



Manual de Prácticas

Fundamentos de Control

Secretaría/División: División de Ingeniería Eléctrica

Área/Departamento: Control y Robótica

Control de Presión

N° de práctica: 6

Tema: Control de Presión

Nombre completo del alumno		Firma
N° de brigada:	Fecha de elaboración:	Grupo:

Elaborado por:	Revisado por:	Autorizado por:	Vigente desde:
Profesor 1	Ing. Benjamín Ramírez Hernández	Dr. Paul Rolando Maya Ortiz	28 de noviembre de 2015



Manual de Prácticas

Fundamentos de Control

Secretaría/División: División de Ingeniería Eléctrica

Área/Departamento: Control y Robótica

1. Seguridad en la ejecución

	Peligro o Fuente de energía	Riesgo asociado
1	Tensión Alterna	Electrocución
2	Tensión Continua	Daño a equipo
3	Manejo de herramienta	Lesión en manos

2. Objetivos de aprendizaje

I. Objetivos generales:

- El estudiante conocerá la estructura de los módulos G35 y TY35/EV.

II. Objetivos específicos:

- Caracterizará el Transductor del Sistema.
- Comprenderá la operación analógica y digital del sistema de control de presión.
- Aplicará los conceptos de controlador Proporcional, Proporcional Integral Derivativo (PID), a un sistema analógico y a un sistema digital.

3. Introducción.

Sintonizar los parámetros de un controlador PID consiste en determinar el valor de la constante de tiempo que les corresponde a cada uno de los controladores, es decir, se debe determinar el valor de k_p , el de T_i , y el de T_d para lograr que el sistema de control



Manual de Prácticas

Fundamentos de Control

Secretaría/División: División de Ingeniería Eléctrica

Área/Departamento: Control y Robótica

tenga un comportamiento aceptable y robusto, en conformidad con los criterios de desempeño establecidos para el sistema.

Existen diversos métodos para ello, mas en los sistemas de ajuste de malla cerrada no es necesario conocer los parámetros de la función de transferencia que caracterizan al sistema.

El Método Harriot, se usa cuando el proceso no se puede llevar a una oscilación sostenida.

Este método consiste en crear un sistema en malla cerrada con un controlador proporcional puro donde los otros dos no tienen influencia alguna, después se va incrementando el valor de la ganancia del P hasta que se obtiene una curva donde la proporción del primer sobre paso y el segundo es del $25\% = \frac{1}{4}$. De esa curva solo se anota el valor del periodo P con el que se dan ambas oscilaciones. Con el periodo P se calculan las constantes de tiempo T_i y T_d , usando las siguientes formulas; $T_i = P/6$, $T_d = P/1.5$, de acuerdo con la siguiente tabla. Después se hace funcionar el sistema con los valores calculados de T_i y T_d , y nuevamente se ajusta la ganancia a la misma razón de $\frac{1}{4}$ en la respuesta. La ganancia así obtenida será el valor usado para el K_p en el controlador.



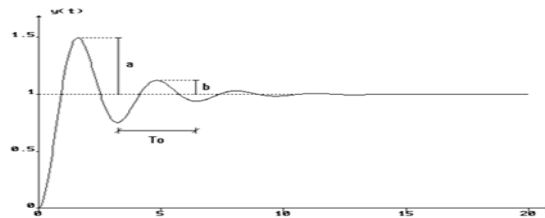
Manual de Prácticas

Fundamentos de Control

Secretaría/División: División de Ingeniería Eléctrica

Área/Departamento: Control y Robótica

Métodos de sintonización



la relación entre el primer y segundo sobrepasos debe ser igual a 0.25, esto es:

$$\frac{b}{a} = 0.25$$

Métodos de sintonización

Las fórmulas de sintonización son en este caso:

Tipo de Controlador	K_c	T_i	T_d
P	K_o	-	-
PI	K_o	T_o	-
PID	K_o	$\frac{T_o}{1.5}$	$\frac{T_o}{6}$



Manual de Prácticas

Fundamentos de Control

Secretaría/División: División de Ingeniería Eléctrica

Área/Departamento: Control y Robótica

4. Material y Equipo.

- 1 Fuente PS1/EV.
- 1 Módulo de presión TY35/EV y de controlador G35.
- 1 Cable de conexión DIN 7.
- 1 Multímetro.
- 1 Juego de cables para conexión B-B chicos.
- 2 Cables de alimentación.
- 2 Puntas de prueba BNC – caimán.
- 1 Computadora PC que tenga instalada una tarjeta de adquisición de datos PCI-6221M y el programa LabView relativo a Práctica 5_LBV, “Control Digital PID”. UNAM. FI. 2007.
- 1 Caja de conexiones BNC-2120, de National Instruments.

Actividad 1 Caracterización del Transductor del Sistema.

