



## **Sistemas de Control Continuo**

### **Actividad de Aprendizaje y Evaluación 0**

#### **Petrochemical Reactor Simulation of PID Control**

Sumie Arai Erazo<sup>1</sup>

Departamento de ciencias e Ingeniería, Universidad Iberoamericana Puebla

Modelado de Control Continuo

Dr. Renán Contreras Gómez

Septiembre 10, 2025

---

<sup>1</sup> Estudiante de Ingeniería en mecatrónica, Universidad Iberoamericana de Puebla, 199796@iberopuebla.mx

## Introducción

En la presente práctica se llevó a cabo la simulación de un sistema dinámico de control continuo aplicado a un horno, con el objetivo de analizar el comportamiento de la planta mediante la implementación de un controlador. A pesar de no contar con experiencia previa en el área de control, la actividad busca comprender cómo el modelo matemático de la planta responde a las variaciones de los parámetros  $K_p$ ,  $K_i$  y  $K_d$ . De esta forma, se pretende observar la influencia de cada componente del controlador en el desempeño del sistema, evaluando aspectos como la estabilidad, el tiempo de respuesta y la precisión en el seguimiento del valor de referencia o setpoint.

## Marco teórico

Las variables generadas por un producto o proceso industrial pueden clasificarse en dos tipos principales: señales todo-nada, o binarias, y señales continuas. El control continuo actúa sobre estas últimas, regulando su comportamiento en tiempo real.

Un sistema de control continuo es aquel en el que las señales en diferentes puntos del sistema son funciones continuas del tiempo. Esto significa que el monitoreo y el ajuste de la salida se realizan de manera constante y suave, a diferencia de los sistemas discretos, que operan mediante muestreo en intervalos específicos. Este tipo de control se emplea en la automatización de procesos donde las variables físicas como temperatura, presión o velocidad, que cambian de forma continua en el tiempo y se regulan mediante sensores, controladores y actuadores que trabajan simultáneamente.

Dentro de los sistemas de control, se distinguen dos configuraciones principales:

**Sistema de Control de Lazo Abierto:** En este tipo de sistema, la señal de salida no influye en la acción de control. No existe retroalimentación, por lo que la precisión depende de una calibración previa y el sistema es vulnerable a perturbaciones externas.

**Sistema de Control de Lazo Cerrado:** En estos sistemas, la señal de salida se mide y se compara con la entrada deseada, generando una señal de error que se utiliza para ajustar la acción de control. Este mecanismo de retroalimentación hace que el sistema sea menos sensible a perturbaciones y más preciso. Los sistemas de lazo cerrado suelen modelarse con ecuaciones diferenciales.

En ambos casos, la planta representa el proceso físico a controlar, es decir, el objeto sobre el cual actúa la señal de control con el fin de modificar su comportamiento dinámico y lograr que la salida siga de manera adecuada la referencia deseada.

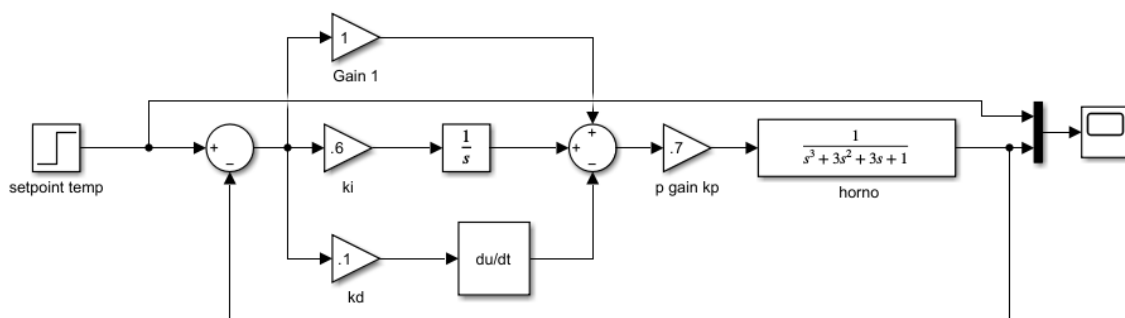
Un ejemplo utilizado con frecuencia en sistemas de lazo cerrado es el controlador PID (Proporcional–Integral–Derivativo). Este dispositivo calcula la señal de control combinando tres acciones: una proporcional al error instantáneo, otra proporcional a la integral del error y una tercera proporcional a la derivada del error que permite mejorar la estabilidad, la rapidez de respuesta y la exactitud del sistema. Su ecuación general en el tiempo se describe como:

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int e(t) dt + K_d \dot{e}(t)$$

Donde  $u(t)$  representa la salida del controlador o señal de control,  $e(t)$  el error y  $k_p$ ,  $k_i$  y  $k_d$  son las ganancias del control, proporcional, integral y derivativa respectivamente.

