

INFORME SEMANA 04

Acondicionamiento eléctrico de una señal de 4 a 20 mA para un sistema de automatización

Aplicación de una resistencia y un condensador en la entrada analógica de un PLC

Autor	Rodrigo Ignacio Núñez Huaiquir
Correo	r.nunez04@ufromail.cl
Fecha	10 de septiembre de 2026
Temática	1.3. Fundamentos eléctricos aplicados a la automatización

Resumen

Este informe analiza el uso combinado de una resistencia y un condensador en el acondicionamiento de una señal industrial de 4 a 20 mA antes de su lectura por un controlador lógico programable. El análisis parte de la ley de Ohm, la relación corriente tensión del condensador y la ley de corrientes de Kirchhoff. Se estudia un transmisor de presión de 0 a 10 bar conectado a una resistencia de $250\ \Omega$ y un condensador de $100\ \mu\text{F}$. La resistencia transforma la corriente en una señal de 1 a 5 V y el condensador forma un filtro de primer orden. El circuito presenta una constante de tiempo de 25 ms y una frecuencia de corte de 6,37 Hz. Ante un cambio de 4 a 20 mA, la tensión alcanza 4,97 V en aproximadamente 125 ms. El resultado muestra que el acondicionamiento puede disminuir ruido de alta frecuencia sin afectar de manera importante una medición lenta de presión. Sin embargo, el modelo deja de ser suficiente cuando existen limitaciones de tensión en el lazo, filtros internos, problemas de aislación, transitorios intensos o comunicación HART. La IA apoyó los cálculos, la redacción y las figuras, mientras que el estudiante definió el tema y conserva la validación académica.

Palabras clave: resistencia, condensador, señal 4-20 mA, filtro RC, PLC, automatización.

1 Introducción

Los sistemas de automatización dependen de señales eléctricas para trasladar información desde los instrumentos de terreno hasta los controladores. Una señal puede representar presión, temperatura, nivel o caudal, pero el PLC solo puede procesarla si se encuentra dentro del rango aceptado por su entrada analógica y si el ruido no altera de forma significativa la medición. Por esta razón, elementos eléctricos básicos como la resistencia y el condensador intervienen directamente en la calidad de los datos que utiliza un sistema de control.

La señal de 4 a 20 mA se utiliza en instrumentación industrial porque codifica una variable de proceso como corriente continua y puede transmitirse a distancia. Texas Instruments explica que el transmisor convierte la información medida en una corriente proporcional dentro de ese rango (Texas Instruments, 2020). Para estudiar su conexión a una entrada de tensión, se propone un circuito con una resistencia en paralelo con un condensador. La resistencia convierte corriente en tensión y el condensador atenúa variaciones rápidas. El caso permite relacionar la teoría eléctrica con la medición, la alimentación y el procesamiento de señales en automatización.

2 Objetivo

Analizar el comportamiento eléctrico de una resistencia y un condensador en el acondicionamiento de una señal de 4 a 20 mA para un PLC, mediante sus ecuaciones, variables, unidades, respuesta temporal, aplicación industrial y condiciones que limitan la validez del modelo ideal.

3 Metodología

Se utilizó un enfoque analítico aplicado. Primero se revisó la pauta de la Semana 04 para seleccionar dos elementos eléctricos y definir una aplicación de automatización. Luego se consultaron textos de circuitos y controladores programables para describir la resistencia, el condensador y la adquisición analógica (Alexander & Sadiku, 2017; Bolton, 2015). La función de la señal de 4 a 20 mA se contrastó con material técnico del fabricante Texas Instruments (2020). Finalmente, se planteó el circuito equivalente, se aplicaron la ley de Ohm y la ley de corrientes de Kirchhoff, y se calcularon tensión, potencia, constante de tiempo, frecuencia de corte y respuesta a un cambio escalón.

El caso es ilustrativo y no corresponde a una instalación medida. Se consideró un transmisor lineal de presión de 0 a 10 bar, una señal ideal de 4 a 20 mA, $R = 250 \, \Omega$, $C = 100 \, \mu\text{F}$ y una entrada de PLC con impedancia suficientemente alta. Los resultados se verificaron mediante sustitución directa y una gráfica numérica. Después se identificaron las condiciones reales que pueden invalidar las simplificaciones.

