

Aplicación de un filtro RC para el acondicionamiento de señales de sensores en sistemas de automatización

Sebastian Cid

Ingeniería Civil Industrial, Universidad de La Frontera, Temuco, Chile.

s.cid07@ufromail.cl

Fecha: 2026-09-24

Resumen

El acondicionamiento de señales provenientes de sensores industriales requiere reducir las interferencias eléctricas sin comprometer la velocidad de respuesta de la medición. El presente informe tuvo como objetivo analizar el comportamiento de un filtro RC pasa-bajos y evaluar su aplicación a un sistema de medición de nivel de agua mediante un sensor ultrasónico y un PLC. Para ello, se desarrolló un estudio teórico y documental que incluyó los fundamentos eléctricos del circuito, el cálculo de su respuesta temporal y la comparación de dos configuraciones de filtrado. Los resultados mostraron que el circuito original de $10\text{ k}\Omega$ y $1\text{ }\mu\text{F}$ atenúa aproximadamente un 69,67 % una interferencia hipotética de 50 Hz, con un tiempo de respuesta al 95 % de 29,96 ms. La configuración alternativa presentó una atenuación similar y un menor error estático asociado a la impedancia de entrada del PLC. Se concluye que la conveniencia de incorporar un filtro externo depende de las condiciones de operación y de los mecanismos de filtrado ya disponibles en los equipos, por lo que su implementación requiere una evaluación adicional del sistema real.

1. Introducción

Los sistemas de automatización requieren información del entorno para poder supervisar y controlar distintos procesos. Para obtener esta información se utilizan sensores capaces de transformar variables físicas, como temperatura, presión, nivel o velocidad, en señales que pueden ser interpretadas por dispositivos de control, como un PLC. Debido a esto, la calidad de la señal obtenida influye directamente en la información que recibe el sistema y en las decisiones que posteriormente pueden ejecutarse.

En condiciones reales, las señales provenientes de los sensores pueden presentar pequeñas variaciones o interferencias eléctricas que no necesariamente representan cambios reales en la variable medida. Estas perturbaciones pueden originarse por distintos elementos presentes en una instalación industrial y producir mediciones inestables. Una alternativa para reducir este efecto es utilizar sistemas de filtrado que permitan disminuir las variaciones rápidas no deseadas antes de que la señal sea procesada por el controlador.

Una forma sencilla de acondicionar estas señales es mediante un filtro RC pasa-bajos, compuesto por una resistencia y un condensador. Su comportamiento permite relacionar los fundamentos eléctricos con la atenuación de interferencias y la velocidad de respuesta de los sistemas de medición. Sin embargo, su aplicación industrial requiere considerar las características eléctricas de los equipos conectados y las condiciones de funcionamiento del proceso (Li, 2012).

En este contexto, el presente informe analiza un caso hipotético de medición del nivel de agua de un estanque mediante un sensor ultrasónico Banner conectado a un módulo de entradas analógicas Siemens. Se compara la conexión directa con dos configuraciones de filtrado RC, considerando la atenuación de interferencias, el tiempo de respuesta y el efecto de la impedancia de entrada del PLC. Dado que ambos equipos disponen de mecanismos propios de filtrado, el estudio busca determinar bajo qué condiciones podría justificarse la incorporación de un circuito externo, mediante una evaluación teórica respaldada por documentación técnica (Banner Engineering Corporation, 2022; Siemens AG, s. f.).

2. Objetivo

Analizar el comportamiento de una resistencia y un condensador en un filtro RC pasa-bajos, mediante sus ecuaciones eléctricas y su aplicación al acondicionamiento de la señal de un sensor industrial de nivel, evaluando sus características, limitaciones y compatibilidad con un sistema de adquisición de datos.

3. Metodología

Para desarrollar el informe se revisaron los fundamentos eléctricos de la resistencia y el condensador, las ecuaciones del filtro RC pasa-bajos y su aplicación al acondicionamiento de señales. Posteriormente, se definió un caso hipotético de medición de nivel mediante equipos industriales documentados y se compararon dos configuraciones de filtrado, considerando la atenuación de interferencias, el tiempo de respuesta y la compatibilidad eléctrica con el sistema de adquisición.

