



**UNIVERSIDAD
DE LA FRONTERA**

Informe Técnico Semana 05

“Caracterización del control de nivel de agua en un tanque mediante lazo abierto y lazo cerrado”

Pablo Huenupil Gonzalez

P.huenupil01@ufromail.cl

24/09/2026

Resumen

Los sistemas de control se representan mediante diagramas y respuestas temporales para comunicar de forma precisa cómo circulan las señales y cómo responde un proceso. En este informe se caracterizó el control de nivel de agua de un tanque cilíndrico utilizado en clases, con 10 m² de sección, 2,5 m de altura y una referencia de operación de 2 m. Se construyeron representaciones en lazo abierto y lazo cerrado, identificando la variable controlada, la variable manipulada, el actuador, el sensor y una perturbación relevante. Además, se obtuvo una respuesta temporal aproximada a partir del balance de caudales y de una linealización alrededor del punto de operación. Los resultados muestran que el lazo abierto puede sostener el nivel solo mientras las condiciones permanezcan prácticamente constantes, mientras que el lazo cerrado incorpora medición y realimentación para corregir desviaciones. Se concluye que el uso coordinado de diagramas, notación y curvas temporales permite describir el sistema con un lenguaje técnico común y reduce ambigüedades en el análisis de control.

1. Introducción

En automatización, una explicación verbal del funcionamiento de un proceso puede resultar insuficiente cuando distintas personas deben identificar señales, variables y posibilidades de corrección. Los diagramas de bloques permiten representar gráficamente las relaciones entre entrada, proceso y salida, mientras que la respuesta temporal muestra cómo evoluciona una variable después de una modificación en la entrada o en las condiciones de operación. Estas representaciones forman parte del lenguaje habitual del área de control y facilitan que un mismo sistema sea interpretado con criterios comunes [1].

Un sistema en lazo abierto actúa sin utilizar la salida para corregir su propia operación. En cambio, en un sistema en lazo cerrado la salida se mide y se compara con una referencia; la diferencia o error se utiliza para generar una acción correctiva mediante un controlador [1], [2]. Esta distinción es relevante en procesos industriales sujetos a perturbaciones, porque una acción fija puede dejar de producir el resultado deseado cuando cambian las condiciones del proceso.

El tanque analizado en las clases constituye un caso apropiado para estudiar ambas configuraciones. El proceso posee una variable física fácilmente interpretable -el nivel de agua- y permite relacionar el caudal de entrada, el caudal de salida, la medición de altura y

la acción de una válvula. Además, el balance $A \, dh/dt = Q_{in} - Q_{out}$ entrega una base física para describir su dinámica y analizar cómo el nivel se aproxima a un nuevo equilibrio [2].

2. Objetivo

Caracterizar un sistema de control de nivel de agua en un tanque mediante representaciones de lazo abierto, lazo cerrado y respuesta temporal, identificando sus variables, componentes y perturbaciones para comparar ambas configuraciones y explicar su aporte como lenguaje técnico común en control y automatización.

3. Metodología

Se empleó un enfoque documental y aplicado. Primero se revisaron la presentación y las transcripciones de la Semana 04, donde se definen los sistemas de lazo abierto y lazo cerrado y se desarrolla un ejemplo de control de nivel en un tanque [1]-[3]. A partir de ese caso se mantuvieron los parámetros utilizados en cátedra: área transversal del tanque $A = 10 \, \text{m}^2$, altura máxima de 2,5 m, abertura inferior $A_o = 6,25 \, \text{cm}^2$ y nivel de operación deseado de 2 m, equivalente al 80 % de la altura máxima [2].

