



Manual de Prácticas Fundamentos de Control

Secretaría/División: División de Ingeniería
Eléctrica

Área/Departamento: Control y Robótica

Controlador PID

N° de práctica:

**Tema: Control de Lazo Cerrado empleado un Controlador
PID y aplicando su sintonización**

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	Choque eléctrico
2	Tensión Continua	Daño a equipo
3	Manejo de herramienta	Lesión en manos

2. Objetivos de aprendizaje

I. Objetivos generales: El estudiante experimentará la aplicación física de un controlador PID, basado en una computadora personal y el software *LabView*, y verificará la salida del proceso físico con los resultados de la simulación correspondiente.

II. Objetivos específicos:

- El estudiante aplicará su conocimiento de un controlador PID, para entender de manera práctica los efectos de cada acción de la ley de control, en base al algoritmo de la teoría clásica de control.
- El estudiante entenderá y se familiarizará con un sistema de control digital PID que en base al tiempo de muestreo asociado y la programación de una aplicación de Instrumentación Virtual, comprenderá lo que significa la sintonización para el sistema de control.
- El estudiante podrá ser capaz de realizar la sintonización para una planta de manera experimental y que en base al método de Oscilaciones Amortiguadas, podrá comprobar que los valores para cada parámetro del controlador PID son los adecuados para obtener respuestas deseadas en el sistema de control.
- El estudiante verificará de manera práctica que un controlador robusto tiene un desempeño eficiente con corrección de errores a pesar de perturbaciones y cambios de carga.

3. Antecedentes

Con base en el esquema de control mostrado en la Figura 1, los modelos discretos de procesos y las acciones de control PID, se puede implantar el control de lazo cerrado de una planta experimental cuyas señales de entrada y salida varíen en el rango de -10 a 10 volts. Para la aplicación del control



Manual de Prácticas Fundamentos de Control

Secretaría/División: División de Ingeniería Eléctrica

Área/Departamento: Control y Robótica

PID no se requiere el modelo del proceso, aunque es recomendable conocer previamente su funcionamiento (mediante una simulación) y los elementos que la integran. Con base en la experimentación y observaciones de la operación del sistema se podrán concluir las principales características del lazo de control digital.

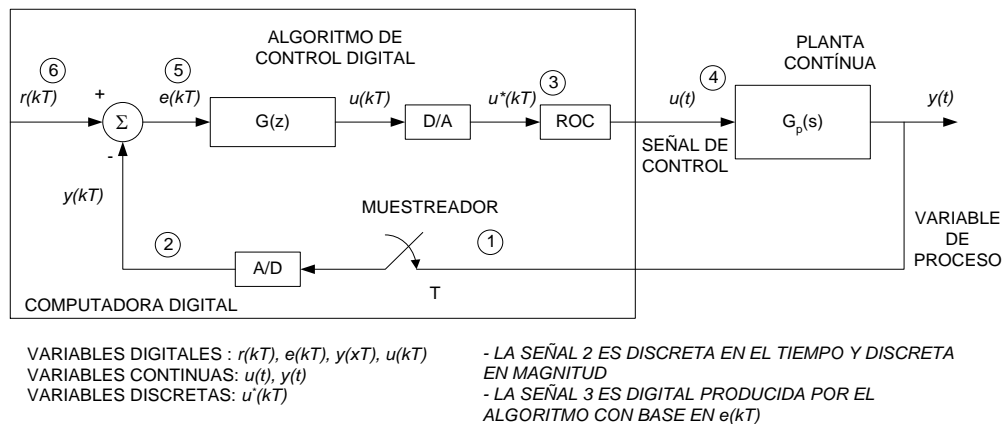


Figura 1. Lazo de control

4. Introducción

El objetivo de un controlador PID es hacer que el error en estado estacionario entre la señal de referencia y la salida de una planta sea igual a cero de forma asintótica.

Los controladores PID se utilizan para resolver muchos de los problemas de control en la industria, especialmente en los casos en que la dinámica de los procesos es de primer o de segundo orden.

