

Informe Semana 05

Control de temperatura de un tanque en lazo abierto y cerrado

Autor: Ignacio Baltazar Riquelme Vergara

Correo: i.riquelme10@ufromail.cl

Fecha: 23-09-2026

Resumen

Se caracteriza un sistema hipotético de control de temperatura de un tanque por medio de dos diagramas de bloques y una respuesta a escalón calculada. La salida es el incremento de temperatura respecto de una condición inicial; la entrada manipulada es el porcentaje de calentamiento. Se adopta un modelo de primer orden con ganancia de $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}/\%$ y constante de tiempo de 60 s. En lazo abierto, una consigna fija de 20 % alcanza nominalmente un incremento final de $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ en forma gradual. En lazo cerrado, un sensor ideal y un controlador proporcional de $8\text{ }^{\circ}\text{C}/\%$ aceleran la respuesta: el modelo llega al 63,2 % de su valor final en 12 s, pero se estabiliza en $8\text{ }^{\circ}\text{C}$ para una referencia de $10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Las tres figuras muestran por qué medir la salida permite corregir cambios, y también por qué una estrategia proporcional simple puede dejar error permanente. Todos los números son supuestos académicos; no representan datos medidos ni una sintonización de una instalación.

1. Introducción

Un mismo proceso puede describirse con palabras, un diagrama de señales o una curva de respuesta. Para analizarlo en equipo, los diagramas hacen explícito qué entra al sistema, qué se mide y cómo se usa esa medida; la respuesta temporal añade información sobre la rapidez y el resultado final. National Instruments (2025) explica que un lazo de control compara la variable medida con la referencia y modifica la acción sobre la planta.

Se elige un tanque térmico hipotético como continuidad del tema de medición de temperatura del Informe Semana 04. El análisis se limita a pequeñas variaciones respecto de un punto de operación, de modo que $y(t)$ significa cambio de temperatura en $^{\circ}\text{C}$, no temperatura absoluta. El trabajo compara una orden fija de calentamiento con una acción proporcional basada en una medición ideal, y comunica las diferencias mediante tres figuras originales.

2. Objetivo

Caracterizar un tanque térmico hipotético con representaciones de lazo abierto y lazo cerrado y con una respuesta a escalón, para identificar sus señales, comparar su comportamiento temporal y precisar las decisiones técnicas que esas representaciones ayudan a comunicar.

3. Metodología

Se definió un caso académico, sin mediciones de un equipo real, tomando como continuidad la variable temperatura de la Semana 04. Se identificaron la referencia $r(t)$ [$^{\circ}\text{C}$], el error $e(t)$ [$^{\circ}\text{C}$], la acción $u(t)$ [% de calentamiento], la salida $y(t)$ [$^{\circ}\text{C}$ de aumento] y la perturbación $d(t)$ [$^{\circ}\text{C}$ equivalentes de efecto térmico]. Se supusieron un actuador de calentamiento, un tanque como proceso y una medición de temperatura representada por $H(s) = 1$. Para describir la planta se usó $G(s) = K/(\tau s + 1)$ (1), con $K = 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}/\%$ y $\tau = 60\text{ s}$. Ambos valores fueron elegidos para ilustrar el método; no proceden de una ficha técnica.

En lazo abierto se calculó $u(t) = F \cdot r(t)$ (2), con $F = 2 \text{ } ^\circ\text{C}/\%$, sin retorno de la salida. En lazo cerrado se empleó $u(t) = K_p \cdot [r(t) - y(t)]$ (3), con $K_p = 8 \text{ } ^\circ\text{C}/\%$, señal de realimentación unitaria y medición sin retardo. En los dos casos se aplicó en $t = 0 \text{ s}$ un escalón de referencia desde 0 a $+10 \text{ } ^\circ\text{C}$ respecto de la condición inicial y se fijó $d(t) = 0$ durante la comparación de la Figura 3. Las curvas se obtuvieron de las soluciones analíticas de primer orden, no de una planta medida ni de una simulación con software de control. Se revisaron las cuentas de ganancias, límites y constantes de tiempo por separado, y se contrastó la interpretación del escalón y de la realimentación con material docente y técnico (Massachusetts Institute of Technology, 2025; National Instruments, 2025).