Para el lazo abierto se consideró una válvula fijada durante la calibración para entregar un caudal cercano a 3,91 L/s, valor que equilibra idealmente la descarga a 2 m según $Q_{out} = A_o \sqrt{2gh}$. Para el lazo cerrado se incorporaron referencia $r(t)$, error $e(t)$, controlador $C(s)$, actuador, planta $G(s)$, sensor $H(s)$, salida $y(t)$ y una perturbación $d(t)$, utilizando la notación recomendada en los requerimientos del informe. Los diagramas se construyeron específicamente para este documento.

La respuesta temporal se obtuvo mediante una aproximación lineal de primer orden alrededor de $h = 2 \, \text{m}$. A partir del modelo $A \, dh/dt = Q_{in} - A_o \sqrt{2gh}$, la linealización entrega una constante de tiempo aproximada de 2,84 h. Sobre ese punto se aplicó conceptualmente un escalón de +0,4 L/s en el caudal de entrada. Esta elección permite mostrar una curva con condición inicial, valor final y rapidez de respuesta sin afirmar que el modelo lineal represente todo el rango de operación. La interpretación de respuestas de primer orden se contrastó además con bibliografía de control [4].

3.1. Uso de IA

Se utilizó ChatGPT, modelo GPT-5.6 Sol, para analizar los materiales de clase aportados por el estudiante, organizar la estructura del informe, efectuar el análisis formal de la aproximación de primer orden, construir las figuras y apoyar la redacción y revisión. El estudiante seleccionó y proporcionó los materiales del curso, aprobó el uso del tanque como sistema de estudio y definió que el documento debía mantener el formato del informe anterior. Debido a que la IA propuso parte del enfoque técnico y participó en la construcción metodológica, la Conceptualización y la Metodología se reconocen como contribuciones compartidas. La declaración se realiza de acuerdo con el marco de Ciencia Generativa [5].

Evaluación de contribuciones realizada por ChatGPT para esta versión del documento:

Pablo Huenupil (Humano): Conceptualización, Metodología, Investigación, Validación.
ChatGPT, GPT-5.6 Sol (IA): Conceptualización, Metodología, Investigación, Análisis formal, Visualización, Redacción del borrador original, Revisión y edición.

4. Resultados

4.1. Caracterización del sistema

El sistema considerado corresponde a un tanque de agua cuya variable de interés es el nivel $h(t)$. La referencia de operación es $r(t) = 2$ m. El caudal de entrada Q_{in} constituye la variable manipulada y puede modificarse mediante una válvula. El caudal de salida Q_{out} depende del nivel y de la abertura inferior, mientras que variaciones en la presión de alimentación o en la descarga actúan como perturbaciones. En la configuración de lazo cerrado se incorpora un sensor de nivel para obtener la medición utilizada por el controlador. La Tabla 1 resume estos elementos.

Tabla 1. Variables y componentes considerados en el sistema de control de nivel.

Elaboración propia.

Elemento	Identificación	Función en el sistema
Variable controlada	Nivel $h(t)$ [m]	Magnitud que se desea mantener en torno a 2 m.
Variable manipulada	Caudal de entrada Q_{in} [L/s]	Se modifica para corregir el nivel.
Actuador	Válvula de control	Regula el caudal de entrada al tanque.
Sensor	Sensor de nivel	Mide $h(t)$ y entrega la señal de realimentación.
Perturbación $d(t)$	Presión de alimentación o variación de Q_{out}	Puede desplazar el nivel respecto de la referencia.

4.2. Representación en lazo abierto

En la configuración de lazo abierto se fija manualmente la válvula para obtener, durante la calibración, un caudal de entrada cercano a 3,91 L/s. La Figura 1 representa esta estructura. El caudal actúa sobre el tanque y produce como salida el nivel $h(t)$, pero no existe una medición que retorne al punto de decisión. Por lo tanto, el sistema no conoce si el nivel real coincide con los 2 m deseados.

