

LABORATORIOS DE CONTROL

P R Á C T I C A

CONTROL DE TEMPERATURA

SEPTIEMBRE 2014

CONTROL DE TEMPERATURA

CONTENIDO

- I. Objetivos.
- II. Antecedentes.
- III. Material.
- IV. Descripción de la práctica.
- V. Desarrollo de la práctica:
 - Calibración y ajuste de señal.
 - Sistema en malla abierta.
 - Sistema en malla cerrada.
 - Control Proporcional. Control PID.
- VI. Hoja de resultados.

I. Objetivos

Al concluir la práctica el alumno se *familiarizará* con el uso del control en lazo cerrado usando controladores P y PD. *Entenderá* conceptos tales como:

Realimentación, lazo cerrado, estabilidad y tiempo de respuesta.

II. Antecedentes

Para una comprensión satisfactoria de esta práctica es necesario que el alumno conozca lo siguiente:

Equipo de laboratorio:	Manejo del multímetro y del osciloscopio.
Semiconductores:	Deberá conocer los conceptos básicos de la función y operación de diodos, transistores, mosfets, compuertas lógicas y amplificadores operacionales.
Transductor:	Es un dispositivo que realiza la conversión de una magnitud física en otra. Por ejemplo:



Módulos G34 y TY34/EV:

Para el desarrollo de la práctica el alumno debe conocer el funcionamiento de cada una de las etapas de los módulos G34 y TY34/EV y tendrá la capacidad de conectar adecuadamente las diversas etapas, para lo cual deberá haber realizado previamente la práctica de introducción a la temperatura.

III. Material y equipo

- 1 Fuente PS1/EV.
- 1 Fuente PS2A/EV.
- 1 Módulo de Temperatura TY34/EV y Controlador G34.
- 1 Multímetro.
- 1 Juego de cables B-B chicos para conexión.
- 2 Cables de alimentación.
- 1 Transductor STT.
- 1 Multicontacto

IV. Descripción de la práctica

• Controlador.

En el análisis y diseño de cualquier sistema de control, uno de los puntos más importantes a considerar, es definir la forma en cómo la planta se deberá controlar.

En un sistema de control de lazo cerrado, el controlador compara el valor efectivo de salida de una planta con el valor deseado, determina la desviación y produce una señal de control que reduce la desviación a cero o a un valor mínimo. La forma en que el controlador produce la señal de control recibe el nombre de acción de control.

En Control clásico se han planteado una serie de controladores a los que se clasifica de acuerdo a la manera en que generan su señal de control de la siguiente forma:

- a) Control proporcional (P)
- b) Control proporcional e integral (PI)
- c) Control proporcional y derivativo (PD)
- d) Control proporcional, integral y derivativo (PID)

• Control P.

El control proporcional no es más que un amplificador de ganancia ajustable. Su objetivo es hacer más rápida la respuesta del sistema y reducir el error de régimen, lo que se consigue al incrementar la ganancia del controlador. Sin embargo, este incremento en la ganancia puede provocar que el sistema se haga cada vez más oscilatorio.

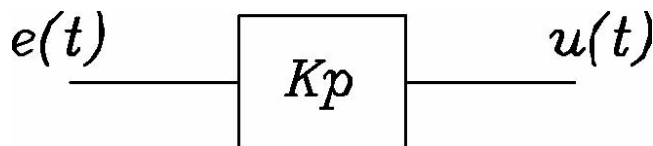


Fig. 1. Bloque del Controlador Proporcional

donde:

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p$$

K_p = sensibilidad proporcional o ganancia

Sea $G(s)$ la función de transferencia de la planta a controlar y el controlador proporcional de ganancia K_p en lazo cerrado, llegamos al siguiente diagrama a bloques. Ver figura 2.