3.1 Uso de inteligencia artificial

Se utilizó Codex de OpenAI, modelo GPT-5, para apoyar la selección del caso de aplicación, derivar y comprobar las ecuaciones, realizar los cálculos, generar el esquema y la gráfica, organizar la comparación de supuestos y redactar el borrador. La instrucción fue desarrollar la temática 1.3 con al menos dos elementos eléctricos, una ecuación analizada, una aplicación de automatización y una discusión de las simplificaciones. El estudiante seleccionó la temática, proporcionó la pauta y conserva la responsabilidad de revisar la coherencia técnica y la versión entregada.

La Tabla 1 presenta la evaluación realizada por la propia IA sobre la distribución de contribuciones, de acuerdo con los roles del marco Ciencia Generativa (Alarcón, 2026a).

Participante	Contribuciones
Rodrigo Ignacio Núñez Huaiquir Humano	Conceptualización, Validación, Investigación, Revisión y edición.
Codex de OpenAI GPT-5 IA	Conceptualización, Metodología, Investigación, Análisis formal, Redacción del borrador original, Revisión y edición, Visualización.

Tabla 1. Distribución de contribuciones evaluada por la IA según las actividades realizadas.

Los roles compartidos representan colaboración. La validación final, la revisión de las fuentes y la responsabilidad académica corresponden al estudiante.

4 Resultados

4.1 Comportamiento de la resistencia

Una resistencia limita la corriente y establece una diferencia de potencial proporcional a la corriente que la atraviesa. Para un componente ideal y a temperatura constante, la ley de Ohm se expresa como:

$$v_R(t) = R \cdot i_R(t) \quad (1)$$

donde v_R es la tensión en voltios, i_R es la corriente en amperios y R es la resistencia en ohmios. La energía eléctrica se transforma principalmente en calor. La potencia disipada puede calcularse como $P_R = v_R i_R = i_R^2 R$. En el circuito estudiado, $R = 250 \, \Omega$ convierte 4 mA en 1 V y 20 mA en 5 V. En la condición máxima, la potencia es $(0,020 \, \text{A})^2(250 \, \Omega) = 0,10 \, \text{W}$; por ello se propone una resistencia de al menos 0,25 W, con tolerancia baja para reducir el error de medición.

4.2 Comportamiento del condensador

Un condensador almacena carga y energía en un campo eléctrico. Su relación corriente tensión es:

$$i_C(t) = C \cdot dv_C(t)/dt \quad (2)$$

donde i_C se mide en amperios, C en faradios, v_C en voltios y t en segundos. La energía almacenada es $E_C = \frac{1}{2} C v_C^2$. La ecuación muestra que la tensión de un condensador ideal no puede cambiar de forma instantánea, porque ello requeriría una corriente infinita. En régimen permanente de corriente continua, $dv_C/dt = 0$ y el condensador ideal no conduce corriente. Frente a variaciones rápidas, en cambio, deriva parte de la corriente y disminuye el cambio de tensión observado por el PLC.

4.3 Modelo eléctrico combinado

La Figura 1 presenta el circuito analizado. El transmisor se modela como una fuente de corriente conectada a la resistencia y al condensador en paralelo. La tensión común $v(t)$ se envía a una entrada analógica de tensión del PLC.

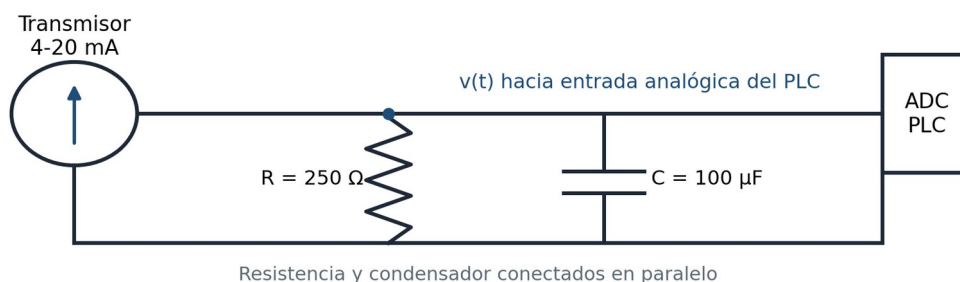


Figura 1. Circuito equivalente para convertir y filtrar una señal de 4 a 20 mA antes de la entrada del PLC. Elaboración propia con apoyo de IA.