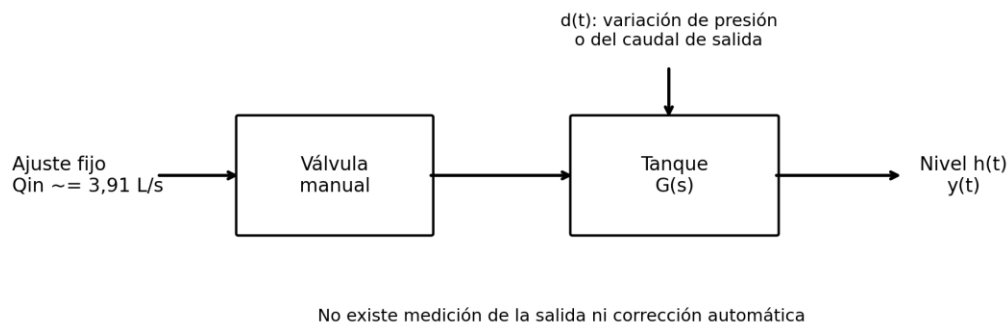


Figura 1. Diagrama de bloques del sistema de nivel en lazo abierto. Elaboración propia a partir del caso de clase [2].

La ausencia de realimentación implica que tampoco existe una corrección automática frente a perturbaciones. Si cambia la presión de alimentación, la misma apertura de válvula puede producir otro caudal; si cambia el caudal de salida, también se modifica el equilibrio.

En consecuencia, el ajuste de 3,91 L/s es válido solo bajo los supuestos del modelo y mientras las condiciones permanezcan aproximadamente constantes [2].

4.3. Representación en lazo cerrado

La Figura 2 incorpora los elementos necesarios para cerrar el lazo. La referencia $r(t) = 2 \text{ m}$ se compara con la medición del nivel. El error $e(t) = r(t) - y_m(t)$ ingresa al controlador $C(s)$, que genera la señal $u(t)$ para modificar la válvula. El tanque se representa mediante $G(s)$, mientras que $H(s)$ representa la dinámica o conversión asociada al sensor de nivel. La salida $y(t)$ corresponde al nivel real del tanque.

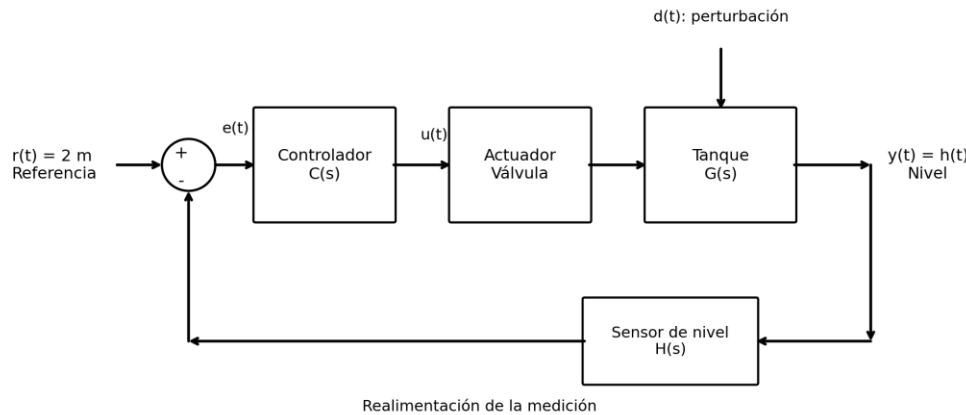


Figura 2. Diagrama de control en lazo cerrado para mantener el nivel del tanque en 2 m. Elaboración propia.

La diferencia esencial respecto del lazo abierto es la posibilidad de corregir. Si una perturbación reduce el nivel, la medición disminuye y el error aumenta; un controlador correctamente configurado puede ordenar una mayor apertura de la válvula. Si el nivel supera la referencia, la acción puede invertirse. La clase enfatiza que el sistema es cerrado no por el hecho de utilizar una válvula eléctrica, sino porque mide la salida, la compara con la referencia y actúa para reducir el error [2].