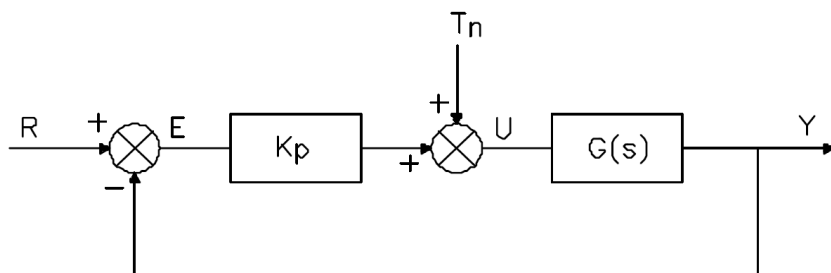


Fig. 2. Sistema con controlador proporcional

donde $R(s)$ es la señal de referencia y $T_n(s)$ es una señal de perturbación.

- Control proporcional-derivativo (PD).

En este tipo de controlador, la parte proporcional P ayuda a incrementar la velocidad de respuesta, mientras que la parte derivativa D tiene su mayor efecto en los transitorios y hace más amortiguado y estable al sistema. Este tipo de control responde a la velocidad de variación del error actuante y puede producir una corrección significativa antes de que el error actuante se haga excesivo, esto significa que la acción derivativa se anticipa el error actuante, inicia una acción correctiva temprana y tiende a aumentar la estabilidad del sistema.

El hecho de que la parte derivativa añada amortiguamiento al sistema, nos permite el uso de valores de ganancia K_P más elevados, lo que produce a su vez un mejoramiento en la exactitud del estado de régimen. Ver figura 3.

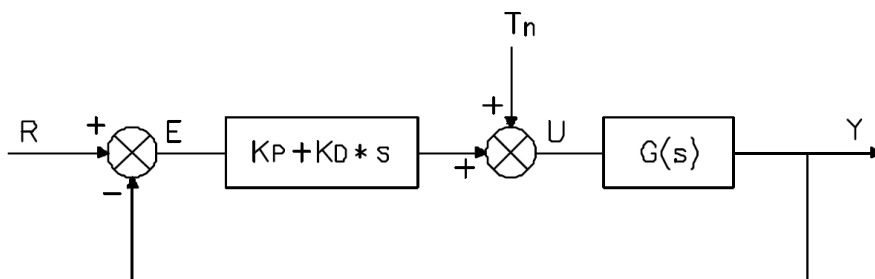


Fig. 3. Sistema con controlador PD.

El control PD es un control con alta sensibilidad. Su desventaja radica en que amplifica señales de ruido y puede producir un efecto de saturación en el acondicionador.

Para obtener esta característica derivativa, se deriva directamente la señal de error y se le afecta por una constante a la que se denomina constante derivativa.

En la figura 3 se muestra el diagrama a bloques del sistema de control con el controlador PD.

- Control proporcional-integrativo (PI).

Si la función de transferencia del proceso no contiene un integrador ($1/s$), ello implicará que exista un error de régimen e_{ss} en la respuesta a escalón del sistema. Este corrimiento puede ser eliminado si se incluye la acción integrativa. Al aplicar esta acción, puede darse el caso de que la señal de control $u(t)$ tenga un valor diferente de cero cuando el error $e(t)$ es cero.

Este controlador tiene la desventaja de que puede llegar a causar problemas de inestabilidad.

Para la obtención de este tipo de acción se añade a la parte proporcional el resultado de integrar la señal de error habiendo afectado a ésta por una cierta constante a la que se denomina constante de integración.

A continuación se muestra un diagrama a bloques del sistema de control en lazo cerrado con un controlador PI. Ver figura 4.

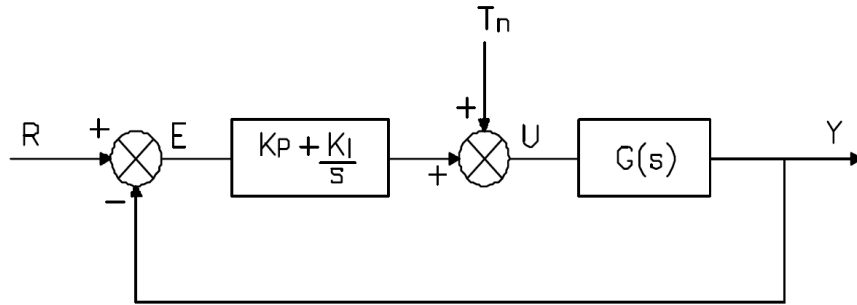


Fig. 4. Sistema con controlador PI.

