tanto, dependiendo de la situación, unos funcionarán mejor que otros. (Rodríguez, 2005)

d.2.2.2.6 Validación del modelo.

Una vez escogido un modelo debe probarse para determinar su comportamiento y qué tan bien se ajusta al sistema, o sea, qué tan válido es para nuestros propósitos. La determinación de este modelo implica llegar al modelo particular que mejor describe al sistema de acuerdo con el criterio de escogencia determinado.

De lo anterior se desprende que el procedimiento de identificación sigue un flujo lógico natural: recoger los datos, buscar un conjunto de modelos, seleccionar el mejor modelo de acuerdo con el criterio de escogencia y, por último, validarlo. Generalmente, el primer modelo seleccionado no pasa la validación, razón por la cual es necesario revisar algunos de los pasos seguidos. Las deficiencias en un modelo pueden deberse a varias razones:

- El procedimiento numérico es inadecuado para escoger el mejor modelo de acuerdo con nuestro criterio.
- El criterio de escogencia es inadecuado.
- El conjunto de modelos no es apropiado.
- El conjunto de datos no contiene la suficiente información para guiarnos.

d.3 CAPÍTULO III: SISTEMAS DE ADQUISICIÓN DE DATOS.

d.3.1 Introducción.

Conforme se perfeccionan o desarrollan nuevos procesos científicos y productivos, en diversos sistemas aparece una gran cantidad de magnitudes físicas (temperatura, presión, humedad, etc.) cuyo conocimiento y regulación resultan fundamentales. Un sistema de adquisición de datos (SAD o DAQ, *Data Acquisition system*) está diseñado fundamentalmente para la medida y el análisis de una o varias magnitudes físicas características de un sistema real, mientras que un sistema de control está preparado para la alteración de una o varias magnitudes del mismo con objeto de proporcionar una respuesta activa que modifique su comportamiento.

Las magnitudes o cantidades físicas de un sistema se manifiestan a través de sus señales. Se denomina señal a la alteración que aparece o se introduce en el valor de una magnitud y que sirve para transmitir información. Esta definición implica la evolución del valor de dicha magnitud a lo largo del tiempo.

Cuando se utiliza con interfaces de control que disponen de entradas analógicas, se puede utilizar como *software* de adquisición de datos a un nivel elemental, puesto que permite el registro de señales a lo largo del tiempo, es decir, el registro de los valores instantáneos de los sensores analógicos y también de los digitales. (González, 2002).

d.3.2 LabView.

LabView es un lenguaje de programación gráfico que utiliza iconos en lugar de líneas de texto para crear las aplicaciones. En contraste con los lenguajes de programación basados en texto, donde las instrucciones determinan la ejecución del programa, en LabView el flujo de los datos determina la ejecución.

En LabView se crea una interfaz de usuario utilizando un conjunto de herramientas y objetos. La interfaz del usuario es llamada el panel frontal. Posteriormente, se adiciona el código utilizando representaciones gráficas de funciones para controlar los objetos del panel frontal. El diagrama de bloques contiene dicho código. En ocasiones, el diagrama de bloques se parece a un diagrama de flujo.

LabView está totalmente integrado para comunicarse con equipos tales como GPIB, VXI, PXI, RS-232, RS-485 y tarjetas de adquisición de datos (DAQ) insertables en la computadora. LabView también posee características para conectar sus aplicaciones a la Web utilizando el LabView Web Server y programas estándares tales como TCP/IP y ActiveX.

Utilizando LabView se pueden crear pruebas y mediciones, adquisición de datos, control de instrumentos, almacenamiento de datos, análisis de mediciones y aplicaciones de generación de reportes. También se pueden crear librerías ejecutables y librerías compartidas, tales como DLLs, ya que LabView es un compilador verdadero de 32 bits. (Tutorial de labview, 2001)

d.3.2.1 Programación gráfica.

La **programación G** constituye el corazón de *LabView*, y difiere de otros lenguajes de programación como C ó Basic, en que estos están basados en texto, mientras que en G se utiliza lenguaje de programación gráfica. Los programas en G, o VIs constan de una interfaz interactiva de usuario y un diagrama de flujo de datos que hace las funciones de código fuente.

De forma más específica, el entorno de programación gráfica LabView se estructura siguiendo la analogía con los instrumentos de laboratorio a los que trataba de emular en sus primeras versiones. Así, un instrumento virtual consta de:

- **Panel frontal.** Es la interfaz interactiva de usuario de un VI, debido a que simula el panel de un instrumento físico. El panel frontal puede contener botones, interruptores, pulsadores, gráficas, y otros controladores e indicadores.
- **Diagrama de bloques.** Se construye en G y constituye el código fuente del programa o VI.

Los VIs son jerárquicos y modulares. Pueden utilizarse como programas de alto nivel o como subprogramas de otros programas o subprogramas. Cuando un VI se usa dentro de otro VI, se denomina subVI. (Molina, 2012)

d.3.2.2 Instrumentos Virtuales.

Los ficheros generados con LabView se llaman Instrumentos Virtuales, VIs, llamados así porque su apariencia y comportamiento simula a instrumentos físicos, como osciloscopios o multímetros. Los VIs utilizan funciones que manipulan las entradas del usuario o datos provenientes de otras fuentes y muestran la información procesada o la pasan a ficheros u otros ordenadores. (Reyes, 2009)

Cada VI se compone de las siguientes partes:

- Panel frontal (*front panel*) o interface con el usuario.
- Diagrama de bloques (*block diagram*) o código fuente que define el comportamiento del VI.
- Icono y conector (*icon and connector*). Identifica al propio VI, puesto que se pueden utilizar VIs en otros VIs. A un VI llamado por otro se le denomina subVI, esto es el equivalente a las subrutinas en la programación basada en texto.

d.3.2.3 Menús de LabView.

La programación en LabView exige utilizar con frecuencia los diferentes menús.

La barra de menús de la parte superior de la ventana de un VI contiene diversos menús desplegables, como se muestra en la siguiente figura.

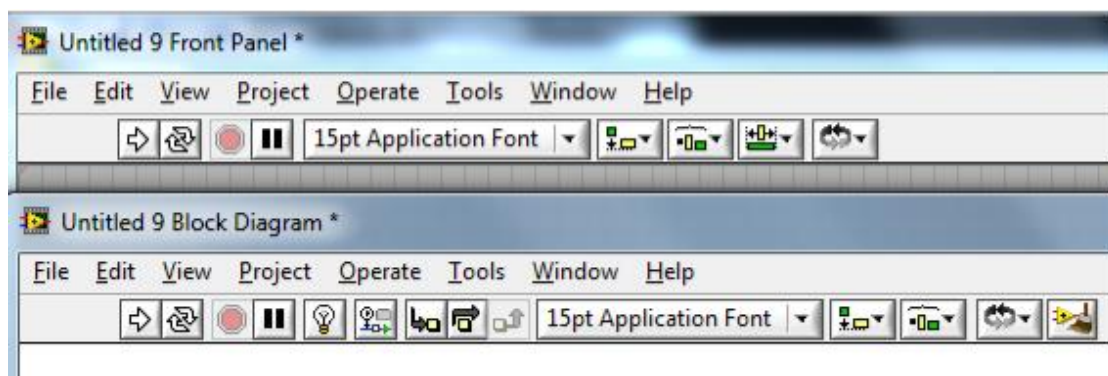


Figura 9. Menús disponibles en el panel frontal (arriba) y en el diagrama de bloques (abajo) de LabView

Fuente: (Reyes, 2009)

Cuando hacemos clic sobre un ítem o elemento de esta barra, aparece un menú por debajo de ella. Este menú contiene elementos comunes a otras aplicaciones de Windows, como *Open* (Abrir), *Save* (Guardar) y *Paste* (Pegar), y muchas otras particulares de LabView.

Descripción de las opciones del menú de LabView.

File (Archivo): Sus opciones se usan básicamente para abrir, cerrar, guardar e imprimir instrumentos virtuales

Edit (Edición). Se utiliza principalmente para organizar el panel frontal y los bloques y establecer nuestras preferencias, se tienen los comandos para cortar, copiar, pegar y borrar partes, remover cables defectuosos, editar controles; alinear y distribuir objetos, cambiar objetos entre diferentes planos y dar las referencias de manejo del LabView.

Project (Proyecto). Presenta los niveles de jerarquía, los subVIs que lo integran, los que están sin abrir, busca VIs, etc.

Operate (Función). Sus comandos sirven para ejecutar un VI

Windows (Ventanas). Se utiliza para situar rápidamente las ventanas abiertas y para abrir ventanas de los diferentes subVI, también puede hacer cambios entre las ventanas de trabajo.

Help (Ayuda), presenta las ayudas necesarias sobre el programa, y ofrece la opción para desplegar una ventana donde se explica cada objeto solo con señalarlo. (Reyes, 2009)

d.3.2.4 Paletas de controles, funciones y herramientas.

Paleta de herramientas.

Se emplea tanto en el panel frontal como en el diagrama de bloques. Contiene las herramientas necesarias para editar y depurar los objetos tanto del panel frontal como del diagrama de bloques. (Albornoz, 2008)

. Las opciones que presenta esta paleta son las siguientes:



Operating tool.- Cambiar el valor de los controles.



Positioning tool.- Desplaza, cambia de tamaño y selecciona los objetos.



Labeling tool.- Edita texto y crea etiquetas.



Wiring tool.- Une los objetos en el diagrama de bloques.



Object Pop-up Menu Tool.- Abre el menu desplegable de un objeto.



Scroll tool.- Desplaza la pantalla sin necesidad de emplear las barras de desplazamiento



Breakpoint tool.- Fija puntos de interrupción de la ejecución del programa en VIs, funciones y estructuras.



Probe tool.- Crea puntos de prueba en los cables, en los que se puede visualizar el valor del dato que fluya por dicho cable en cada instante.



Color Copy tool.- Copia el color para después establecerlo mediante la siguiente herramienta.



Color tool.- Establece el color de fondo y el de los objetos.

Paleta de Controles.

Para ver la paleta de controles se selecciona *Window»Show Controls Palette* o haga clic con el botón derecho del mouse en el área de trabajo del panel frontal para desplegar la paleta *Controls*.

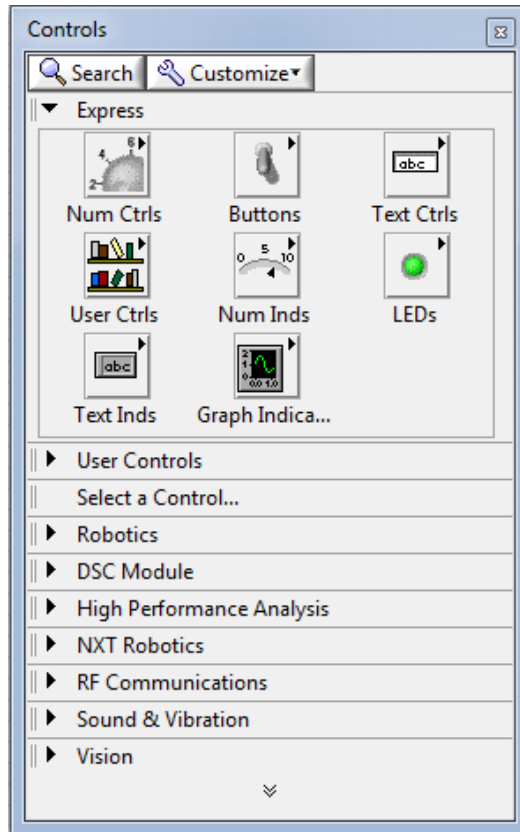


Figura 10. Paleta de controles.

Fuente: (Albornoz, 2008)

Paleta de Funciones.

Se utiliza la paleta *Functions* para construir el diagrama de bloques. La paleta *Functions* está disponible únicamente en el diagrama de bloques, para verla se selecciona *Window»Show Functions Palette* o haga clic con el botón derecho del mouse en el área de trabajo del diagrama de bloques para desplegar la paleta *Functions*.

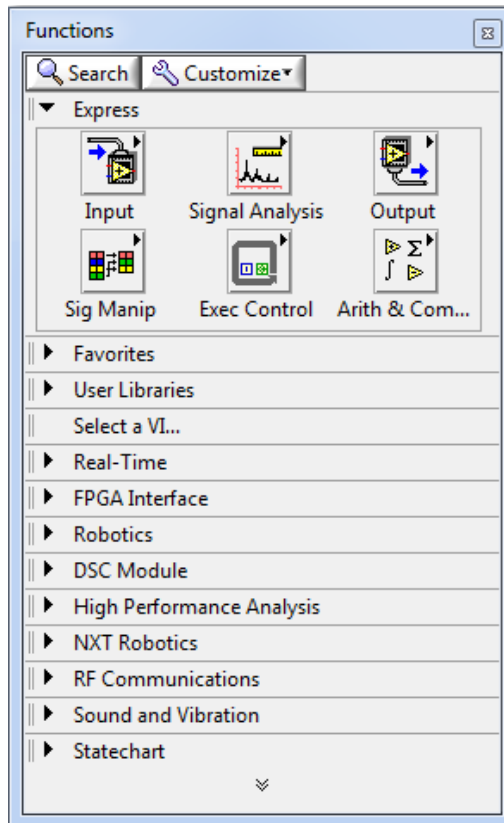


Figura 11. Paleta de funciones

Fuente: (Albornoz, 2008)

d.3.2.5 Flujo de Datos.

LabView sigue un modelo de flujo de datos para ejecutar VI. Un nodo de diagrama de bloques se ejecuta cuando recibe todas las entradas requeridas. Cuando el nodo se ejecuta, produce datos de salida y pasan los datos al siguiente nodo en la trayectoria del flujo de datos. El movimiento de datos a través de los nodos determina el orden de ejecución de los VIs y las funciones en el diagrama de bloques.

Visual Basic, C++, JAVA y la mayoría de otros lenguajes de programación basados en texto siguen un modelo de flujo de control para ejecución del programa. En el flujo de control, el orden secuencial de los elementos del programa determina el orden de ejecución de un programa.

Cables.- Transfiere datos entre objetos del diagrama de bloques a través de cables. La Tabla 1 muestra los cables más comunes.

Tabla 1. Tipos comunes de cables.

Tipo de Cable	Escalar	Arreglo de 1D	Arreglo en 2D	Color
Numérico				Naranja (punto flotante), Azul (entero)
Booleano				Verde
Cadena de caracteres				Rosa

Fuente: (National Instruments. 2012).

En LabView, se puede usar cables para conectar múltiples terminales y transferir datos dentro de un VI. Además se tiene que conectar los cables a las entradas y salidas que son compatibles con los datos que son transferidos con el cable. Por ejemplo, no se puede cablear una salida de tipo arreglo a una entrada numérica. Además, la dirección de los cables debe ser correcta. Los cables se conectan a una entrada y por lo menos a una salida. Por ejemplo, no se puede cablear dos indicadores juntos. Los componentes que determinan la compatibilidad del cableado incluyen los tipos de datos del control y/o el indicador y los tipos de datos de la terminal. Por ejemplo, si un interruptor tiene un borde verde, se puede cablear un interruptor a cualquier entrada con una etiqueta verde en un VI Express. Si una perilla tiene un borde naranja, se puede cablear una perilla a cualquier entrada con una etiqueta naranja. Sin embargo, no se puede cablear una perilla naranja a una entrada con una etiqueta verde. Se debe tener en cuenta que los cables son del mismo color que la terminal. (National Instruments. 2012)

d.3.2.6 Sub VI.

Un SubVI es un VI que puede ser utilizado dentro de otro VI. Corresponde a una subrutina en lenguaje de programación basado en texto. La utilización de subVIs ayuda a gestionar de manera más eficiente cambios en los programas y a eliminar errores del diagrama de bloques. Además, simplifica los esquemas de cableado mejorando su comprensión.

Un SubVI, debe disponer de su propio icono y terminales de conexión. Del mismo modo que los terminales de un control o de un indicador puedan ser vistos como un icono o como un simple terminal en el diagrama de bloques, los subVIs pueden ser vistos como iconos, un nodo expandible o un nodo expandido. (Molina, 2012)



Figura 12. Acceso para crear un subVI.

Fuente: (Molina, 2012)

d.3.2.7 Arquitectura básica de programación.

Se puede estructurar los VIs dependiendo de la funcionalidad que desea que tengan.

Algunas de las arquitecturas de VI más comunes son, (Corcuera, 2008):

- Arquitectura de un VI simple
- Arquitectura de un VI general
- Arquitectura de máquina de estado.

Arquitectura de un VI simple.- En pruebas de laboratorio rápidas no se necesita una arquitectura complicada: consistente de un solo VI que mide, hace cálculos, y despliega los resultados o los guarda en el disco. La medición se inicia cuando se pulsa un arrow.

Esta arquitectura también se usa para componentes “funcionales” dentro de aplicaciones más grandes.

Arquitectura de un VI general.- Generalmente una aplicación se siguen tres pasos:

- **Startup:** para inicializar el hardware, leer configuración o preguntar por la localización de datos de archivos.
- **Main application:** generalmente consiste en un ciclo que se repite hasta que el usuario decide salir del programa, o termina por otras razones como la terminación de la entrada/salida (I/O)
- **Shutdown:** para cerrar archivos, escribir datos de configuración o restablecer los datos de entrada/salida (I/O)

Arquitectura de máquina de estado: se pueden hacer diagramas más complejos con el uso de una estructura *Case* simple para manejar todos los eventos.

Ventajas.- Fácil de modificar y depurar

Desventaja.- Se pierden eventos si dos ocurren al mismo tiempo

d.3.3 Adquisición de datos, supervisión y control.

Los sistemas SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*) son aplicaciones de software, diseñadas con la finalidad de controlar y supervisar procesos a distancia. Se basan en la adquisición de datos de los procesos remotos. Se trata de una aplicación de software, especialmente diseñada para funcionar sobre ordenadores en el control de producción, proporcionando comunicación con los dispositivos de campo (controladores autónomos, autómatas programables, etc.) y controlando el proceso de forma automática desde una computadora. Además, envía la información generada en el proceso productivo a diversos usuarios, tanto del mismo nivel como hacia otros supervisores dentro de la empresa, es decir, que permite la participación de otras áreas como por ejemplo: control de calidad, supervisión, mantenimiento, etc. Cada uno de los ítems de SCADA (Supervisión, Control y Adquisición de datos) involucran muchos subsistemas, por ejemplo, la adquisición de los datos puede estar a cargo de un PLC (Controlador Lógico Programable) el cual toma las señales y las envía a las estaciones remotas usando un protocolo determinado, otra forma podría ser que una computadora realice la adquisición vía un hardware especializado y luego esa información la transmita hacia un equipo de radio vía su puerto serial, y así existen muchas otras alternativas.

Las tareas de Supervisión y Control generalmente están más relacionadas con el software SCADA, en él, el operador puede visualizar en la pantalla del computador de cada una de las estaciones remotas que conforman el sistema, los estados de ésta, las situaciones de alarma y tomar acciones físicas sobre algún equipo lejano, la comunicación se realiza mediante buses especiales o redes LAN. Todo esto se ejecuta normalmente en tiempo real, y están diseñados para dar al operador de planta la posibilidad de supervisar y controlar dichos procesos. (Martínez Aguilar, 2012).

d.3.3.1 Equipos para la adquisición de datos y el control.

FieldPoint2010 de National Instruments.

FP-2010 Descripción del hardware.

Con el módulo FP-2010 con LabView RT proporciona un fácil sistema para aplicaciones integradas en tiempo real. Cuando se ejecuta LabView RT en una FP-2010, el módulo puede ejecutar aplicaciones sin la aportación de la computadora host. Puede utilizar un PC host independiente con Windows para controlar el FP-2010 a través de una conexión Ethernet.

Además del puerto Ethernet, el FP-2010 dispone de un puerto serie RS-232 que se puede acceder a través de software. También tiene indicadores LED para comunicar información de estado y los interruptores DIP que realizan diversas funciones. La siguiente figura muestra la ubicación de estas características en el FP-2010.

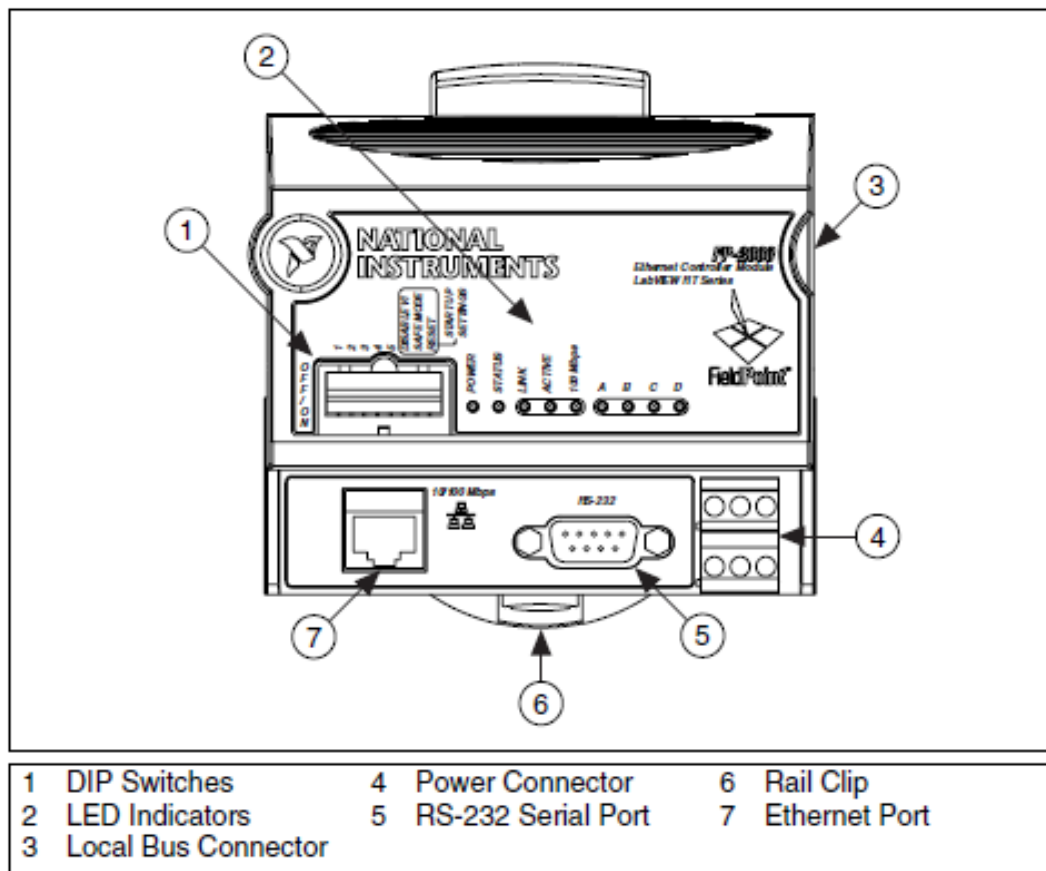


Figura 13. CPU del fieldPoint2010.