El 95 % de los controladores de lazo cerrado en la industria son sistemas de control tipo PID y de este 95% la mayoría son controladores del tipo PI, ya que debido a procesos rápidos no es aplicable el efecto derivativo (D).

Los sistemas de control son de gran ayuda en la ingeniería, siendo así que muchas veces son tan cotidianos en las labores diarias, el saber cómo funcionan es de una gran importancia ya que con ello se obtiene un gran dominio sobre el sistema que se está usando, la presente práctica es un ejemplo de ello, en donde estaremos viendo la respuesta de un sistema de segundo orden, en base a una serie de conexiones se conocerá la respuesta del sistema y se logrará su sintonización en base al método de Oscilaciones Amortiguadas o de Harriot.



Manual de Prácticas Fundamentos de Control

Secretaría/División: División de Ingeniería Eléctrica

Área/Departamento: Control y Robótica

5. Material y Equipo

En esta práctica, el algoritmo de control corresponde a la acción PID realizada por medio del software *LabView*, el cual provee un ambiente gráfico de programación y operación, en lo que se conoce como un instrumento o controlador virtual. La construcción del sistema se muestra en la Figura 2, en donde destaca la tarjeta de adquisición de datos de *Nacional Instruments PCI-6221M*, las cuales disponen de 16 canales A/D de entrada analógica de voltaje, en el intervalo de -10 a 10 volts y dos canales D/A de salida digital del mismo rango.

El controlador se llama *PID Harriot* y para operar requiere de elementos de software que ya han sido instalados, el *Run time engine de LabView* y el *driver* de la tarjeta de adquisición de datos, para enlazar el hardware con el programa de control.

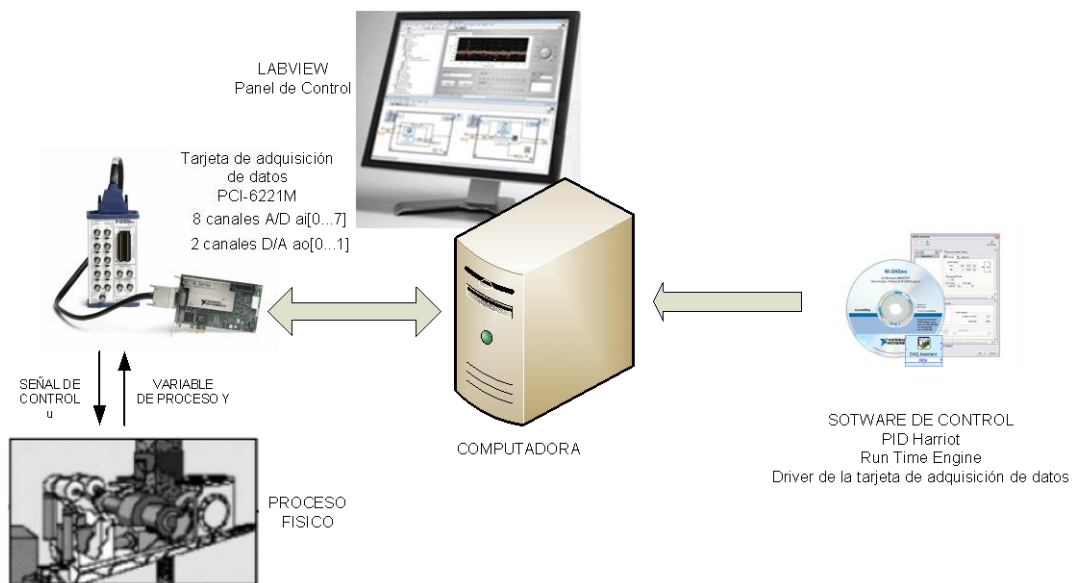


Figura 2. Implantación experimental

En la práctica se emplea un proceso físico cuyo modelo lineal puede conocerse, para lo cual se dispone de los simuladores tipo A (PCS327) y tipo B (G26), uno de los cuales se muestra en la Figura 3. En estos dispositivos se pueden alambrear procesos lineales de hasta 3er orden, con un retraso de transporte, también conocido como tiempo muerto. Cada bloque dinámico que se incluye en el proceso tiene una función de transferencia conocida. Cuenta también con elementos de despliegue



Manual de Prácticas Fundamentos de Control

Secretaría/División: División de Ingeniería Eléctrica

Área/Departamento: Control y Robótica

local, sumadores para introducir señales de perturbación y carga, y funciones no lineales. Para mayor información consultar el documento “*Simulador electrónico de control de procesos*”.

