

Caracterización y Análisis Comparativo de un Sistema de Control de Nivel de Tanque en Lazo Abierto y Lazo Cerrado

Hernan Conejeros

h.conejeros01@ufromail.cl

24 de septiembre de 2026

Resumen

El presente informe caracteriza el comportamiento dinámico de un sistema de control de nivel de fluido en un tanque de sección transversal constante utilizando representaciones estandarizadas del área de automatización. Se analizan y comparan las configuraciones en lazo abierto y lazo cerrado mediante diagramas de bloques y el estudio de la respuesta temporal ante una entrada de tipo escalón. Los resultados demuestran la importancia de la realimentación para la atenuación de perturbaciones y la corrección de desviaciones. Asimismo, se evidencia cómo la diagramación y el análisis temporal constituyen un lenguaje técnico unificado que elimina ambigüedades en el diseño y la operación de sistemas de control.

1. Introducción

En los procesos industriales, la regulación de nivel de líquidos en tanques es una tarea crítica para garantizar la seguridad, la calidad del producto y la continuidad operativa. Para diseñar, comunicar e implementar estas estrategias de automatización, la ingeniería de control recurre a herramientas de representación gráfica y matemática estándar, como los diagramas de bloques y las curvas de respuesta temporal.

Estas representaciones permiten explicitar de forma precisa el flujo de información, la interacción entre variables manipuladas, salidas y perturbaciones, así como el comportamiento dinámico del proceso frente a estímulos externos. El uso de este lenguaje formal resulta indispensable para contrastar alternativas de diseño, predecir el tiempo de respuesta del sistema y facilitar el diálogo técnico entre profesionales del área.

2. Objetivo

Caracterizar la dinámica de un sistema de control de nivel de agua en un tanque mediante diagramas de bloques en lazo abierto y lazo cerrado y el análisis de su respuesta temporal ante una entrada escalón, para evaluar la influencia de la realimentación en la estabilidad y precisión del proceso.

3. Metodología

Para llevar a cabo la caracterización y el análisis comparativo del sistema de control de nivel de agua, se empleó una metodología analítica y computacional estructurada en tres etapas:

1. **Modelado y diagramación:** Se caracterizaron los componentes del proceso y se construyeron los diagramas de bloques estandarizados para las configuraciones en lazo abierto y lazo cerrado.
2. **Simulación numérico-temporal:** Se implementó la función de transferencia de primer orden del tanque en el software GNU Octave para evaluar la respuesta dinámica ante una entrada de tipo escalón unitario.
3. **Análisis cuantitativo e interpretación:** Se extrajeron los parámetros dinámicos del sistema (τ , t_s , y_{ss} , M_p) y se evaluó la capacidad de rechazo a perturbaciones y seguridad operacional fundado en la literatura técnica de la especialidad (Ogata, 2010).

3.1. Subsección: Uso de IA

En conformidad con el marco de Ciencia Generativa (Alarcón, 2026), se declara el uso de herramientas de inteligencia artificial generativa como apoyo en la elaboración de este informe. El propósito de esta declaración es transparentar las contribuciones efectivas y garantizar la responsabilidad humana sobre el resultado final.

- Hernán Conejeros (Humano): Conceptualización, Metodología, Validación, Revisión y edición.
- Detalle de contribución: Definición del sistema de control y sus límites, ejecución y validación experimental del código en GNU Octave, contraste directo y verificación textual de la bibliografía en la obra fuente de Ogata (2010), revisión crítica de la notación matemática y edición final del documento.
- Gemini (IA): Investigación, Análisis formal, Redacción del borrador original, Visualización.
- Detalle de contribución: Generación de scripts base para simulación, estructuración preliminar de párrafos analíticos, apoyo en la formulación de ecuaciones en LaTeX y propuesta de la comparación cualitativa entre lazo abierto y lazo cerrado.

4. Resultados

4.1. Caracterización del sistema

$r(t)$ = Referencia (Nivel deseado)

$e(t)$ = Error ($r(t) - H(s)y(t)$)

$u(t)$ = Variable Manipulada (Caudal $q_i(t)$)

$y(t)$ = Salida (Nivel real $h(t)$)

$C(s)$ = Controlador

$G(s)$ = Planta (Tanque)

$H(s)$ = Realimentación

$d(t)$ = Perturbación (Variación en la salida $q_o(t)$)

Actuador: Válvula de control proporcional ubicada en la tubería de entrada

4.2. Diagrama de bloques en Lazo Abierto

En una configuración de lazo abierto, la señal de entrada $u(t)$ (caudal $q_i(t)$) se aplica directamente sobre el actuador (válvula) para alimentar la planta $G(s)$ (el tanque), sin realizar mediciones sobre el estado real de la variable de salida $y(t)$ (*Nivel real $h(t)$*).