- Conectar a la línea la fuente PS1/EV y activar su interruptor de encendido.
- Ajustar la fuente variable de directa a 24 vcd.
- Verificar que esté encendido el indicador de CV, de no ser así, gire el potenciómetro de la corriente, hasta que encienda el indicador (CV).
- Apagar la fuente.
- Conectar las fuentes de polarización de ± 12 Vcd, la de 24 vcd y sus respectivas tierras al módulo G35.
- Armar el sistema en malla cerrada.
- Conectar la Terminal 2 de “SET POINT” con la Terminal 3 del “ERROR AMPLIFIER”, y el borne 21 del “PIEZORESISTIVE PRESSURE TRANSDUCER CONDITIONER” con el borne 4 marcado con “FEEDBACK INPUT” en el “ERROR AMPLIFIER”.
- Conectar la Terminal 13 del “PID CONTROLLER” con la 14 de “PROPORTIONAL VALVE POWER AMPLIFIER”.



Manual de Prácticas

Fundamentos de Control

Secretaría/División: División de Ingeniería Eléctrica

Área/Departamento: Control y Robótica

- Conectar los módulos G35 y TY35/EV a través de las terminales + y – marcadas con el nombre de “PROPORTIONAL VALVE”.
- Conectar el cable DIN 7 del TY35/EV al G35.
- Ajustar la perilla “SET POINT” a su valor mínimo.
- Ajustar la perilla del “PROPORTIONAL ACTION” a su valor mínimo.
- Encender la fuente PS1/EV, y verificar que el indicador CV esté iluminado. Si no se iluminó, entonces gire el potenciómetro de la corriente hasta que lo haga.
- Activar el interruptor de encendido del módulo TY35/EV. Observar que no aumente la presión indicada en la carátula del manómetro. Si aumenta, apagar el TY35/EV, abrir la válvula auxiliar del compresor, revisar las conexiones, y de ser necesario llamar a su profesor.
- Verificar que al tener una entrada de voltaje de cero volts (set-point=min), la presión de salida también sea cero.
- Medir el voltaje de entrada en el borne 2 del “SET POINT” con respecto a tierra y el voltaje de salida, en el borne 21 del “PIEZORESISTIVE PRESSURE TRANSDUCER” y tierra.
- Con el “SET POINT”, ajustar las presiones de salida indicadas en la tabla siguiente, usar para ello el manómetro, anotar los valores de voltaje solicitados para cada caso.
- Regresar el “SET POINT” a su valor mínimo, y verificar que la presión del compresor marque cero.
- Apagar el módulo TY35/EV y la fuente PS1/EV. No desarmar, se continuará usándolo con la misma configuración.



Manual de Prácticas

Fundamentos de Control

Secretaría/División: División de Ingeniería Eléctrica

Área/Departamento: Control y Robótica

P (bar)	V de entrada (volts)	V de salida (volts)
0		
0-2		
0.4		
0.6		
0.8		
1.0		
1.2		
1.4		
1.6		
1.8		
2.0		

Tabla 1. Presión y voltaje del sistema de control de presión.

ACTIVIDAD 2A Operación Analógica usando el Programa Lab-View.

En esta sección se obtiene la curva característica del sistema de control de presión usando un controlador proporcional analógico.

Para lograr el objetivo, la salida del sistema es conectada a la computadora usando el módulo de conexiones BNC-2120. La computadora tiene instalada una tarjeta de adquisición de datos PCI-6221M que digitaliza y muestrea la señal, permitiendo así que el programa hecho en LabView pueda desplegar la gráfica de la respuesta del sistema a una entrada escalón, tal como se muestra en el siguiente diagrama:



Manual de Prácticas

Fundamentos de Control

Secretaría/División: División de Ingeniería Eléctrica

Área/Departamento: Control y Robótica

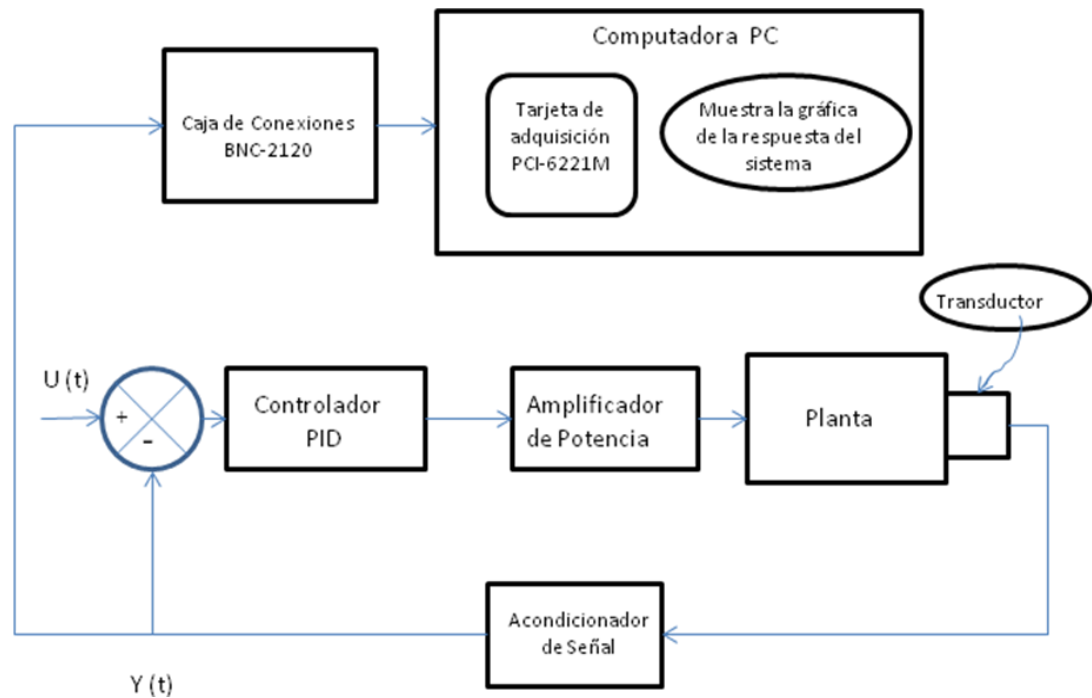


Fig.1 Sistema de Presión analógico en malla cerrada usando la computadora para mostrar la respuesta a una entrada escalón.

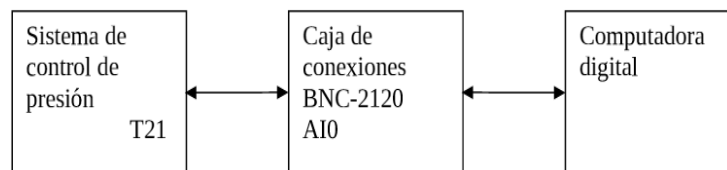


Figura 2. Conexiones del sistema de control de presión con la computadora y el programa LabView.

Desarrollo.

- Verificar que la fuente PS1/EV esté apagada.



Manual de Prácticas

Fundamentos de Control

Secretaría/División: División de Ingeniería Eléctrica

Área/Departamento: Control y Robótica

- Verificar que el sistema de presión esta interconectado en malla cerrada.
- Conectar la Terminal 21 del módulo G35 a la Terminal AI0 del módulo de conexiones “BNC-2120”, así como sus respectivas tierras, tal como lo indica la fig. 2.
- Encender la computadora, seleccionar el programa LabView de referencia, desde el escritorio o entrando a todos los programas.
- Entrar al programa “PRÁCTICAS LABORATORIO DE CONTROL” y seleccione la Práctica: “Sintonización PID Harriot”.
- Verificar que esté activada la operación “STOP”.
- Verificar que el selector central esté en manual.
- Seleccionar el período de muestreo del proceso:

$$T = \frac{\text{Duración del proceso}}{\text{Número de muestras}} = \frac{60 \text{ segundos}}{300 \text{ muestras}} = 200 \text{ milisegundos / muestra.}$$

- Girar el potenciómetro “PROPORTIONAL ACTION” al mínimo.
- Encender la fuente PS1/EV.
- Girar la perilla de “SET POINT” a un valor de 7 volts, utilizando el multímetro entre las terminales 2 y tierra.
- Seleccionar el símbolo de flecha “RUN” que se encuentra en la esquina superior izquierda de la pantalla de la computadora para iniciar la operación del programa.
- Verificar que se realiza el muestreo.
- Activar el interruptor de encendido del módulo TY35/EV. Observar que no aumente la presión indicada en la carátula del manómetro cerca de la raya roja. Si es el caso, apagar el compresor TY35/EV, abrir la válvula auxiliar del mismo, revisar las conexiones, y de ser necesario llamar a su profesor.
- Observar la gráfica desplegada en la computadora. Ésta debe ser parecida a la fig.3.