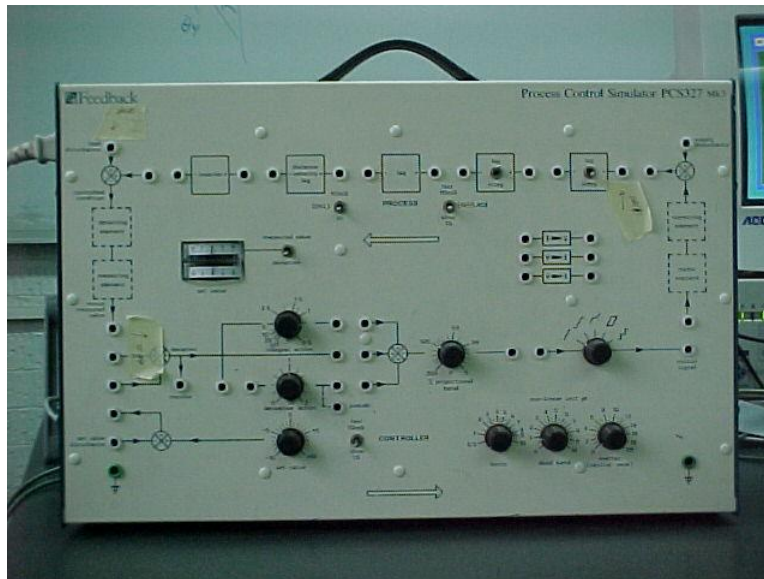


Figura 3. Proceso físico experimental tipo A

Considerar un proceso continuo estable de 2º orden tipo 0, con dos constantes de tiempo, cuya función de transferencia es, para la planta A:

$$G_p(s) = \frac{1}{(s+1)(s+1)} = \frac{1}{(s+1)(s+1)}$$

Si se emplea la planta tipo B (**QUE ES LA MÁS COMÚN EN EL LABORATORIO**), la función de transferencia es:

$$G_p(s) = \frac{1}{(s+1)\left(s + \frac{1}{0.7}\right)} = \frac{1.42}{(s+1)(s+1.42)}$$



Manual de Prácticas Fundamentos de Control

Secretaría/División: División de Ingeniería Eléctrica

Área/Departamento: Control y Robótica

6. Desarrollo

Conexiones en el módulo G26 “Simulador electrónico de control de procesos” tipo B, para obtener la función de transferencia

A continuación se presenta el alambrado que debe realizarse en la planta tipo B del simulador de procesos a ser empleado en la práctica:

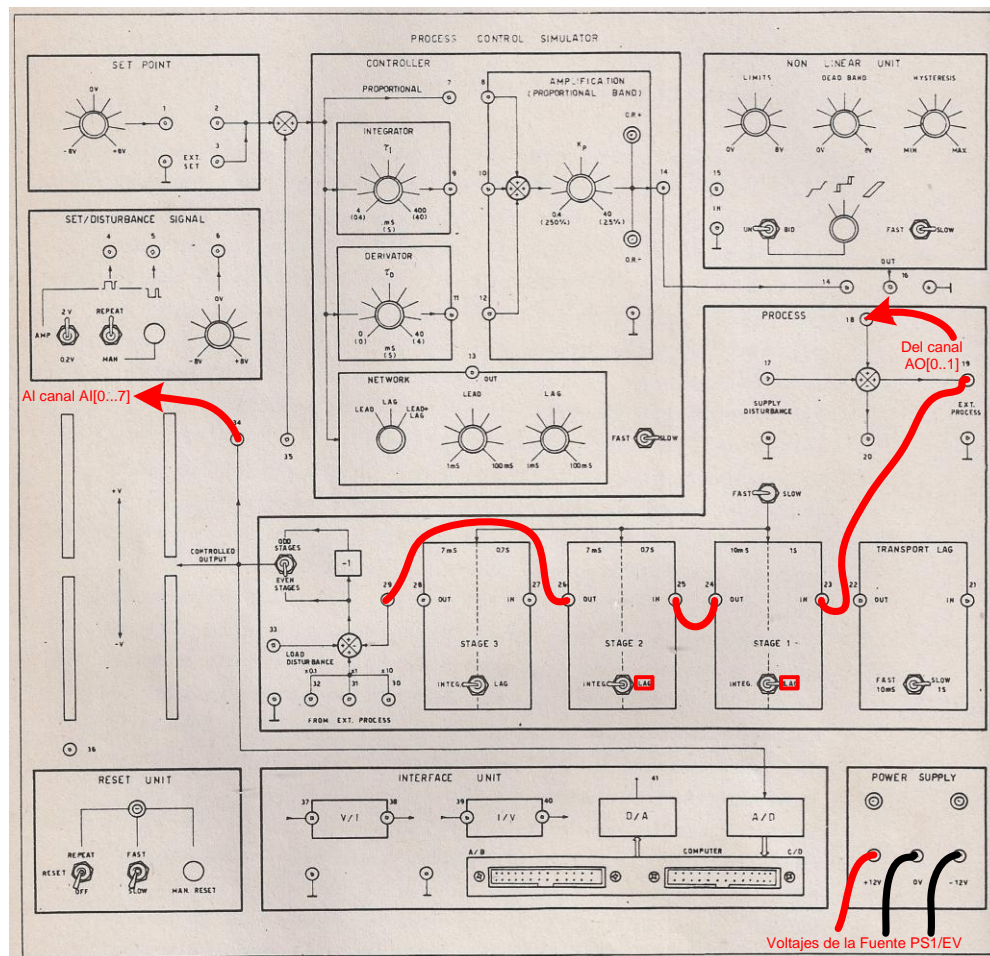


Figura 4. Conexiones a realizar en el módulo G26 tipo B



Manual de Prácticas Fundamentos de Control

Secretaría/División: División de Ingeniería
Eléctrica

Área/Departamento: Control y Robótica

IMPORTANTE: Para introducir PERTURBACIONES ó CAMBIOS DE CARGA EN EL SISTEMA, en el borne 33 conectar una señal de ruido ó señales de los bornes 4, 5 ó 6.

En las conexiones a realizar se debe verificar lo siguiente:

- Conectar los voltajes de polarización de +12 [V], 0 [V] y -12 [V] para el módulo G26 con la fuente PS1/EV
- Conectar el borne 18 del módulo G26 con el canal D/A elegido en la ventana del programa para el controlador a emplear (AO0 ó AO1) de la tarjeta de adquisición de datos PCI-6221M
- Conectar en el módulo G26 los bornes 19 y 23
- Conectar en el módulo G26 los bornes 24 y 25
- Conectar en el módulo G26 los bornes 26 y 29
- Conectar el borne 34 del módulo G26 con el canal A/D elegido en la ventana del programa para el controlador a emplear (AI0 ó AI1 ó AI2 ó ... ó AI7) de la tarjeta de adquisición de datos PCI-6221M
- Los interruptores de los bloques STAGE 1 y STAGE 2 deberán estar en la posición LAG para que tengan como constantes de tiempo 1 [s] y 0.7 [s] respectivamente

El controlador digital PID se encuentra programado en el software LabVIEW que presenta una aplicación de Instrumentación Virtual que se muestra y detalla a continuación:



Manual de Prácticas Fundamentos de Control

Secretaría/División: División de Ingeniería Eléctrica

Área/Departamento: Control y Robótica

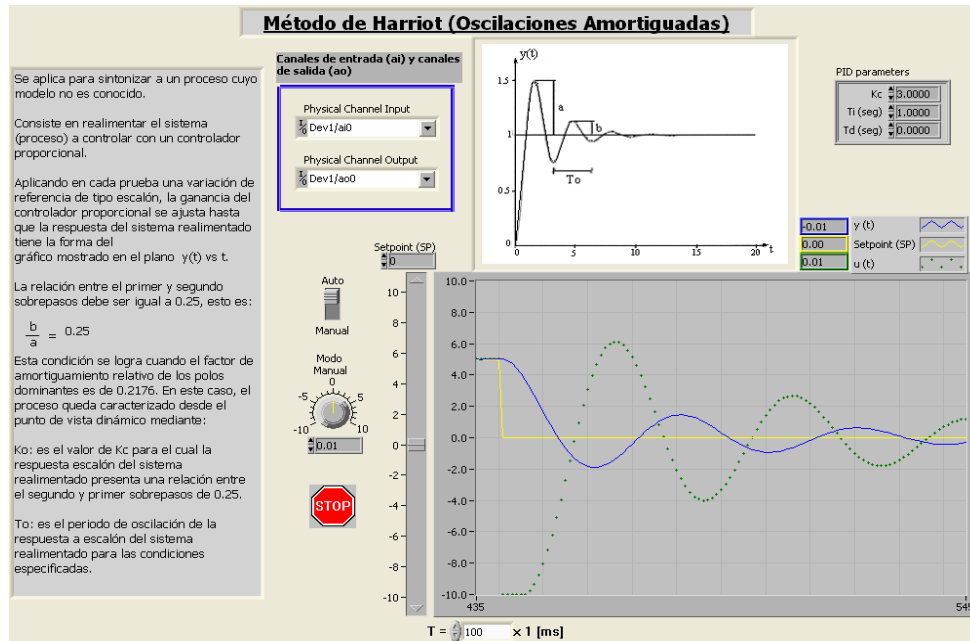


Figura 5. Panel de Control del Controlador PID basado en Labview

En el programa *PID_Harriot*, cuyo panel frontal se muestra en la Figura 5, se incluye la acción de control PID, en donde los parámetros del controlador K_c , T_i y T_d definen la sintonización del lazo de control y pueden ajustarse por el método de Harriot. Estos parámetros se ajustan en la ventana *PID parameters* del panel frontal.

En el mismo panel se destacan los siguientes elementos:

Designación	Función	Comentarios
Canales de entrada (ai) y canales de salida (ao)	Definen los canales A/D y D/A para adquisición de datos que se emplean para las señales del proceso: Dev1/ai0...dev1/ai7 (8 canales) Dev1/ao0...dev1/ao1 (2 canales)	Dev1 es el nombre asociado en el sistema operativo a la tarjeta de adquisición de datos PCI-6221M
Multiplicador de la base de tiempo T	Asigna el multiplicador para la base de tiempo de 1 msec	El multiplicador y la base de tiempo determinan el período de muestreo T
Selector Auto-Manual	Intercambia el modo de operación entre manual (lazo	



Manual de Prácticas Fundamentos de Control

Secretaría/División: División de Ingeniería Eléctrica

Área/Departamento: Control y Robótica

	abierto) y automático (lazo cerrado)	
Ajuste del control manual	Ajusta del valor de la señal de control en el modo manual	El valor de la señal de control puede cambiarse por medio de la perilla o en la ventana numérica
Ajuste de la referencia <i>Set point (SP)</i>	Ajusta del valor de la referencia en el modo automático	El valor de la señal de control puede cambiarse por medio de control deslizable o en la ventana numérica
Despliegue gráfico de 3 variables: <ul style="list-style-type: none"> Salida $y(t)$ Referencia SP Señal de control $u(t)$ 	Se despliegan las gráficas de las variables en color azul, amarillo y verde respectivamente. El número de puntos en el eje horizontal es importante para determinar la escala de tiempo.	El usuario tiene la opción de cambiar algunos elementos del despliegue, incluso el número de puntos.
Despliegue numérico de 3 variables: <ul style="list-style-type: none"> Salida $y(t)$ Referencia SP Señal de control $u(t)$ 	Complementa con valores numéricos el despliegue de las variables principales.	
Parámetros del controlador <i>PID parameters</i>	Ventana para el ajuste de los parámetros de ganancia K_c y las constantes de tiempo T_i y T_d	
Texto y gráfico sobre el método de sintonización de Harriot	Información resumida sobre la sintonización del lazo de control	