Al aplicar la ley de corrientes de Kirchhoff en el nodo de salida se obtiene que la corriente del transmisor es igual a la suma de las corrientes de la resistencia y del condensador:

$$i(t) = v(t)/R + C \cdot dv(t)/dt \quad (3)$$

La ecuación 3 describe un sistema lineal de primer orden. En el dominio de Laplace, suponiendo condición inicial nula, la relación entre tensión y corriente queda:

$$V(s)/I(s) = R/(1 + sRC) \quad (4)$$

La ganancia estática es R , la constante de tiempo es $\tau = RC$ y la frecuencia de corte es $f_c = 1/(2\pi RC)$. La Tabla 2 define las variables principales utilizadas en el modelo.

Símbolo	Definición	Unidad	Valor del caso
$i(t)$	Corriente entregada por el transmisor	A	0,004 a 0,020
$v(t)$	Tensión leída por la entrada del PLC	V	1 a 5 en régimen permanente
R	Resistencia de conversión	Ω	250
C	Capacitancia del filtro	F	100×10^{-6}
τ	Constante de tiempo RC	s	0,025
f_c	Frecuencia de corte	Hz	6,37

Tabla 2. Variables, unidades y valores utilizados en el análisis eléctrico.

4.4 Respuesta temporal y conversión a presión

Para un cambio escalón desde una corriente inicial I_1 hasta una corriente final I_2 , la tensión es:

$$v(t) = RI_2 + (RI_1 - RI_2)e^{-(t/RC)} \quad (5)$$

Con $I_1 = 4$ mA, $I_2 = 20$ mA, $R = 250 \Omega$ y $C = 100 \mu\text{F}$, la respuesta queda $v(t) = 5 - 4e^{-(t/0,025)}$ V. La Figura 2 muestra que después de una constante de tiempo la salida alcanza 3,53 V y después de cinco constantes llega a 4,97 V, equivalente al 99,3 % del cambio total.

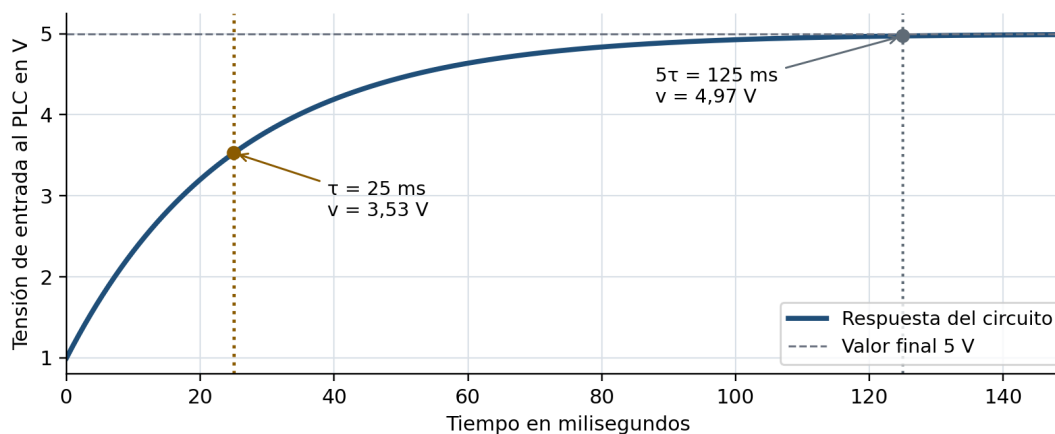


Figura 2. Respuesta teórica de la tensión ante un cambio de 4 a 20 mA. Elaboración propia con apoyo de IA; no corresponde a datos experimentales.

Si el transmisor representa de 0 a 10 bar, la relación ideal entre tensión y presión es $p = 2,5(v - 1)$, con p en bar y v en voltios. En estado permanente, 1 V representa 0 bar, 3 V representa 5 bar y 5 V representa 10 bar. La Tabla 3 resume los resultados del caso.