- Controlador proporcional-integral-derivativo (PID).

Este controlador incorpora las ventajas que proporcionan cada una de las tres acciones individuales descritas anteriormente. A continuación se muestra el diagrama a bloques del sistema con este tipo de controlador. Ver figura 5.

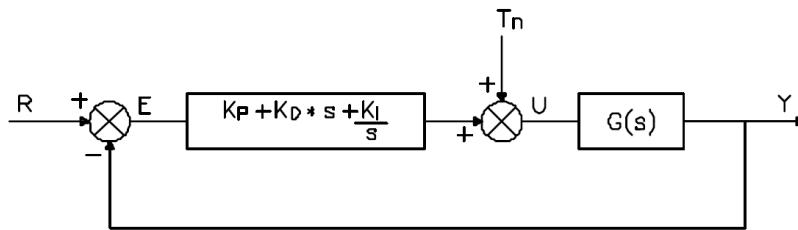


Fig. 5. Sistema con controlador PID.

• V. DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

• Polarización

Una de las partes más importantes en el desarrollo de la práctica es la polarización del módulo TEMPERATURE CONTROL & TRANSDUCERS G34, ya que con una polarización correcta se evitan daños posteriores en los circuitos electrónicos de la misma, para ello se realizan los siguientes pasos:

-Antes de conectar las fuentes a la tarjeta G34 pruébelas, conecte a la línea de 127 Vac la PS1/EV y la PS2A/EV.

-Cierre el interruptor de encendido de la PS1/EV, deberán encender los siguientes leds:

Los 2 leds de la fuente simétrica de +12Vcd y -12Vcd

El led de la fuente fija de 5Vcd

Uno de los dos leds de la fuente variable de 0 a 30Vcd, ya sea el C.V. o el C.C.

Los leds de la fuente de 24Vca permanecerán apagados.

-Si no se cumplen las condiciones ya expuestas, repórtelo a su profesor.

-Cierre el interruptor de encendido de la PS2A/EV, deben encender los dos leds, de no ser así repórtelo a su profesor.

-Apague ambas fuentes.

- Los bornes para la polarización de voltaje del módulo G34 se encuentran localizados en la esquina superior derecha de la tarjeta; son necesarias una tensión de +12 Vcd, una de -12 Vcd para la parte de control y una tensión 24 Vca (~) para la etapa de potencia.

La fuente PS1/EV entregará los voltajes de directa de **+12 Vcd** (borne rojo), **-12 Vcd** (borne azul) y el común **0 Vcd** (borne negro), que se localizan en el extremo derecho de la fuente.

- Conecte el borne de +12 V de la fuente con el borne marcado con +12 V del equipo, el borne -12 V de la fuente con el borne marcado con -12 V del equipo y no olvide conectar el borne común de la fuente con el correspondiente del G34.

La fuente PS2A/EV suministrará el voltaje de alterna al módulo G34 y a su vez está dividida en dos secciones **OUT-B y OUT-C**.

- Elija una de las dos secciones, y de la sección elegida, conecte el borne que tiene una línea punteada, al borne de **tierra** de la zona marcada con **24 V~** del módulo G34, y el otro borne de dicha sección seleccionada, conéctelo al borne correspondiente de **24 V~** del módulo G34.

- Conexiones entre Módulo G34 y TY34/EV

Con las fuentes de voltaje apagadas (PS1/EV y PS2A/EV), realice las siguientes conexiones

- Conectar el sensor STT en su terminal correspondiente, en el módulo G34 y la punta sensora en el orificio marcado como STT del módulo TY34/EV.
- Hacer las conexiones correspondientes para el “HEATER” y el “COOLER” entre el módulo G34 y la planta TY34/EV.
- Poner el interruptor STT ubicado en el bloque “STT CONDITIONER” en la posición “ON”.
- Poner el interruptor del bloque “TEMPERATURE METER” en posición “STT”. **NOTA: SI SU MÓDULO G34 INCLUYE LA ETAPA PARA EL TRANSDUCTOR “NTC CONDITIONER”, poner el interruptor del bloque “TEMPERATURE METER” en posición “STT-NTC”.**
- Poner el interruptor del bloque “COOLER POWER AMPLIFIER” en la posición “OFF”.