3.1. Uso de IA

Se utilizó ChatGPT, modelo GPT-6, para proponer el caso térmico, redactar la primera versión, elaborar las figuras originales y comprobar las operaciones del modelo. El encargo humano estableció la continuidad con informes anteriores, la claridad de presentación y la necesidad de seguir la pauta de la Semana 05. La revisión técnica preliminar comprobó que la fuente de MIT describe la respuesta exponencial de un sistema de primer orden y que National Instruments define referencia, sensor, error y parámetros temporales. También verificó algebraicamente $K \cdot F = 1$, $K \cdot K_p = 4$, $y_\infty \text{ cerrado} = [4/(1+4)] \cdot 10 = 8 \text{ } ^\circ\text{C}$ y $\tau \text{ cerrado} = 60/(1+4) = 12 \text{ s}$. Se diferenciaron esos cálculos de los parámetros hipotéticos y de los resultados que solo podrían comprobarse en una planta real.

Distribución de contribuciones conforme al marco Ciencia Generativa (Alarcón, 2026a): Ignacio Baltazar Riquelme Vergara (humano): definió el propósito de continuar los informes y el enfoque de claridad; indicó seguir la pauta de la Semana 05 y las consideraciones anteriores; revisó personalmente los cálculos, las tres figuras, las fuentes, los supuestos hipotéticos y la licencia CC BY 4.0, y validó el texto antes de su entrega. ChatGPT, GPT-6 (IA): propuso el tanque, desarrolló el modelo matemático, consultó fuentes, calculó las respuestas, elaboró las figuras y redactó el primer borrador; realizó una revisión técnica preliminar. La validación académica final de esta versión corresponde al autor.

4. Resultados

4.1. Sistema y modelo común

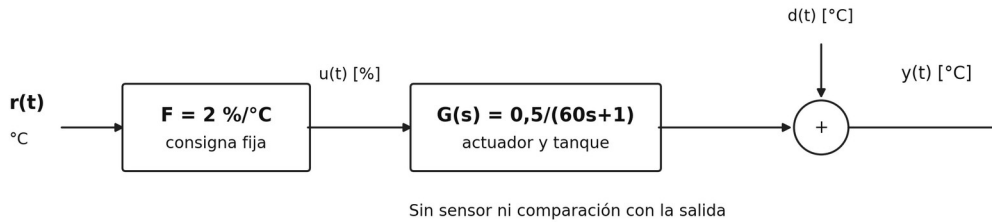
La variable de interés $y(t)$ es el aumento de temperatura del líquido respecto de un estado inicial constante. El actuador hipotético modifica $u(t)$, el porcentaje de calentamiento, entre 0 y $100 \text{ } \%$. En lazo cerrado el sensor proporciona $y_m(t) = y(t)$, sin ruido ni demora bajo $H(s) = 1$. Una pérdida de calor al ambiente puede representarse por una perturbación $d(t)$ de signo negativo en la salida. Para la comparación temporal se considera que no hay perturbación, que $y(0) = 0 \text{ } ^\circ\text{C}$ de incremento y que el sistema opera dentro del intervalo lineal supuesto.

La planta común es $G(s) = Y(s)/U(s) = 0,5/(60s + 1)$ (4), con s en s^{-1} . Equivale a $60 \cdot dy/dt + y = 0,5 \cdot u$ (5) cuando $d = 0$, donde y se mide en $^\circ\text{C}$, u en $\%$ y t en s . La forma exponencial de la respuesta a escalón y el significado de la constante de tiempo son propiedades del modelo de primer orden descritas en material de MIT (Massachusetts Institute of Technology, 2025).

4.2. Diagrama de lazo abierto

La Figura 1 muestra una orden fija calculada a partir de la referencia: $r(t)$ pasa por $F = 2 \text{ } ^\circ\text{C}/\%$ y produce $u(t) = 20 \text{ } \%$ para el escalón de $+10 \text{ } ^\circ\text{C}$. El bloque G incluye el actuador y el tanque. Puede haber una perturbación $d(t)$ en la salida, pero no se mide $y(t)$ ni se devuelve información para corregirla.