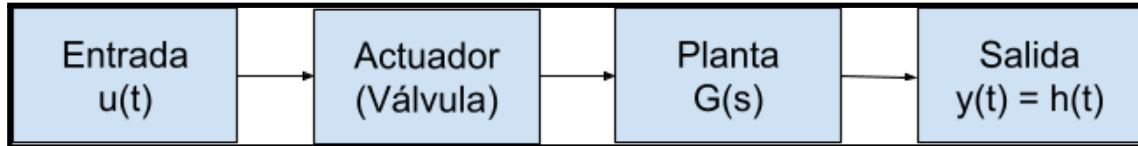


Figura 1. Diagrama de bloques del sistema de nivel del tanque en lazo abierto

Análisis de la configuración y limitaciones:

- Información ausente: Esta estructura opera bajo el supuesto implícito de que una apertura fija de la válvula mantendrá siempre la altura deseada. Sin embargo, el sistema desconoce completamente el valor real de la salida $y(t)$, ya que no existe un sensor o elemento de realimentación que devuelva esa información al inicio del proceso.
- Posibilidad de corrección ausente: Ante la presencia de una perturbación $d(t)$ (como un cambio en la demanda o una fuga en el estanque) o variaciones en los parámetros físicos del tanque (acumulación de sedimentos, desgaste de tuberías), el lazo abierto es incapaz de detectar la desviación y no puede realizar ningún tipo de corrección automática para restaurar el nivel $h(t)$.

4.3. Diagrama de bloques de Lazo Cerrado

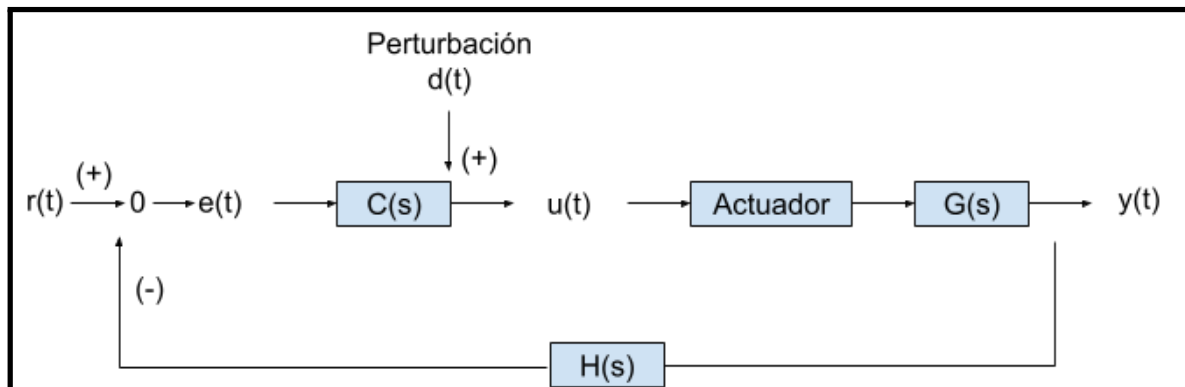


Figura 2. Diagrama de bloques del sistema de nivel del tanque en lazo cerrado

Análisis de componentes e interacción:

- Referencia $r(t)$: Valor de nivel deseado en el tanque fijado por la operación (en metros).
- Comparador y Señal de Error $e(t)$: El bloque sumador resta la medición realimentada $H(s)y(t)$ del valor de referencia $r(t)$, generando el error actuante $e(t) = r(t) - H(s)y(t)$.

- **Controlador C(s):** Algoritmo que procesa la magnitud y dinámica del error $e(t)$ para calcular y ajustar dinámicamente la señal de control $u(t)$ enviada a la válvula.
- **Rechazo a Perturbaciones d(t):** Si ocurre una perturbación (como una fuga o un cambio repentino en la demanda de salida), el nivel $y(t)$ disminuye. El sensor $H(s)$ detecta inmediatamente la caída, lo que incrementa el error $e(t)$. Ante esto, el controlador $C(s)$ incrementa la apertura de la válvula ($u(t)$) para restaurar el nivel al valor de referencia $r(t)$, evitando los fallos y desbordes característicos del lazo abierto.

4.4. Análisis de la Respuesta Temporal

Al aplicar una entrada de tipo escalón unitario en la variable manipulada $u(t) = 1 \left[\frac{m^3}{s} \right]$ en $t = 0$, la respuesta dinámica del nivel de agua en el tanque $y(t) = h(t)$ evoluciona según la curva de primer orden obtenida mediante simulación en Octave (Figura 3).