## Metodología

Para esta práctica se empleó el software MATLAB con la librería Simulink, con la cual se construyó el modelo de un sistema de control PID aplicado a un horno. El esquema se desarrolló utilizando los bloques de suma, derivada, integral, función de transferencia, así como un bloque Step, que representó la señal de referencia o setpoint de temperatura. La salida del sistema fue conectada a un bloque Scope, con el fin de poder visualizar las gráficas del comportamiento dinámico de la planta bajo diferentes configuraciones de parámetros.



El procedimiento de ajuste o sintonización de los parámetros del controlador se realizó siguiendo la estrategia que se requería de la práctica:

Se inició el experimento probando únicamente la ganancia proporcional, manteniendo en cero los valores de  $K_i$  y  $K_d$ . El valor de  $K_p$  se modificó dentro del rango de 0.5 a 3.0, utilizando incrementos de 0.5. Para cada valor se generó una gráfica de respuesta del sistema, con el propósito de analizar el impacto de la ganancia en la rapidez y estabilidad del control. Como resultado de esta etapa, se seleccionó  $K_p=1.5$ .

Posteriormente usando el valor elegido de  $K_p$ , se buscó un valor para  $K_i$  entre **0.1 y 0.4** en incrementos de 0.1 y se optó por  **$K_i=0.3$**  y finalmente, se incluyó la acción derivativa para mejorar la estabilidad y reducir las oscilaciones en la salida del sistema. Se evaluaron los valores de  $K_d=0.1$  y  $K_d=0.2$ , ya que otros valores mayores o menores no mostraban un cambio significativo o creaban perturbaciones.

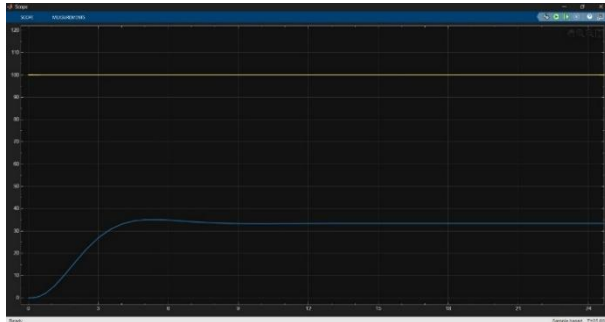
Al comparar la gráfica con la referencia se notaban diferencias por lo que se probaron valores intermedios dentro de los intervalos propuestos de cada variable.

Posteriormente se graficó los valores de temperatura con las variables  $K_p=1.0$   $K_i=5.0$  y  $K_d=0.6$  analizando su comportamiento.

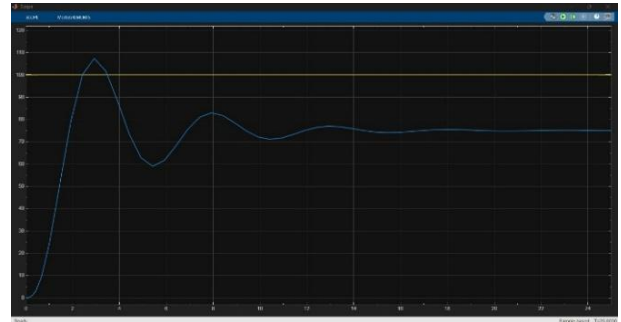
## Resultados

Para los valores de prueba de  $k_p$  se observó que, al incrementar su magnitud, la señal de salida alcanzaba con mayor rapidez el valor de referencia (*setpoint*). No obstante, conforme el valor de  $K_p$  aumentaba, también se presentaban fluctuaciones más pronunciadas en la respuesta del sistema. Con base en este

comportamiento, se seleccionó  $K_p=1.5$  como valor adecuado para el controlador. A continuación, se presenta la gráfica correspondiente a  $K_p=0.5$  y la gráfica de  $K_p=3$ .