Manual de Prácticas

Fundamentos de Control

Secretaría/División: División de Ingeniería Eléctrica

Área/Departamento: Control y Robótica

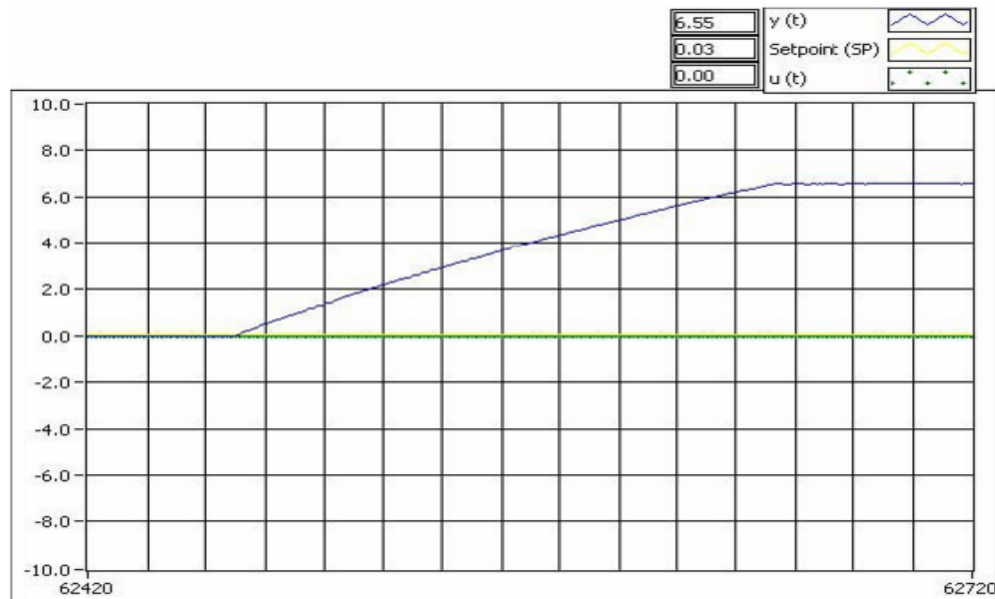


Figura 3. Curva característica del sistema de control de presión G35/TY35/EV, con controlador proporcional, obtenida con el programa LabView. La respuesta del sistema es la línea azul, la señal de referencia, en color amarillo, y la señal de control, en verde. Estas dos últimas son cero, debido a que se opera el programa en modo manual.

- Poner el programa en “STOP” cuando la respuesta del sistema llegue a la respuesta permanente.
- Reducir la presión del compresor llevando al valor mínimo el potenciómetro del “SET POINT”, por favor, hágalo lentamente.
- Apagar el compresor.
- Grabar la respuesta graficada.
 - ✓ Colocar el cursor del ratón sobre la gráfica, y oprimir el botón derecho del ratón.
 - ✓ Seleccionar Export Simplified Image y Save to File.
 - ✓ Elegir la carpeta de destino, y la instrucción Save.
- Apagar la fuente PS1/EV.



Manual de Prácticas

Fundamentos de Control

Secretaría/División: División de Ingeniería Eléctrica

Área/Departamento: Control y Robótica

Actividad 2B. Operación del Sistema de Control de Presión con un controlador proporcional (P) analógico.

En este caso, se operará el sistema con diferentes componentes del controlador PID analógico, aplicando en forma alternada un escalón positivo y otro negativo.

Desarrollo.

- Verificar que la fuente PS1/EV esté apagada.
- Verificar que el sistema de presión está interconectado en malla cerrada.
- Conectar la Terminal 21 del módulo G35 a la Terminal AI0 del módulo de conexiones “BNC-2120”, así como sus respectivas tierras.
- Encender la computadora, seleccionar el programa LabView de referencia, desde el escritorio o entrando a todos los programas.
- Entrar al programa “PRÁCTICAS LABORATORIO DE CONTROL” y seleccionar la Práctica: “Sintonización PID Harriot”.
- Verificar que esté activada la operación “STOP”.
- Verificar que el selector central esté en manual.
- Seleccionar el período de muestreo del proceso:

$$T = \frac{\text{Duración del proceso}}{\text{Número de muestras}} = \frac{60 \text{ segundos}}{300 \text{ muestras}} = 200 \text{ milisegundos / muestra.}$$

- Girar el potenciómetro “PROPORTIONAL ACTION” al mínimo.
- Encender la fuente PS1/EV.
- Girar la perilla de “SET POINT” hasta la quinta raya.
- Seleccionar el símbolo de flecha “RUN” que se encuentra en la esquina superior izquierda de la pantalla de la computadora para iniciar la operación del programa.
- Verificar que se realiza el muestreo.
- Activar el interruptor de encendido del módulo TY35/EV. Observar que no aumente la presión indicada en la carátula del manómetro cerca de la raya roja. Si es el caso, apagar el compresor TY35/EV, abrir la válvula auxiliar del mismo, revisar las conexiones, y de ser necesario llamar a su profesor.



Manual de Prácticas

Fundamentos de Control

Secretaría/División: División de Ingeniería Eléctrica

Área/Departamento: Control y Robótica

- Esperar a que se grafique la respuesta, hasta que alcance la respuesta permanente.
- Girar el potenciómetro del “SET POINT” rápidamente a la segunda raya para simular un escalón negativo.
- Poner el programa en “STOP” cuando la respuesta del sistema llegue a la respuesta permanente.
- Observar la gráfica desplegada en la computadora. Esta debe ser parecida a la fig.4.
- Reducir la presión del compresor llevando al valor mínimo el potenciómetro del “SET POINT”, por favor, hacerlo lentamente.
- Apagar el compresor.
- Grabar la respuesta graficada.
 - ✓ Colocar el cursor del ratón sobre la gráfica, y oprimir el botón derecho del ratón.
 - ✓ Elegir Export Simplified Image y Save to File.
 - ✓ Elegir la carpeta de destino, y la instrucción Save.
- Apagar la fuente PS1/EV.