- **Modelo de la Planta:** Sistema de primer orden

$$G(s) = \frac{K}{\tau s + 1} = \frac{0,2}{s + 1}$$

- **Entrada de prueba:** Escalón unitario de caudal $u(t) = 1 \left[\frac{m^3}{s} \right]$ aplicado en $t = 0$.
- **Respuesta analítica en el tiempo:**

$$y(t) = 0,2 \times (1 - e^{-\frac{t}{1}}) [m]$$

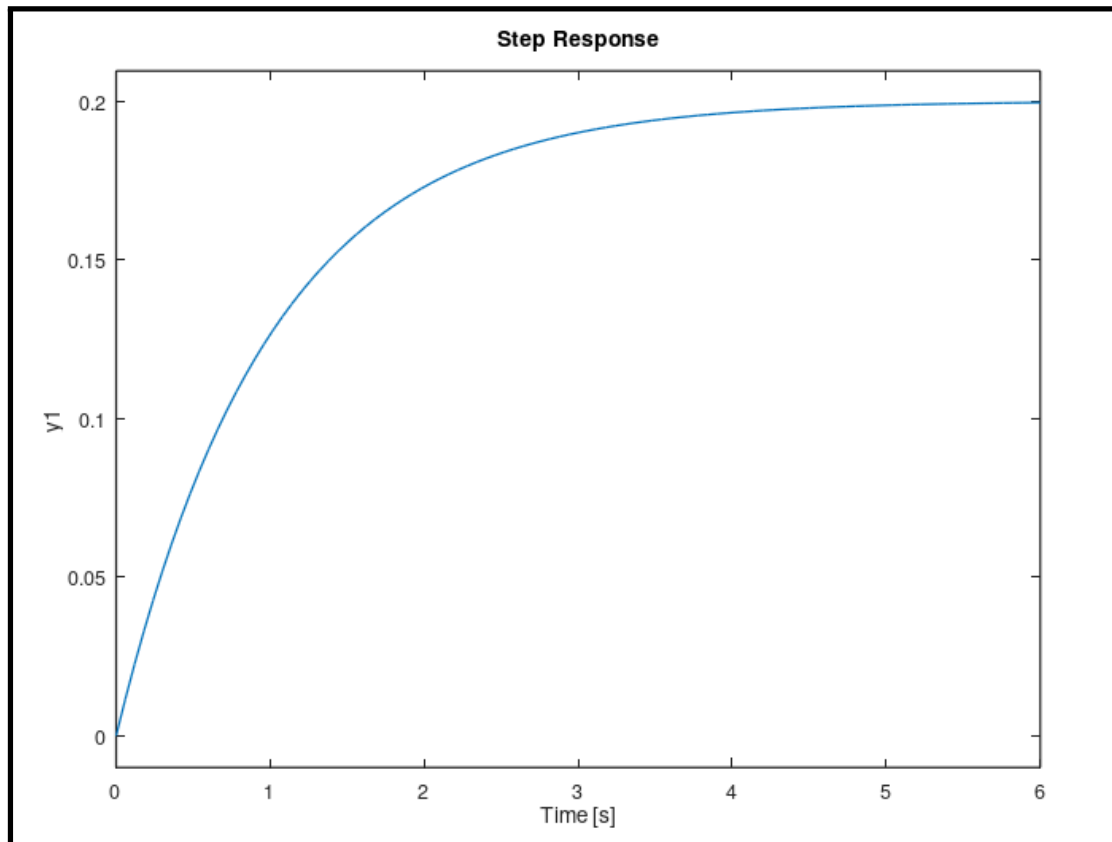


Figura 3. Grafico en Octave

Parámetros característicos:

- **Valor final de estado estacionario (y_{ss}):** 0,20 [m] (ganancia estática del sistema).
- **Constante de tiempo (τ):** (tiempo en el que alcanza el 63,2% de la respuesta final, es decir, 0,126 [m]).
- **Tiempo de asentamiento (t_s al 2%):** $t_s = 4\tau = 4$ [s] (tiempo en el que el nivel llega al 98% del valor final, unos 0,196 [m]).
- **Sobreimpulso (M_p):** 0% (por tratarse de un sistema de primer orden, la respuesta es suave y no presenta oscilaciones ni sobrepico).