- Calibración del Módulo G34 a la temperatura ambiente registrada por el sensor STT.

- Mover el potenciómetro “T SET POINT” en su valor mínimo.
- Conectar la salida del bloque “SET POINT” (borne 2) al borne 3 del bloque “ERROR AMPLIFIER”. Conectar la salida del “STT CONDITIONER” (**borne 22**) al borne 4.
- NOTA: SI SU MÓDULO G34 INCLUYE LA ETAPA PARA EL “NTC CONDITIONER”, en este caso conectar la salida del “STT CONDITIONER” (borne 23) al borne 4**
- Encender la fuente PS1/EV.
- Colocar las puntas del multímetro entre la salida del bloque “ERROR AMPLIFIER” (borne 5) y tierra; mover la perilla “AMBIENT T” hasta registrar un voltaje de 0 Volts. Apagar la fuente PS1/EV.

- Para tomar mediciones con el multímetro se sugiere utilizar los caimanos incluidos con éste, pues así se evita dañar los cables banana-banana. En la figura 6 se muestra la forma correcta de utilizar dicho multímetro.

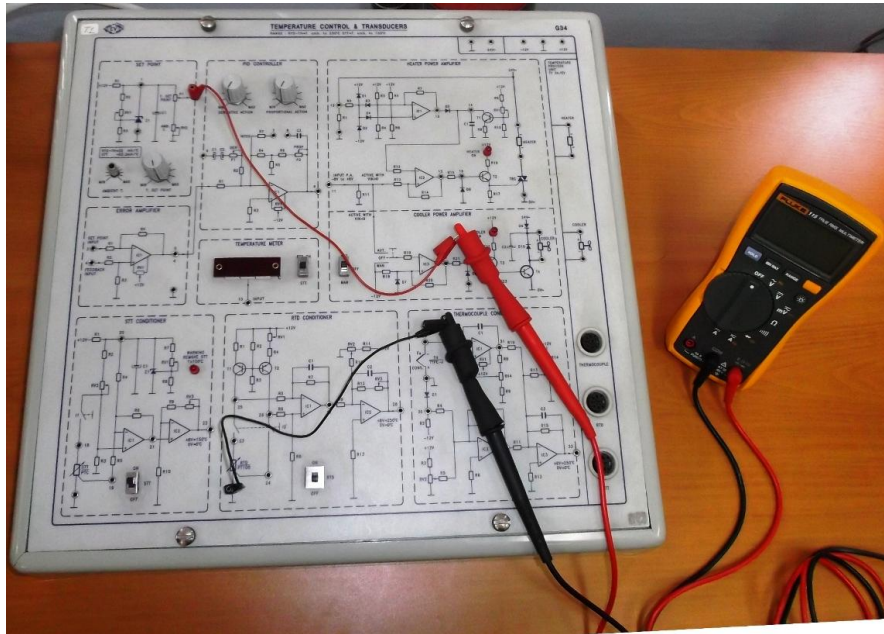


Fig. 6. Forma correcta de utilizar el multímetro y los caimanes.

• **Respuesta del sistema en Malla Abierta.**

- Desconecte todos los bornes del punto anterior.
- Para fijar un valor de referencia de 100 °C, conecte el borne 10 al borne 2.
- Encienda la fuente PS1/EV y mueva la perilla de “T SET POINT” hasta que se registre en el display un valor de 100°C.
- Ya fijo este valor, desconecte el borne 2 del borne 10.

- Poner el interruptor STT ubicado en el bloque “STT CONDITIONER” en la posición “ON”.

- Poner el interruptor del bloque “TEMPERATURE METER” en posición “STT”

NOTA: SI SU MÓDULO G34 INCLUYE LA ETAPA PARA EL “NTC CONDITIONER”, en este caso poner el interruptor del bloque “TEMPERATURE METER” en posición “STT –NTC”.

- Poner el interruptor del bloque “COOLER POWER AMPLIFIER” en la posición “AUT”.