4.4. Respuesta temporal a un escalón

La Figura 3 presenta una respuesta temporal aproximada del proceso alrededor del punto de operación de 2 m. La condición inicial es $h(0) = 2 \text{ m}$ y en $t = 0$ se aplica un escalón de +0,4 L/s al caudal de entrada. La linealización del balance alrededor de este punto conduce a una constante de tiempo aproximada de 2,84 h y a un nuevo nivel de equilibrio cercano a 2,41 m. La curva se calculó como una aproximación de primer orden; por ello se utiliza para caracterizar la tendencia local y no como una predicción exacta para cualquier altura.

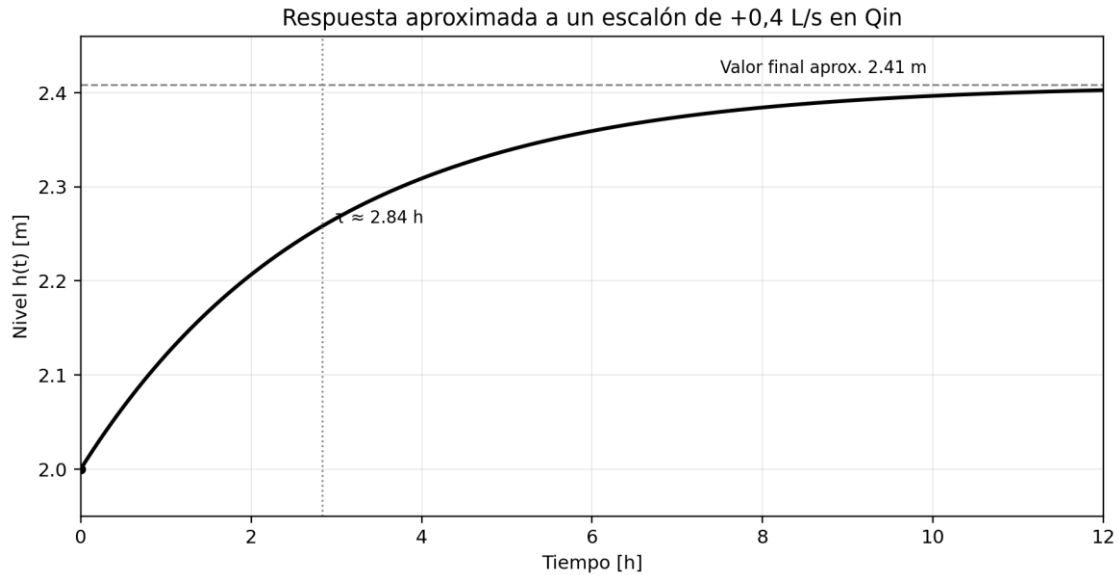


Figura 3. Respuesta aproximada del nivel ante un escalón de +0,4 L/s en el caudal de entrada. Elaboración propia a partir del modelo linealizado.

La respuesta aumenta con mayor rapidez al comienzo y luego se aproxima progresivamente al valor final. En una constante de tiempo, aproximadamente 2,84 h, se alcanza cerca del 63 % del cambio total; alrededor de tres constantes de tiempo, aproximadamente 8,5 h, se alcanza cerca del 95 %. El modelo de primer orden utilizado no presenta sobreimpulso ni oscilación. Esta forma temporal es coherente con las analogías de llenado de tanques, circuitos RC y procesos térmicos comentadas en laboratorio [3], y con la interpretación habitual de sistemas de primer orden en control [4].

5. Discusión

La comparación entre ambas configuraciones muestra que la diferencia principal no está en el tanque ni en el valor nominal del caudal, sino en la información disponible para tomar decisiones. En lazo abierto, el ajuste se realiza suponiendo que el proceso conservará las condiciones observadas durante la calibración. Cuando aparece una perturbación, el sistema no dispone de una señal que indique cuánto se alejó el nivel de los 2 m. En lazo cerrado, en cambio, la medición transforma la desviación en un error utilizable por el controlador.

