

Informe Semana 04

Medición industrial con resistencia y condensador en un lazo de corriente de 4 a 20 mA

Autor: Ignacio Baltazar Riquelme Vergara

Correo: i.riquelme10@ufromail.cl

Fecha: 07-09-2026

Resumen

Este informe desarrolla los fundamentos de resistencia y capacitancia mediante un caso hipotético de medición de temperatura en automatización industrial. Se analiza un transmisor calibrado para representar 0 a 100 °C mediante una corriente de 4 a 20 mA; una resistencia de 250 Ω convierte esa corriente en una señal de 1 a 5 V y un condensador de 100 μF , considerado en paralelo, atenúa las variaciones rápidas antes de la lectura analógica. Bajo supuestos ideales, la relación del circuito es $C \cdot dv/dt + v/R = i(t)$, con una constante de tiempo de 0,025 s y una frecuencia de corte aproximada de 6,37 Hz. Los cálculos muestran la utilidad de la conversión y el filtrado, así como su costo en tiempo de respuesta. El ejemplo es académico: no se midió un equipo real ni se seleccionó un módulo de entrada específico. La aplicación requiere comprobar la compatibilidad eléctrica y dinámica antes de trasladarse a una instalación.

1. Introducción

Un proceso automatizado necesita transformar las magnitudes físicas en señales que el sistema de control pueda interpretar. Un transmisor industrial puede representar una medición mediante un lazo de corriente de 4 a 20 mA; en el extremo receptor, una resistencia convierte esa corriente en un voltaje medible (Analog Devices, 2016). La resistencia y el condensador permiten explicar, en un mismo ejemplo, la ley de Ohm, el almacenamiento de carga y el efecto del filtrado sobre una señal que cambia con el tiempo (National Instruments, 2026).

La pregunta central es cómo esos componentes intervienen en una medición para automatización y hasta dónde sirve un modelo eléctrico sencillo. Para responderla se plantea una señal hipotética de temperatura y se separan los datos de referencia publicados por fabricantes de los valores de diseño elegidos solo para el ejercicio. No se propone modificar una instalación existente.

2. Objetivo

Analizar la función de una resistencia y un condensador en la lectura de una señal industrial de 4 a 20 mA, mediante un modelo de primer orden y cálculos verificables, para explicar sus beneficios y las condiciones en que el modelo deja de representar adecuadamente un sistema real.

3. Metodología

Se revisaron la guía de la Semana 04 (Alarcón, 2026b) y documentos técnicos de Analog Devices, National Instruments y Texas Instruments. A partir de ellos se eligió un caso hipotético: un transmisor de temperatura calibrado linealmente de 0 a 100 °C, una resistencia receptora de 250 Ω , un condensador de 100 μF conectado en paralelo a esa resistencia y una entrada analógica que, por hipótesis, mide el voltaje sin cargar apreciablemente el circuito. Los valores del rango de temperatura y del condensador son supuestos del ejemplo; el uso de 250 Ω como receptor de 4 a 20 mA está descrito en la bibliografía (Analog Devices, 2016; Wells, 2014).

Se aplicaron la ley de Ohm y la relación corriente-voltaje del condensador para obtener la ecuación temporal. Se calcularon los voltajes de tres valores de corriente, la potencia máxima en la resistencia, la constante de tiempo, la frecuencia de corte y la respuesta a un cambio ideal. No se realizaron ensayos, mediciones ni simulaciones de una planta real. Se compararon las afirmaciones sobre el lazo y el filtrado con las páginas técnicas citadas y se revisaron por separado las operaciones aritméticas; los resultados derivados se presentan como cálculos propios del caso, no como valores publicados por los fabricantes.

3.1. Uso de IA

Se utilizó ChatGPT, modelo GPT-6, para organizar la investigación, seleccionar el caso ilustrativo, formular y comprobar los cálculos, redactar el borrador y revisar la correspondencia entre las fuentes y las afirmaciones. Como verificación de sus aportes, se comprobó que Analog Devices documenta la conversión de 4–20 mA a 1–5 V con 250 Ω ; que National Instruments describe la atenuación de componentes rápidas mediante filtros RC; y que Texas Instruments advierte sobre la tensión disponible para mantener regulado el lazo. También se recalcularon $0,020^2 \times 250 = 0,100$ W, $R \cdot C = 0,025$ s y $1/(2\pi RC) \approx 6,37$ Hz. No se atribuye a las fuentes el rango hipotético de temperatura ni la elección de 100 μ F.