Fuente: (Manual FieldPoint, 2003)

Un banco FieldPoint consiste en un módulo de red, una o más bases de terminales, y uno o más módulos de E / S. Cada FP-2010 puede admitir hasta nueve módulos de E / S. Cada banco puede acceder a un número ilimitado de ordenadores host o FieldPoint modules, formando un sistema de computación distribuida. El número máximo de módulos de red FP-2010 que se puede instalar en la red Ethernet está limitado sólo por la topología de red.

El módulo de red FP-2010 se conecta directamente a una red Ethernet de 10 o 100 Mbps. El módulo detecta automáticamente la velocidad de la conexión y se configura en consecuencia. (Manual FieldPoint, 2003)

La siguiente figura muestra un FP-2010 conectado a una red Ethernet.

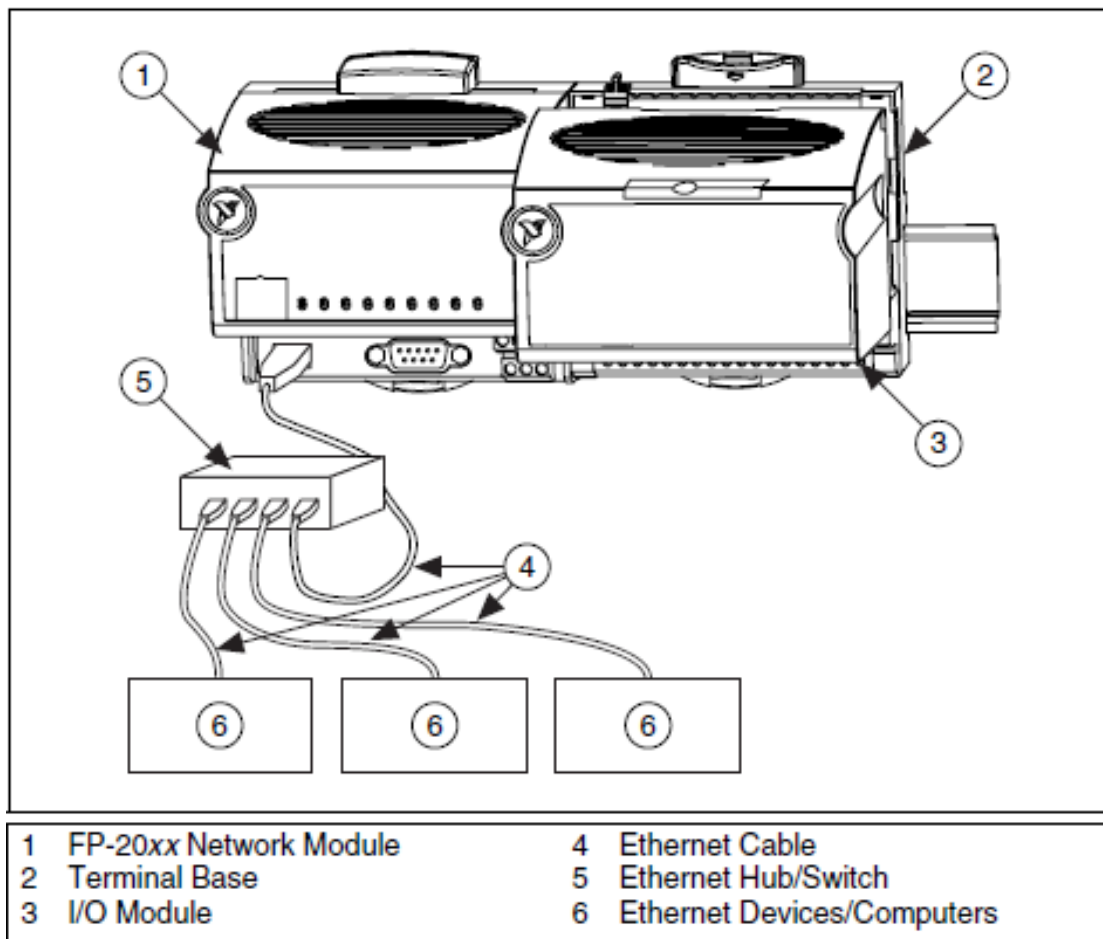


Figura 14. Conexión del FieldPoint2010 a una red Ethernet

Fuente: (Manual FieldPoint, 2003)

FieldPoint descripción general del software.

El software FieldPoint incluye una utilidad de configuración, así como software de servidor y un conductor para una fácil integración en los paquetes de software de aplicación. Estos componentes de software de gestión de las comunicaciones de bajo nivel y los detalles de hardware, lo que simplifica el acceso mediante programación a los canales de E / S. Versión 3.0.1 del software se ejecuta en FieldPoint. Windows 2000/NT 4.0/XP/Me/9x e incluye los siguientes componentes:

- Utilidad de configuración del Explorador FieldPoint
- LabView VIs
- LabWindows / CVI Funciones
- Lookout driver
- Measurement Studio instrument drivers
- OPC Server

Para descargar una versión actual de software FieldPoint desde el sitio Web de National Instruments. Con el navegador web, ni.com, se selecciona Descargar Software »Controladores y Actualizaciones» versiones de software actuales »FieldPoint Explorer, y se sigue las instrucciones en esa página. (Manual FieldPoint, 2003)

Conexión de la FP-2010 a la Red.

La conexión del módulo de red FP-2010 a una red Ethernet se la realiza mediante el puerto Ethernet RJ-45 del módulo. Se conecta el puerto Ethernet RJ-45 del módulo a un concentrador Ethernet mediante un cable Ethernet estándar de categoría 5. También se puede conectar el módulo directamente a un ordenador mediante un cable Ethernet cruzado.

Nota. Para evitar la pérdida de datos y para mantener la integridad de la instalación de Ethernet, no use un cable de más de 100 m. Si está utilizando una red Ethernet 100 Mbps, National Instruments recomienda el uso de un blindaje de categoría 5 cables Ethernet de par trenzado.

La siguiente figura muestra el FP-2010 conectado a un concentrador Ethernet.

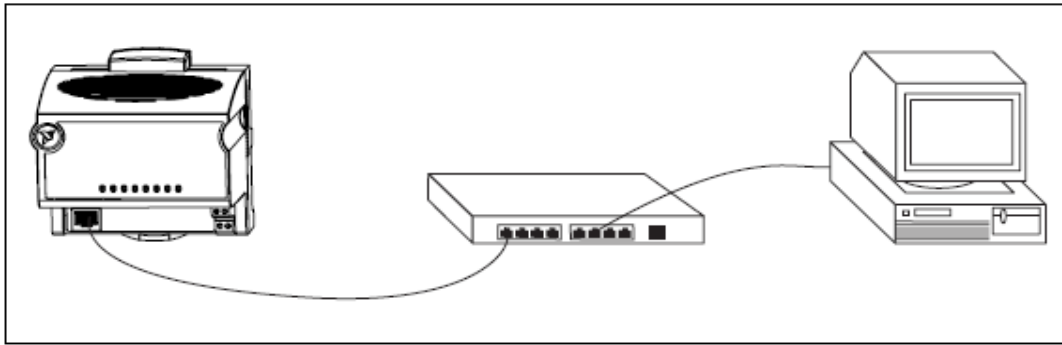


Figura 15. FP-2010 conectado a un concentrador Ethernet

Fuente: (Manual FieldPoint, 2003)

La siguiente figura muestra el FP-2010 conectado directamente con un cable cruzado.

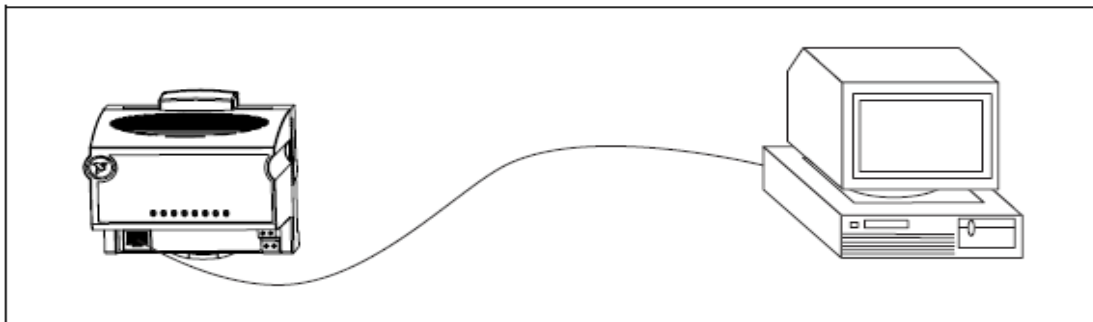


Figura 16. FP-20xx conectado directamente con un cable cruzado

Fuente: (Manual FieldPoint, 2003)

Con el fin de configurar el FP-2010, debe residir en la misma subred que la PC host. Si desea utilizar el FP-2010 en una subred distinta de la del PC principal que está encendido, primero conectar y configurar en la misma subred que la PC principal, y luego vuelve a asignar una dirección IP estática para la subred en la que desea que se vea físicamente a la otra subred.

Cableado de alimentación al sistema FieldPoint.

Cada FP-2010 en su red requiere una fuente de alimentación de 11-30 VDC. Los filtros FP-2010 regulan la potencia suministrada y proporciona alimentación de todos los módulos de E / S en el banco. Esta potencia es suficiente para la mayoría de los módulos FieldPoint de E / S.

La figura 17 muestra el conector de alimentación de terminal de tornillo de 6 patas en el FP-2010.

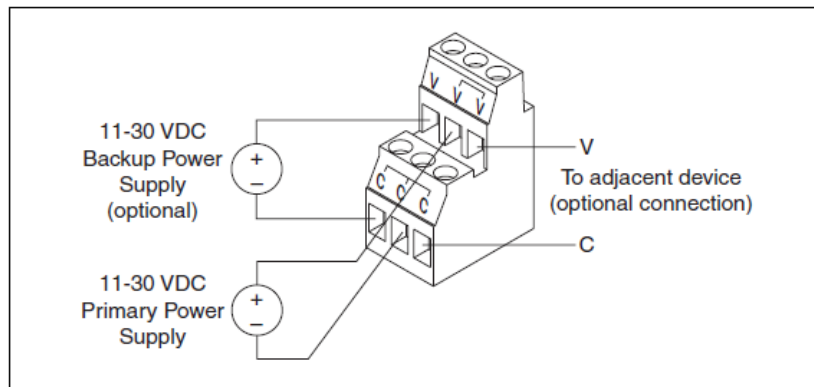


Figura 17. Conector de alimentación

Fuente: (Manual FieldPoint, 2003)

Encendido del FP-2010.

Conecte cada fuente de alimentación al banco FieldPoint. En el encendido, el FP-2010 ejecuta un auto prueba de encendido (POST), que toma varios segundos. Usted debe ver los LEDs de estado y alimentación se encienden. Después de unos cinco segundos, el LED de ESTADO empieza a parpadear. Esto indica que el FP-2010 está listo para ser configurado, y se puede proceder a la instalación del software FieldPoint.

Si ya se ha asignado una dirección IP al FP-2010, el LED de estado se apaga y el LED A, B, C y D se enciende durante unos 15 segundos cuando LabView RT inicia. Una vez que se apagan los LED READY del módulo de E / S se encienden y el FP-2010 está listo para su uso. (Manual FieldPoint, 2003)

MODULO FP-AIO-600.

Características.

El FP-AIO-600 es un módulo de entrada y salida analógica con las siguientes características, (Manual FieldPoint, 2003):

- Cuatro canales de voltaje analógico o canales de entrada de corriente con rangos de entrada de hasta ± 36 V o ± 24 mA con superación.
- Cuatro canales de salida de corriente analógica con 0-20 o 4-20 mA, rangos sin

superación.

- 1,7 kHz frecuencia de actualización de hardware.
- Resolución de 12 bits.
- -40 a 70 ° C funcionamiento.
- Los diagnósticos incorporados incluyendo abiertos indicadores de bucle de corriente.
- Entradas de corriente protegidas hasta ± 100 mA o ± 10 V.
- 250 Vrms CAT II continuo aislamiento de canal a tierra, verificado por 2.300 Vrms, 5 s prueba de resistencia dieléctrica.

Cableado de la FP-AIO-600.

El-x FP-TB base terminal tiene conexiones para cada entrada FP-AIO-600 y el canal de salida, y una fuente de alimentación externa para alimentar los canales de salida de corriente y dispositivos de campo. El bloque conector cFP-CB-x proporciona las mismas conexiones para el cFP-AIO-600. Cada canal de entrada tiene un terminal de entrada de voltaje, V_{IN} , y un terminal de entrada de corriente, I_{IN} . Sólo uno de estos terminales de entrada debe conectarse en cada canal. Cada canal de salida tiene un terminal de salida para la corriente, I_{OUT} . Los cuatro canales de entrada y los cuatro canales de salida hacen referencia a los terminales COM. Los terminales V y V_{sup} están conectados internamente, como son las terminales C y COM.

Se utiliza una fuente de alimentación VCC externa 10-30 que proporciona al menos 125 mA para los canales de salida. La fuente de alimentación externa a los terminales V_{sup} múltiple V y para múltiples terminales C y COM, según sea necesario para asegurar que la corriente máxima a través de cualquier terminal sea de 2 A o menos.

El esquema eléctrico detallado a continuación muestra un fusible para este caso.

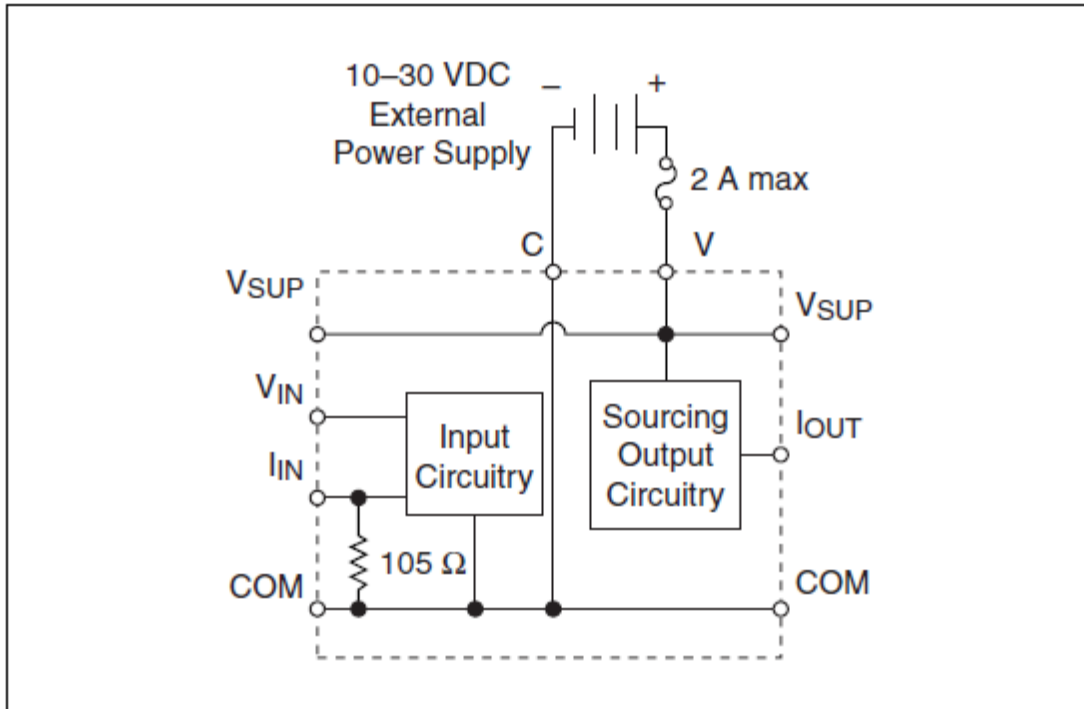


Figura 18. Conexión campo básico

Fuente: (Manual FieldPoint, 2003)

La Tabla 2 enumera las asignaciones de terminales para las señales de cada canal de entrada.

Tabla 2. Ocupación de los bornes de entrada del módulo FP-AIO-600.

Canales	Entradas			
	V_{IN}	I_{IN}	V_{SUP}	COM
Entrada 0	1	2	17	18
Entrada 1	3	4	19	20
Entrada 2	5	6	21	22
Entrada 3	7	8	23	24

- Instalar un fusible de acción rápida de 63 mA en cada terminal I_{IN} .
- Instalar un fusible de acción rápida de máximo de 2 A en cada terminal V_{SUP} .

Fuente: (Manual FieldPoint, 2003)

Tabla 3 se enumeran las asignaciones de terminales para las señales de cada canal de salida.

Tabla 3. Ocupación de los bornes de salida del módulo FP-AIO-600.

Canales	Salidas		
	I_{OUT}	V_{SUP}	COM
Salida 0	9	25	10, 26
Salida 1	11	27	12, 28
Salida 2	13	29	14, 30
Salida 3	15	31	16, 32

- Instalar un fusible de acción rápida de máximo 2 A en cada terminal V_{SUP} .

Fuente: (Manual FieldPoint, 2003)

Conexión de las señales de la FP-AIO-600.

El FP-AIO-600 cuenta con cuatro canales de entrada de una sola terminal. Los cuatro canales de entrada comparten una tierra de referencia común que está aislado de otros módulos en el sistema FieldPoint.

La figura 19 muestra el circuito de entrada en un solo canal de entrada.

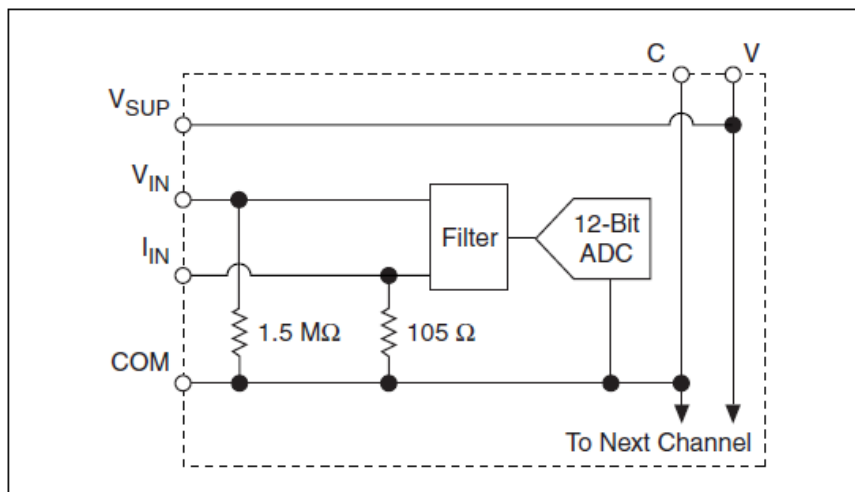


Figura 19. Circuito de entrada del FP-AIO-600

Fuente: (Manual FieldPoint, 2003)

Los rangos de entrada para señales de voltaje son ± 5 , ± 10 , ± 15 , ± 30 , 0-5, 0-10, 0-15 y 0-30 V.

La figura 20 muestra cómo conectar una fuente de tensión a un canal de entrada del FP-AIO-600.

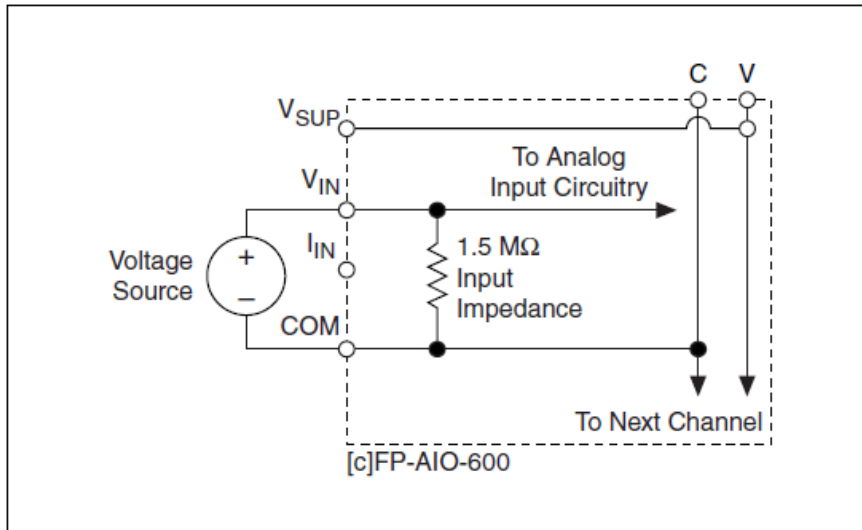


Figura 20. Conexión de una fuente de alimentación a un canal de entrada.

Fuente: (Manual FieldPoint, 2003)

Los rangos de entrada para fuentes de corriente son ± 20 , 0-20, y 4-20 mA.