5. Discusión

5.1. Comparación entre lazo abierto y lazo cerrado

La diferencia fundamental entre ambas configuraciones radica en la capacidad de automonitoreo y corrección ante perturbaciones:

1. Sensibilidad a perturbaciones: En lazo abierto, cualquier alteración externa (como un cambio en la presión de suministro o una fuga no prevista en el estanque) modifica el nivel de agua $y(t)$ sin que la válvula de entrada pueda enterarse ni reaccionar. En lazo cerrado, la presencia de la realimentación $H(s)$ permite calcular continuamente el error actuante $e(t) =$

$r(t) - H(s)y(t)$, obligando al controlador $C(s)$ a ajustar la válvula para compensar la perturbación. 2. Decisiones técnicas de diseño:

- Selección de sensores: La precisión y estabilidad del lazo cerrado dependen críticamente del sensor de nivel $H(s)$. Un sensor con ruido o retardo alto introducirá lecturas erróneas al comparador.
- Seguridad y operación: El lazo abierto presenta un alto riesgo de rebose (desborde del estanque) o vaciado total (trabajo en seco de bombas). El lazo cerrado actúa como un mecanismo de seguridad operacional al limitar automáticamente la apertura de la válvula cuando el nivel alcanza la consigna $r(t) = 0,20$ [m].

5.2. Estandarización y fundamentación bibliográfica

Los diagramas de bloques y las curvas de respuesta temporal constituyen el lenguaje técnico universal en la ingeniería de control y automatización. Su uso estandarizado permite que ingenieros y técnicos de diversas áreas interpreten la dinámica y el flujo de señales de una planta sin ambigüedades.

Para fundamentar formalmente esta representación gráfica, se recurre a la definición técnica de Ogata (2010), quien destaca las ventajas operativas de este marco conceptual:

Las ventajas de la representación mediante diagramas de bloques de un sistema estriban en que es fácil formar el diagrama de bloques general de todo el sistema con sólo conectar los bloques de los componentes de acuerdo con el flujo de señales y en que es posible evaluar la contribución de cada componente al desempeño general del sistema. En general, la operación funcional del sistema se aprecia con más facilidad si se examina el diagrama de bloques (Ogata, 2010) que si se revisa el sistema físico mismo.

Asimismo, el fragmento bibliográfico corrobora la función del sensor dentro de la realimentación (parte de lazo cerrado), dando a conocer el elemento de realimentación es un sensor que mide la salida de la planta. La salida del sensor se compara con la consigna y se genera la señal de error adoptada en la Sección 4.3.

Finalmente, la respuesta temporal obtenida en Octave (Figura 3) complementa esta representación abstracta al permitir cuantificar parámetros dinámicos clave como el valor en estado estacionario ($y_{ss} = 0,20$ [m]) y el tiempo de asentamiento ($t_s = 4$ [s]), indispensables para la toma de decisiones técnicas.

6. Conclusiones

En conclusión, el sistema de nivel del tanque fue caracterizado exitosamente mediante un modelo de primer orden $G(s) = \frac{0,2}{s+1}$. La simulación en Octave permitió validar que la respuesta dinámica es suave y estable, alcanzando un valor en estado estacionario de $y_{ss} = 0,20 [m]$ con una constante de tiempo $\tau = 1 [s]$, un tiempo de asentamiento $t_s = 4 [s]$ y un sobreimpulso nulo ($M_p = 0\%$). Se constató que, mientras la configuración en lazo abierto es incapaz de reaccionar ante perturbaciones o cambios en el entorno, la arquitectura en lazo cerrado mediante el sensor $H(s)$ y el comparador ajusta continuamente la señal de error $e(t)$ y la acción de control $u(t)$, garantizando el rechazo a perturbaciones $d(t)$ y la seguridad operativa del proceso.

Por otro lado, los diagramas de bloques y las curvas de respuesta al escalón constituyen el lenguaje técnico universal en la ingeniería de control. Su valor radica en abstraer las ecuaciones diferenciales del tanque en una representación visual estandarizada de flujo de señales y bloques funcionales ($C(s)$, $G(s)$, $H(s)$). Esto permite que profesionales de distintas disciplinas interpreten la dinámica del sistema, evalúen la interacción de cada componente y tomen decisiones de diseño o mantenimiento bajo un marco conceptual compartido y libre de ambigüedades.

8. Declaraciones y licencia

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.

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

Revisión: 2026-10-03

Bibliografía

Alarcón, C. (2026). Generative Science as an analytical framework for integrating the full capabilities of generative artificial intelligence into scientific research while preserving scientific recognition.

<https://arxiv.org/abs/2605.19055>, 319055673.

Ogata, K. (2010). Ingeniería de control moderna (5.^a ed.). Pearson Educación.