Verifique que las fuentes estén apagadas y realice el alambrado entre bloques que se muestra en la figura 7.

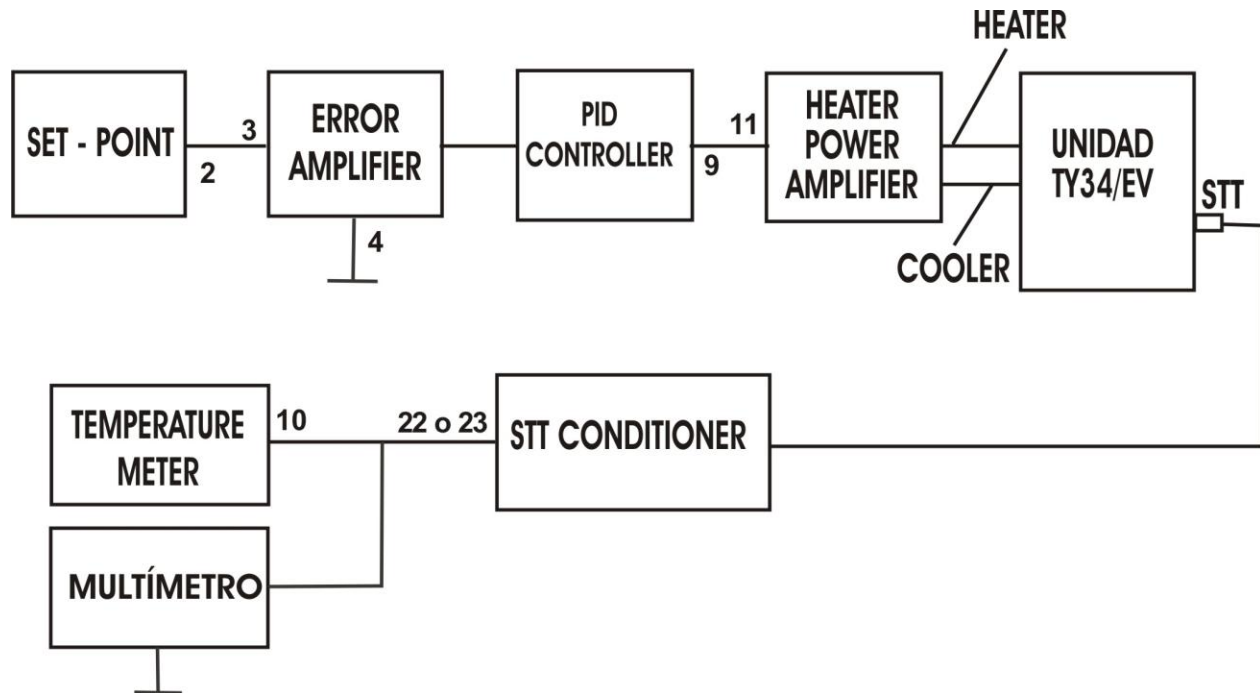


Fig. 7. Sistema de temperatura en malla abierta.

- Encienda las fuentes, asegurándose de encender primero la fuente PS1/EV.
- Con el multímetro tome lecturas de voltaje en borne 10 y temperatura cada 20 segundos, adicionalmente tome la lectura de la señal de error en el borne 5 anote los datos en la **Tabla 1**.
- En el bloque “COOLER POWER AMPLIFIER” coloque el interruptor en la posición AUT.
- Cuando la temperatura llegue a 100 °C, haga 4 lecturas más observe lo que pasa en la planta, desconecte el borne 9 del 11 para detener el proceso de calentamiento.

Con la finalidad de efectuar un enfriamiento gradual del módulo TY34/EV efectuar lo siguiente:

- En el bloque “SET POINT” poner al mínimo el potenciómetro “T SET POINT”.
- En el bloque “COOLER POWER AMPLIFIER” colocar el interruptor en la posición “MAN” para activar el ventilador contenido dentro de la unidad TY35/EV. Verifique que el led indicador “COOLER ON” esté encendido y el “HEATER ON” apagado.
- Cuando la temperatura se aproxime a la temperatura ambiente inicial, coloque el interruptor del bloque “COOLER POWER AMPLIFIER” en la posición “OFF” para apagar el ventilador. Apague las fuentes de alimentación.
- Anote sus observaciones sobre los resultados obtenidos.