La figura 21 muestra cómo conectar una fuente de corriente y sin una fuente de alimentación externa a un canal de entrada del FP-AIO-600.

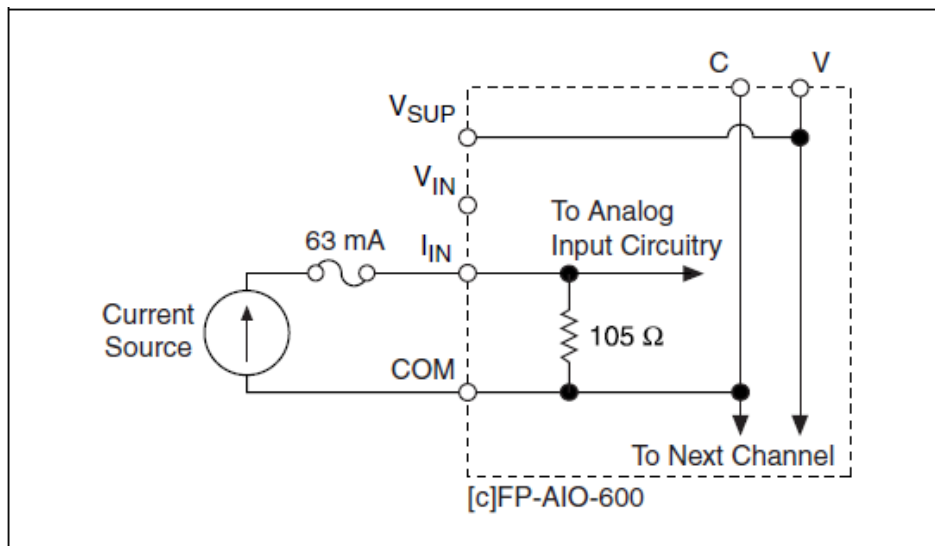


Figura 21. Conexión de una fuente de corriente al FP-AIO-600

Fuente: (Manual FieldPoint, 2003)

Conexión de la FP-AIO-600 a una carga.

El FP-AIO-600 tiene cuatro canales de salida de corriente, modulo debe ser alimentado por una fuente de alimentación externa de 10 a 30 VDC, 125 mA. Los cuatro canales de salida y su común se aíslan de los otros módulos en el sistema FieldPoint.

La Figura 22 muestra cómo conectar un canal de salida de la FP-AIO-600 a una carga.

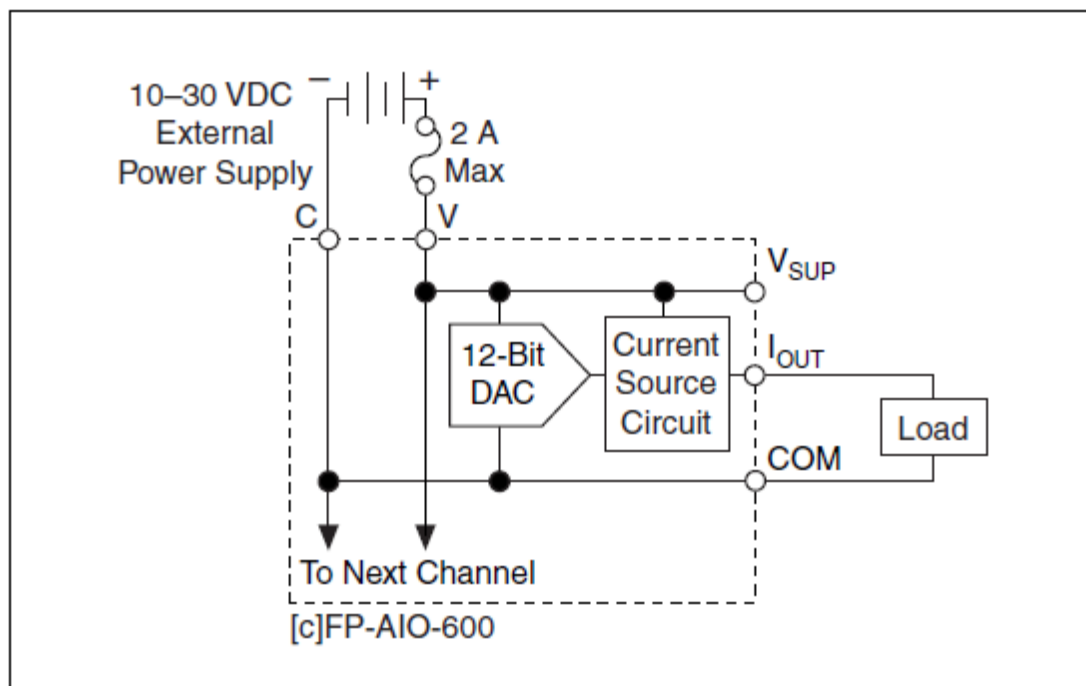


Figura 22. Conectar un canal de salida con carga.

Fuente: (Manual FieldPoint, 2003)

MODULO PF-RLY-420.

Características:

- 8 canales de relé.
- Capacidad de conmutación de 3 A a 35 VDC o 250 VAC.
- Indicadores LED de encendido/apagado
- 3000V aislamiento de entrada y salida
- Doble aislamiento para tensión de trabajo 250V seguro.

Conexión del cableado.

La base terminal tiene conexiones para cada uno de los ocho canales de relé y una fuente externa a los dispositivos de campo de energía. Cada canal relé del FP-RLY-420 cuenta con dos terminales: NO (Normalmente Abierto) y I.C. (Aislado Común). La alimentación externa no es necesaria para el funcionamiento interno de la FP-RLY-420; Sin embargo, se puede conectar una alimentación externa para los dispositivos de campo de energía mediante la conexión a los terminales V y C de la base del terminal. Si se conecta una fuente externa a la V y terminales C, la corriente total suministrada no puede exceder de 6 A.

En la tabla 4 se enumeran las asignaciones de terminales para las señales de cada canal.

Tabla 4. Asignación de terminales del módulo FP-RLY-420.

Canales	Número de terminales			
	N.O.	I.C.	Vsup	COM
0	1	2	17	18
1	3	4	19	20
2	5	6	21	22
3	7	8	23	24
4	9	10	25	26
5	11	12	27	28
6	13	14	29	30
7	15	16	31	32

Fuente: (Manual FieldPoint, 2003)

La Figuras 23a y 23b muestran ejemplos de conexiones básicas de cableado.

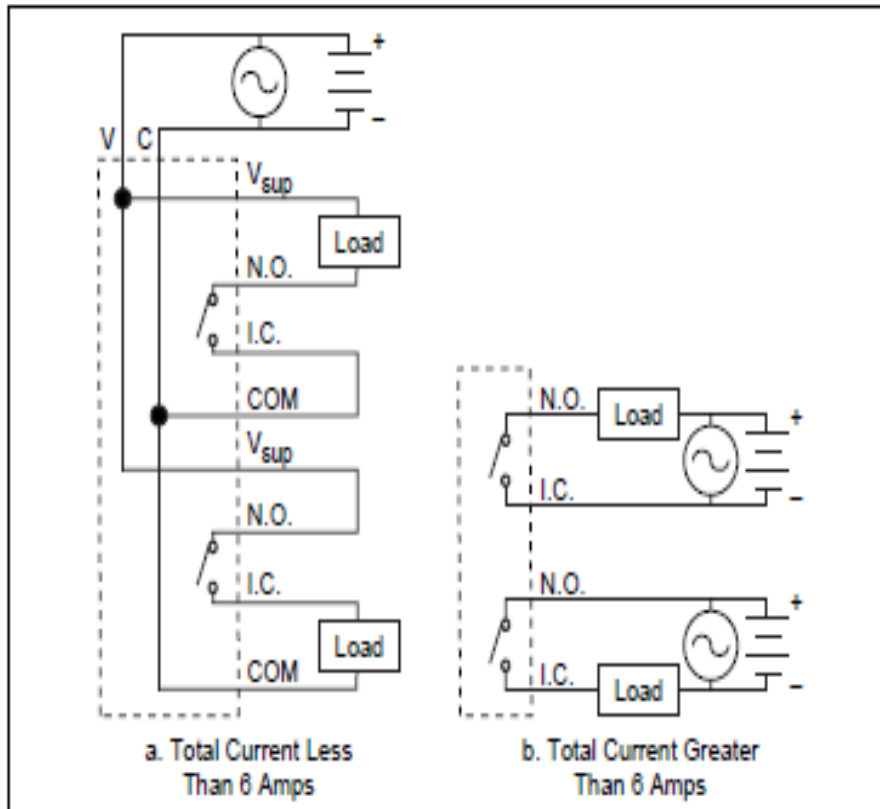


Figura 23. Conexión básica de los canales de relé.

Fuente: (Manual FieldPoint, 2003)

d.3.3.2 Measurement & Automation Explorer (Max).

Measurement & Automation Explorer (MAX) proporciona acceso a los Instrumentos de National, CAN, DAQ, FieldPoint, GPIB, IMAQ, IVI, Modular Instruments, NI Switch Executive, VI Logger, VISA y dispositivos VXI. Con MAX, puede:

- Configurar el hardware y software de National Instruments
- Crear y editar canales, tareas, interfaces, báscula y los instrumentos virtuales
- Ejecute los diagnósticos del sistema y ejecute los paneles de prueba
- Ver dispositivos e instrumentos conectados a su sistema
- Actualizar el software de National Instruments

En la siguiente figura se observan todos los módulos del FieldPoint en la ventana de MAX, así mismo desde esta ventana se puede comprobar que la conexión Ethernet entre FieldPoint2010 y PC está establecida.

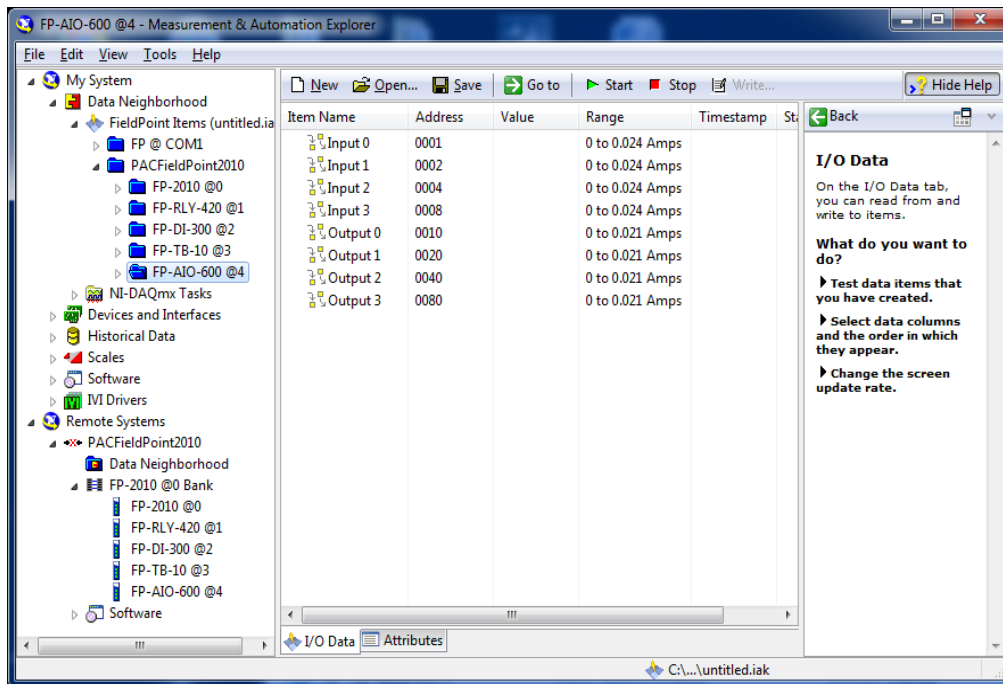


Figura 24. MAX y la conexión establecida con el FieldPoint.

Fuente: El autor

e.- MATERIALES Y MÉTODOS.

e.1 Materiales.

- 1 Acumulador o depósito de presión.
- 1 Sensor de presión de 0-15 PSI/4-20 mA
- 1 Válvula Proporcional Omega 4-20 mA
- 2 electroválvulas 100V
- 1 Regulador de Presión
- 2 manómetros de 30 PSI.
- 1 Válvula de bola macho esférico.
- 1 FieldPoint2010
- 2 Bushing 3/8" MPT X 1/4" FPT Bronce
- 1 Válvula Check 3/8" en línea VLV
- Compresor de aire
- 16 Racor recto
- Cable #22 AWG.
- Fusibles
- Borneras

e.2 Métodos.

e.2.1 Descripción y dimensionamiento del prototipo diseñado e implementado.

Para realizar la medición y control de la presión se implementa un sistema en el cual se controla un tanque acumulador cuyo esquema se muestra en la figura 25.

Los elementos constitutivos del banco son los siguientes:

- EV01 = electroválvula,
- FC = Regulador de presión SMC,
- FV = Válvula anti-retorno,
- PI = Manómetros de presión,
- FCV01 = Válvula proporcional analógica OMEGA,

- T001 = Acumulador,
- HV = Válvula manual,
- EV02 = Electroválvula,
- PT = Sensor de presión analógico,
- HMI = Interface hombre máquina,
- PLC = Controlador Lógico Programable.

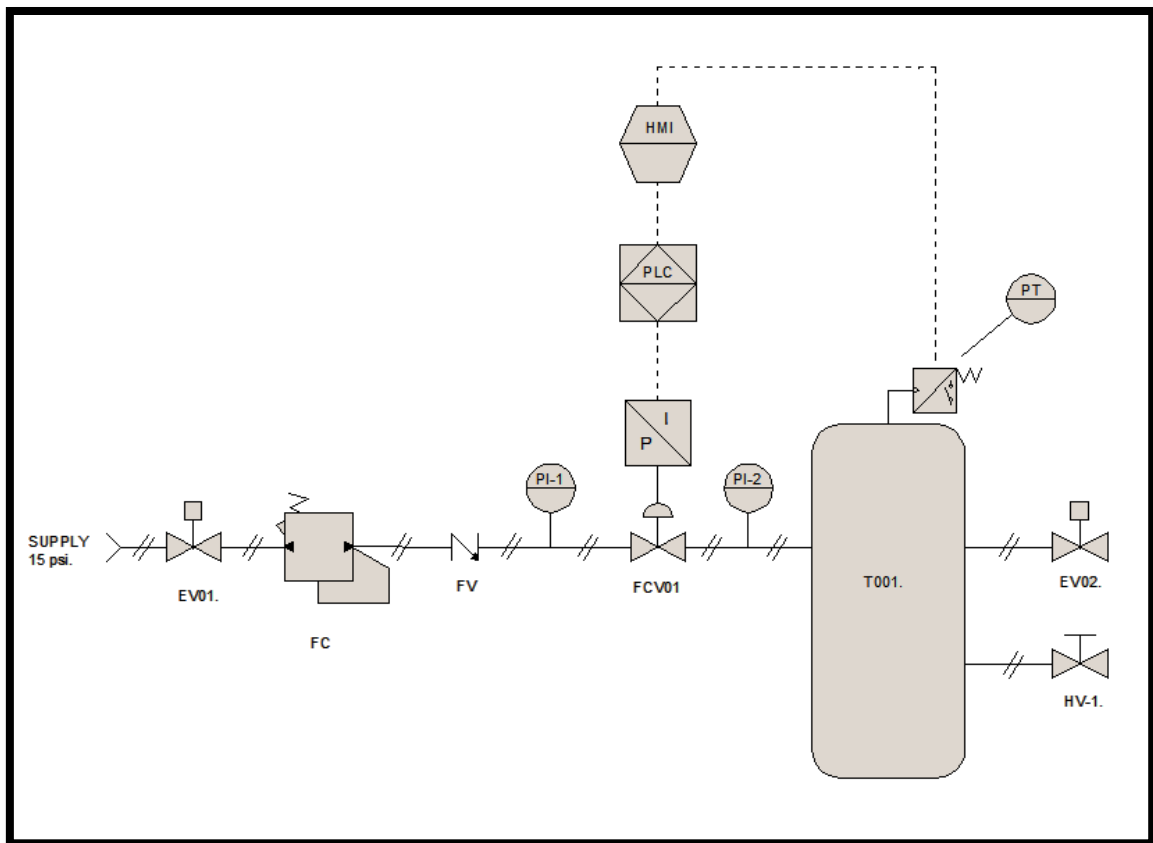


Figura 25. Esquema neumático del banco de presión a implementar.

Fuente: El Autor

En la figura 25, el aire comprimido entra por la electroválvula NC (EV01), la cual se acciona al ejecutar el programa, éste pasa por un regulador de presión (FC), el cual se lo utiliza para regular la presión de entrada al acumulador (T001) y no exceda los 15 PSI que soporta el sensor de presión analógico (PT), así mismo consta de una válvula anti-retorno (FV) y dos manómetros de presión analógicos (PI), los cuales permiten visualizar la presión en la tubería y el acumulador, la válvula proporcional omega (FCV01) permite variar proporcionalmente la cantidad de aire al tanque, la válvula de

macho esférico (HV-1) permite simular perturbaciones en forma manual, la electroválvula (EV02) permite vaciar el tanque desde el programa en caso de una sobrepresión, PLC es el controlador lógico programable de la planta y el HMI es la pantalla mediante el cual se mide, supervisa y controla la planta. La nomenclatura que se utilizó para describir el esquema neumático es una nomenclatura P&ID.

e.2.2 Procedimiento de identificación de procesos para obtener el modelo.

e.2.2.1 Adquisición de datos de la Planta.

Para poder adquirir datos del módulo ya construido, se procede a crear un VI que permita leer los datos del sensor y escribir los valores de la válvula proporcional OMEGA, el programa realizado se muestra en la siguiente figura.

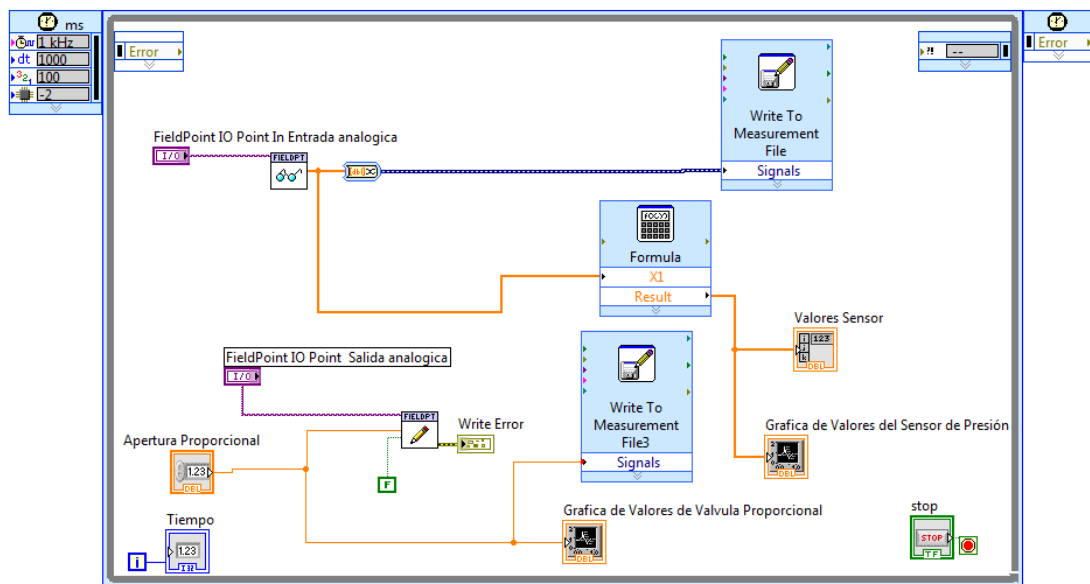


Figura 26. Diagrama de bloques del VI para adquirir los datos del prototipo.

Fuente: El Autor

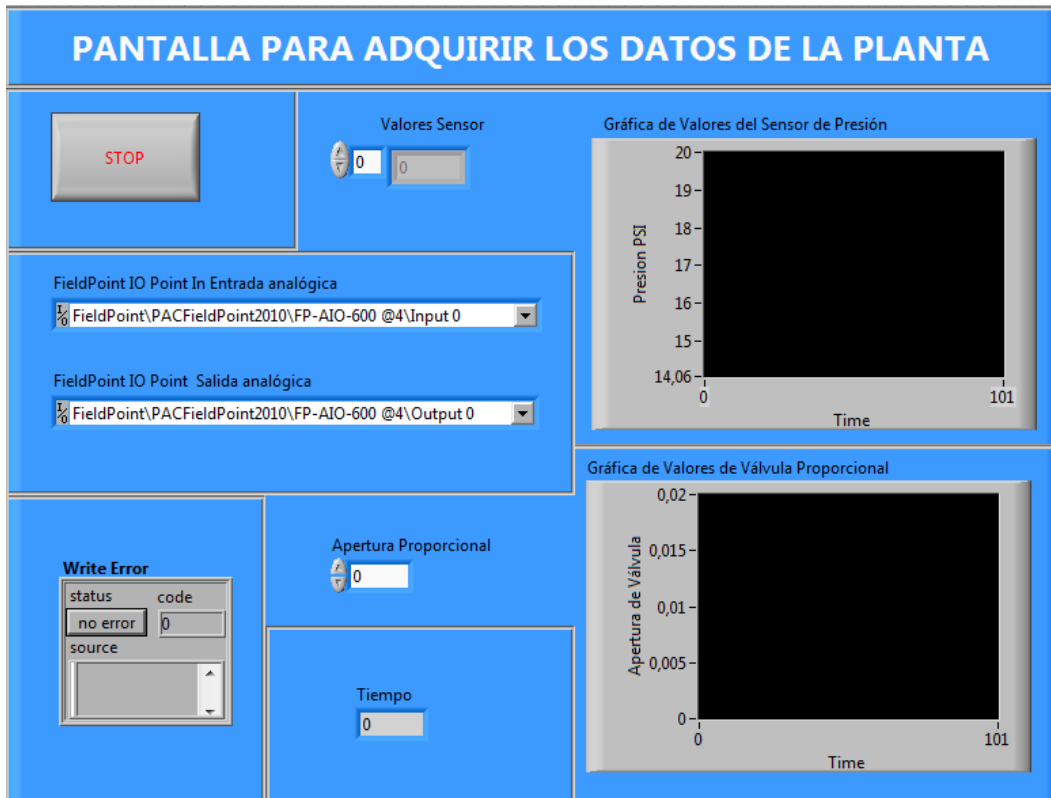


Figura 27. Panel Frontal del VI para adquirir los datos del prototipo.