Definición del caso de estudio

Para profundizar la aplicación del circuito, se definió un caso de estudio hipotético basado en la medición del nivel de agua de un estanque mediante un sensor ultrasónico Banner Q45ULIU64BCRQ, conectado a un módulo de entradas analógicas Siemens SM 1231, referencia 6ES7231-4HD32-0XB0. El sensor permite configurar una salida de 0 a 10 V, presenta un rango de detección de 0,25 a 3 m y dispone de filtrado interno. Por su parte, el módulo Siemens admite entradas de tensión de ± 10 V, presenta una resistencia de entrada de al menos $9\text{ M}\Omega$ y permite configurar el suavizado de las mediciones y el rechazo de interferencias (Banner Engineering Corporation, 2022; Siemens AG, s. f.).

Como condiciones hipotéticas de operación, se consideró un estanque de 2 m de altura útil, con el sensor instalado a 0,30 m sobre el nivel máximo del agua. Se estableció una ventana de medición entre 0,30 y 2,30 m de distancia respecto del sensor, configurando su salida para representar el nivel mediante una señal de 0 a 10 V. El estudio se planteó como una evaluación teórica y documental, sin implementación ni mediciones experimentales.

Criterios de evaluación del filtro RC

Para evaluar el comportamiento del filtro se establecieron dos condiciones hipotéticas: una componente de 0,5 Hz, seleccionada como señal de prueba para analizar la conservación de variaciones de baja frecuencia, y una interferencia eléctrica sinusoidal de 50 Hz y 0,2 V de amplitud, supuestamente incorporada durante la transmisión de la señal entre el sensor y el PLC. Estos valores se utilizaron exclusivamente para comparar el comportamiento del circuito y no corresponden a mediciones reales ni representan necesariamente la dinámica del estanque. La caracterización de una instalación industrial requeriría determinar las frecuencias propias del proceso y medir las interferencias presentes en la señal.

Se compararon tres configuraciones: la conexión directa entre el sensor y el PLC, el filtro original de 10 k Ω y 1 μ F y un filtro alternativo de 2,2 k Ω y 4,7 μ F. Se calcularon sus constantes de tiempo, frecuencias de corte, atenuación de la interferencia de 50 Hz y tiempos necesarios para alcanzar el 95 % del valor final ante una entrada escalón, utilizando las ecuaciones del filtro RC pasa-bajos (Li, 2012). Además, se estimó el error estático asociado a la resistencia de entrada del PLC y se contrastaron las corrientes iniciales calculadas con las especificaciones del sensor.

Finalmente, se consideraron las características técnicas de los equipos seleccionados. El sensor Banner permite configurar su velocidad de respuesta desde 80 ms, mientras que el módulo Siemens dispone de suavizado configurable y opciones de rechazo de interferencias a 50/60 Hz (Banner Engineering Corporation, 2022; Siemens AG, s. f.). Por ello, el análisis del filtro externo se interpretó como una evaluación de su posible contribución adicional y no como una demostración de que su instalación resulte indispensable.

Uso de IA

Se utilizó inteligencia artificial generativa como apoyo para investigar equipos industriales, organizar la documentación técnica, desarrollar y revisar los cálculos eléctricos, comparar distintas configuraciones del filtro RC, elaborar el esquema conceptual del circuito y redactar el borrador del informe. Las propuestas generadas se contrastaron con las fuentes consultadas y los supuestos establecidos para el caso de estudio. La selección del enfoque, la interpretación de los resultados, la revisión de las fuentes y la responsabilidad sobre la versión final permanecieron bajo responsabilidad humana.

Declaración de contribuciones según el marco Ciencia Generativa (Alarcón, 2026)

Sebastian Cid (Humano): Conceptualización, Metodología, Validación, Investigación, Visualización, Análisis formal, Revisión y edición.

GPT-5.6 Sol (IA): Investigación, Análisis formal, Visualización, Redacción del borrador original y Revisión y edición.

4. Resultados

Resistencia y condensador

La resistencia y el condensador presentan comportamientos eléctricos diferentes que permiten utilizarlos en conjunto para modificar una señal. En un resistor que presenta un comportamiento óhmico, la relación entre la tensión aplicada, la corriente y la resistencia se describe mediante la ley de Ohm (Ling et al., 2016).

$$V = RI$$

donde V corresponde a la tensión eléctrica medida en voltios (V), R a la resistencia medida en ohmios (Ω) e I a la corriente medida en amperios (A). Esta relación permite determinar la corriente que circula por una resistencia cuando se conoce la tensión aplicada, considerando que el valor de la resistencia permanece aproximadamente constante bajo las condiciones analizadas.