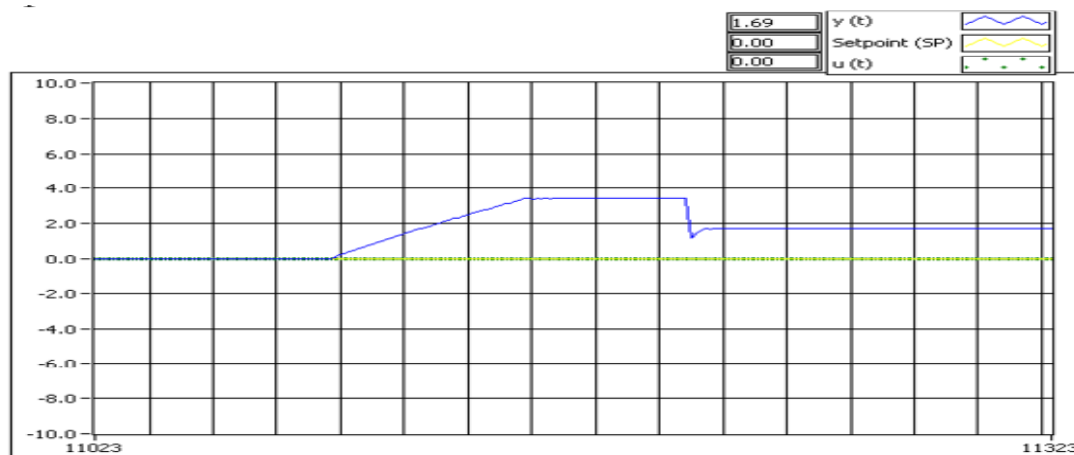


Figura 4. Respuesta analógica del sistema de control de presión con controlador proporcional, cuando se le aplica un escalón positivo y después otro negativo.



Manual de Prácticas

Fundamentos de Control

Secretaría/División: División de Ingeniería Eléctrica

Área/Departamento: Control y Robótica

Actividad 2C Se va a observar la respuesta del sistema configurado con un controlador PID, para una entrada escalón positivo y una de escalón negativo.

Desarrollo.

- Conectar la terminal 9 del sistema con la 10 para incorporar un controlador integrativo y la terminal 5 a la terminal 6, para agregar un control derivativo.
- Repetir los pasos de la actividad 2B.
- La respuesta esperada del sistema es como la mostrada en la figura 5.

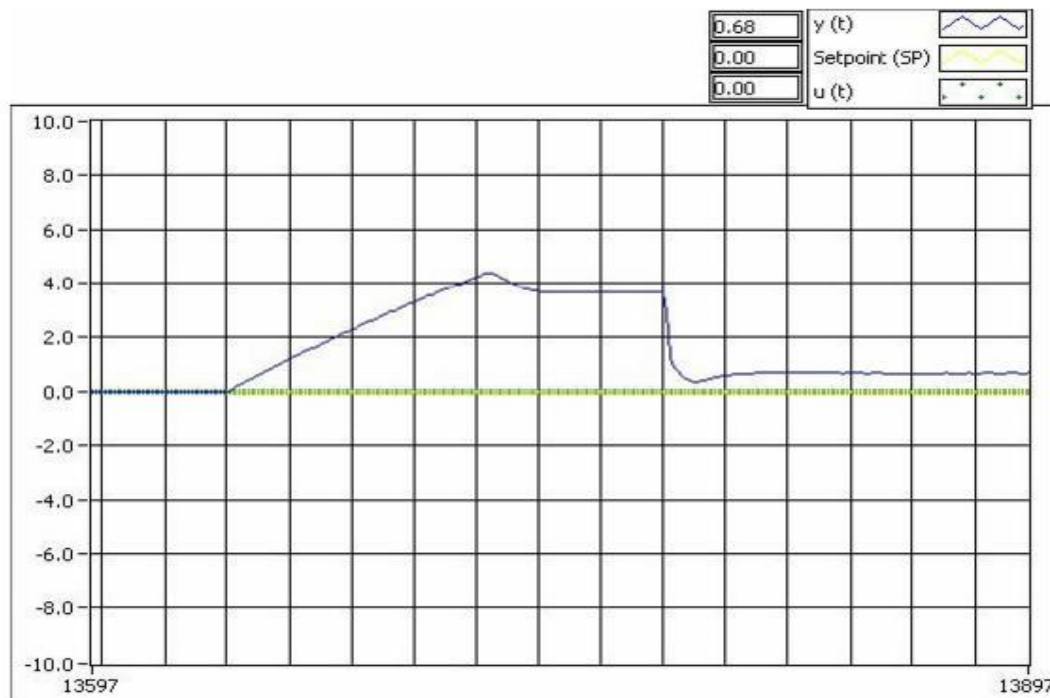


Figura 5. Respuesta del sistema de control de presión con el controlador PID analógico.