• Respuesta del sistema en Malla Cerrada.

Para fijar un valor de referencia de 60 °C, conecte el borne 10 al borne 2, encienda la fuente PS1/EV y mueva la perilla de “T SET POINT” hasta que se registre en el display un valor de 60°C. Ya fijo este valor, desconecte el borne 2 del borne 10. Apague la fuente PS1/EV

Acción Proporcional:

- Verifique que las fuentes estén apagadas. Realice el alambrado mostrado en el diagrama de la figura 8.

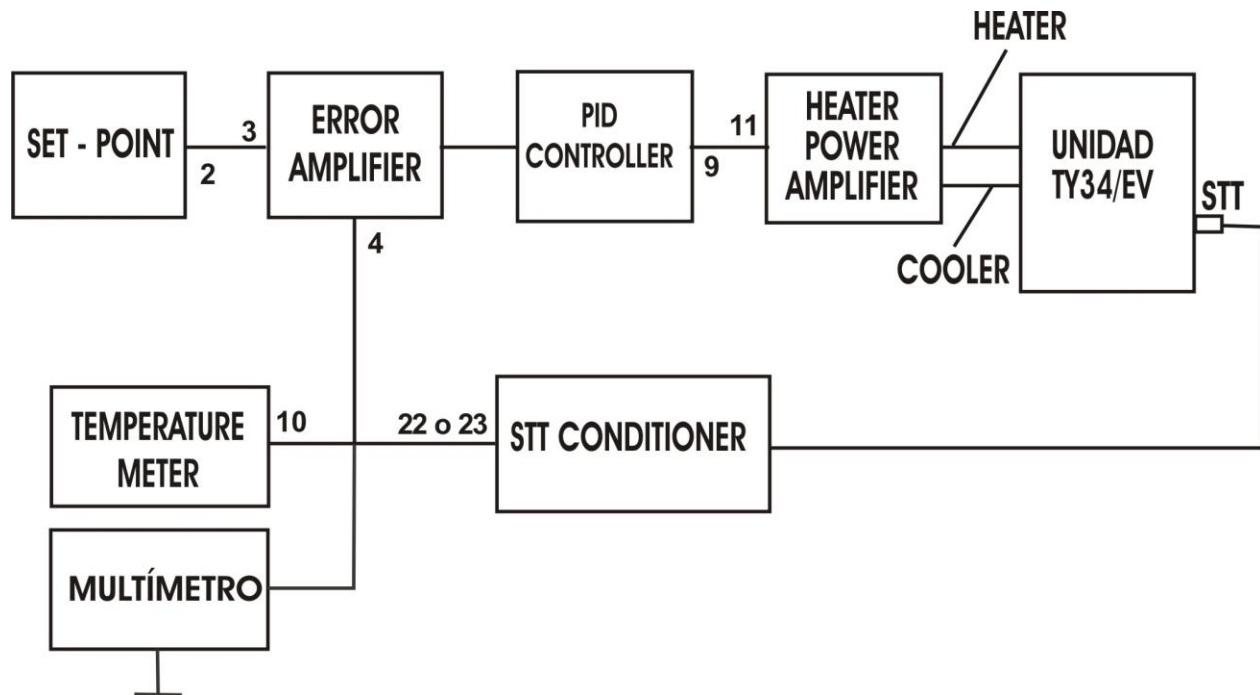


Fig. 8. Sistema de control de temperatura en malla cerrada.

- En el bloque “COOLER POWER AMPLIFIER” colocar el interruptor en la posición “AUT”.
- Poner la perilla Kp del bloque “PID CONTROLLER” en el valor máximo.
- Encienda las fuentes, asegurándose de encender primero la fuente PS1/EV.
- NOTA: Tomar lecturas cada 20 segundos tomando 3 o 4 oscilaciones, si tiene dudas pregunte a su profesor de laboratorio. Adicionalmente tome la lectura de la señal de error en el borne 5, registre la información en la **Tabla 2**.