Condición	Corriente	Tensión	Presión indicada
Mínimo del rango	4 mA	1,00 V	0 bar
Punto medio	12 mA	3,00 V	5 bar
Máximo del rango	20 mA	5,00 V	10 bar
Un tiempo τ tras el escalón	Respuesta transitoria	3,53 V	6,32 bar

Condición	Corriente	Tensión	Presión indicada
Cinco tiempos τ tras el escalón	Respuesta transitoria	4,97 V	9,93 bar

Tabla 3. Conversión entre corriente, tensión y presión para el ejemplo analizado.

4.5 Aplicación en automatización

En una estación de bombeo, un transmisor de presión puede instalarse en la tubería de descarga y enviar la señal de 4 a 20 mA al tablero de control. La fuente de 24 VCC alimenta el lazo; la resistencia transforma la corriente en una tensión compatible; el condensador reduce componentes rápidas; y el convertidor analógico digital del PLC transforma la tensión en un valor numérico. El programa escala ese valor a bar y lo utiliza para alarmas, registro histórico, control de bombas o protección por presión anormal. La Tabla 4 relaciona cada concepto con su intervención en el sistema.

Etapas	Elemento o concepto	Función en el sistema
Alimentación	Corriente continua y fuente de 24 VCC	Entrega energía al transmisor y mantiene el lazo dentro de su margen de operación.
Medición	Señal de 4 a 20 mA	Representa la presión medida y transporta la información hacia el tablero.
Conversión	Resistencia de 250 Ω	Convierte la corriente de 4 a 20 mA en una tensión de 1 a 5 V.
Procesamiento de señal	Condensador de 100 μ F	Forma con R un filtro de primer orden que atenúa variaciones rápidas.
Adquisición	Entrada analógica y ADC del PLC	Muestrea la tensión y la convierte en un número utilizable por el programa.
Decisión y accionamiento	Lógica del PLC y salida hacia bomba o variador	Compara la presión con consignas y ordena la acción definida por el control.

Tabla 4. Relación entre los fundamentos eléctricos y las etapas de una aplicación de automatización.

Con $R = 250 \Omega$ y $C = 100 \mu\text{F}$, $f_c = 6,37 \text{ Hz}$. Para una perturbación sinusoidal de 50 Hz, la magnitud relativa del filtro ideal es $1/\sqrt{1 + (2\pi fRC)^2} = 0,126$, equivalente a aproximadamente -18 dB. La atenuación puede ser útil en un proceso de presión lento. Sin embargo, no reemplaza el apantallamiento, la puesta a tierra correcta, la separación de cables de potencia ni la protección contra sobretensiones.

4.6 Simplificaciones y límites de validez

La Tabla 5 identifica las simplificaciones del análisis y las condiciones en las que el modelo dejaría de representar adecuadamente el sistema real.

Simplificación	Cuándo deja de ser adecuada	Comprobación o corrección
Fuente de corriente ideal	La tensión disponible no cubre la caída del transmisor, cables, barreras y resistencia.	Verificar $V_s \geq V_{tx,min} + I_{max}(R + R_{cable} + R_{otros})$.
R y C constantes	La tolerancia, temperatura, fuga del condensador o envejecimiento generan error.	Usar componentes adecuados, calcular incertidumbre y calibrar el canal.
Entrada del PLC sin carga	La impedancia o el filtro interno del módulo modifica R, τ y la escala.	Revisar la ficha técnica y modelar el circuito equivalente completo.
Sistema de primer orden	El transmisor, la tubería y el muestreo agregan retardos y otras dinámicas.	Realizar una prueba escalón y ajustar el modelo con datos.
Ruido como señal pequeña	Existen transitorios, diferencias de tierra o acoplamiento desde potencia.	Aplicar aislación, supresión, cable apantallado y diseño de tierra.

Simplificación	Cuándo deja de ser adecuada	Comprobación o corrección
Señal solo analógica	El lazo utiliza HART u otra comunicación superpuesta de alta frecuencia.	Rediseñar el filtro para no eliminar la comunicación y respetar la carga exigida.
Proceso lento	Se deben detectar pulsos o cambios más rápidos que el ancho de banda del filtro.	Reducir C o diseñar el filtro según la dinámica y frecuencia de muestreo.

Tabla 5. Simplificaciones del modelo y condiciones que limitan su aplicación.