Fuente: El Autor

En esta figura 27, se muestra el panel frontal y en la figura 26 el diagrama de bloques de cómo se obtendrán los valores de entrada y salida para poder diseñar la función de transferencia de la planta.

En el diagrama de bloques se puede observar que existe una fórmula, ésta se la utiliza para convertir la señal analógica del sensor a valores reales en PSI. También se utiliza un (*Write to measurement*) para poder recoger los datos de la planta en un archivo de Excel, los cuales después se los importará al *workspace* de *Matlab*.

El panel frontal consta de dos pantallas, en la primera (gráfica de valores del sensor de presión) visualiza los valores de presión en PSI, que mide el sensor durante el tiempo que se mantiene funcionando el VI, la segunda pantalla (Gráfica de valores de la válvula proporcional) se visualiza la señal escalón que se le proporciona a la válvula OMEGA y en esta pantalla se debe asignar los canales utilizados del módulo *FieldPoint* tal y como se muestra en la figura 27.

e.2.2.2 Identificación de sistemas con Matlab.

Una vez obtenidos los datos de entrada y salida de la planta se procede a obtener la función de transferencia, utilizando la herramienta *ident* en matlab, para lo cual en el *workspace* de *Matlab* creamos las variables de entrada y salida con los datos obtenidos previamente de la planta.

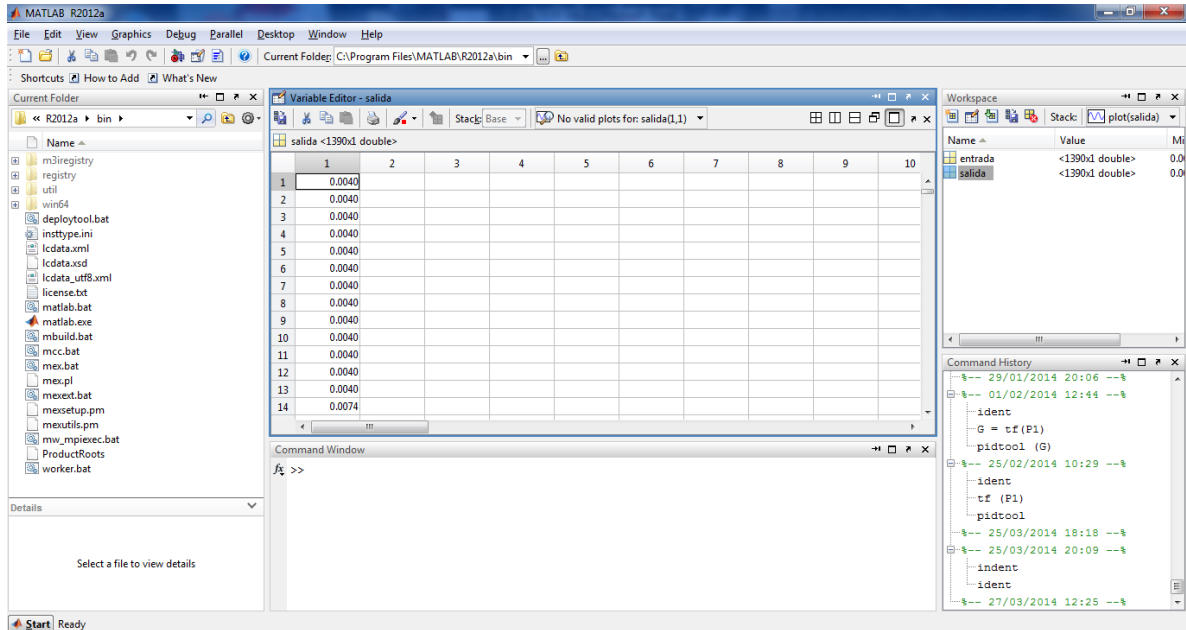


Figura 28. Variables de entrada y salida de la planta guardadas en el workspace de Matlab.

Fuente: El Autor.

Una vez creadas las variables de entrada, salida en el *workspace* se procede a utilizar las herramientas de Matlab escribiendo *Ident* en la ventana de comandos y aparecerá la ventana de *system identification* tal como se muestra en la figura 29.

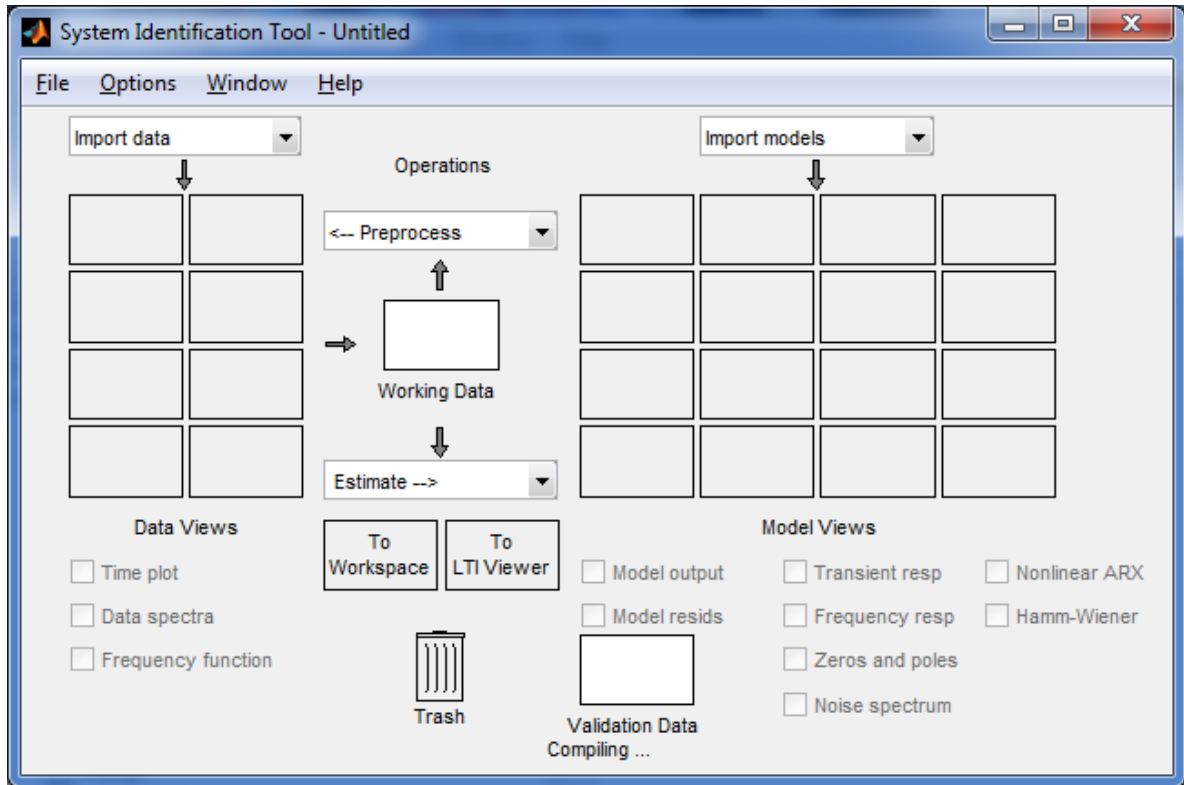


Figura 29. Ventana de *system identification*.

Fuente: El Autor.

Luego se procede a importar los datos haciendo clic en la pestaña de *import data* en la opción *Time domain data* y aparece la ventana *import data* la cual servirá para importar los datos que se creó en el *workspace* de Matlab.

Para importar los datos del *workspace* de *Matlab*, en la opción *workspace variable* se colocó los datos de entrada corresponden al valor escalar que se le suministra a la válvula proporcional y los datos de salida que corresponden a la lectura del sensor de presión analógico, para éste proceso el tiempo de inicio es de 0 y el intervalo que se tomó los datos es de 1 segundo, en la figura 30 se puede observar la ubicación de los datos mencionados anteriormente.

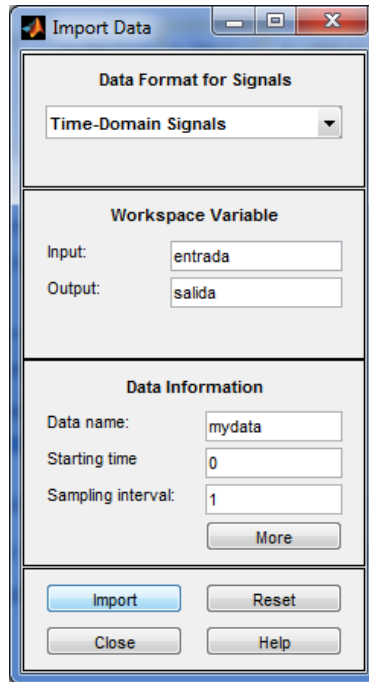


Figura 30. Ventana *Import Data*, se coloca las variables de entrada y salida del *workspace*.

Fuente: El Autor

Se realiza clic en la pestaña *import* de la ventana *import data* y aparece la gráfica de los datos tomados en la ventana *system identification* figura 31.

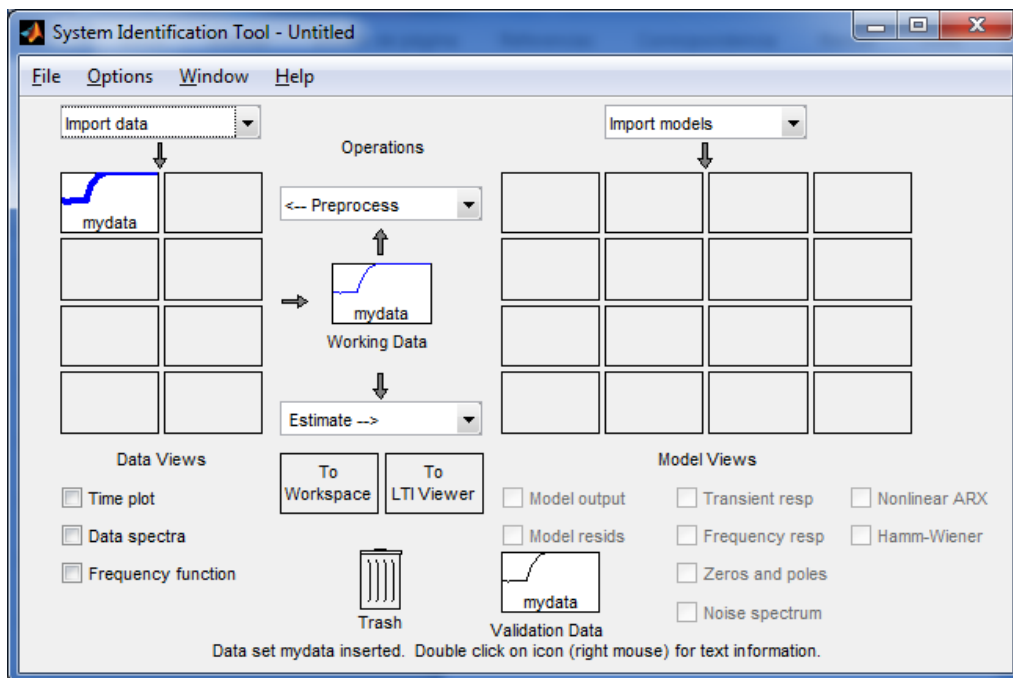


Figura 31. Gráfica de los datos importados.

Fuente: El Autor

Se procede a realizar la estimación del proceso para lo cual en la ventana *system identification* en la pestaña *estimate* se selecciona la opción *Process models*.

Aparece una ventana con el mismo nombre (figura 32) en el cual se estiman varios modelos a los cuales se les puede asignar los números de polos que se necesite para obtener el modelo de función de transferencia, de ser necesario se debe estimar mas modelos seleccionando las casillas *zero* que incluye un cero en el denominador el cual es una variable, la casilla *Delay* para incluir un retraso, o la casilla *Integrator* que incluye un integrador (proceso de auto – regulación).

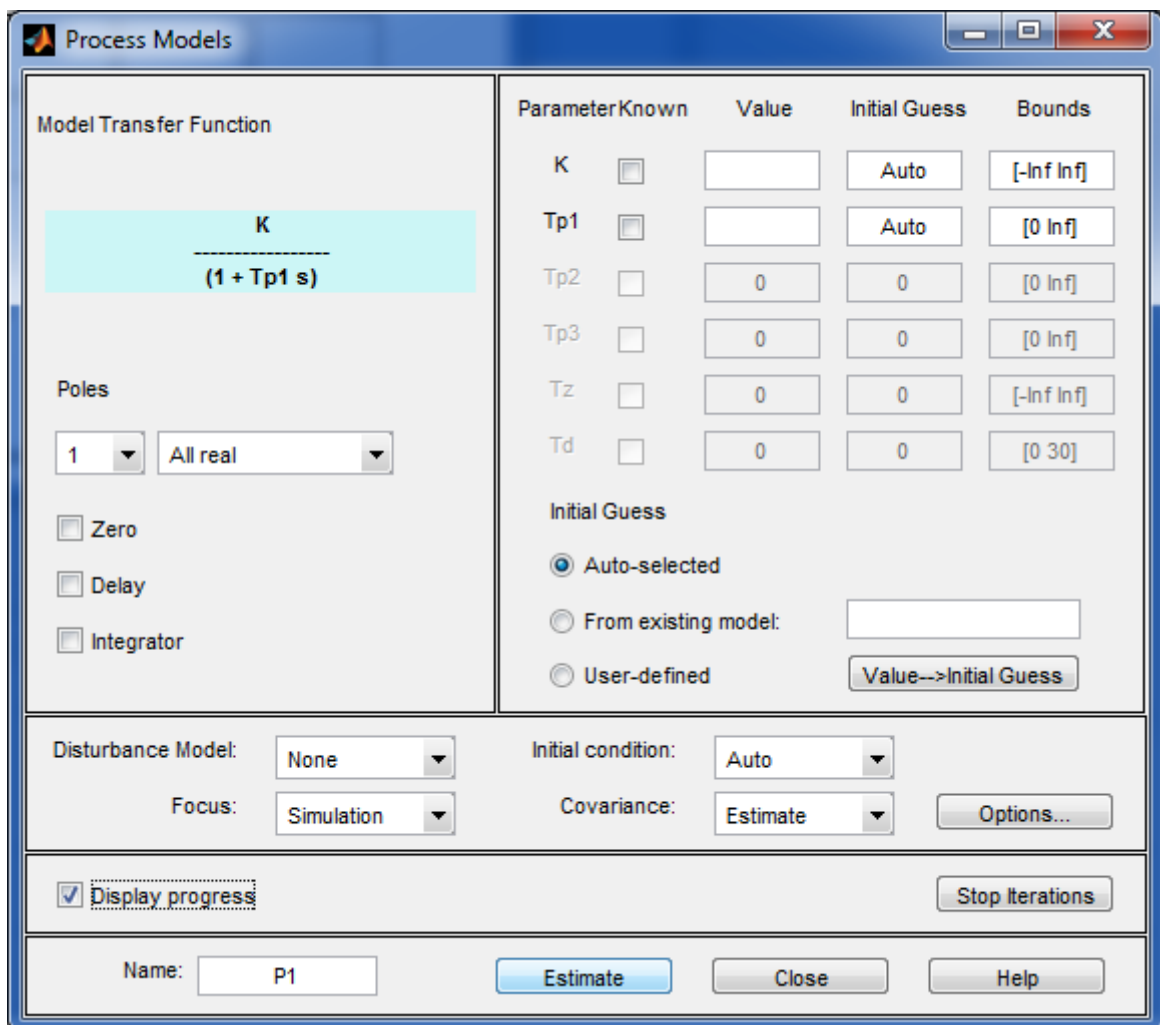


Figura 32. Ventana *Process Models* de *System identification*

Fuente: El Autor

Realizadas las posibles estimaciones del modelo de función (Figura 33), se procede a verificar cual de las funciones es la que mejor se acopla a la planta construida.

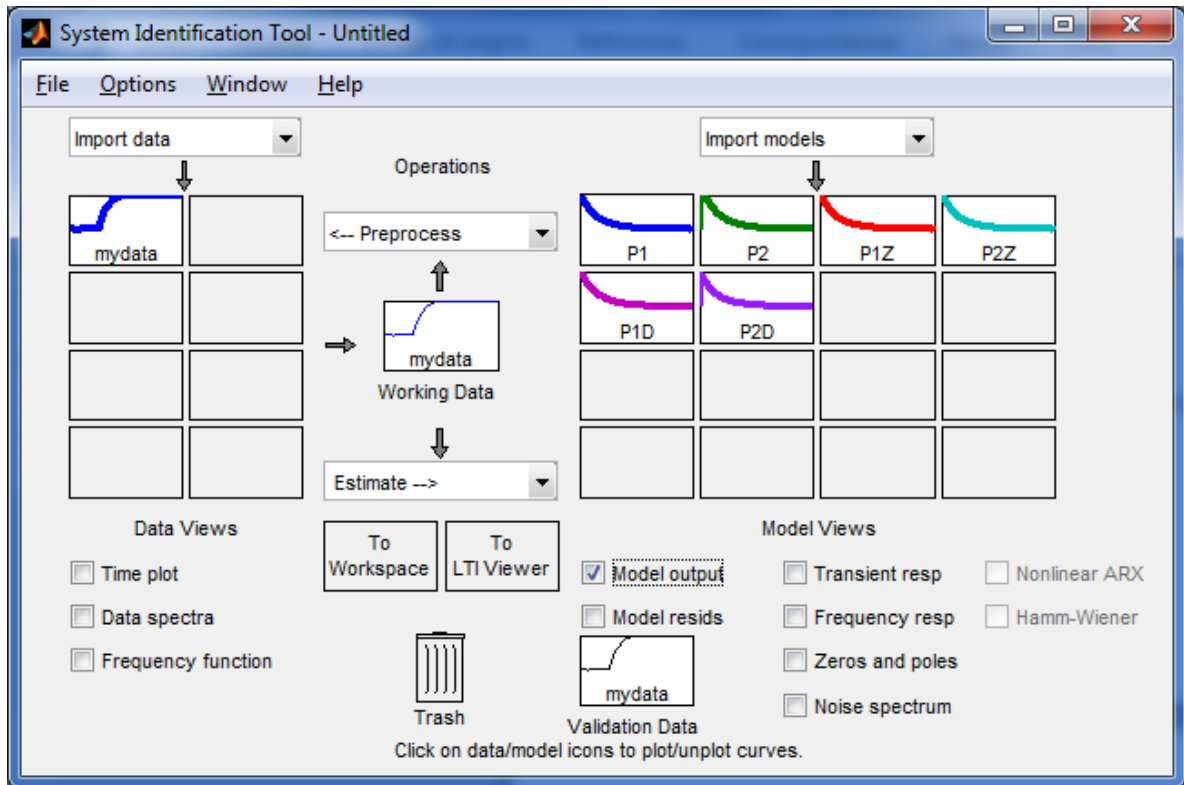


Figura 33. Muestra las gráficas del modelo de función de transferencia.

Fuente: El Autor.

De los modelos obtenidos se procede a verificar el que mejor represente la dinámica de la planta, para esto se debe seleccionar la opción *Model output* (Figura 34), la cual da valores que permiten verificar la mejor estimación del modelo. El modelo que se debe escoger para la función de transferencia debe aproximarse o ser superior a 80%. De los valores obtenidos el que mayor valor presente es una función de segundo orden con un porcentaje de 88.38%, valor que será considerado como la mejor estimación del modelo de función de transferencia para la planta construida.

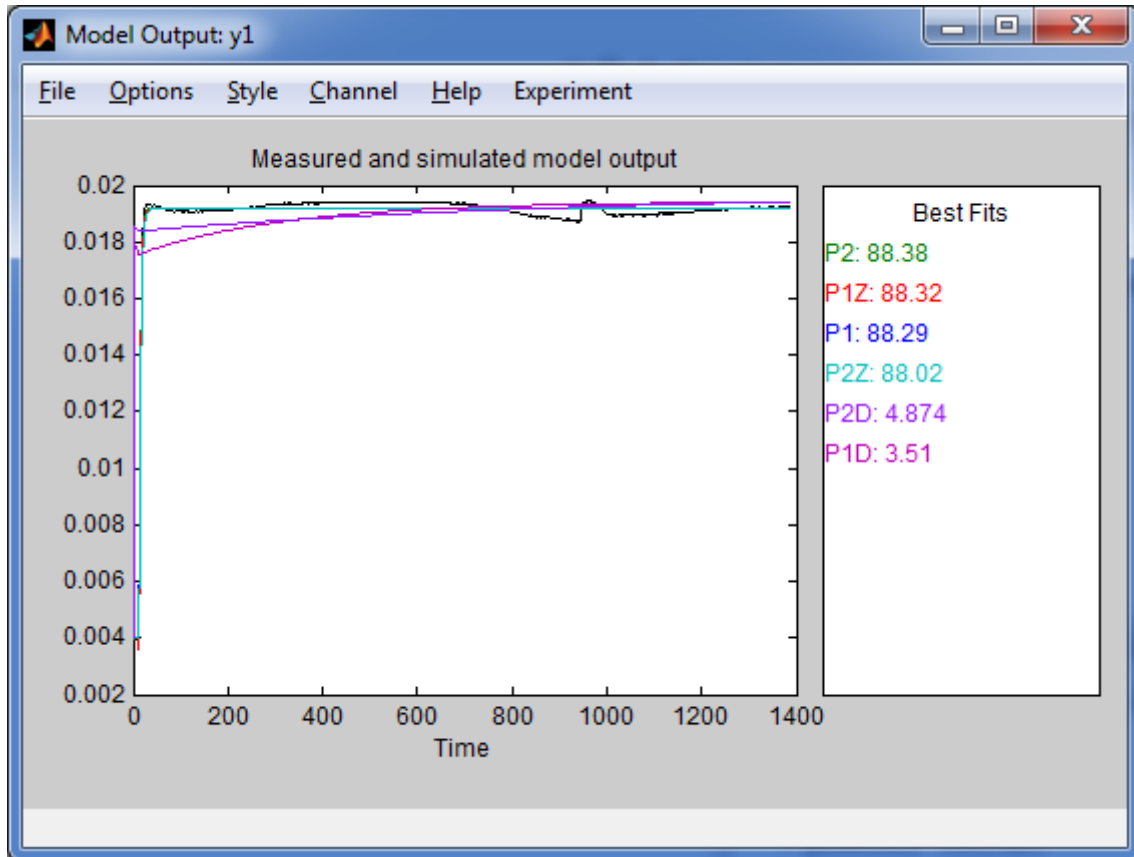


Figura 34. Medición y simulación del modelo de salida.