Con la finalidad de efectuar un enfriamiento gradual del módulo TY34/EV efectuar lo siguiente:

- En el bloque “SET POINT” poner al mínimo el potenciómetro “T SET POINT”.
- En el bloque “COOLER POWER AMPLIFIER” colocar el interruptor en la posición “MAN” para activar el ventilador contenido dentro de la unidad TY35/EV. Verifique que el led indicador “COOLER ON” esté encendido y el “HEATER ON” apagado.
- **De ser necesario desconecte el borne 9 del 11 para detener el proceso de calentamiento.**
- Cuando la temperatura se aproxime a la temperatura ambiente inicial, coloque el interruptor del bloque “COOLER POWER AMPLIFIER” en la posición “OFF” para apagar el ventilador. Apague las fuentes de alimentación.
- Anote sus observaciones sobre los resultados obtenidos.

Acción Proporcional Integral

- Fijar un valor de referencia de 60 °C en el set-point, con las instrucciones ya descritas en la sección Respuesta del sistema en Malla Cerrada.
- Verifique que las fuentes estén apagadas. Realice el alambrado mostrado en el diagrama de la figura 8 y agregue la conexión entre los bornes 7 y 8.
- En el bloque “COOLER POWER AMPLIFIER” colocar el interruptor en la posición “AUT”.
- Poner la perilla Kp y el potenciómetro “INTEGRATIVE ACTION” del bloque “PID CONTROLLER” en valor medio.
- Encienda las fuentes, asegurándose de encender primero la fuente PS1/EV.

- NOTA: Tomar lecturas cada 20 segundos tomando 3 o 4 oscilaciones, si tiene dudas pregunte a su profesor de laboratorio. Adicionalmente tome la lectura de la señal de error en el borne 5, registre la información en la **Tabla 3**.

Con la finalidad de efectuar un enfriamiento gradual del módulo TY34/EV efectuar lo siguiente:

- En el bloque “SET POINT” poner al mínimo el potenciómetro “T SET POINT”.
- En el bloque “COOLER POWER AMPLIFIER” colocar el interruptor en la posición “MAN” para activar el ventilador contenido dentro de la unidad TY35/EV. Verifique que el led indicador “COOLER ON” esté encendido y el “HEATER ON” apagado.
- **De ser necesario desconecte el borne 9 del 11 para detener el proceso de calentamiento.**
- Cuando la temperatura se aproxime a la temperatura ambiente inicial, coloque el interruptor del bloque “COOLER POWER AMPLIFIER” en la posición “OFF” para apagar el ventilador. Apague las fuentes de alimentación.
- Anote sus observaciones sobre los resultados obtenidos.

Acción Proporcional Derivativa

- Fijar un valor de referencia de 60 °C en el set-point, con las instrucciones ya descritas en la sección Respuesta del sistema en Malla Cerrada.
- Verifique que las fuentes estén apagadas. Realice el alambrado mostrado en el diagrama de la figura 8 y agregue la conexión entre los bornes 5 y 6.
- En el bloque “COOLER POWER AMPLIFIER” colocar el interruptor en la posición “AUT”.
- Poner la perilla K_p y el potenciómetro “DERIVATIVE ACTION” del bloque “PID CONTROLLER” en valor medio.
- Encienda las fuentes, asegurándose de encender primero la fuente PS1/EV.
- NOTA: Tomar lecturas cada 20 segundos tomando 3 o 4 oscilaciones, si tiene dudas pregunte a su profesor de laboratorio. Adicionalmente tome la lectura de la señal de error en el borne 5, registre la información en la **Tabla 4**.

Con la finalidad de efectuar un enfriamiento gradual del módulo TY34/EV efectuar lo siguiente:

- En el bloque “SET POINT” poner al mínimo el potenciómetro “T SET POINT”.
- En el bloque “COOLER POWER AMPLIFIER” colocar el interruptor en la posición “MAN” para activar el ventilador contenido dentro de la unidad TY35/EV. Verifique que el led indicador “COOLER ON” esté encendido y el “HEATER ON” apagado.
- **De ser necesario desconecte el borne 9 del 11 para detener el proceso de calentamiento.**
- Cuando la temperatura se aproxime a la temperatura ambiente inicial, coloque el interruptor del bloque “COOLER POWER AMPLIFIER” en la posición “OFF” para apagar el ventilador. Apague las fuentes de alimentación.
- Anote sus observaciones sobre los resultados obtenidos.