Manual de Prácticas

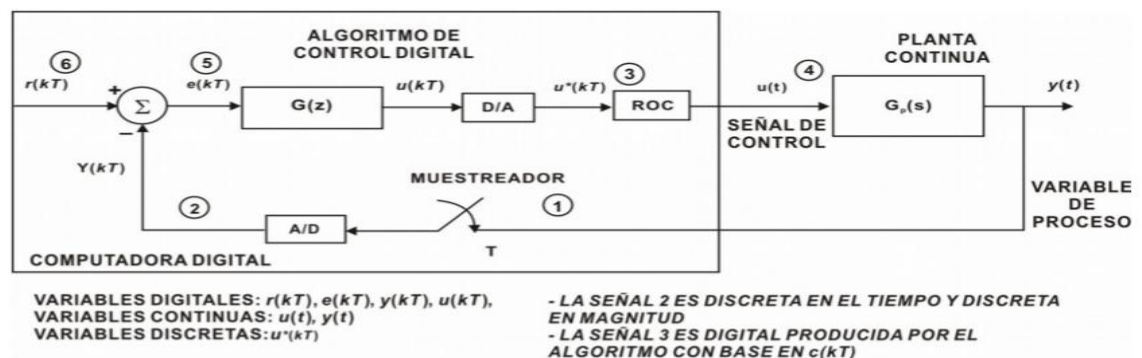
Fundamentos de Control

Secretaría/División: División de Ingeniería Eléctrica

Área/Departamento: Control y Robótica

Actividad 3 Operación del Sistema de Control de Presión con un controlador proporcional (PID) digital

En esta actividad se trabaja al sistema con un controlador PID digital. En el recuadro de la siguiente figura marcado con algoritmo digital se observa como el programa procesa la señal de salida del sistema y genera una nueva entrada para el sistema a controlar.



Al trabajar con un sistema de control digital el sistema ya no se trabaja en malla cerrada analógica, por el contrario la salida de éste, es conectada a través de la caja de conexiones **BNC-2120 a la computadora usando el terminal AI0**, para ser muestreada y digitalizada en la tarjeta de adquisición de datos **PCI-6221M** y procesada en la computadora con un programa hecho en LabView. El resultado es convertido a una señal analógica nuevamente para ser la nueva entrada de control del sistema, se usa el terminal AO0. Esta nueva entrada hace que el sistema se comporte bajo los criterios establecidos para su operación. La figura siguiente explica dicha estructura:

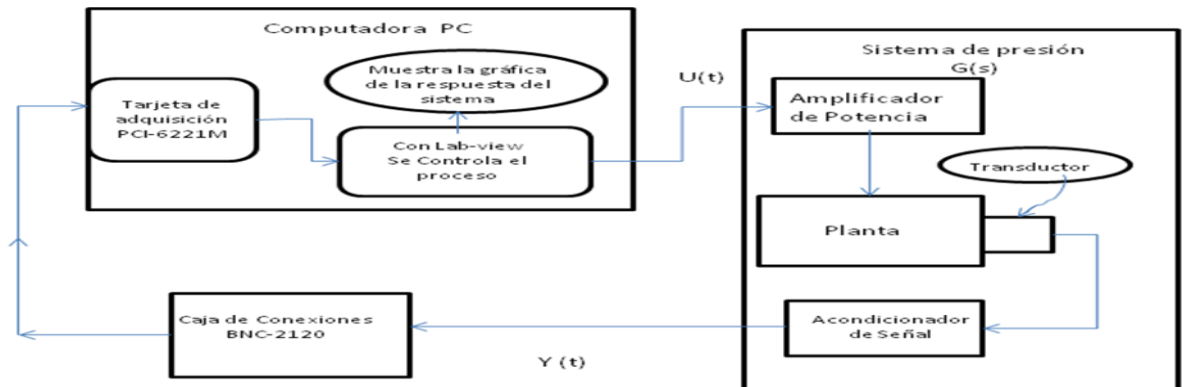


Manual de Prácticas

Fundamentos de Control

Secretaría/División: División de Ingeniería Eléctrica

Área/Departamento: Control y Robótica



A través del programa de LabView se pueden cambiar las constantes del controlador, pudiendo observarse los efectos de cada controlador en la operación del sistema.

Desarrollo.