Fuente: El Autor

Se procede a estimar los polos y ceros de la función para lo cual se debe tomar en cuenta los siguientes aspectos:

- Un sistema es estable si todos los polos de su función de transferencia se encuentran en el semiplano izquierdo.
- Si al menos un polo se encuentra en el semiplano derecho o hay polos repetidos sobre el eje imaginario, el sistema es inestable.
- Un sistema es marginalmente estable cuando todos sus polos están en el semiplano izquierdo, excepto por uno en el origen o por complejos conjugados con parte real cero.

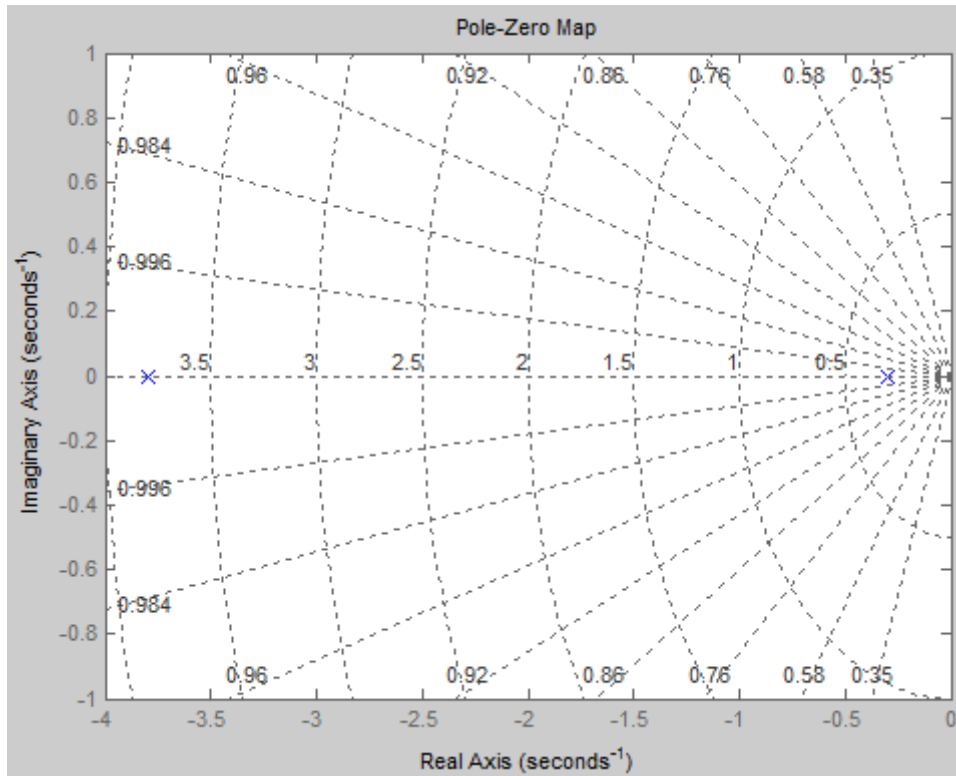


Figura 35. Representación de polos y ceros de la función.

Fuente: El Autor.

De la figura 35, se concluye que el modelo obtenido es estable ya que sus dos polos se encuentran en el semiplano izquierdo.

Verificado el modelo de función con el análisis de polos y ceros, se procede a representar la ecuación de la función de transferencia a utilizar, para posteriormente implementarla en el software de supervisión y control de presión en tiempo real.

```

Command Window
File Edit Debug Desktop Window Help
>> G = tf (P2)

G =

From input "u1" to output "y1":
      1.01
-----
0.8787 s^2 + 3.599 s + 1

Name: P2
Continuous-time transfer function.

fx >> |
OVR ...

```

Figura 36. Función de transferencia obtenida de la herramienta *ident* de matlab.

Fuente: El Autor

e.2.3 Desarrollo del controlador.

Para el desarrollo del controlador se procede a analizar la función de transferencia obtenida, para esto se utiliza el *Simulink* de *Matlab*, en el cual se verá la actuación del controlador sobre el modelo de la planta para comprobar que el sistema resultante es estable. El modelo que se realiza para la simulación en *SIMULINK* es el siguiente:

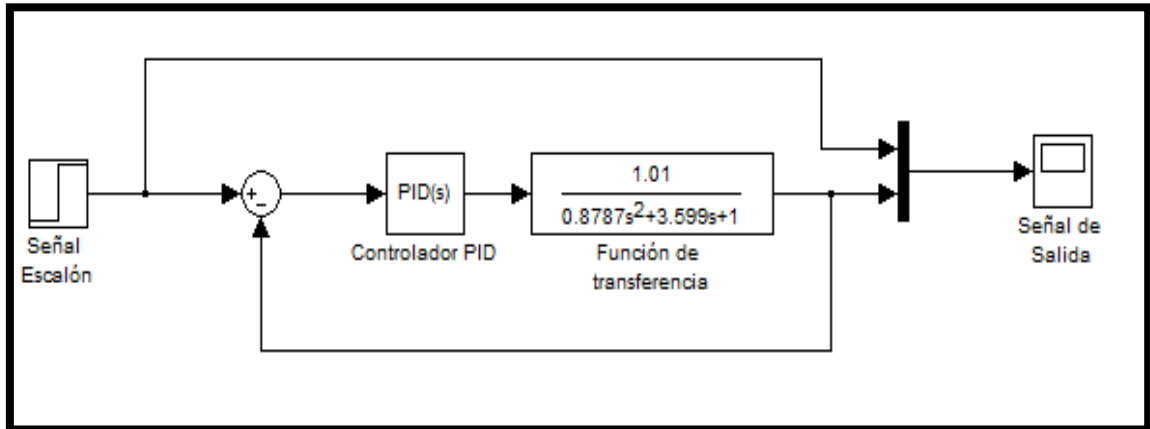


Figura 37. Diagrama de bloques del modelo de la planta.

Fuente: El Autor.

En la figura 37, se puede observar los siguientes bloques utilizados:

- El bloque ‘Señal escalón’ genera un escalón entre dos niveles definidos en un espacio de tiempo especificado. Si el tiempo de simulación es menor que el valor del parámetro ‘*Step time*’, la salida del bloque será el valor del parámetro ‘*Initial value*’. Para tiempos de simulación mayores o iguales que el valor de ‘*Step time*’, la salida es el valor del parámetro ‘*Final value*’.
- El bloque “*Sum*” es la implementación del bloque suma. Este bloque realiza las operaciones de adición o sustracción de sus entradas, pudiendo sumar o sustraer entradas escalares, vectoriales o matriciales.
- El bloque controlador PID, implementa algoritmos de control PID en tiempo discreto y continuo e incluye características avanzadas tales como *anti-windup*, reinicio externo, y el seguimiento de la señal. Puede sintonizar las ganancias PID automáticamente utilizando el botón “*Tune*” (requiere *Simulink Control Design*).
- El bloque “Función de transferencia” implementa una función de transferencia

con la entrada $U(s)$ y la salida $Y(s)$.

- El bloque “Señal de salida” representa gráficamente la entrada conectada a este bloque con respecto al tiempo de simulación.

Una vez desarrollado el diagrama de bloques se procede a sintonizar los parámetros del controlador PID (*PID controller*), para lo cual se realiza doble clic sobre este bloque, permitiendo visualizar sus parámetros, tal y como se muestra en la siguiente figura.

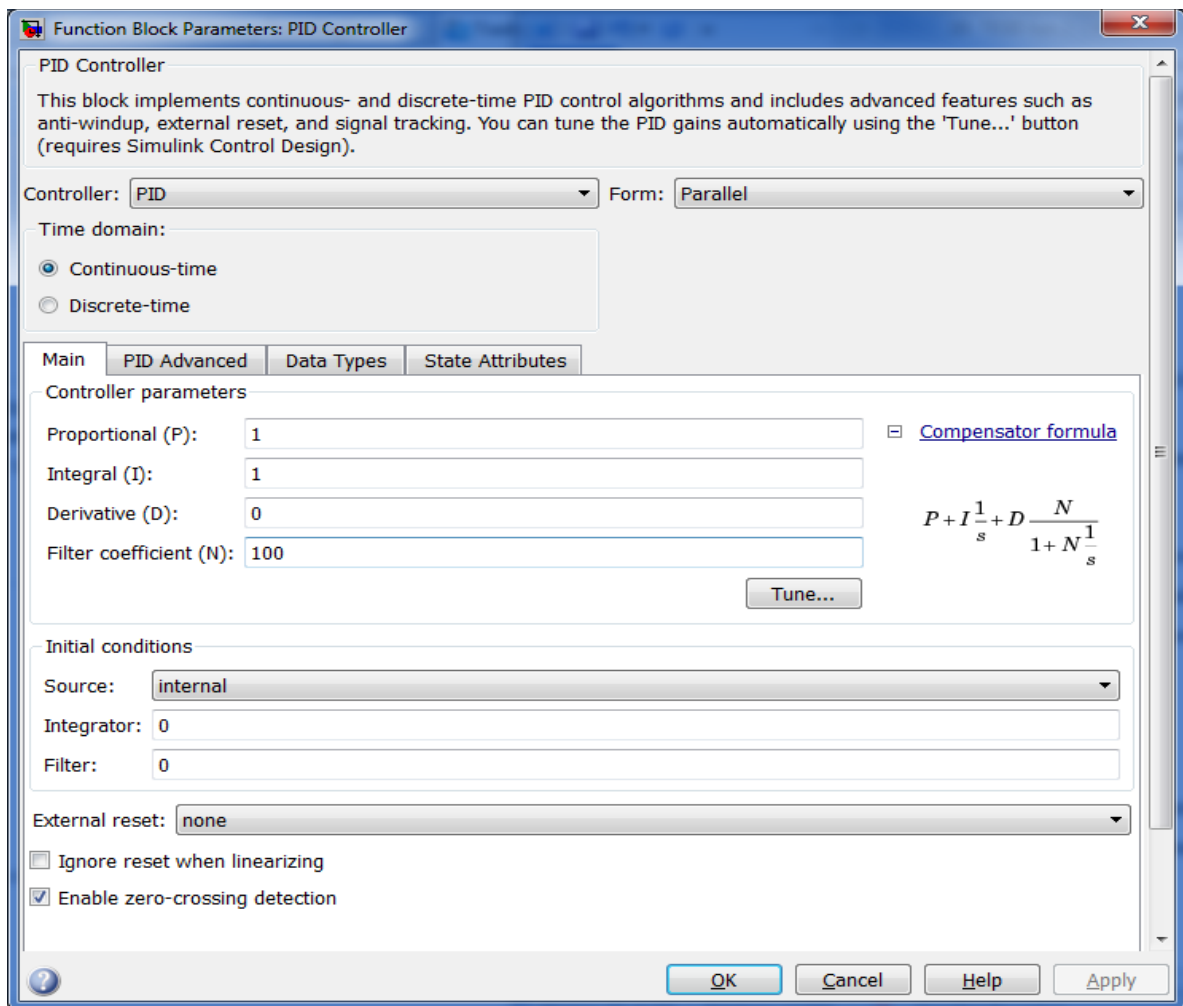


Figura 38. Parámetro del bloque de funciones del controlador PID

Fuente: El Autor

En la pantalla de la figura 38. Se observa que se puede seleccionar el controlador que mejor se acople al modelo de la planta, pudiendo ser este PID, PI o PD, el dominio de tiempo se debe seleccionar tiempo continuo en forma paralela, ya que de esta forma se

puede modificar los parámetros proporcional, integrar y derivativo los cuales influyen directamente sobre el error.

Para la planta implementada se seleccionará un controlador PID con un dominio de tiempo continuo en forma paralela, posteriormente se procede a dar clic en la opción “*TUNER*”, mediante la cual el software calcula un controlador PID de lograr un equilibrio razonable entre el rendimiento. En la siguiente figura se muestra el diseño inicial del controlador PID.

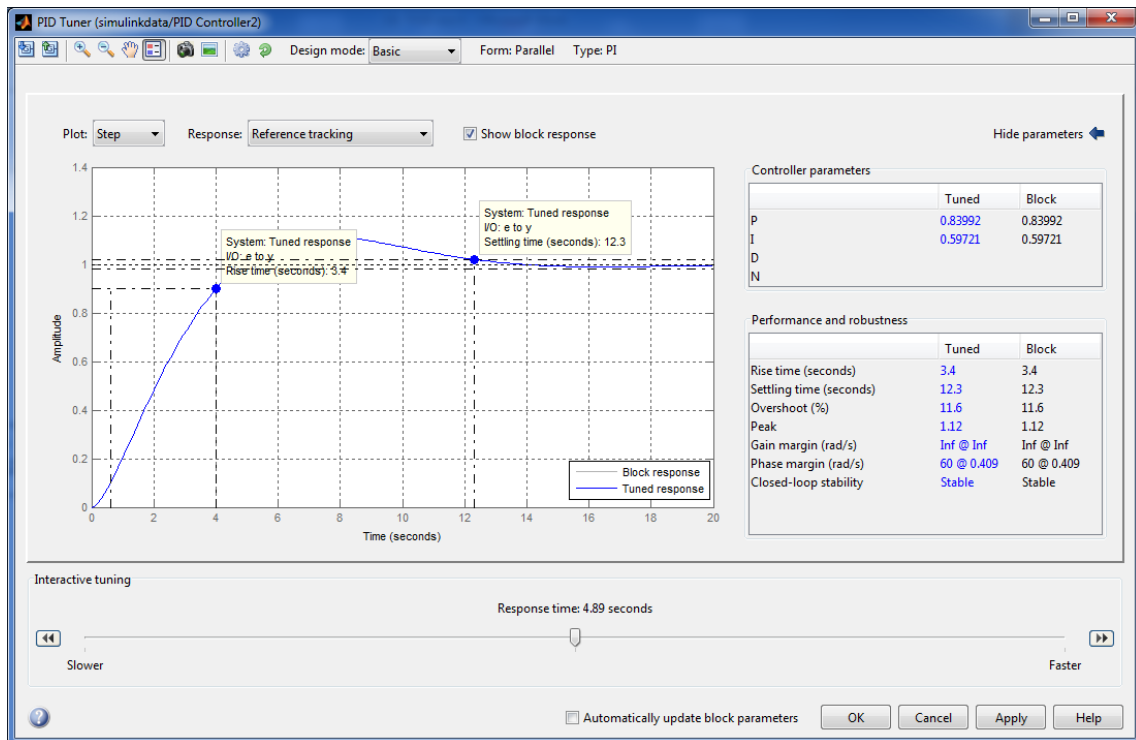


Figura 39. Diseño del controlador PID.

Fuente: El Autor

El diseño del controlador PID inicial de *PID tuner*, ofrece un control PI con un tiempo de subida de 3.4s, el tiempo de establecimiento es de 12.3s y su *overshoot* es de 11.6%.

La siguiente figura muestra la respuesta simulada del diagrama de bloques realizado en *SIMULINK*, la cual muestra que la señal de respuesta es estable con los parámetros del controlador.

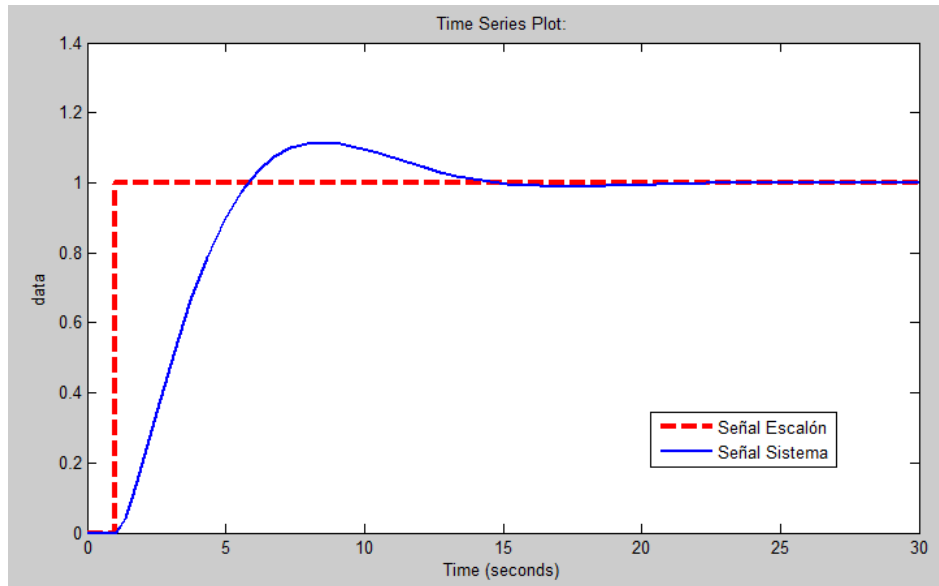


Figura 40. Respuesta del controlador PID.

Fuente: El Autor

e.2.4 Implementación.

Una vez realizada la función de transferencia de la planta se procede a implementarla en el software LabView en donde se medirá, controlará y monitoreará todo el proceso de la planta construida para lo cual se diseñó el VI mostrado en la figura 41.

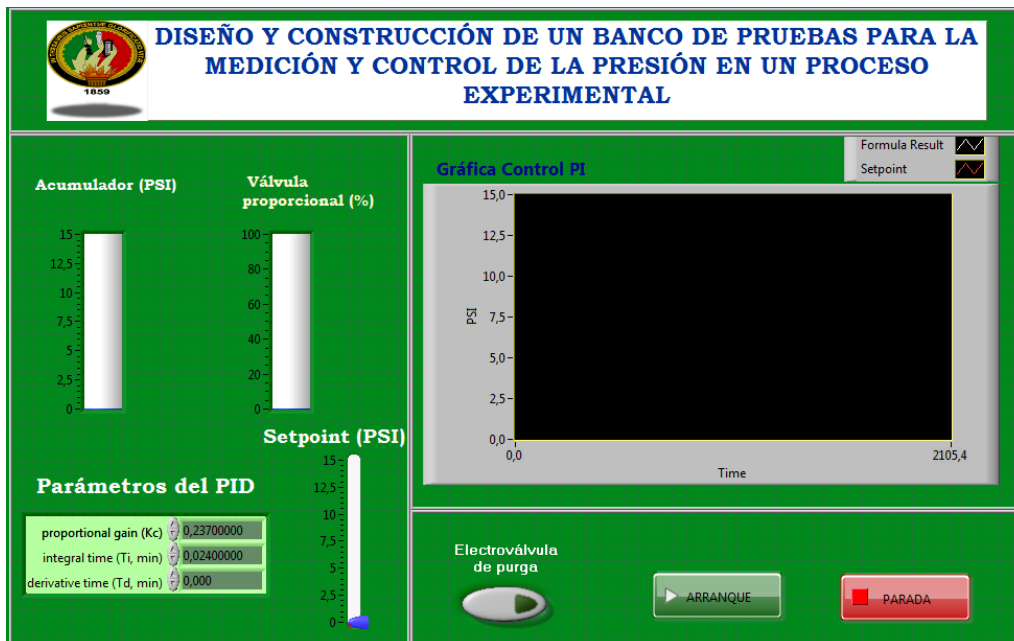


Figura 41. Panel frontal del control PID realizado.

Fuente: El Autor

En el panel frontal se observan las funciones de control y supervisión del proceso, el botón de arranque activa el funcionamiento del proceso de la válvula proporcional y secciona la electroválvula de entrada ver Figura 25. (Esquema neumático del banco de presión). El botón de parada detiene el proceso, la figura consta de dos tanques, uno que representa al acumulador con valores de 0-15 PSI y el otro representa la apertura de la válvula proporcional en porcentajes 0-100%, consta también de un cuadro donde se representa los parámetros del PID pudiendo ser estos modificados para observar cómo influyen el control proporcional, integral y derivativo en forma directa en el proceso de la planta. El parámetro *setpoint* está en PSI y se lo utiliza para dar el valor deseado en el acumulador dependiendo la válvula proporcional directamente de este valor para abrir/cerrar y mantener la presión deseada en el acumulador. Consta también de una pantalla gráfica en la cual se observa la lectura del sensor de presión y como ésta se acopla al *setpoint* dado.