NOTA: Verificar en el módulo G26 que la señal de salida del borne 34 no esté invertida, para ello mover el interruptor ODD STAGES/EVEN STAGES del módulo a la posición en donde la salida sea la correcta. Esto se verifica en la ventana del controlador a usar, mediante el selector “Auto-*Manual*” llevándolo a la posición Manual. Posteriormente se debe manipular el potenciómetro virtual “*Modo Manual*” en el mismo programa en ejecución, en donde el resultado deberá ser que en el despliegue gráfico en la ventana del controlador, la señal de salida del módulo G26 (borne 34) que está graficada en color azul, siga a la señal verde (señal generada por el potenciómetro virtual “*Modo Manual*”).



Manual de Prácticas Fundamentos de Control

Secretaría/División: División de Ingeniería Eléctrica

Área/Departamento: Control y Robótica

I. Actividad 1

Correr el controlador *PID_Harriot* cuyo despliegue se muestra en la figura 5.

II. Actividad 2

Después de configurar y conectar la señal del proceso al canal de entrada, así como el período de muestreo en $T=100\text{ msec}$, aplicar el controlador en el modo Manual para verificar desde el panel frontal la operación el sistema: **interacción de la computadora y el proceso.**

III. Actividad 3

Aplicar el controlador PI, asignando $T_i=2\text{ min}$ y $K_c=3$ y probar el desempeño del sistema introduciendo cambios en la referencia y perturbaciones o cambios de carga.

- a) Graficar la salida de la planta $y(t)$ para los parámetros y pruebas indicadas.
- b) Comentar los resultados.

IV. Actividad 4

Aplicar el controlador PI, asignando $T_i=1$ y $K=3$ y probar el desempeño del sistema introduciendo cambios en la referencia y perturbaciones o cambios de carga.

- a) Graficar la salida de la planta $y(t)$ para los parámetros y pruebas indicadas.
- b) Comentar los resultados.

V. Actividad 5

En base a la simulación realizada en el cuestionario previo introducir los valores obtenidos para K_c , T_i y T_d en el controlador PID digital y comparar resultados.

VI. Actividad 6



Manual de Prácticas

Fundamentos de Control

Secretaría/División: División de Ingeniería Eléctrica

Área/Departamento: Control y Robótica

Sintonizar (ahora de manera práctica) el sistema de control con la acción PID completa, siguiendo el procedimiento de Harriot. Verificar el desempeño para cambios de referencia y perturbaciones.

7. Conclusiones

[illegible]

8. Bibliografía

- ❖ Garibay R. Simulador Electrónico de Control de Procesos. UNAM. FI. 2007
- ❖ Nise N. Control Systems Engineering. 6a ed. California: Wiley & Sons 2011.
- ❖ Ogata. K. Modern Control Engineering. Prentice Hall. Fourth Edition. 2002. U. S. A.
- ❖ Piedrafita R.: Ingeniería de la automatización industrial, Segunda edición, Alfaomega, México, 2004.
- ❖ Controladores PID. Ingeniería de Sistemas y Automática. Universidad de Oviedo. Abril 2008
- ❖ “http://www.herrera.unt.edu.ar/contrade procesos/Tema_2/tp2a.pdf
- ❖ <http://verona.fi-p.unam.mx/~lfridman/clases/control/Clase14.ppt>



Manual de Prácticas Fundamentos de Control

Secretaría/División: División de Ingeniería
Eléctrica

Área/Departamento: Control y Robótica

❖ http://bin95.com/PID_Controller_Design.htm