El condensador, por otra parte, es un elemento capaz de almacenar carga eléctrica. La relación entre la carga almacenada, la capacitancia y la tensión existente entre sus terminales puede expresarse mediante la relación fundamental del condensador (Ling et al., 2016).

$$Q = CV$$

donde Q corresponde a la carga eléctrica medida en coulomb (C), C a la capacitancia medida en faradios (F) y V a la tensión medida en voltios (V). Debido a esta capacidad de almacenamiento, el condensador presenta un comportamiento dependiente del tiempo cuando se carga o descarga.

Comportamiento del circuito RC

Al combinar una resistencia y un condensador se obtiene un circuito RC. Si inicialmente el condensador se encuentra descargado y se conecta a una fuente de tensión continua, la evolución de su tensión puede representarse mediante una función exponencial (Ling et al., 2016).

$$V_c(t) = V_s(1 - e^{-\frac{t}{RC}})$$

donde $V_c(t)$ representa la tensión del condensador en el instante t, V_s corresponde a la tensión aplicada, R es la resistencia, C la capacitancia y t el tiempo. Esta relación muestra que la tensión del condensador aumenta progresivamente hasta aproximarse al valor de la fuente, en lugar de cambiar de manera instantánea.

El producto entre la resistencia y la capacitancia define la denominada constante de tiempo del circuito.

$$\tau = RC$$

donde τ corresponde a la constante de tiempo medida en segundos. Después de transcurrir un tiempo equivalente a una constante de tiempo, la tensión del condensador alcanza

aproximadamente el 63,2 % de su valor final durante el proceso de carga. Por esta razón, los valores de resistencia y capacitancia determinan la rapidez con la que el circuito responde frente a una modificación de la señal de entrada (Ling et al., 2016).

Circuito RC como filtro pasa bajos

Una de las aplicaciones de la resistencia y el condensador consiste en formar un filtro RC pasa bajos. En esta configuración, ambos componentes permiten reducir progresivamente las componentes de mayor frecuencia presentes en una señal, mientras que las componentes de menor frecuencia experimentan una menor atenuación.

Uno de los principales parámetros utilizados para caracterizar este filtro es su frecuencia de corte, la cual depende directamente de los valores seleccionados para la resistencia y la capacitancia (Li, 2012).

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC}$$

donde f_c corresponde a la frecuencia de corte medida en hertz (Hz), R corresponde a la resistencia expresada en ohmios y C a la capacitancia expresada en faradios.

El comportamiento dinámico del filtro también puede representarse mediante una función de transferencia de primer orden.

$$H(s) = \frac{1}{1+sRC}$$

donde H(s) representa la relación entre la señal de salida y la señal de entrada en el dominio de Laplace, mientras que s corresponde a la variable utilizada en este dominio. La ecuación muestra que el comportamiento del filtro queda determinado principalmente por el producto entre resistencia y capacitancia.

Aplicación al filtrado de una señal de sensor

En un sistema de automatización, un circuito RC puede incorporarse entre un sensor que entrega una señal analógica y el dispositivo encargado de adquirir o procesar dicha señal. El sensor transforma una variable física, como temperatura, presión o nivel, en una señal eléctrica que posteriormente debe ser interpretada por el sistema de control.

Sin embargo, sobre la señal medida pueden aparecer variaciones rápidas provocadas por ruido o interferencias eléctricas que no corresponden necesariamente a cambios reales de la variable física. Un filtro RC pasa bajos permite atenuar parte de estas componentes de mayor frecuencia antes de que la señal sea procesada por un sistema de adquisición o por un controlador. Este tipo de filtrado puede utilizarse antes de una etapa de conversión análogo-digital para limitar el ancho de banda de la señal y reducir la presencia de componentes de alta frecuencia no deseadas (Li, 2012).