- Verificar que la fuente PS1/EV esté apagada.
- Desconectar el “Set-point”, el PID y el amplificador de error.
- Conectar la terminal 21 del sistema a la terminal AI0 de la caja de conexiones BNC-2120 y tierra.
- Conectar la terminal 14 del módulo G35 a la AO0 de la caja de conexiones BNC-2120 y tierra.
- Encender la computadora y seleccionar el programa LabView de referencia.
- En operación “STOP” y en el modo manual, seleccionar el período de muestreo del proceso:

$$T = \frac{\text{Duración del proceso}}{\text{Número de muestras}} = \frac{90 \text{ segundos}}{300 \text{ muestras}} = 300 \text{ milisegundos / muestra.}$$

- Ajustar las constantes de los controladores en la parte superior derecha de la pantalla a los siguientes valores; $K=1.67$, $T_i=0.335$, y $T_d=0.083$.
- Seleccionar en modo automático un valor de SET POINT de 4 volts.
- Encender la fuente PS1/EV.
- Seleccionar “RUN” en el programa. Verificar que se realiza el muestreo.



Manual de Prácticas

Fundamentos de Control

Secretaría/División: División de Ingeniería Eléctrica

Área/Departamento: Control y Robótica

- Encender el compresor, módulo TY35/EV. Cuidar que el indicador de presión no rebase la línea roja. En caso contrario, apagar el compresor y reducir el voltaje de “SET POINT” T al mínimo. Verificar que la presión se reduzca a cero. Si no, operar la válvula auxiliar.
- Observar la gráfica registrada por el programa.
- Una vez obtenida la gráfica, poner el programa en “STOP”.
- Apagar el compresor.
- Reducir la presión, usando la válvula auxiliar.
- Apagar la fuente PS1/EV.
- Grabar la gráfica obtenida de acuerdo con lo indicado en la actividad 2b.
- La respuesta del sistema se muestra en la Fig. 7.



Manual de Prácticas

Fundamentos de Control

Secretaría/División: División de Ingeniería Eléctrica

Área/Departamento: Control y Robótica

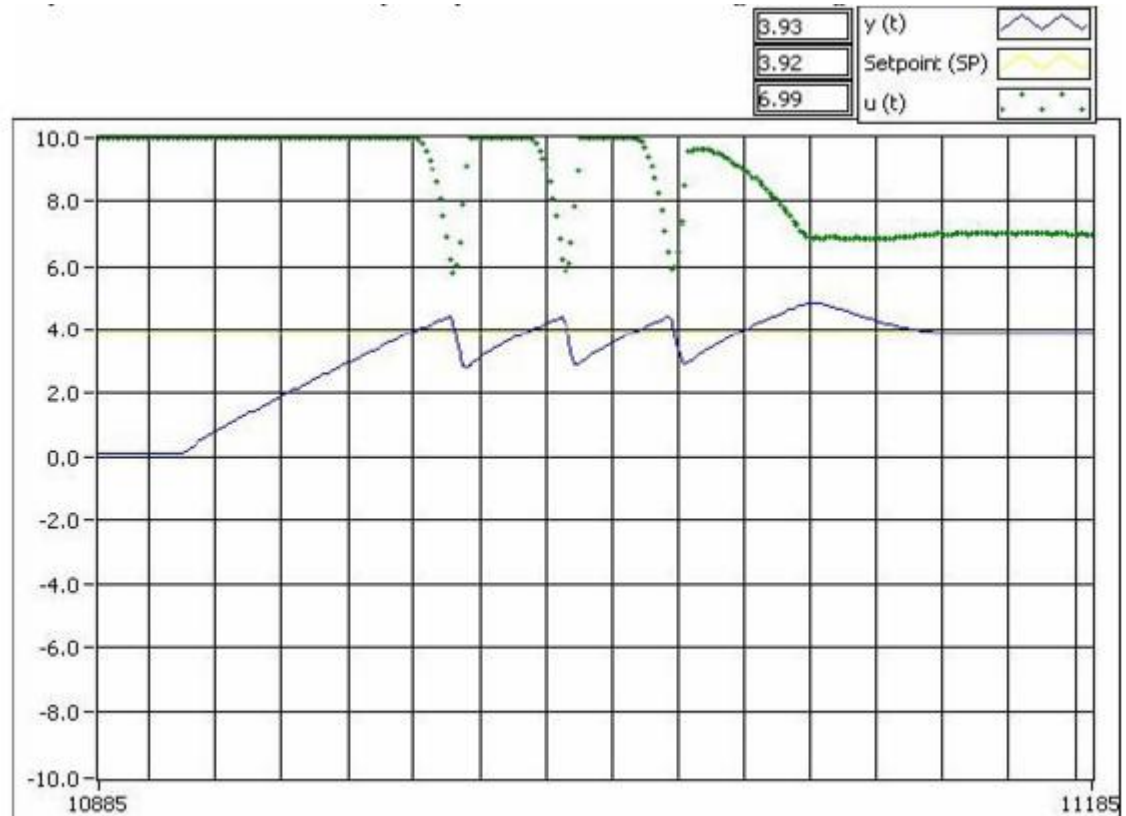


Figura 7. Sistema de control de presión con controlador digital. Los parámetros son: SET POINT en 4 volts. PID inicial: con $K=1.67$, $T_i=0.335$, y $T_d=0.083$. PID final: $K=1.67$, $T_i=5$, $T_d=2$.