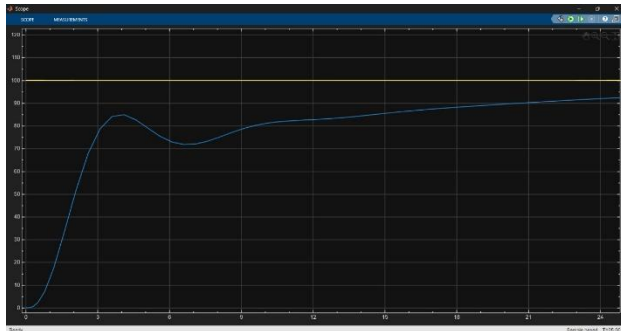


1. Gráfica  $K_p=0.5$

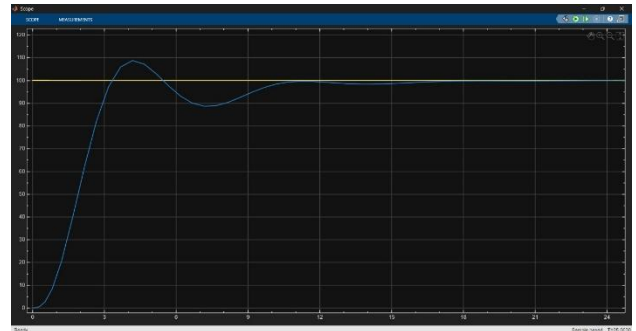


2. Gráfica  $K_p=3.0$

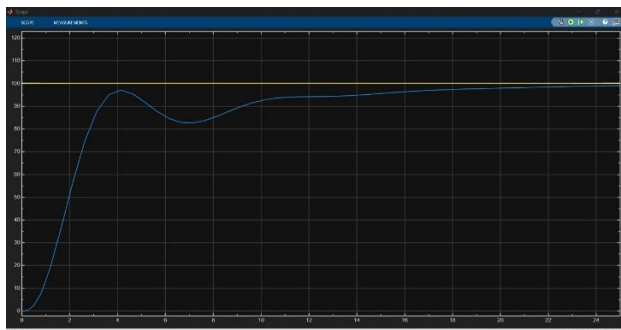
Al probar con los valores de  $k_i$ , se observó que la salida se acercaba más al setpoint después de las oscilaciones iniciales. Sin embargo al igual que  $k_p$ , un valor muy grande de  $k_i$  provocaba perturbaciones por lo que se encontró un balance entre perturbación y corrección del error con el valor  $k_i=0.3$ .



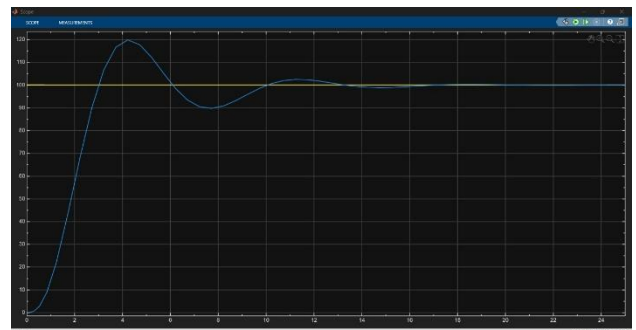
3. Gráfica  $K_i=0.1$



5. Gráfica  $K_i=0.3$

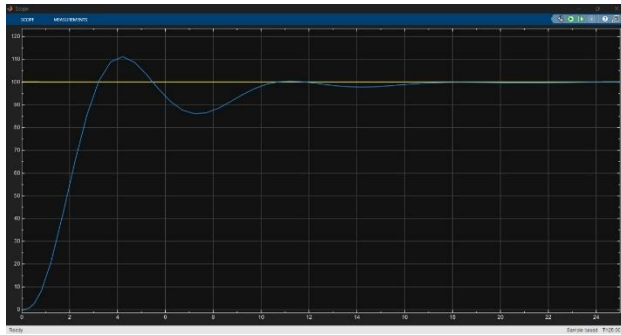


4. Gráfica  $K_i=0.2$

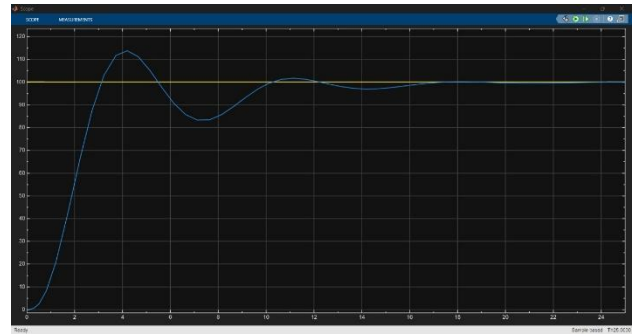


6. Gráfica  $K_i=0.4$

Por ultimo entre los valores  $k_d=0.1$  y  $k_d=0.2$ , se eligió  $k_d=0.2$ . Las graficas de los dos valores se muestran a continuación:

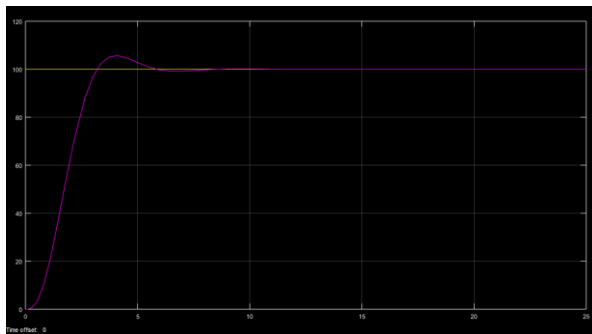


7. Gráfica  $K_d=0.1$

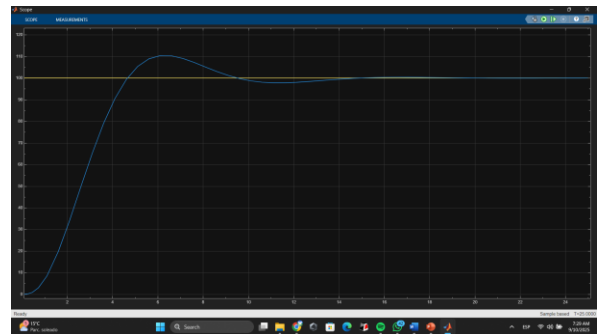


8. Gráfica  $K_d=0.2$

Se encontró que con los valores seleccionados  $K_p=1.5$ ,  $K_i=0.3$  y  $K_d=0.2$ , aún existían fluctuaciones considerables por lo que las variables fueron cambiadas a  $K_p=0.7$ ,  $K_i=0.6$  y  $K_d=0.1$ . Así, el comportamiento del sistema logró imitar de manera satisfactoria la gráfica de referencia proporcionada en la práctica. A continuación se muestra la comparativa de la gráfica proporcionada y la gráfica que se aproximó con los datos seleccionados.

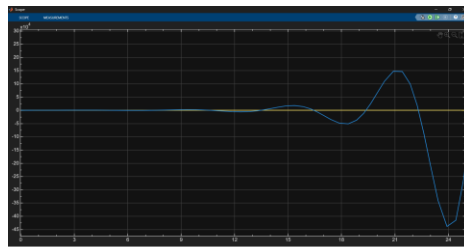


9. Referencia



10. Gráfica obtenida

Finalmente, para los valores de  $K_p=1.0$ ,  $K_i=5.0$  y  $K_d=0.6$ , se obtuvo el siguiente comportamiento:



11. Gráfica de valores predeterminados

Podemos observar que, al inicio, la temperatura está fielmente apegada al setpoint pero conforme pasa el tiempo se desestabiliza con rapidez y se aleja del valor deseado provocando overshoots y undershoots cada vez mayores.

## Conclusiones

Se debe aproximar correctamente a los valores de  $K_p$ ,  $K_i$  y  $K_d$  para que el controlador PID logre que la temperatura de salida siga de el valor de referencia. Una selección incorrecta de estos parámetros puede provocar que el sistema presente oscilaciones excesivas, tiempos de respuesta lentos o, en el peor de los casos, inestabilidad.

La práctica permitió observar de forma experimental cómo cada término del controlador influye en el comportamiento de la planta: el proporcional determina la rapidez inicial de la respuesta, el integral elimina el error en estado estacionario y el derivativo ayuda a reducir el sobreimpulso y mejorar la estabilidad. De esta manera, se comprendió que la sintonización del PID no consiste en escoger valores al azar, sino en encontrar un equilibrio entre rapidez, precisión y estabilidad.

## Referencias bibliográficas

- Ogata, K. (2010). *Modern control engineering* (5th ed., p. 2). Prentice Hall.
- Dorf, R. C., & Bishop, R. H. (2017). *Modern control systems* (13th ed., p. 2). Pearson.
- Nise, N. S. (2019). *Control systems engineering* (8th ed., p. 6). Wiley.
- OpenAI. (2025). *ChatGPT (GPT-5)* [Modelo de lenguaje]. OpenAI. <https://chat.openai.com>