Para observar el efecto de los valores de resistencia y capacitancia, se consideró como ejemplo teórico una resistencia de 10 kΩ y un condensador de 1 μF.

$$R = 10k\Omega$$

$$C = 1\mu F$$

Utilizando estos valores, la constante de tiempo se obtiene mediante:

$$\tau = RC$$

$$\tau = (10000)(1 \times 10^{-6})$$

$$\tau = 0,01s$$

Por lo tanto, el circuito presenta una constante de tiempo de 0,01 segundos, equivalente a 10 milisegundos.

Para determinar la frecuencia de corte se utiliza:

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC}$$

Reemplazando los valores utilizados:

$$f_c = \frac{1}{2\pi(10000)(1 \times 10^{-6})}$$

se obtiene aproximadamente:

$$f_c \approx 15,9Hz$$

De esta manera, el ejemplo presenta una frecuencia de corte aproximada de 15,9 Hz. A medida que la frecuencia de una componente de la señal aumenta por encima de este valor, su atenuación también aumenta progresivamente. Las componentes considerablemente inferiores a esta frecuencia presentan una menor atenuación.

Los valores utilizados corresponden únicamente a un ejemplo teórico. En una aplicación real, la selección de la resistencia y del condensador debe considerar las características del sensor, la velocidad con la que cambia la variable medida y los requerimientos del sistema de adquisición.

Evaluación de la atenuación y la respuesta temporal

Para el circuito de 10 kΩ y 1 μF se consideró una interferencia hipotética de 50 Hz y 0,2 V de amplitud, junto con una variación de la señal de 0,5 Hz que se desea conservar.

Atenuación de una interferencia de 50 Hz

La magnitud de la función de transferencia del filtro RC pasa-bajos es:

$$|H(j2\pi f)| = \frac{1}{\sqrt{1+(2\pi fRC)^2}}$$

Sustituyendo los valores:

$$|H(j2\pi 50)| = \frac{1}{\sqrt{1+(2\pi \cdot 50 \cdot 0,01)^2}}$$

$$|H(j2\pi 50)| \approx 0,3033$$

La reducción porcentual de la amplitud es:

$$A = (1 - 0,3033) \cdot 100$$

$$A \approx 69,67\%$$

La amplitud residual de la interferencia corresponde a:

$$V_{salida} = 0,2 \cdot 0,3033$$

$$V_{salida} \approx 0,0607 V$$

Atenuación de una variación de 0,5 Hz

$$|H(j2\pi 0,5)| = \frac{1}{\sqrt{1+(2\pi \cdot 0,5 \cdot 0,01)^2}}$$

$$|H(j2\pi 0,5)| \approx 0,9995$$

$$A = (1 - 0,9995) \cdot 100$$

$$A \approx 0,05\%$$

Tiempo de respuesta del filtro

La respuesta normalizada ante una entrada escalón es:

$$\frac{V_c(t)}{V_s} = 1 - e^{\frac{-t}{RC}}$$

Para alcanzar el 95 % del valor final:

$$0,95 = 1 - e^{\frac{-t}{RC}}$$

$$e^{\frac{-t}{RC}} = 0,05$$

$$t_{95} = -RC \ln(0,05)$$

$$t_{95} = -0,01 \cdot \ln(0,05)$$

$$t_{95} \approx 29,96 \text{ ms}$$

Los resultados indican que el circuito atenúa considerablemente la interferencia hipotética de 50 Hz, mientras conserva prácticamente toda la amplitud de la componente de 0,5 Hz. El tiempo calculado corresponde únicamente al filtro ideal y no incluye la respuesta del sensor ni el procesamiento del PLC.

Aplicación del circuito a un sistema de medición de nivel

El circuito RC se consideró como una posible etapa de acondicionamiento entre el sensor ultrasónico y la entrada analógica del PLC. Para el estanque propuesto, el sensor se configuraría de manera que su salida represente un nivel de 0 a 2 m mediante una señal de 0 a 10 V. Esta configuración se encuentra dentro del rango de detección especificado para el equipo.

La Figura 1 presenta el esquema conceptual de conexión del filtro RC entre el sensor ultrasónico y el módulo de adquisición. La resistencia se conecta en serie con la señal analógica y el condensador se conecta a la referencia eléctrica común.