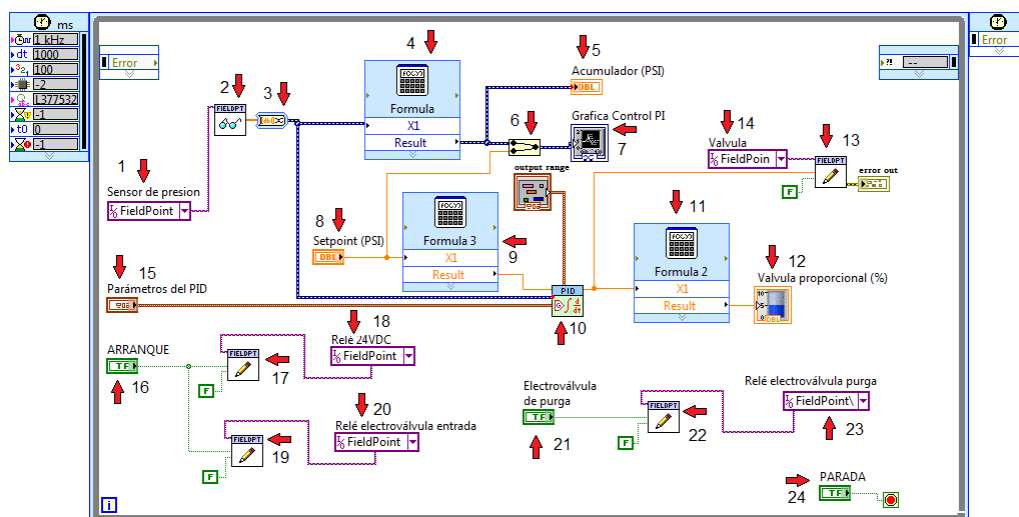


Figura 42. Diagrama de bloques del control PID

Fuente: El Autor

En el diagrama de la figura 42, se implementa los siguientes bloques:

- Controlador E/S, se lo utiliza para especificar el instrumento o el dispositivo del FieldPoint que se desea comunicar. Para el presente proyecto se usa; un módulo analógico “FP-AIO-600”, del cual se utiliza una entrada análoga 1 (Sensor de presión), una salida análoga 14 (Válvula proporcional) y un módulo de relé “FP-

RLY-420”, del cual se utiliza tres canales de comunicación, 18 (Relé 24VDC), 20 (Electroválvula de entrada) y 23 (electroválvula de purga).

- La función 2, lectura del FieldPoint (*FP Read*) permite leer un único conjunto de valores de un elemento FP y trabaja de forma asíncrona cuando se comunica con un sistema FieldPoint a través de Ethernet.
- La función 3, (*Convert to Dynamic Data Express VI*) convierte los tipos de datos numéricos, boléanos, forma de onda y de la matriz en el tipo de datos dinámicos para ser usados con el VI.
- La función 4, 9, 11 son fórmulas de las cuales se utiliza; la fórmula 1 para expresar los datos en PSI, la fórmula 3 expresa los datos de PSI a valores entre 0.004-0.02 para que sean acordes a la adquisición de datos del sensor de presión, y la formula 2 se la utiliza para expresar los datos en porcentaje de apertura respecto a la válvula proporcional.
- Indicador 5 (acumulador), representa la presión dentro del tanque.
- El control 8 (*setpoint*), son los valores de presión en PSI que se desea mantener en el acumulador.
- La Función 6 (*Merge Signals Function*), Combina dos o más entradas en una sola salida, se lo utiliza para combinar la señal que entrega del sensor y el *setpoint* que se le establezca.
- El Indicador 7 (Grafica control PI), representa los valores entregados por el sensor y el *setpoint*.
- La función 10 (PID VI), implementa un controlador PID utilizando un algoritmo PID para aplicaciones PID simples o aplicaciones de control de alta velocidad que requieren un algoritmo eficiente.
- El indicador 12 (Válvula proporcional), representa los valores en porcentaje 0 – 100% de la apertura o cierre de la válvula proporcional.
- Los controles 16, 21 y 24 respectivamente representan; el encendido de la electroválvula de entrada de aire con la energización de tensión de 24VDC para el banco de pruebas, la activación de la electroválvula de purga la cual se activa desde el panel frontal y se la utiliza en caso de sobrepresiones en el acumulador, y el botón de parada que apaga el proceso de la planta.

e.2.5 Valorización económica.

Los gastos generados en el desarrollo del proyecto para la implementación del banco de presión ascienden a un monto de 3051.00 USD, en la tabla 5 se describe el costo de cada componente.

Tabla 5. Gastos realizados para la implementación del banco de pruebas

Detalle	Dimensión	Cantidad	Precio Unitario USD	Subtotal USD
Electroválvula neumática 1/4"	Unidad	2	62	124
Regulador de presión 1/4"	Unidad	1	37	37
Manómetro de 2" 0-30PSI Post 1/4" S/G NOSHOK	Unidad	2	30	60
Transmisor de presión 0-15 PSI 4-20mA 1/4" NOSHOK	Unidad	1	330	330
Actuador eléctrico proporcional FSV10 SERIES	Unidad	1	800	800
Válvula anti-retorno 1/4"	Unidad	1	13	13
Válvula de cierre rápido 1/4"	Unidad	1	7	7
Acumulador 10 lb.	Unidad	1	20	20
Estructura de madera	Unidad	1	80	80
Elementos auxiliares de neumática; racores, reductores, teflón, tubería	Unidad	1	50	50
Elementos auxiliares de control; borneras, fusibles, cable, estaño, manguera espiral.	Unidad	1	30	30
Mano de obra	Unidad	1	1500	1500
TOTAL				3051

Fuente: El Autor

f.- RESULTADOS.

f.1 Modelo matemático.

Una vez construido el prototipo se procede a obtener el modelo matemático, que describe el comportamiento de la presión de aire en el acumulador al inyectar aire comprimido al tanque por medio de un compresor. Para llevar a cabo esta tarea primero se debe de programar el *FieldPoint2010* con el fin de utilizar el compresor para introducir aire al tanque y mediante el sensor de presión determinar los distintos niveles de presión durante el experimento. Una vez realizado esto, con ayuda del software *LabView* se procede a obtener los datos en un documento de Excel, para posteriormente ubicarlos en el *workspace* de *Matlab*, y con la herramienta *IDENT*, para estimar y validar el modelo obtenido.

De la estimación de los datos con la herramienta *IDENT* de *Matlab* se obtiene la siguiente función de transferencia de segundo orden:

$$G(s) = \frac{1.01}{0.8787s^2 + 3.599s + 1} \quad (6)$$

Esta función es la que mejor se ajustó al modelo de planta cuyo porcentaje de ajuste es del 88.38%, con respecto a los datos obtenidos (ver Figura 34), también del análisis de polos y ceros se puede concluir que la función es estable ya que todos los polos se encuentran en el semiplano izquierdo (ver Figura 35).

f.2 Controlador.

Con la función de transferencia se procede a identificar el tipo de controlador a utilizar para que la planta se estabilice independientemente de las perturbaciones que existen en el proceso.

Para estimar el controlador se utiliza la herramienta *Simulink* de *Matlab* donde se implementa el diagrama de bloques del modelo de la planta (ver Figura 37). De este diagrama se procede a analizar que controlador se ajusta mejor al modelo del prototipo, los cuales se representan en la siguiente figura, y sus parámetros se los pueden visualizar y comparar en la tabla 6.

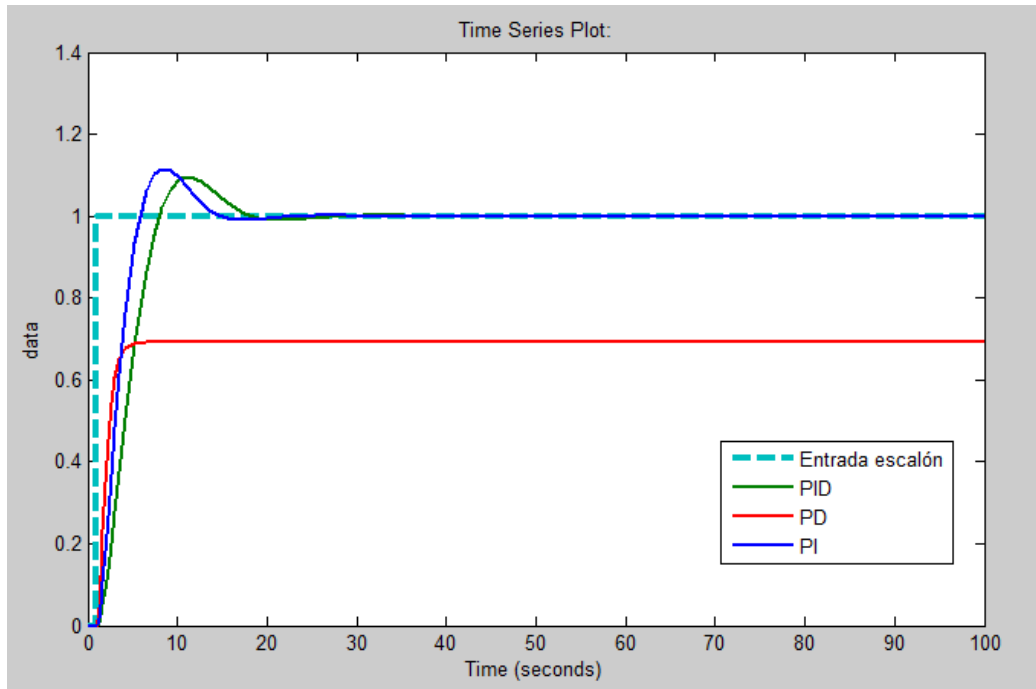


Figura 43. Modelos de los controladores de la planta implementada.

Fuente: El Autor

De la gráfica se puede concluir que el controlador que es más estable, y que se ajusta a la señal escalón unitario es el controlador PI, ya que si se analiza el rendimiento de este controlador se puede observar que el tiempo de subida es de 3.4 segundos y su tiempo de establecimiento 12.3 segundos. El *overshoot* de este controlador es más elevado que los controladores PID y PD, pero este valor está dentro de porcentaje aceptable que es < 20 , por lo tanto se procede a la implementación del modelo.

Tabla 6. Parámetros de los controladores

PARÁMETROS DEL CONTROLADOR			
	PID	PI	PD
P (Proporcional)	0.52452	0.83992	9.3909
I (Integral)	0.35459	0.59721	
D (Derivativo)	-0.60726		0
N (filtro derivativo)	0.29		100
RENDIMIENTO			
Tiempo de subida (s)	4.84	3.4	0.532
Tiempo de ajuste (s)	15.5	12.3	1.72
Overshoot (%)	9.7	11.6	9.9

Fuente: El Autor

f.3 Implementación.

Para la implementación del controlador se utiliza el software *LabView* ya que mediante éste se puede establecer una comunicación directa con el *FieldPoint2010*, la siguiente figura muestra el proceso de estabilización de la planta.

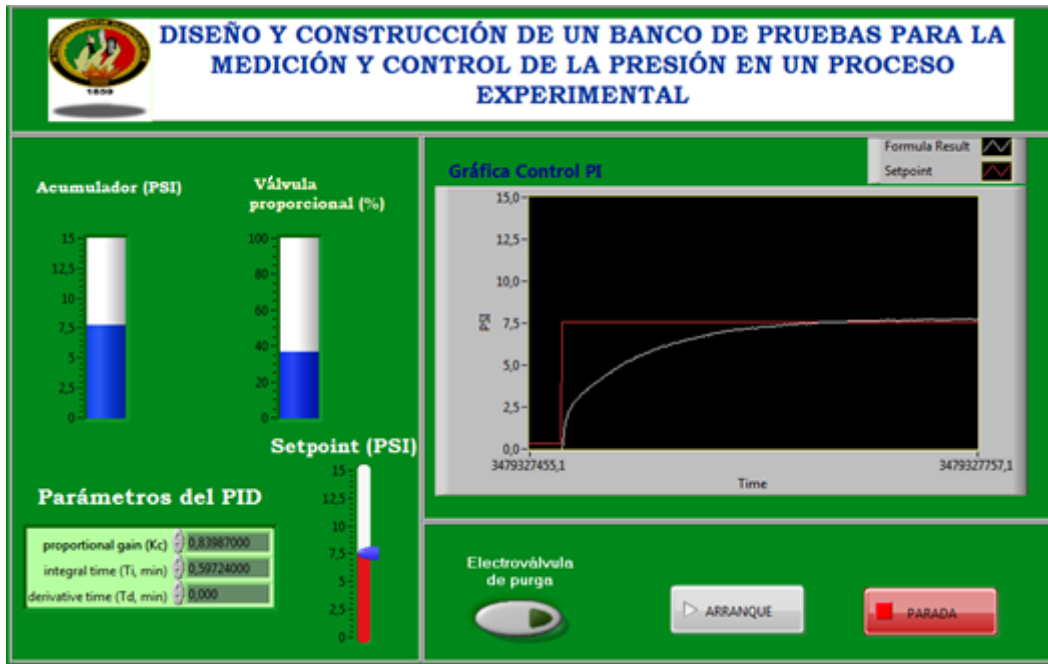


Figura 44. Representación gráfica del controlador de la planta implementado.

Fuente: El Autor

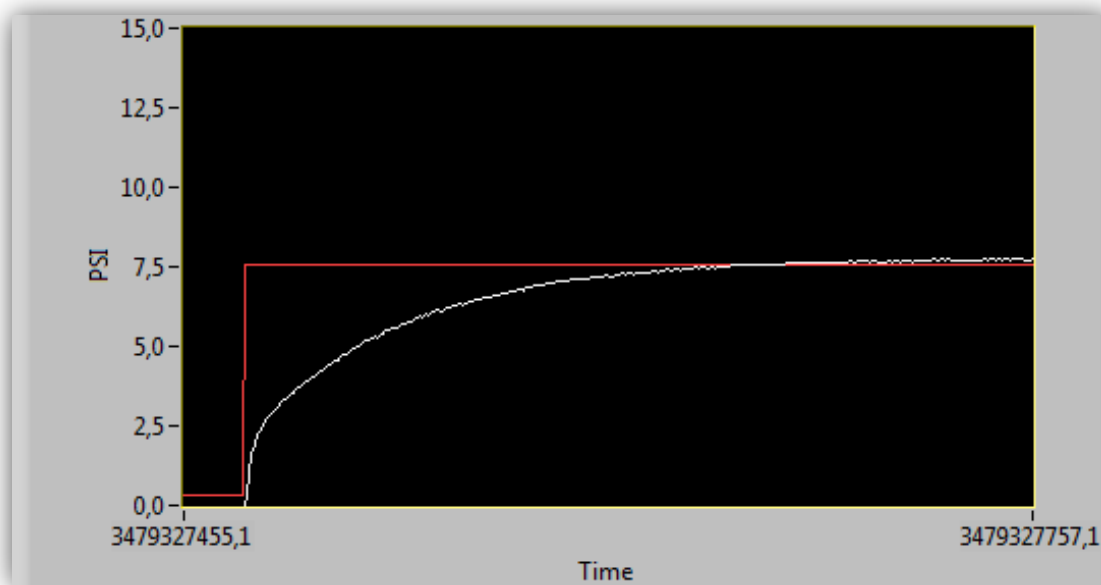


Figura 45. Visualización gráfica del proceso de estabilización.

Fuente: El Autor.

Se puede observar que el panel frontal consta de una pantalla gráfica para visualizar el control del proceso (figura 44), esta pantalla muestra dos señales, la una corresponde al *setpoint* asignado, el cual es la presión que se desea mantener en el tanque y la otra

señal es la del sensor la cual nos indica como la presión sube hasta alcanzar el valor asignado (*setpoint*).

Además en el panel frontal se observan dos tanque de los cuales el uno representa el valor de apertura de la válvula proporcional en grados, verificado de esta forma el correcto funcionamiento de la válvula y el siguiente tanque representa la presión dentro del acumulador donde se puede observar que si la válvula proporcional se abre la presión dentro del tanque incrementara y viceversa.

Para comprobar el correcto funcionamiento de la planta se realiza unas perturbaciones mediante una válvula manual la cual al abrirse o cerrarse la válvula proporcional debe de compensar estas pérdidas manteniendo la presión estable en el tanque, con lo cual se puede dar por concluido el proyecto de control de presión de aire.

g.- DISCUSIÓN.

Para el diseño y construcción del banco para la medición y control de la presión en un proceso experimental, se desarrolló un VI en el software *LabView* el cual permite medir y controlar los datos del prototipo construido a través del *FieldPoint2010*. La pantalla desarrollada en *LabView* consta de dos indicadores numéricos el primero que representa la presión en PSI dentro del acumulador, el segundo representa la apertura de la válvula proporcional en porcentajes (%), consta también de un controlador que permite asignar los parámetros del PID, de un *setpoint* mediante el cual asignamos los valores deseados en PSI en el acumulador, de tres pulsadores que permiten accionar el arranque del sistema, la parada del sistema y encendido de la válvula de purga, y de una pantalla grafica en la cual se visualiza la entrada escalón que se da a través del *setpoint* y la respuesta en tiempo real que da el sensor de la presión en el acumulador para alcanzar el *setpoint* asignado.

El prototipo consta de una electroválvula que al accionarse permite el paso del aire comprimido, el cual pasa por un regulador de presión que controla la presión de salida en un máximo de 15 PSI la cual se visualiza en el manómetro analógico, el aire entra al actuador (válvula proporcional) la cual se encarga de controlar el flujo de entrada de aire al acumulador que consta de un manómetro analógico y un sensor de presión analógico mediante el cual permite recibir por medio del *FieldPoint* la señal de presión en el acumulador, también consta de una válvula de macho esférico para simular perturbaciones y una electroválvula que sirve como purga y seguridad en caso de una sobrepresión.

El software *LabView* se seleccionó por tener una comunicación directa con el *FieldPoint2010* de *national instruments*, el cual permite una ampliación modular tanto para entradas y salidas analógicas como digitales, además tiene una conexión *Ethernet* la cual facilita el enlace con el PC.

Para obtener el modelo matemático se realizó el procedimiento de identificación de sistemas utilizando la herramienta *Ident* de *Matlab* la cual permite obtener varias estimaciones de modelos para una sola planta y también permite validar cuál es el mejor modelo que mejor se ajusta al proceso de la planta construida. Para los parámetros del

controlador se utilizó la herramienta de ajuste *Tuner* de *Simulink* el cual otorga los parámetros del controlador, y los valores de rendimiento y robustez de la planta diseñada.

Al analizar cuáles son los mejores parámetros para el controlador de la planta, se determina que el controlador PI es el más adecuado ya que su tiempo de subida y tiempo de establecimiento son menores que los controladores PD y PID.

Con la implementación del controlador en el prototipo construido se puede realizar la medición y control de la presión en tiempo real y comprobar cómo influye en el actuador los parámetros del controlador utilizado.

h.- CONCLUSIONES.

- Se diseñó un sistema experimental para el control de la presión. Para ello se propone un esquema en el cual se controla la presión en un tanque mediante una válvula proporcional. Se establecieron los elementos necesarios para su construcción, así como los planos eléctricos y neumáticos necesarios.
- Se construyó un sistema en el cual se controla la presión en un tanque acumulador mediante una válvula proporcional. Se instalaron los equipos e instrumentos de medición necesarios para la adquisición y control del sistema de acuerdo a los planos ya realizados.
- Se diseñó e implementó un sistema de adquisición de datos en el software seleccionado *LabView*, los datos adquiridos corresponde a la presión en el tanque acumulador (señal de salida) y la apertura de la válvula proporcional (señal de entrada). Que representan la entrada y salida del modelo a obtener.
- Con los datos de medición adquiridos mediante el experimento realizado (identificación de sistemas) y el uso de la herramienta *Ident* de *Matlab* se obtuvo un modelo matemático que representa la dinámica del sistema. Este modelo tiene un ajuste del 88.38% con respecto a los datos reales, por lo que se considera un buen modelo para el sistema.
- Una vez obtenido el modelo de la planta se implementa en *Simulink* un controlador PI, el cual fue el que mejor ajustó el sistema en las simulaciones realizadas, los parámetros del PI se determinaron mediante la herramienta *Tuner* de *Simulink* la cual calcula la mejor estrategia de control para el sistema.
- La implementación del algoritmo de control PI se la realiza en el *FieldPoint2010* de *National Instruments*, para ello se desarrolló una aplicación en *LabView* la cual sirve de interfaz entre el computador, el equipo y la planta. Se realizó pruebas de funcionamiento logrando buenos resultados.

i.- RECOMENDACIONES.

- Antes de realizar la manipulación de cualquiera de los componentes del módulo de control de presión, es de gran importancia que el usuario se familiarice con el manual de operación para evitar cualquier daño al operador y al equipo.
- Al trabajar con los elementos de campo principales (manejados externamente) como: el actuador (válvula proporcional) y el transmisor de presión se debe asegurar el nivel de voltaje o corriente asignado para realizar la medida o control: de 0 – 10VDC, o 4 – 20 mA respectivamente. De no ser así, el equipo está expuesto al deterioro o daño irreversible de los elementos principales y más costosos del módulo.
- Si se trabaja con otro tipo de sensor de presión, o diferentes niveles de voltaje o corriente, se debe considerar que el sistema trabaja con señales normalizadas, ya que el módulo de I/O análogo tiene una configuración para admitir señales de 4 – 20 mA.
- Se recomienda que cuando se vaya a trabajar con otro elemento final de control (válvula proporcional), se consulte que señal de control que soporta, ya que la válvula proporcional OMEGA del módulo admite señal de control de 4 – 20 mA o 0 - 5 VDC, si se necesita señales de 0 – 10 VDC se debe conectar una resistencia de 500 ohmios en paralelo en los terminales de 4 – 20 mA.
- Hay que considerar que para realizar un adecuado control las prácticas desarrolladas con el presente módulo de control de presión requiere de la utilización de un compresor con capacidad de mantener la presión constante y superior a 15 psi, o con cantidad de almacenamiento necesario para que proporcione constantemente 15 PSI a su salida (alimentación módulo control de presión)
- En caso de producirse algún daño o mal funcionamiento de equipos o del módulo de control de presión en general, se recomienda verificar las conexiones y cableado del sistema, para lo cual está disponible los planos del diseño eléctrico y electrónico del sistema. Todas las conexiones del módulo se encuentran marcadas conforme a los planos, con lo que el operador podrá fácilmente realizar la verificación y mantenimiento de todo el modulo didáctico

de control de presión. Esta información se encuentra en el manual de operación ubicado en el módulo.