Una limitación práctica adicional es que muchos módulos de PLC aceptan directamente 4 a 20 mA e incorporan su propia resistencia de medición y filtrado. En ese caso, agregar otra resistencia de 250 Ω sería innecesario y aumentaría la caída de tensión del lazo. El circuito propuesto corresponde a una entrada de tensión o a un diseño didáctico; siempre debe verificarse el manual del módulo real.

5 Discusión

Los resultados muestran que la resistencia y el condensador cumplen funciones diferentes pero relacionadas. La resistencia determina la conversión estática entre corriente y tensión, mientras el condensador determina la rapidez con que esa tensión puede cambiar. En el ejemplo, la resistencia hace compatible la señal con una entrada de 1 a 5 V y el condensador agrega un retardo pequeño para una variable de presión. Considero que esta combinación es útil cuando el proceso es lento y el ruido ocurre a frecuencias mayores que la dinámica que se desea observar.

El valor de C no puede elegirse solo buscando una señal más suave. Un condensador mayor disminuye la frecuencia de corte, pero también retrasa alarmas y oculta cambios rápidos. La selección debe partir del ancho de banda del proceso, del tiempo de respuesta exigido y del filtro interno del PLC. Para el caso estudiado, alcanzar 99,3 % del cambio en 125 ms es aceptable para muchas mediciones de presión, pero no necesariamente para una protección eléctrica o mecánica rápida.

La simplificación más delicada es tratar el transmisor como una fuente ideal. En una instalación real, el lazo necesita suficiente tensión para alimentar cada elemento. También pueden aparecer errores por tolerancia, temperatura, tierra, interferencia y cuantización. El filtro RC solo reduce parte del ruido; no corrige una instalación deficiente ni protege por sí mismo frente a sobretensiones. Además, si existe comunicación HART, el condensador propuesto puede atenuarla de forma severa. Por ello, el circuito debe entenderse como una base de análisis y no como un diseño universal.

En cuanto al uso de IA, fue útil para comprobar resultados numéricos, organizar las limitaciones y generar representaciones visuales. Su principal riesgo fue producir una solución aparentemente completa sin conocer el módulo de PLC, el transmisor ni la instalación real. La revisión humana permitió mantener los valores como un ejemplo didáctico y agregar condiciones que obligan a consultar las fichas técnicas y realizar pruebas antes de implementar.

6 Conclusiones

La resistencia y el condensador permiten explicar una parte relevante del acondicionamiento de señales en automatización. La resistencia de 250 Ω convierte la corriente de 4 a 20 mA en una tensión de 1 a 5 V y disipa como máximo 0,10 W en el ejemplo. El condensador de 100 μ F forma un sistema de primer orden con $\tau = 25$ ms y $f_c = 6,37$ Hz.

La ecuación $i(t) = v(t)/R + Cdv(t)/dt$ describe el comportamiento conjunto. Ante un cambio de 4 a 20 mA, la tensión se aproxima desde 1 V hasta 5 V y alcanza 4,97 V en 125 ms. En un transmisor de 0 a 10 bar, esos límites representan el rango completo de presión.

La aplicación muestra la intervención de los fundamentos eléctricos en alimentación, medición, conversión, procesamiento, adquisición y accionamiento. Su utilidad depende de que el tiempo de respuesta sea compatible con el proceso y de que exista tensión suficiente en el lazo.

El aporte concreto del informe es vincular ecuaciones básicas con una decisión de diseño verificable. Antes de implementar el circuito deben revisarse la entrada real del PLC, el margen de tensión, el filtrado interno, la aislación, la compatibilidad con HART y las condiciones de interferencia. Las simplificaciones permiten comprender el sistema, pero no sustituyen la ficha técnica ni la validación experimental.

Licencia. Este trabajo se disponibiliza bajo la licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0), que permite compartir y adaptar el contenido con reconocimiento adecuado de la autoría.

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, 7 de septiembre). Requerimientos Informe Semana 04 [Guía de evaluación]. Universidad de La Frontera.
- Alexander, C. K., & Sadiku, M. N. O. (2017). *Fundamentals of electric circuits* (6th ed.). McGraw-Hill Education.
- Bolton, W. (2015). *Programmable logic controllers* (6th ed.). Newnes.
- Texas Instruments. (2020, 3 de diciembre). Introduction to 4-20-mA current loop transmitters [Video]. <https://www.ti.com/video/6213906041001>