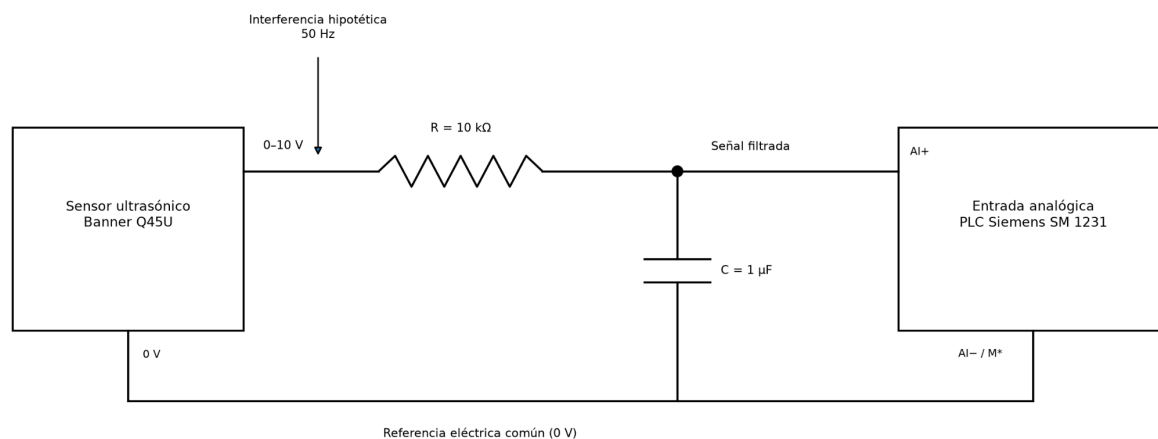


Figura 1. Esquema de conexión del filtro RC entre el sensor ultrasónico Banner y la entrada analógica del PLC Siemens. Fuente: elaboración propia.

La selección del filtro externo requiere considerar que el sensor ya incorpora filtrado digital y que el módulo de adquisición dispone de mecanismos propios para suavizar las mediciones y rechazar interferencias eléctricas. Por lo tanto, la incorporación del circuito RC no debe asumirse automáticamente como una mejora, sino que resulta necesario evaluar su capacidad de atenuación, el retraso introducido en la señal y su compatibilidad eléctrica con los dispositivos seleccionados.

Comparación entre configuraciones de filtrado

Para evaluar la conveniencia de incorporar un filtro RC externo, se compararon tres configuraciones teóricas: conexión directa entre el sensor y el PLC, filtro original de $10\text{ k}\Omega$ y $1\text{ }\mu\text{F}$, y filtro alternativo de $2,2\text{ k}\Omega$ y $4,7\text{ }\mu\text{F}$. Los valores de los componentes fueron seleccionados para este estudio, con el propósito de comparar dos circuitos con constantes de tiempo similares, utilizando las ecuaciones del filtro RC pasa-bajos (Li, 2012). Se mantuvieron las condiciones hipotéticas de interferencia y variación de la señal definidas anteriormente.

Evaluación del filtro alternativo

La constante de tiempo corresponde a:

$$\tau = RC$$

$$\tau = (2200)(4,7 \cdot 10^{-6})$$

$$\tau = 10,34 \text{ ms}$$

La frecuencia de corte es:

$$f_c = \frac{1}{2\pi(2200)(4,7 \times 10^{-6})}$$

$$f_c \approx 15,39 \text{ Hz}$$

Para una interferencia de 50 Hz:

$$|H(j2\pi 50)| = \frac{1}{\sqrt{1+(2\pi \cdot 50 \cdot 0,01034)^2}}$$

$$|H(j2\pi 50)| \approx 0,294$$

$$V_{salida} = 0,2 \cdot 0,294$$

$$V_{salida} \approx 0,0588 \text{ V}$$

El tiempo para alcanzar el 95 % del valor final corresponde a:

$$t_{95} = -RC \ln(0,05)$$

$$t_{95} = 30,98 \text{ ms}$$

La Tabla 1 presenta los resultados de las tres configuraciones analizadas, considerando la frecuencia de corte, la atenuación de la interferencia de 50 Hz y el tiempo de respuesta.

Tabla 1. Comparación teórica de las configuraciones de filtrado RC.