- Se recomienda al final de las prácticas realizadas en el módulo de control de presión, se extraiga completamente el aire comprimido de todos sus componentes y se desconecte todas las alimentaciones eléctricas, de esta manera se mantendrán estos en las mejores condiciones y no sufrirán daños.

j.- BIBLIOGRAFÍA.

LIBROS:

- **Albornoz, Juan. 2008.** *Guía de Iniciación en Labview 7.1.* Chile : s.n., 2008.
- **Alvarez Brotons, Xavier. 2004.** *Control predictivo de canales de riego utilizando modelos de predicción de tipo Muskingum (primer orden) y de tipo Hayami (segundo orden).* Catalunya : UPCCommons, 2004.
- **Briceño Quintanilla, Yessenia Yadira. 2009.** *Identificación de sistemas de control.* Bucaramanga : s.n., 2009.
- **Corcuera, Pedro. 2008.** *Introducción a LabVIEW.* Cantabria : s.n., 2008.
- **Lischinsky, Pablo. 2004.** *Introducción al modelado de sistemas físicos.* Mérida, Venezuela : s.n., 2004.
- **López, Elena. 1999.** *Identificación de sistemas.* 1999.
- *Manual FieldPoint. National Instruments. 2003.* 2003.
- **Martín, Alonso. 2007.** *Identificación inteligente de sistemas de control.* 2007.
- **Martínez Aguilar, Gloria Mónica. 2012.** *Integración de Sistemas Automáticos.* Coahuila : s.n., 2012.
- **Martínez, Angel. 2011.** *Identificación experimental de sistemas.* 2011.
- **Molina, José. 2012.** *Programación Grafica para Ingenieros .* México : Alfaomega, 2012.
- **Perez, Mario. 2008.** *Introducción a los sistemas de control.* 2008.
- **Reyes, Lucelly. 2009.** *Introducción a los instrumentos Virtuales.* Antioquia : s.n., 2009.
- **Rodríguez, Daniel. 2005.** *Identificación de sistemas.* 2005.

- **Sedano, Javier. 2005.** *Introducción a la Identificación de Sistemas.* s.l. : Técnica industrial, 2005.
- **SMC. 2002.** *Neumática e Hidráulica.* s.l. : Paraninfo, 2002.
- *Tutorial de labview.* **Roncancio, Henry. 2001.** s.l. : Universidad Distrital "Francisco Jose de Caldas", 2001.

SITIOS WEB:

- **González,Victor.2002.**http://platea.pntic.mec.es/vgonzale/cyr_0708/archivos/_15/Tema_4.4.htm. [Online] 2002.
- **National Instruments.2012.**<http://www.ni.com/gettingstarted/labviewbasics/esa/dataflow.htm>. [Online] 2012.
- **Cristian.2012.**<http://hdl-fpga.blogspot.com/2012/09/generador-de-secuencia-binaria-pseudo.html>. [Online] 2012.
- <http://www.mathworks.es/videos/introduction-to-system-identification-toolbox-68901.html>. Recuperado 20 de noviembre 2013
- <http://www.mathworks.es/es/products/sysid/>. Recuperado 22 de noviembre 2013
- <http://www.mathworks.es/help/ident/index.html;jsessionid=e692ac8b96eb603abd3cfe1f83a5>. Recuperado 22 de noviembre del 2013.
- <http://www.ni.com/white-paper/3782/en/>. Recuperado 05 de diciembre 2013
- <http://www.ni.com/white-paper/6440/en/>. Recuperado 05 de diciembre 2013

k. ANEXOS.

k. 1. ANEXO 1: Catalogo del transductor de presión NOSHOK series 300.



FEATURES

- Ranges from 0 psig to 15 psig to 0 psig to 10,000 psig
- RoHS compliant
- Constructed of high quality stainless steel
- Excellent EMC-protection compliant with EN 61 326
- Compact size
- All welded design with no internal seals
- Highly resistant to shock and vibration
- Excellent for use in dynamic or static measurement
- Standard absolute ranges from 15 psia to 200 psia

APPLICATIONS

- Hydraulic and pneumatic systems
- Pumps and compressors
- Stamping and forming presses
- Test equipment and systems
- Industrial machinery and machine tools

SERIES 300

Ruggedness and long term stability during operation were the focus in the design of this NOSHOK 300 series pressure transducer. As a result of this we were able to develop a transducer for use in general industrial applications with technical specifications exceeding those of transducers costing much more.

A wide variety of electrical and mechanical connections are available for easy installation into most applications along with most popular analog output signals. All electrical components carry a high degree of EMC protection compliant with EN 61 326 which make it ideal for areas where RFI, EMI or ESD signals are present.

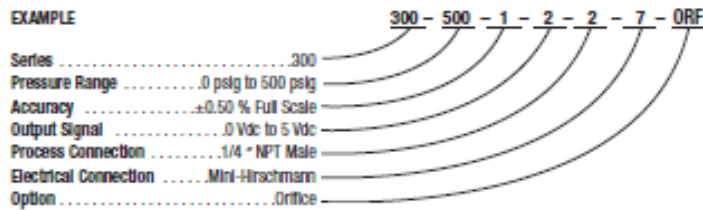
The compact size makes it very attractive for applications where space is limited. Constructed of high quality stainless steel makes it compatible with chemically aggressive media. The sensor is welded directly to the process connection eliminating the need for any gaskets or seals while also increasing the resistance to mechanical stress.

SPECIFICATIONS

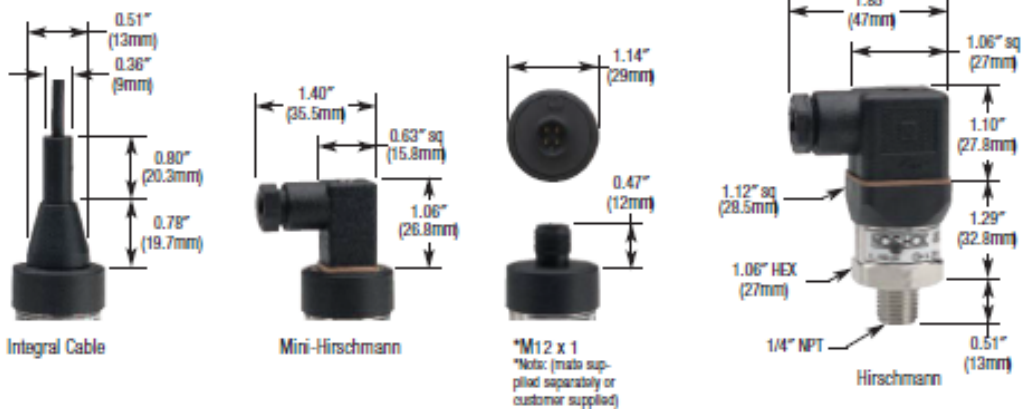
Output signals	4 mA to 20 mA, 2-wire, 0 Vdc to 5 Vdc, 3-wire, 1 Vdc to 5 Vdc, 3-wire, 0 Vdc to 10 Vdc, 3-wire, 0.5 Vdc to 4.5 Vdc ratiometric, 3-wire
Pressure ranges	Standard gauge ranges from 0 psig to 15 psig; through psig to 10,000 psig Standard absolute ranges 15 psig through 200 psig
Proof Pressure	2 times Full Scale
Burst Pressure	6 times Full Scale
Accuracy	±0.5 % Full Scale (Best Fit Straight Line); ±0.25 % optional (Includes the combined effects of linearity, hysteresis and repeatability)
Repeatability	±0.05 % Full Scale
Hysteresis	±0.1 % Full Scale
Stability	±0.2 % Full Scale per year, non-accumulating
Response time	≤ 4 ms (between 10 % and 90 % Full Scale)
Power supply	8 Vdc to 30 Vdc unregulated for 4 mA to 20 mA output, 0 Vdc to 5 Vdc output and 1 Vdc to 5 Vdc outputs, 5 Vdc ±0.5 Vdc for 0.5 Vdc to 4.5 Vdc output, unregulated
Load limitations	≤ (P _{Power} - 10) / 0.020 Amp for 4 mA to 20 mA output ≤ 5,000 Ω for 1 Vdc to 5 Vdc output ≤ 10,000 Ω for 0 Vdc to 10 Vdc output ≤ 4,500 Ω for 0.5 Vdc to 4.5 Vdc output
Wetted materials	316 stainless steel for absolute through 150psi 15-8PH stainless steel sensing diaphragm and 316 stainless steel process connection for higher ranges
Housing material	316L stainless steel
Pressure cycle limit	150 Hz
Durability	> 100,000,000 Full Scale cycles
Temperature ranges	Compensated 32 °F to 176 °F (0 °C to 80 °C) Storage -4 °F to 176 °F (0 °C to 80 °C) Media 32 °F to 176 °F (0 °C to 80 °C) Ambient 32 °F to 176 °F (0 °C to 80 °C)
Environmental rating	IP65 to IP67 depending on electrical connection
Electromagnetic rating	CE compliant to EMC norm EN61326: 1997/041-1998 RFI, EMI and ESD protection
Electrical protection	Reverse polarity, over-voltage and short circuit protection
Shock	100 g's per IEC 68-2-27
Vibration	10 g's per IEC 68-2-8
Weight	Approximately 2.8 oz.

ORDERING INFORMATION									
SERIES 300									
PRESSURE RANGES	0 psig to 15 psig	15	0 psig to 200 psig	200	0 psig to 2000 psig	2000	0 psia to 15 psia	15A	
	0 psig to 30 psig	30	0 psig to 300 psig	300	0 psig to 3000 psig	3000	0 psia to 30 psia	30A	
	0 psig to 60 psig	60	0 psig to 500 psig	500	0 psig to 5000 psig	5000	0 psia to 60 psia	60A	
	0 psig to 100 psig	100	0 psig to 1000 psig	1000	0 psig to 10000 psig	10000	0 psia to 100 psia	100A	
	0 psig to 150 psig	150	0 psig to 1500 psig	1500			0 psia to 150 psia	150A	
	psig - Gauge Pressure		psia - Absolute Pressure		Other ranges available on special request			0 psia to 200 psia	200A
ACCURACY	1 ±0.5 % Full Scale (Best Fit Straight Line)				2 ±0.25 % Full Scale (Best Fit Straight Line)				
OUTPUT	1 4 mA to 20 mA, 2-wire		2 0 Vdc to 5 Vdc, 3-wire		3 1 Vdc to 5 Vdc, 3-wire		5 0 Vdc to 10 Vdc, 3-wire		
PROCESS CONNECTIONS	2 1/4" NPT male		45 7/16" -20 UNF #4 SAE		8 1/2" NPT male				
ELECTRICAL CONNECTIONS	1 36" cable (connected to option 7)			8 Hirschmann (DIN EN 175301-803 Form A)			36 6 ft Integral Cable		
	7 Mini-Hirschmann (DIN EN 175301-803 Form C)			25 M12 x 1 4-pin					
OPTIONS	ORF Threaded Orifice (.3mm)								

Please consult your local NOSHOK Distributor or NOSHOK, Inc. for availability and delivery information.



Outline Dimensions



2-WIRE WIRING

Wiring	M12	Hirschmann	Cable
+ Supply	1	1	Brown
+ Output	3	2	Blue

3-WIRE WIRING

Wiring	M12	Hirschmann	Cable
+ Supply	1	1	Brown
Common	5	2	Blue
+ Output	4	3	White

k. 2. ANEXO 2: Catalogo válvula proporcional OMEGA FSV10 SERIES

ELECTRICALLY CONTROLLED PROPORTIONAL VALVES

For Clean Liquids and Gases

FSV10 Series

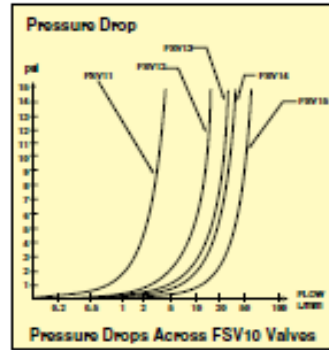


- ✓ **Pulsewidth-Modulated Control Circuit**
- ✓ **Accepts 0 to 5 Vdc or 4 to 20 mA Setpoint Inputs**
- ✓ **Made of Corrosion-Resistant 316 and 416 SS/FKM**



The FSV10 Series electronic proportioning solenoid valves can control the flow of a wide variety of gases and liquids. The variable-stroke electromagnetic valve is pulsed by the driver electronics, maintaining the correct magnetic flux level in the solenoid and holding flow at the level of the analog input setpoint signal. A TTL-level input allows the valve to be shut off regardless of analog setpoint signal. The output power level of the driver electronics is jumper selectable for cooler, more efficient operation. The FSV10 Series requires 12 to 30 Vdc, supplied by the optional FSV-PW 110 Vac plug-in power supply or via the 9-pin D connector (included). These valves come with 8 inches of wire, which must be soldered to the 9-pin D connector.

Driver Electronics:
7.62 W x 7.62 D x 25.4 mm H (3 x 3 x 1")
Materials in Fluid Contact:
316 and 416 SS, FKM O-rings
Maximum Pressure: 500 psig (3448 kPa)
Maximum Differential Pressure:
50 psid (345 kPa); 35 psid (241 kPa) for FSV15
Leak Integrity: 1 x 10⁶ sccs; helium, individually tested
Ambient Temperature:
0 to 50°C (32 to 122°F)
CE Compliance: EMC Directive 89/336/EEC EN55011:1991; Group 1, Class A EN50082-2:1995



SPECIFICATIONS

Turndown Ratio: 100:1
Response Time: 500 msec maximum
Fluid Temperature Range:
-10 to 54°C (14 to 130°F)
Typical Valve Surface Temperature:
54°C (130°F) with 24 Vdc power input
Required Power Input (Not Included):
12 to 30 Vdc, 1 A @ 12 Vdc; 0.5 A @ 24 Vdc via 9-pin D connector or DC power jack
Connection: 1/8" compression fittings
Setpoint Input Signal:
0 to 5 Vdc or 4 to 20 mA
Valve Dimensions:
87.6 H x 87.6 L x 25.4 mm W
(3.45 x 3.25 x 1.00")
including compression fittings

To Order

Model No.	Orifice Size mm (Inch)	C _v	*Maximum Flow (mL/min)		Maximum Flow @ maximum ΔP	
			Air	Water	Air	Water
FSV11	0.51 (0.02)	0.009	3500	125	9700	250
FSV12	1.02 (0.04)	0.033	13,000	400	31,000	900
FSV13	1.4 (0.055)	0.055	21,500	700	50,000	1500
FSV14	1.6 (0.063)	0.068	25,000	850	65,000	1800
FSV15	3.18 (0.125)	0.24	100,000	2873	100,000	4800
Accessory						
FSV-PW	110 Vac/24 Vdc wall socket power supply with 1.7 m (5.5') cord					

*Based on 10 psig (690 mbar) differential pressure.
Comes complete with operator's manual, driver module and 9-pin D connector.
Ordering Examples: FSV11, proportioning solenoid valve with valve driver module, 20 cm (8") wires on the valve and a mating 9-pin D connector.
FSV13, proportioning solenoid valve with valve driver electronics, 20 cm (8") wires on the valve and a mating 9-pin D connector.

k. 3. ANEXO 3: Catalogo del módulo FieldPoint FP-AIO-600

Analog Input/Output Combination Modules for Compact FieldPoint and FieldPoint

NI [c]FP-AIO-600

- 4 voltage or current inputs
 - ± 30 V
 - 0 to 20, 4 to 20 mA
- 4 current outputs
 - 0 to 10 V
 - 0 to 20, 4 to 20 mA
- 12-bit resolution
- Input and output ranges software configurable per channel
- 2,300 V_{iso} bank isolation for transient overvoltage protection
- Hot swappable with autoconfiguration
- -40 to 70 °C operating range



Module	Input Channels	Input Ranges (Software Configurable per Channel)	Output Channels	Output Ranges (Software Configurable per Channel)	Resolution	All Channel Update Rate
[c]FP-AIO-600	4	Current: 0 to 20 mA, 4 to 20 mA Voltage: ± 5 V, ± 15 V, ± 30 V, 0 to 5 V, 0 to 15 V, 0 to 30 V	4	Current: 0 to 20 mA, 4 to 20 mA	12 bits	1.7 kHz

Overview

The NI [c]FP-AIO-600 is a versatile combination analog input and analog output module for Compact FieldPoint and FieldPoint that you can use to measure voltages and 0 to 20 or 4 to 20 mA current loops from industrial sensors and transmitters and to control valves, gauges, and other industrial actuators. The [c]FP-AIO-600 is ideal for low-channel-count systems or for PID control with high-speed I/O. The module has overranging and onboard diagnostics to ensure trouble-free installation and maintenance. The [c]FP-AIO-600 measures and linearizes signals onboard to return scaled values to your control or monitoring software, accept engineering units from your control or monitoring software, and automatically scale and linearize output signals. The [c]FP-AIO-600 module comes with a NIST-traceable calibration certificate, ensuring accurate and reliable analog measurement and control.

Smart I/O Module

You can connect the [c]FP-AIO-600 directly to industrial actuators or units under test and achieve high-accuracy measurement and control. The module calibrates, scales engineering units to sensor signals, and performs self-diagnostics to look for problems with the module or with the wiring, such as open current loops. With the [c]FP-AIO-600 module, your software application reads and writes engineering values from the module, eliminating the error-prone step of converting voltage or current to binary values.

The module has an update rate of 1.7 kHz. Overall data throughput depends on the software loop speeds and the network speeds.

[c]FP-AIO-600

The [c]FP-AIO-600 includes four 0 to 30 V or 0 to 20/4 to 20 mA analog inputs and four 0 to 20/4 to 20 mA analog outputs. The analog inputs and outputs use a 12-bit DAC. Each output channel includes a monitoring circuit and LED indicator for open current loop detection. The [c]FP-AIO-600 requires an external power supply, providing 5 to 30 VDC.

Isolation

The [c]FP-AIO-600 features optical bank isolation with 2,300 V_{iso} of breakdown isolation. These Compact FieldPoint and FieldPoint modules do not have channel-to-channel isolation.

Field I/O Connections

Compact FieldPoint and FieldPoint modules include a built-in power distribution bus that provides multiple power connections on the module. A field-wired power supply connected to the voltage (V) and common (C) terminals is internally connected to a power distribution bus that provides additional breakout terminals for voltage supply (V_{BP}) and common (COM). These terminals offer a convenient way to distribute power to field devices that require external power.

The [c]FP-AIO-600 has:

- 4 voltage input terminals (V_{in})
- 4 current input terminals (I_{in})
- 4 current output terminals (I_{out})
- 12 common terminals (COM)
- 8 power connections for field devices or current loops (V_{BP})

Analog Input/Output Combination Modules for Compact FieldPoint and FieldPoint

Specifications

Typical for -40 to 70 °C unless otherwise noted

Input and Output Characteristics

Number of input channels	4
Number of output channels	4
ADC resolution	12 bits
Type of ADC	Successive approximation
DAC resolution	12 bits
Type of DAC	R-2R
Update rate (all channels)	1.7 kHz (500 µs)

Voltage Inputs

Effective resolution	11.3 bits
Input impedance	1.5 MΩ
Input signal bandwidth	350 Hz

cFP-AIO-600 Gain Errors

Voltage Input Range	Gain Errors at 15 to 35 °C	Gain Errors at -40 to 70 °C
0-5 V	0.03% typ, 0.04% max	0.11% typ, 0.18% max
0-10 V	0.03% typ, 0.04% max	0.11% typ, 0.18% max
0-15 V	0.03% typ, 0.04% max	0.11% typ, 0.18% max
0-30 V	0.03% typ, 0.04% max	0.11% typ, 0.18% max
±5 V	0.03% typ, 0.04% max	0.13% typ, 0.19% max
±10 V	0.03% typ, 0.04% max	0.13% typ, 0.19% max
±15 V	0.03% typ, 0.04% max	0.13% typ, 0.19% max
±30 V	0.03% typ, 0.04% max	0.13% typ, 0.19% max

cFP-AIO-600 Offset Errors

Voltage Input Range	Offset Errors at 15 to 35 °C	Offset Errors at -40 to 70 °C
0-5 V	4 mV typ, 3 mV max	8 mV typ, 15 mV max
0-10 V	8 mV typ, 14 mV max	8 mV typ, 20 mV max
0-15 V	8 mV typ, 18 mV max	10 mV typ, 24 mV max
0-30 V	15 mV typ, 32 mV max	15 mV typ, 37 mV max
±5 V	8 mV typ, 14 mV max	8 mV typ, 20 mV max
±10 V	10 mV typ, 23 mV max	12 mV typ, 28 mV max
±15 V	14 mV typ, 32 mV max	18 mV typ, 38 mV max
±30 V	25 mV typ, 53 mV max	28 mV typ, 84 mV max

Current Inputs

Effective resolution	11.3 bits
Input impedance	105 Ω
Overcurrent protection	±100 mA
Overvoltage protection	±10 V
Input signal bandwidth	400 Hz
Gain errors	

cFP-AIO-600 Offset Errors

Voltage Input Range	Offset Errors at 15 to 35 °C	Offset Errors at -40 to 70 °C
0-20 mA	9 µA typ, 20 µA max	9 µA typ, 20 µA max
4-20 mA	9 µA typ, 20 µA max	9 µA typ, 20 µA max
±20 mA	18 µA typ, 38 µA max	17 µA typ, 38 µA max

Current Outputs ([c]FP-AIO-600)

Output ranges	0-20 or 4-20 mA, programmable (0-21 or 3.5-21 mA with overranging)
Output type	Current source (external power supply required)
External power supply	10-30 VDC, 125 mA for four output channels
Internal voltage drop	3 V
Resistive load	Up to 1 kΩ with 24 VDC power supply
Protection	Short-circuit and open-circuit
Default power-up state	0 mA Isolation Voltage

Current Output Range (with Overrange)	Accuracy at 15 to 35 °C (% of Output Value; % of Full Scale)	Accuracy at -40 to 70 °C (% of Output Value; % of Full Scale)
0 to 21 mA	±0.03%; ±0.13%	±0.14%; ±0.2%
3.5 to 21 mA	±0.03%; ±0.18%	±0.14%; ±0.23%

Isolation Voltage

Maximum isolation voltage	250 V _{max} Installation Category II
Channel-to-channel isolation	No isolation between channels
Transient overvoltage	2,300 V _{max}

Dynamic Characteristics

Maximum update rate	1,700 updates/s
Slow rate	0.4 mA/µs

Physical Characteristics

LED indicators	
POWER (green)	Power on and self-test passed
READY (green)	Module configured and ready
Fault status (red)	Open circuit
Dimensions	
(FP only, including terminal base)	10.7 by 10.9 by 9.1 cm (4.2 by 4.3 by 3.6 in.)