Acción Proporcional Integral Derivativa

- Verifique que las fuentes estén apagadas. Al diagrama de la figura 8, agregue las conexiones del borne 5 con el 6 y del borne 7 con el 8. Mover la perilla τ_D y τ_I en su posición central, al igual que la perilla K_p.
- En el bloque “COOLER POWER AMPLIFIER” colocar el interruptor en la posición AUT.
- Encienda las fuentes y tome lecturas cada 20 segundos hasta tener 3 o 4 oscilaciones.
- Cuando termine las lecturas, el proceso de calentamiento se detendrá. Desconecte el borne 9 del borne 11.

Con la finalidad de efectuar un enfriamiento gradual del módulo TY34/EV efectuar lo siguiente:

- En el bloque “SET POINT” poner al mínimo el potenciómetro “T SET POINT”.
- En el bloque “COOLER POWER AMPLIFIER” colocar el interruptor en la posición “MAN” para

activar el ventilador contenido dentro de la unidad TY35/EV. Verifique que el led indicador “COOLER ON” esté encendido y el “HEATER ON” apagado.

- De ser necesario desconecte el borne 9 del 11 para detener el proceso de calentamiento.

- Cuando la temperatura se aproxime a la temperatura ambiente inicial, coloque el interruptor del bloque “COOLER POWER AMPLIFIER” en la posición “OFF” para apagar el ventilador. Apague las fuentes de alimentación.

- Desconecte el alambrado entre bloques que se tiene en el módulo G34, anote sus observaciones sobre los resultados obtenidos.

TABLAS

Tiempo (20 segundos)	Temperatura °C	STT V	Señal de error (V)
0	$t_a =$		
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			

Tabla 1: Malla abierta

Tiempo (20 segundos)	Temperatura °C	STT V	Señal de error (V)
0	$t_a =$		
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			
31			

**Tabla 2: Malla cerrada
Acción proporcional**

TABLAS

[illegible]**Tabla 3: Malla cerrada PI**

Tiempo (20 segundos)	Temperatura °C	STT V	Señal de error (V)
0	t _a =		
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			
31			

Tabla 4: Malla cerrada PD

TABLAS

Tiempo (20 segundos)	Temperatura °C	STT V	Señal de error (V)
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			

Tabla 5: Malla cerrada PID

CONTROL DE TEMPERATURA

(Hoja de resultados)

1. ¿Cuál es el objetivo de la práctica?
2. Para el experimento "respuesta del sistema en malla abierta", con los datos de la tabla 1 trace una gráfica de temperatura contra voltaje (no utilice la columna Señal de error (V)).
3. ¿Qué concluye de la operación del sistema en malla abierta?
4. Con los datos de la tabla 1 trace una gráfica tiempo contra voltaje (grafique las columnas tiempo vs V y tiempo vs señal de error (V) sobre el mismo sistema de ejes coordenados), justifique el comportamiento de la señal de error.

5. Con los datos de las tablas 2, 3, 4 y 5 trace las graficas de **tiempo contra voltaje** y **tiempo contra temperatura** para cada transductor, no grafique la señal de error.
- 3.- De lo observado en la gráfica correspondiente, ¿qué concluye del efecto de la acción **proporcional** en malla cerrada?
- 4.- De lo observado en la gráfica correspondiente, ¿qué concluye del efecto de la acción **PI** en malla cerrada?
- 5.- De lo observado en la gráfica, ¿qué concluye del efecto de la acción **PD** en malla cerrada?
- 6.- De lo observado en la gráfica, ¿qué concluye del efecto de la acción **PID** en malla cerrada?
- 7.- Analice y presente argumentos sobre el comportamiento de la señal de error para los datos de las tablas 2, 3, 4 y 5.
- 8.- Anote sus conclusiones (personales y por brigada).