Parámetro	Sin filtro RC	Filtro original	Filtro alternativo
Resistencia	-	10 kΩ	2,2 kΩ
Capacitancia	-	1 μF	4,7 μF
Frecuencia de corte	-	15,9 Hz	15,39 Hz
Atenuación del filtro RC externo a 50 Hz	0%	69,67 %	70,58 %
Interferencia residual	0,2 V	0,0607 V	0,0588 V
Tiempo adicional al 95 %	0 ms	29,96 ms	30,98 ms

Fuente: elaboración propia a partir del modelo ideal del filtro RC (Li, 2012).

Ambas configuraciones presentan una atenuación y una rapidez de respuesta similares. Sin embargo, la reducción de la resistencia en el circuito alternativo permite disminuir el efecto de la impedancia de entrada del sistema de adquisición.

Efecto de la impedancia de entrada del PLC

El módulo Siemens SM 1231 seleccionado presenta una resistencia de entrada de al menos 9 MΩ para la medición de tensión (Siemens AG, s. f.). Considerando este valor mínimo y una salida ideal del sensor, el error relativo por carga resistiva puede estimarse mediante:

$$E = \frac{R}{R+R_{\text{entrada}}} \cdot 100$$

Para el circuito original:

$$E_1 = \frac{10000}{10000+9000000} \cdot 100$$

$$E_1 \approx 0,111\%$$

Para el circuito alternativo:

$$E_2 = \frac{2200}{2200+9000000} \cdot 100$$

$$E_2 \approx 0,0244\%$$

Bajo los supuestos considerados, el circuito alternativo reduce el error estático producido por la carga resistiva del PLC, manteniendo una capacidad de filtrado similar a la configuración original. No obstante, este resultado no contempla la impedancia de salida del sensor ni otros efectos eléctricos que podrían modificar el comportamiento real.

El módulo Siemens también dispone de funciones configurables de suavizado y rechazo de interferencias de 50/60 Hz (Siemens AG, s. f.). Por lo tanto, aunque ambos filtros externos presentan una atenuación teórica considerable, su contribución adicional dependerá de la configuración del PLC y de las interferencias presentes en la instalación.

Contraste de los resultados con las especificaciones técnicas

Compatibilidad eléctrica con el sensor

La ficha técnica del sensor Banner establece una corriente máxima de 10 mA para su salida de tensión (Banner Engineering Corporation, 2022). Considerando una variación hipotética de 0 a 10 V y un condensador inicialmente descargado, la corriente inicial puede estimarse mediante:

$$I_0 = \frac{\Delta V}{R}$$

Para el filtro original:

$$I_{0,1} = \frac{10}{10000} = 1 \text{ mA}$$

Para el filtro alternativo:

$$I_{0,2} = \frac{10}{2200} = 4,55 \text{ mA}$$

Ambos valores se encuentran por debajo de la corriente máxima especificada. Sin embargo, este cálculo supone una salida ideal y no permite garantizar, por sí solo, el comportamiento del sensor ante las cargas capacitivas propuestas.

Efecto del filtrado sobre la medición de nivel

Para el estanque definido, la señal de 0 a 10 V representa una variación de nivel de 0 a 2 m. Por tanto:

$$\frac{10 \text{ V}}{2 \text{ m}} = 5 \frac{\text{V}}{\text{m}}$$

La interferencia hipotética de 0,2 V produciría una variación aparente de nivel de:

$$\Delta h = \frac{0,2}{5} = 0,04 \text{ m}$$

$$\Delta h_1 = \frac{0,0607}{5} = 0,01214 \text{ m}$$

$$\Delta h_2 = \frac{0,0588}{5} = 0,01176 \text{ m}$$

La Tabla 2 presenta la amplitud de la variación aparente del nivel para las tres configuraciones analizadas.

Tabla 2. Variación aparente del nivel del estanque según la configuración de filtrado.

Configuración	Variación aparente
Sin filtro RC externo	4 cm
Filtro original	1,21 cm
Filtro alternativo	1,18 cm

Fuente: elaboración propia a partir de los resultados del modelo ideal.

La comparación muestra que ambos circuitos reducirían considerablemente la interferencia hipotética antes de la adquisición de la señal. La diferencia entre los dos filtros es pequeña, por lo que la selección no debería basarse exclusivamente en su capacidad de atenuación.

Limitaciones de la validación

El módulo Siemens dispone de suavizado configurable y opciones de rechazo de interferencias, mientras que el sensor Banner incorpora un mecanismo de promedio de sus mediciones (Banner Engineering Corporation, 2022; Siemens AG, s. f.).