Weight

FP-AIO-600	141 g (4.9 oz)
cFP-AIO-600	111 g (3.9 oz)

Power Requirement

Power from network module	360 mW
---------------------------	--------

k. 4. ANEXO 4: Catalogo del módulo FieldPoint FP-RLY-420.

Relay Modules for FieldPoint

NI FP-RLY-420, NI FP-RLY-422

- 4 or 8 electromechanical relays
- 8 form A (SPST), RLY-420
- 4 form C (SPDT), RLY-422
- Switch 250 VAC, 120 VDC
- Switch 3 A, maximum
- 2,300 V_{rms} bank isolation for transient overvoltage protection
- Hot swappable with autoconfiguration
- -40 to 70 °C operating range



Module	Output Channels	Maximum Output Voltage	Output Current Rating (See Specifications)	Separate Ground Plane per Channel
FP-RLY-420	8	120 VDC, 250 VAC	3 A	✓
FP-RLY-422	4	120 VDC, 250 VAC	3 A	✓

Overview

The National Instruments FP-RLY-42x devices are versatile relay modules that you can use to control digital signals ranging from low voltages to 125 VDC and to 250 VAC. These modules are commonly used to control indicator lights, motors, and power circuits. All the modules include onboard diagnostics to ensure trouble-free installation and maintenance. Similar relay modules are available for Compact FieldPoint, see page 574 for more information.

Relay Modules

NI FP-RLY-42x modules provide built-in module-to-module isolation to protect your FieldPoint system and controller or communication interface from high voltage levels. Each channel on an RLY-42x uses electrically isolated output relays so that each relay output has a separate ground plane and each channel can be used with a different voltage potential. Thus, you can connect one channel to a 24 VDC signal and another channel on the same module to 250 VAC.

All the channels on the relay modules feature LEDs that indicates the output state of each channel. The modules all feature a maximum switching frequency of 10 Hz (20 operations). Overall data throughput depends on software loop speeds and network speeds.

Isolation

The FP-RLY-42x modules feature optical bank isolation with 2,300 V_{rms} of breakdown isolation. In addition, the modules provide double insulation for up to 250 V_{rms} of operational isolation. FieldPoint can safely be used in applications where hazardous voltages are present when used with FP-TB-x terminal base. These FieldPoint modules do not have channel-to-channel isolation.

Power Requirements

Because the FP-RLY-42x are high power consumption modules, they could limit the number of I/O modules that you can connect to a single network interface module. Controllers and network interface modules supply up to 9 W to power I/O modules. The FP-RLY-420 requires up to 2.5 W and the FP-RLY-422 requires up to 1.5 W.

Field I/O Connections

Each input channel on the FP-RLY-420 has two terminals:

1. Relay common terminal (IC)
2. Normally open terminal (NO)

Each channel on the FP-RLY-422 has three terminals:

1. Normally open terminal (NO)
2. Normally closed terminal (NC)
3. Relay common terminals (IC)

Relay Modules for FieldPoint

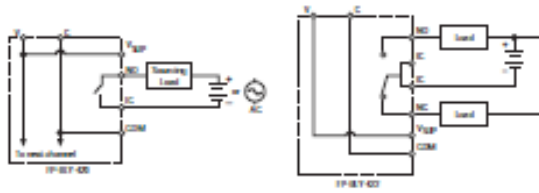


Figure 1. Wiring Schematics for Relay Modules

Ordering Information

NI FP-RLY-420	777518-420
NI FP-RLY-422	777518-422

Recommended FieldPoint System Products

NI FP-1601	777792-01
NI FP-TB-1	777519-01
NI PS-4 Power Supply	778586-90
NI Developer Suite Standard Control Edition	777905-03

BUY ONLINE!

Visit ni.com/info and enter *fp420*, and/or *fp422*.

Specifications

Typical for -40 to 70 °C unless otherwise noted.

Relay Characteristics

Number of channels	
FP-RLY-420	8
FP-RLY-422	4
Relay type	
FP-RLY-420	SPST, normally open, nonlatching
FP-RLY-422	SPDT, nonlatching
Maximum switching capacity (resistive load) ¹	
AC	3 A at 250 VAC
DC	3 A at 35 VDC
	2 A at 40 VDC
	1 A at 55 VDC
	0.4 A at 120 VDC
Minimum switching load	10 mA at 5 VDC
Off-state leakage current (120 VDC/250 VAC)	
DC	0.12 µA
50/60 Hz	8 µA
DC path resistance	
Initial	≤ 150 mΩ
End of life	≤ 1.0 Ω
Expected relay life	
Mechanical	2 × 10 ⁶ operations/s (FP-RLY-420)
	1 × 10 ⁶ operations/s (FP-RLY-422)
Electrical (at 30 cps)	300,000 operations at 3 A, 35 VDC
	100,000 operations at 3 A, 250 VAC
Operate time	
FP-RLY-420	<10 ms
FP-RLY-422	10 ms typ, 13 ms max
Release time	
FP-RLY-420	<10 ms
FP-RLY-422	5 ms typ, 7 ms max
Bounce time	
FP-RLY-420	<4 ms
FP-RLY-422	3 ms typ, 6 ms max
Contact material	
FP-RLY-420	Gold-plated silver cadmium oxide
FP-RLY-422	Silver cadmium oxide
Power Requirement (from Network Module)	
FP-RLY-420	2.5 W
FP-RLY-422	1.5 W

Physical Characteristics

LED indicators	
POWER (green)	Power on and self-test passed
READY (green)	Module configured and ready
<0...7> or <0...3>	On/off state of each contact
Dimensions (including terminal base)	10.7 by 10.9 by 3.1 cm (4.2 by 4.3 by 3.6 in.)
Weight	
FP-RLY-420	180 g (5.6 oz)
FP-RLY-422	180 g (6.4 oz)

Isolation Voltage

Maximum isolation voltage	250 V _{eff} , Installation Category II
Channel-to-channel isolation	No isolation between channels
Transient overvoltage	2,300 V _{eff}

Environment

Operating temperature	-40 to 70 °C
Storage temperature	-55 to 85 °C
Relative humidity	10 to 90%, noncondensing

Safety

This product is designed to meet the requirements of the following standards of safety for electrical equipment for measurement, control, and laboratory use:

- IEC 61010-1, EN 61010-1
- UL 3121-1, UL 61010C-1
- CAN/CSA C22.2 No. 1010.1

For UL, hazardous location, and other safety certifications, refer to the product label or to ni.com.

Electromagnetic Compatibility

CE, C-Tick, and FCC Part 15 (Class A) Compliant	
Emissions	EN 55011 Class A at 10 m
FCC Part 15A above 1 GHz	
Immunity	EN 61326-1:2007 +A2:2001, Table 1

For EMC compliance, you must operate this device with shielded cabling.

CE Compliance

This product meets the essential requirements of applicable European Directives, as amended for CE Marking, as follows:

Low-Voltage Directive (safety)	73/23/EEC
Electromagnetic Compatibility Directive (EMC)	89/336/EEC

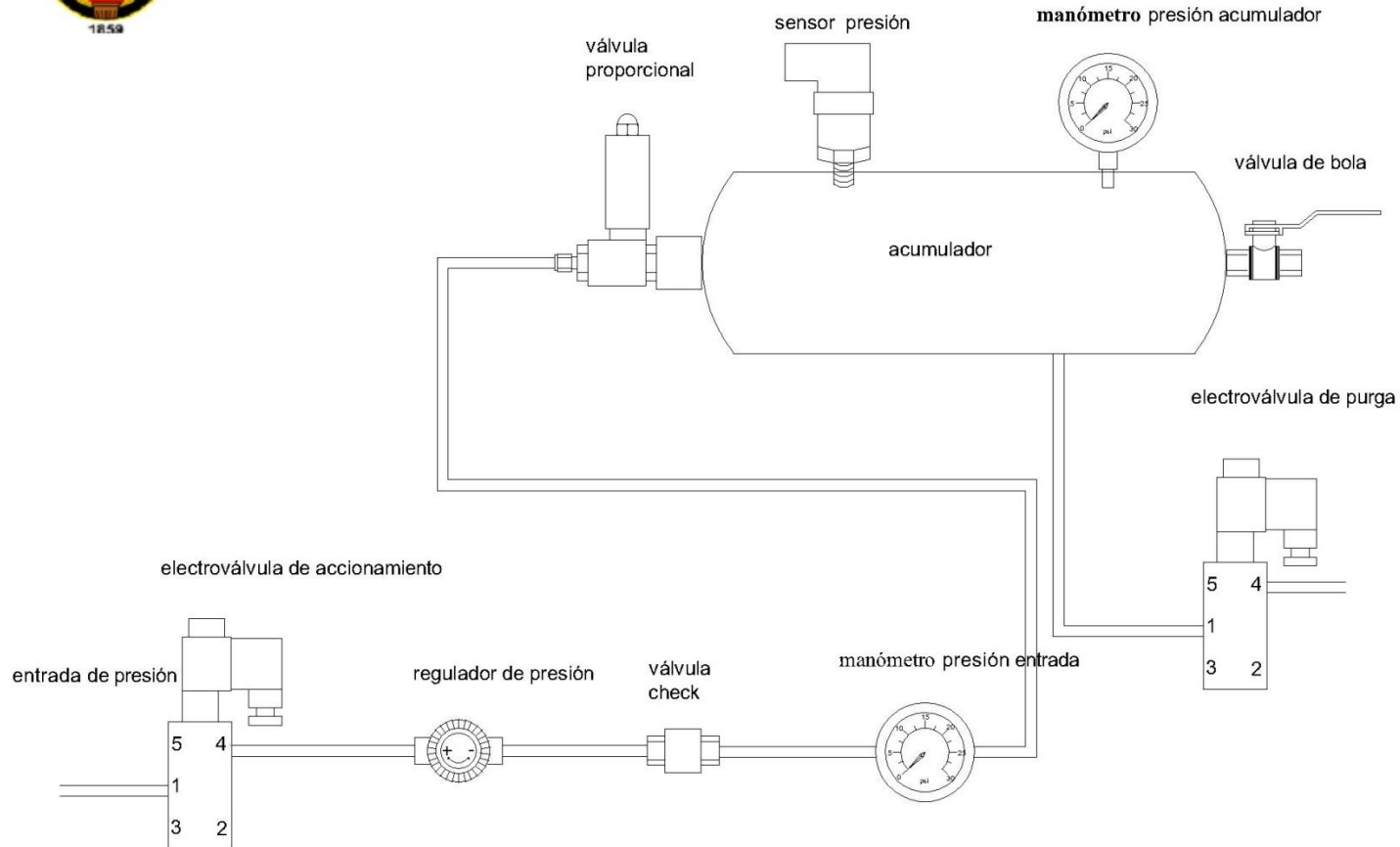
Refer to the Declaration of Conformity (DoC) for this product for any additional regulatory compliance information. To obtain the DoC for this product, visit ni.com/support/ce/ and search by model number or product line.

k. 7. ANEXO 7. Esquema neumático del banco de presión.

k. 8.ANEXO 8. Croquis del prototipo.



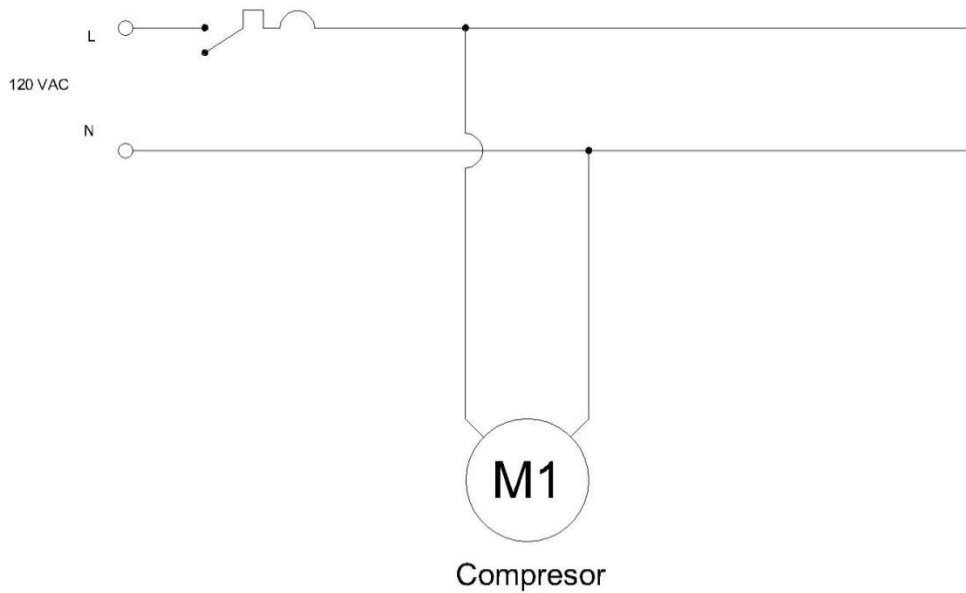
BANCO DE PRUEBAS PARA LA MEDICIÓN Y CONTROL DE PRESIÓN




k. 5. ANEXO 5. Diagrama eléctrico de control del banco de presión.

k. 6. ANEXO 6. Diagrama de fuerza del banco de presión.

DIAGRAMA DE FUERZA



SIMBOLOGÍA	
SÍMBOLO.	DESCRIPCIÓN.
	MOTOR MONOFÁSICO.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA.

CONTIENE:
DIAGRAMA DE FUERZA DEL BANCO DE PRUEBAS
PARA LA MEDICIÓN Y CONTROL DE LA PRESIÓN EN UN
PROCESO EXPERIMENTAL.

ELABORADO:
LUIS TANDAZO S.

FECHA:
ABRIL 2014:

LÁMINA:
1/1

k. 9. ANEXO 9: Construcción del banco de presión.

La construcción del prototipo se lo realiza en una estructura de madera, por la facilidad para montar los equipos y su facilidad para poder ser transportado, en la figura 45 se observa la construcción del prototipo y en la figura 46 se muestra al banco de pruebas para la medición y control de la presión ya terminado.



Figura 46. Elaboración del prototipo para la medición y control de la presión.

Fuente: El Autor.



Figura 47. Prototipo con todos los elementos que permiten realizar el control de la presión.

Fuente: El Autor

k. 10. ANEXO 10. Manual de operación del sistema.

Introducción.

El presente documento muestra el manejo del banco de pruebas para la medición y control de la presión en un proceso experimental, ubicado en el laboratorio de automatización del AEIRNNR, el sistema consta de un computador central el cual administrara la información proveniente del FieldPoint, a través de una comunicación Ethernet la cual si se realiza directamente entre PC – FieldPoint se utiliza un cable UTP cat. 6 cruzado.

Este sistema nos permite medir, controlar y monitorear la presión dentro del acumulador mediante el diseño de un VIs en LabView el cual establece comunicación directa con el FieldPoint y este a su vez con el prototipo.

Consideraciones previas.

Antes de iniciar el proceso se debe modificar la dirección IP de la entrada Ethernet del PC de la siguiente manera:

- IP FieldPoint: 192.168.1.6
- IP PC: 192.168.1.5
- Mascara subred: 255.255.255.0

Una vez configurada la conexión aparecerá un icono *conexión de área local* la cual indicara si está establecida la comunicación PC-FieldPoint. También se debe asegurar que los swish 6, 7 y 8 del FieldPoint este apagados permitiendo establecer la comunicación con el PC.

Antes de dar arranque al banco de pruebas se debe revisar todas las conexiones neumáticas y eléctricas para asegurar la conservación del prototipo y su buen funcionamiento.

Encendido del banco de presión.

Para encender el prototipo se debe realizar lo siguiente:

1. Ubicar los parámetros del controlador PID
2. Ejecutar *Run* de LabView para activar la pantalla diseñada.

3. Pulsar el botón arranque el cual activara la electroválvula de entrada de aire y a su vez el modulo analógico para la medición y control de presión.
4. El *setpoint* sirve para asignar los valores de presión que se desee mantener en el acumulador.
5. El acumulador es la representación gráfica de como sube la presión dentro del tanque.
6. La válvula proporcional es la representación gráfica en porcentaje de la apertura del actuador.
7. La electroválvula de purga sirve para realizar la fuga automática de la presión en el acumulador.
8. La grafica control PI nos muestra la señal escalón que otorga el *setpoint* y como los parámetros del controlador actúan sobre la válvula proporcional para conseguir la estabilidad de la planta.

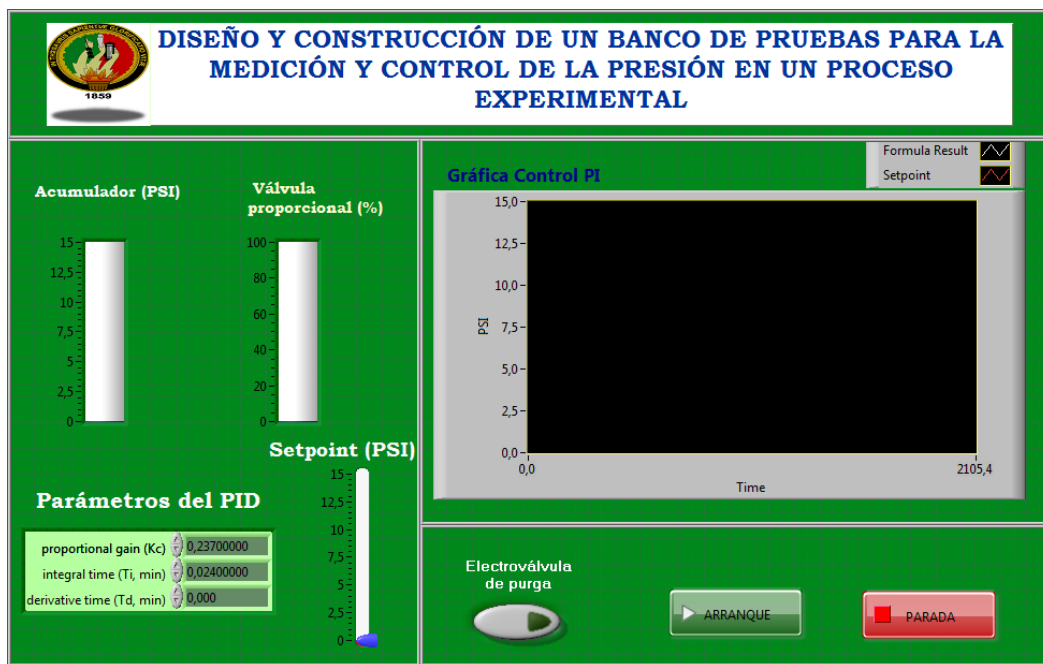


Figura 48. Pantalla de control, medición y monitoreo del proceso de la planta.

Fuente: El Autor.

Mantenimiento del Prototipo.

Para el mantenimiento del prototipo primero se debe de des-energizar todo tipo de alimentación eléctrica y neumática, para lo cual se debe tener en cuenta que los cables

estén codificados y de no ser así codificarlos para realizar de una forma más fácil el montaje y conexión del prototipo.

El banco de pruebas está diseñado y construido con el propósito de tener un fácil acceso a sus elementos pudiendo ser desmontado por partes para su respectivo mantenimiento. El mantenimiento que se debe realizar al banco es un mantenimiento preventivo el cuál consistirá en:

- Retirar todos los elementos neumáticos y de control del banco de pruebas para limpiar y verificar que la maqueta donde están montados los elementos de instrumentación no éste deteriorado (húmeda o rota).
- Con un suministrador de aire a presión y una brocha limpiar el polvo de los elementos neumáticos y de control (electroválvulas, Válvula proporcional, válvula anti-retorno, válvula manual, manómetros, regulador de presión, sensor de presión analógicos y acumulador), para prevenir cualquier causa de daño al equipo ya que el polvo puede dañar el sensores o el equipos electrónicos y por ende la comunicación con el controlador implementado.
- Revise a fondo las **Fugas del Circuito Neumático**, en especial en Conectores, acoplamientos, extensiones, actuadores neumáticos, válvulas, medidores de presión, etc. Las fugas de aire a presión producen que el banco de pruebas no funcione correctamente ya que las perdidas pueden asemejarse a la cantidad de aire suministrado por lo tanto no tendríamos presión que medir y controlar en el acumulador.
- De tener algún problema interno cualquiera de los elementos de control se debe de reportar el daño para que sea revisada por un técnico ya que el equipo aparte de ser sensible es costoso, y de no ser revisado por un técnico especialista los danos podrían ser mayores.

Este mantenimiento se lo debe de realizar semestralmente, para evitar el deterioro del equipo y poderlo mantener en perfectas condiciones para su uso.

k. 11. ANEXO 11. Anteproyecto.