- Repetir los pasos de la actividad 3 para 3 juegos de valores intermedios del controlador PID mostrados en la tabla 2, incluyendo el último de la misma. PID final: $K=1.67$, $T_i=5$, $T_d=2$.

Kp	Ti	Td	y(t)max	Y(t)min
1.67	0.335	0.083		
...		
1.67	5	2		

Tabla 2. Ajuste de los parámetros del controlador digital PID, para obtener una respuesta con sobrepaso y tiempo de asentamiento adecuados.



Manual de Prácticas

Fundamentos de Control

Secretaría/División: División de Ingeniería Eléctrica

Área/Departamento: Control y Robótica

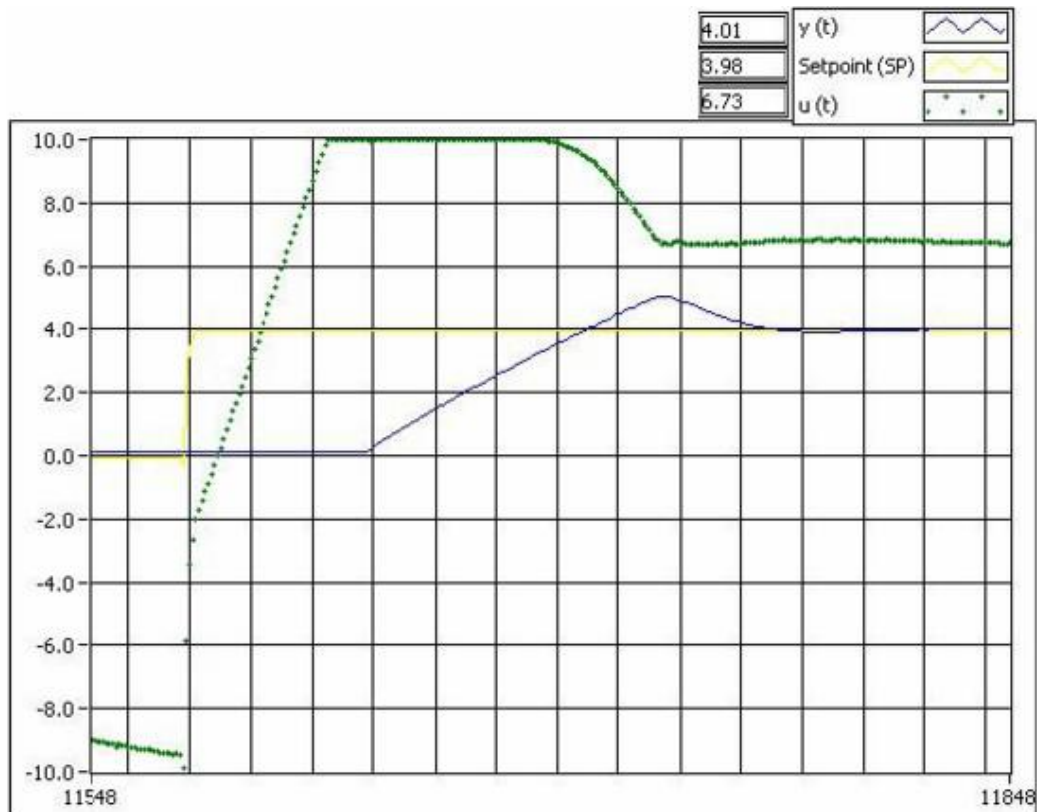


Figura 8. Respuesta del sistema de control de presión, después del ajuste de parámetros, para su operación adecuada.



Manual de Prácticas

Fundamentos de Control

Secretaría/División: División de Ingeniería Eléctrica

Área/Departamento: Control y Robótica

Hoja de Resultados.

El reporte de la práctica deberá incluir todas las gráficas obtenidas en los experimentos aquí presentados, así como aquellos que el profesor crea necesarios. La forma y método empleado en la presentación del reporte queda al criterio del maestro.

Cuestionario.

1. Describa las ecuaciones fundamentales del controlador PID.
2. Analice la respuesta de un sistema con controlador PID, conociendo su función de transferencia.

5. Conclusiones

6. Bibliografía

- Ricardo Garibay Jiménez. Práctica 5_LBV. "Control Digital PID". UNAM. FI. 2007.
- K. Ogata. Modern Control Engineering. Prentice Hall. Fourth Edition. 2002. U. S. A.
- Sabino Ortega Monjarás. Prácticas del Laboratorio de Control Digital. UNAM. F. I. 2006