Por ello, los resultados anteriores corresponden únicamente a la contribución teórica del filtro RC externo. No representan el error final que registraría el PLC. Para determinarlo

sería necesario conocer la configuración efectiva de adquisición y las características de las interferencias presentes en la instalación.

Simplificaciones del modelo

El análisis realizado considera inicialmente una resistencia ideal cuyo valor permanece constante y un condensador ideal que no presenta pérdidas ni efectos parásitos. También se supone que los valores nominales de ambos componentes corresponden exactamente a los utilizados en los cálculos y que sus características no se modifican debido a cambios de temperatura u otras condiciones ambientales.

El modelo inicial supone una fuente de tensión ideal y desprecia la influencia de la impedancia de entrada del sistema de adquisición. Posteriormente, este supuesto se contrastó con la resistencia de entrada especificada para el módulo Siemens y se estimó el error estático asociado. Sin embargo, no se modelaron la impedancia de salida del sensor, los efectos del cableado ni el procesamiento interno de los equipos.

En un sistema real estas condiciones no se cumplen completamente. Tanto las resistencias como los condensadores presentan tolerancias de fabricación y sus características pueden modificarse dependiendo de las condiciones de operación. Asimismo, el sensor y la entrada del sistema de adquisición poseen características eléctricas propias que pueden influir sobre la respuesta obtenida.

La selección de los valores de resistencia y capacitancia también afecta directamente la velocidad de respuesta del sistema. Al aumentar el producto RC, aumenta la constante de tiempo y disminuye la frecuencia de corte, produciendo un filtrado mayor de las componentes rápidas de la señal, pero aumentando al mismo tiempo el tiempo necesario para que la salida responda frente a un cambio real de la variable medida. Por esta razón, el diseño de un filtro RC conectado a un sistema de adquisición debe considerar tanto la atenuación del ruido como el tiempo disponible para adquirir correctamente la señal (Li, 2012).

5. Discusión

Los resultados obtenidos permitieron evaluar el comportamiento del filtro RC en una aplicación específica de medición de nivel. Para la interferencia hipotética de 50 Hz, el circuito original alcanzó una reducción de amplitud del 69,67 %, mientras que el circuito alternativo alcanzó un 70,58 %. En el estanque propuesto, estas reducciones equivalen a disminuir la variación aparente del nivel desde 4 cm hasta aproximadamente 1,21 cm y 1,18 cm, respectivamente. Sin embargo, estos resultados corresponden al modelo ideal y no consideran el procesamiento interno del sensor ni del PLC.

Respecto de la velocidad de respuesta, el filtro original presentó un tiempo de aproximadamente 29,96 ms para alcanzar el 95 % del valor final, mientras que el alternativo necesitó 30,98 ms. Ambos conservaron prácticamente toda la amplitud de la componente de 0,5 Hz considerada en el análisis. Estos resultados muestran que las dos configuraciones presentan un comportamiento dinámico similar, aunque el retraso total de

la medición también dependerá de la respuesta del sensor y del procesamiento del sistema de adquisición.

La comparación eléctrica permitió identificar una diferencia adicional entre ambos circuitos. Considerando la resistencia de entrada mínima de $9\text{ M}\Omega$ del módulo Siemens, el error estático estimado por carga resistiva disminuyó del 0,111 % al 0,0244 % al utilizar el filtro alternativo. Por lo tanto, reducir la resistencia permite disminuir este efecto sin modificar considerablemente la capacidad de atenuación. No obstante, la selección definitiva requiere considerar también la impedancia de salida del sensor y su comportamiento ante cargas capacitivas.

Un aspecto relevante es que el sensor Banner incorpora un mecanismo de filtrado interno y el módulo Siemens dispone de funciones configurables de suavizado y rechazo de interferencias (Banner Engineering Corporation, 2022; Siemens AG, s. f.). En consecuencia, la atenuación calculada para el filtro RC externo no demuestra que su instalación sea necesaria. Si los mecanismos incorporados en los equipos permiten obtener una señal suficientemente estable, agregar otro filtro podría introducir un retraso adicional sin proporcionar una mejora significativa. Su utilización tendría mayor justificación si se identificaran interferencias que no fueran atenuadas adecuadamente por el sistema existente.