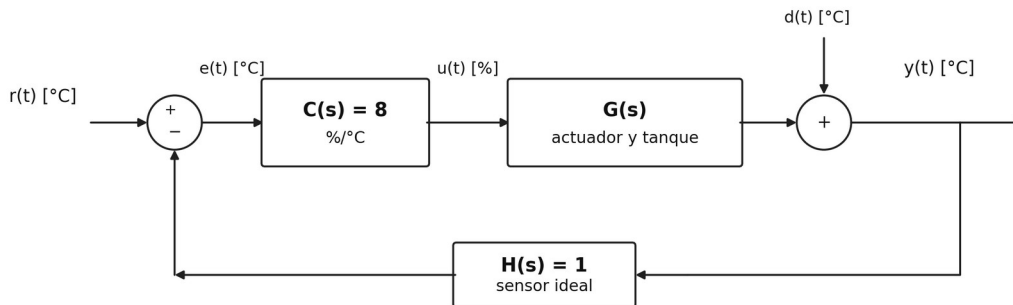
Figura 1. Lazo abierto del tanque térmico hipotético. La referencia determina una acción de calentamiento fija; la salida $y(t)$ no retorna a la entrada. Elaboración propia.



4.3. Diagrama de lazo cerrado

En la Figura 2, el comparador calcula $e(t) = r(t) - y_m(t)$. El controlador $C(s) = K_p = 8 \text{ } \%/^{\circ}\text{C}$ transforma ese error en $u(t)$, y el sensor ideal $H(s) = 1$ devuelve la medición. Con $d(t) = 0$, la transferencia entre referencia y salida resulta $Y(s)/R(s) = C(s)G(s)/[1 + C(s)G(s)] = 4/(60s + 5) = 0,8/(12s + 1)$ (6). Una perturbación que altere la salida también aparece en la medición y cambia el error en sentido correctivo, siempre dentro de los supuestos del modelo.

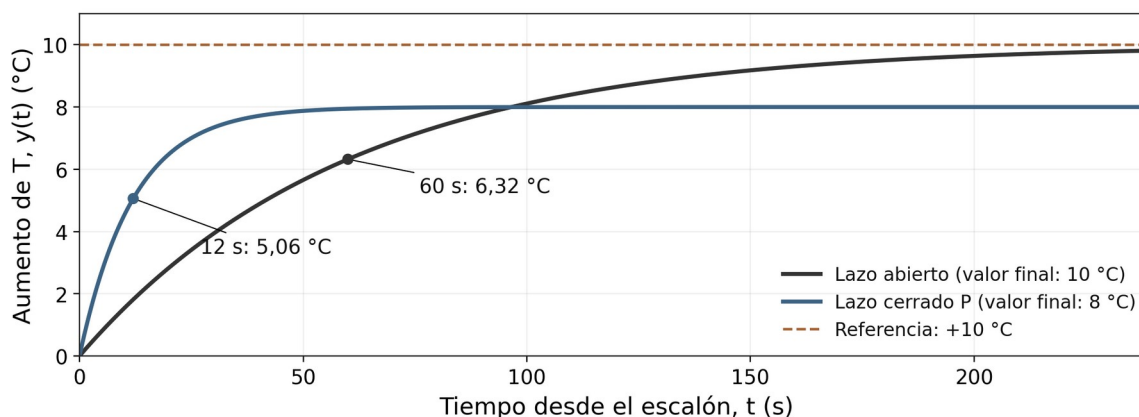
Figura 2. Lazo cerrado del mismo tanque. La señal medida $y_m(t)$ se resta de la referencia para generar el error; $d(t)$ se añade como efecto térmico externo a la salida. Elaboración propia.



4.4. Respuesta temporal al escalón

La Figura 3 compara dos soluciones para $r(t) = +10 \text{ }^{\circ}\text{C}$ desde $t = 0 \text{ s}$, $y(0) = 0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ de incremento y $d(t) = 0$. En lazo abierto, con $u = 20 \text{ } \%$, $y_{LA}(t) = 10 \cdot [1 - \exp(-t/60)] \text{ }^{\circ}\text{C}$ (7). En lazo cerrado proporcional, $y_{LC}(t) = 8 \cdot [1 - \exp(-t/12)] \text{ }^{\circ}\text{C}$ (8). En $t = 60 \text{ s}$ la primera curva alcanza $6,32 \text{ }^{\circ}\text{C}$, que equivale al $63,2 \text{ } \%$ de su valor final de $10 \text{ }^{\circ}\text{C}$; en $t = 12 \text{ s}$ la segunda alcanza $5,06 \text{ }^{\circ}\text{C}$, también el $63,2 \text{ } \%$ de su propio valor final de $8 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Figura 3. Respuesta calculada a un escalón de referencia de +10 °C desde una salida inicial de 0 °C de incremento, sin perturbación. Eje horizontal: tiempo (s); eje vertical: aumento de temperatura (°C). Curvas construidas a partir de las ecuaciones indicadas en el texto; no son datos experimentales.