Considero que, para este caso, el lazo cerrado es la representación más útil cuando se exige mantener el nivel de manera autónoma frente a variaciones de presión o descarga. Esto no significa que cualquier controlador garantice automáticamente una respuesta satisfactoria: la estabilidad, la rapidez, el error permanente y posibles oscilaciones dependen de la estrategia de control y de sus parámetros. El informe no diseña ni sintoniza un controlador específico, por lo que la Figura 3 caracteriza la dinámica aproximada de la planta y no una respuesta cerrada definitiva.

La respuesta temporal agrega información que los diagramas por sí solos no entregan. Un diagrama permite identificar qué señal entra, dónde se mide y cómo se cierra la realimentación, mientras que la curva muestra cuánto tarda el proceso en cambiar y hacia qué valor tiende. En este caso, saber que la dinámica es lenta ayuda a comprender que la elección de sensor, actuador y controlador debe considerar escalas de tiempo compatibles con el proceso.

Finalmente, el uso de $r(t)$, $e(t)$, $u(t)$, $y(t)$, $C(s)$, $G(s)$, $H(s)$ y $d(t)$ permite que otras personas del área interpreten el esquema sin depender de una explicación verbal extensa. Esta notación, acompañada de unidades, supuestos y una respuesta temporal, reduce ambigüedades y facilita comparar diseños, discutir perturbaciones y proponer mejoras utilizando referencias comunes.

6. Conclusiones

El sistema de tanque permitió caracterizar de manera coherente las diferencias entre control en lazo abierto y en lazo cerrado. Con una apertura fija de válvula, el lazo abierto puede aproximarse al nivel de 2 m mientras el caudal de entrada y las demás condiciones permanezcan estables, pero carece de medición y corrección automática frente a perturbaciones.

La incorporación de un sensor, un comparador, un controlador y un actuador transforma el sistema en lazo cerrado. La medición del nivel permite calcular el error respecto de la referencia y modificar el caudal de entrada para reducir desviaciones. La respuesta a escalón complementó esta estructura al mostrar que el nivel posee una evolución gradual y una escala de tiempo propia, información necesaria para interpretar y diseñar el control.

En conjunto, los diagramas de lazo abierto y cerrado, la notación de señales y la respuesta temporal constituyen un lenguaje técnico común porque hacen explícitos los componentes, el flujo de información, los supuestos y el comportamiento esperado. Su principal aporte es permitir que distintas personas analicen el mismo sistema con una representación compartida y verificable.

7. Declaraciones

Uso de IA. Se utilizó ChatGPT, modelo GPT-5.6 Sol, en los roles declarados en la subsección 3.1. La Validación final fue realizada por el autor.

Este informe se distribuye bajo la licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

Se autoriza a coautores editoriales a corregir errores simples de forma, referencias, formato o declaraciones requeridas, preservando el contenido sustantivo y la autoría del informe.

8. Bibliografía

- [1] C. Alarcón García, "Automatización: Semana 04," Departamento de Ingeniería Industrial y Sistemas, Universidad de La Frontera, Temuco, Chile, 2026. [Presentación de clase].
- [2] C. Alarcón García, "Clase Semana 04 cátedra módulo 01," transcripción de cátedra, Automatización, Universidad de La Frontera, Temuco, Chile, 7 sep. 2026.
- [3] C. Alarcón García, "Clase Semana 04 laboratorio módulo 02," transcripción de laboratorio, Automatización, Universidad de La Frontera, Temuco, Chile, 8 sep. 2026.
- [4] K. Ogata, Modern Control Engineering, 5th ed. Upper Saddle River, NJ, USA: Prentice Hall, 2010.
- [5] C. Alarcon, "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, vol. 2026, no. 07, Art. no. 19055673, 2026, <https://doi.org/10.5281/zenodo.19055673>