Finalmente, el estudio presenta limitaciones asociadas a sus condiciones hipotéticas y al empleo de componentes ideales. La interferencia de 50 Hz y la variación de 0,5 Hz fueron seleccionadas para comparar el comportamiento del circuito, pero no corresponden a mediciones reales. Además, no se consideraron los efectos del cableado, las tolerancias de los componentes ni la configuración efectiva del PLC. Por ello, los cálculos constituyen una evaluación teórica y documental que permite comparar alternativas, pero la selección para una instalación industrial requeriría verificar las condiciones reales de operación y contrastar los resultados mediante mediciones.

5.1 Valoración del uso de IA

La inteligencia artificial generativa se utilizó como apoyo para ampliar la investigación, identificar equipos industriales, desarrollar los cálculos eléctricos y comparar distintas configuraciones del filtro RC. Su utilización permitió profundizar el análisis inicial mediante la incorporación de un sensor y un PLC reales, relacionando los resultados matemáticos con una posible aplicación industrial. Asimismo, facilitó la organización de la información y la redacción del informe.

Sin embargo, fue necesario distinguir entre las especificaciones técnicas de los fabricantes, los supuestos hipotéticos y los resultados obtenidos mediante cálculos. El uso de IA no sustituye la comprobación de las fuentes ni la validación experimental del circuito. Por ello, la selección definitiva de los supuestos, la interpretación de los resultados y la responsabilidad sobre las conclusiones permanecen bajo responsabilidad humana.

6. Conclusiones

El análisis permitió evaluar el comportamiento de un filtro RC aplicado al acondicionamiento de la señal de un sensor industrial de nivel. Para las condiciones hipotéticas estudiadas, el circuito original de $10\text{ k}\Omega$ y $1\text{ }\mu\text{F}$ redujo un 69,67 % la amplitud de una interferencia de 50 Hz, mientras que conservó prácticamente toda la amplitud de la componente de 0,5 Hz. Su tiempo de respuesta al 95 % fue de aproximadamente 30 ms, lo que permitió cuantificar el compromiso entre atenuación del ruido y rapidez de respuesta.

La comparación con un circuito alternativo de $2,2\text{ k}\Omega$ y $4,7\text{ }\mu\text{F}$ mostró una capacidad de filtrado similar, pero un menor error estático asociado a la resistencia de entrada del PLC. Sin embargo, considerando que el sensor y el módulo de adquisición seleccionados disponen de mecanismos propios de filtrado, los resultados no permiten establecer que sea necesario incorporar un circuito RC externo en todas las condiciones de operación.

En consecuencia, la selección de un filtro RC debe considerar tanto sus características eléctricas como su aporte al sistema de medición completo. El estudio permitió comparar alternativas mediante cálculos y especificaciones técnicas, aunque la decisión de implementar un filtro externo requeriría verificar las interferencias presentes, la configuración efectiva de los equipos y su comportamiento mediante mediciones experimentales.

7. Declaraciones

Licencia de publicación

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

Autorización de edición formal

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.

Responsabilidad de autoría

La persona autora conserva la responsabilidad por las decisiones técnicas, la interpretación y la versión final del informe.

8. 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. *Generative Science Preprints*, 2026(07), 19055673. <https://doi.org/10.5281/zenodo.19055673>
- Banner Engineering Corporation. (2022). Q45U ultrasonic sensors with analog outputs (long range) [Ficha técnica, revisión G]. <https://info.bannerengineering.com/cs/groups/public/documents/literature/48456.pdf>
- Li, D. (2012). Driver circuit design considerations for ADS855x (Application Report SLAA554). Texas Instruments. <https://www.ti.com/lit/pdf/slaa554>
- Ling, S. J., Moebs, W., & Sanny, J. (2016). *University Physics Volume 2*. OpenStax. <https://openstax.org/books/university-physics-volume-2/pages/10-5-rc-circuits>
- Siemens AG. (s. f.). SIMATIC S7-1200, analog input SM 1231, 4 AI, 6ES7231-4HD32-0XB0 [Ficha técnica]. <https://mall.industry.siemens.com/goos/catalog/Pages/mmpdata.ashx?MLFB1=6ES7231-4HD32-0XB0>