Ambas respuestas son monótonas en este modelo: no presentan sobreimpulso ni oscilaciones. El lazo abierto tiende a 10 °C y alcanza el 95 % de su propio valor final cerca de 180 s; el lazo cerrado tiende a 8 °C y alcanza el 95 % de ese valor cerca de 36 s. Por tanto, al final permanece un error de referencia de 2 °C en la estrategia proporcional, aunque esta evoluciona más rápidamente.

5. Discusión

El lazo abierto llega exactamente a +10 °C solo porque la ganancia supuesta del tanque coincide con $F = 1/K$ y no ocurre perturbación. Si cambia esa ganancia o aparece una pérdida de calor, la orden del 20 % no se ajusta. La realimentación de la Figura 2 hace visible esa diferencia y modifica el calentamiento en función del error; es la razón para escoger un sensor si se necesita responder a cambios del proceso. En el ejemplo, el precio de usar solo control proporcional es un error permanente de 2 °C frente a la referencia. Una estrategia con acción integral podría reducir ese error, pero no se modeló ni se evaluó aquí.

La rapidez de 12 s que aparece en la Figura 3 es una consecuencia del modelo ideal y de la ganancia K_p elegida, no una promesa para un tanque físico. El retardo de medición, la capacidad térmica real, la saturación del actuador, el ruido y límites operativos pueden alterar la forma de la curva. La decisión técnica siguiente sería verificar la medición y obtener datos del proceso antes de escoger una estrategia de control definitiva. Los diagramas permiten a estudiantes e ingenieros hablar de las mismas señales y ubicar con precisión un sensor, una perturbación o una hipótesis faltante; la gráfica muestra qué se gana y qué se pierde con la comparación.

La IA ayudó a formular ecuaciones y dibujar las tres figuras, pero el control propuesto no ha sido validado experimentalmente. El autor revisó los cálculos, las figuras, las fuentes, los supuestos y la licencia antes de esta entrega. Esa revisión del informe no constituye una prueba de funcionamiento del tanque real.

6. Conclusiones

Para un tanque térmico hipotético, el lazo abierto convierte una referencia de +10 °C en una orden fija de calentamiento del 20 %. Bajo el modelo elegido alcanza el valor final en forma gradual, pero no dispone de una medición para corregir cambios. El lazo cerrado compara referencia y temperatura medida y responde más rápido en el ejemplo; con control proporcional simple se estabiliza a +8 °C y mantiene un error final de 2 °C. La comparación deja explícitas tanto la utilidad de realimentar como sus límites. Los diagramas de bloques identifican las responsabilidades de actuador, planta, sensor y controlador, mientras que la curva de escalón comunica condiciones iniciales, rapidez y valor final. Juntos proporcionan un lenguaje común para revisar hipótesis, discutir alternativas y decidir qué falta medir antes de aplicar el modelo a un proceso real.

7. Declaraciones

Autorizo expresamente la publicación académica de esta versión identificada del informe, con mi nombre, bajo la licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0). Se permite compartir y adaptar el trabajo, también con fines comerciales, siempre que se reconozca la autoría, se enlace la licencia y se indiquen los cambios realizados.

Enlace a la licencia: <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.es>

8. Bibliografía

- Alarcón, C. (2026a). Generative Science as an analytical framework for integrating the full capabilities of generative artificial intelligence into scientific research while preserving scientific recognition. Generative Science Preprints, 2026(07), 19055673.
<https://doi.org/10.5281/zenodo.19055673>
- Alarcón, C. (2026b, 22 de septiembre). Requerimientos Informe Semana 05 [Guía de actividad]. Curso de Automatización, Universidad de La Frontera.
- Massachusetts Institute of Technology. (2025). 1st-order differential equations and proportional control. 6.310 Spring 2025, Prelab 3.
https://introcontrol.mit.edu/spring25/prelabs/prelab3/propc_deriveq
- National Instruments. (2025, 7 de marzo; actualización). The PID controller & theory explained.
<https://www.ni.com/en/shop/labview/pid-theory-explained.html>