Evaluación de contribuciones realizada por la IA según el marco Ciencia Generativa (Alarcón, 2026a): Ignacio Baltazar Riquelme Vergara (humano): Conceptualización del encargo, fecha y requisitos de presentación; responsabilidad de Validación académica final y decisión de entrega. ChatGPT, modelo GPT-6 (IA): Conceptualización del caso técnico, Metodología, Investigación, Análisis formal, Redacción del borrador original, Revisión y edición, Visualización en la tabla y Validación técnica preliminar de fuentes y operaciones. Esta distribución describe los aportes de la IA en el desarrollo del informe. Asumo la responsabilidad de validar académicamente el contenido final y decidir su entrega.

4. Resultados

4.1. Elementos eléctricos y caso de medición

La resistencia se opone al paso de corriente y, en este caso, transforma la corriente recibida en una diferencia de potencial: $V = I \cdot R$ (1). Su unidad es el ohm (Ω). El condensador almacena carga eléctrica; cuando el voltaje entre sus terminales cambia, circula una corriente $i_C = C \cdot dv/dt$ (2), donde la capacitancia C se mide en faradios (F). En corriente continua estable, el condensador ideal deja de conducir, mientras que ante cambios rápidos desvía parte de la corriente. Un conjunto de resistencia y condensador puede actuar así como filtro de paso bajo (National Instruments, 2026).

En el caso elegido, un transmisor hipotético informa la temperatura por una corriente $i(t)$ de 4 a 20 mA. La corriente llega a una resistencia receptora R de 250 Ω , sobre la cual se mide el voltaje $v(t)$; un condensador C de 100 μ F se considera conectado en paralelo con la resistencia. Una entrada analógica de alta impedancia leería $v(t)$ y un controlador podría convertirlo en temperatura. Analog Devices (2016) documenta el uso de 250 Ω para obtener 1 V a 4 mA y 5 V a 20 mA. La alimentación del transmisor, su rango térmico y la entrada analógica concreta no se especifican, porque no se escogió un equipo comercial.

4.2. Ecuación del circuito y supuestos

Si el transmisor se aproxima como fuente de corriente ideal y la entrada analógica no consume corriente apreciable, la corriente se reparte entre la resistencia y el condensador. Por la ley de corrientes, $i(t) = v(t)/R + C \cdot dv(t)/dt$ (3). Al multiplicar por R se obtiene la ecuación de primer orden:

$$R \cdot C \cdot dv(t)/dt + v(t) = R \cdot i(t) \quad (4)$$

Aquí i es corriente en amperios (A), v es voltaje en voltios (V), t es tiempo en segundos (s), R es resistencia en ohmios (Ω), C es capacitancia en faradios (F) y RC tiene unidades de segundos. La expresión supone componentes lineales e ideales, capacitancia constante, calibración lineal del transmisor, ausencia de cargas adicionales importantes y suficiente tensión de alimentación para que el transmisor mantenga la corriente solicitada. Es una descripción de la señal eléctrica en el receptor, no del tiempo que tarda el sensor en detectar un cambio real de temperatura.

Para una corriente constante, el condensador ideal deja de conducir y queda $v = R \cdot i$. La constante de tiempo del circuito es $\tau = RC$ (5) y su frecuencia de corte ideal es $f_c = 1/(2\pi RC)$ (6). Con $R = 250 \, \Omega$ y $C = 100 \, \mu F = 0,0001 \, F$, se obtiene $\tau = 0,025 \, s$ y $f_c \approx 6,37 \, Hz$. Esta expresión de frecuencia de corte corresponde al modelo de un solo polo empleado en el análisis de filtros RC (National Instruments, 2026).

4.3. Cálculos para la escala de temperatura

La Tabla 1 presenta tres puntos calculados. La conversión a temperatura solo vale bajo la calibración hipotética de $0 \, ^\circ C$ a $4 \, mA$ y $100 \, ^\circ C$ a $20 \, mA$; por ello, $T = 100 \cdot (i - 4 \, mA) / (16 \, mA)$ (7), y, en régimen estable, $T = 25 \cdot (v - 1 \, V) \, ^\circ C / V$ (8). La tabla describe valores estacionarios: durante una transición, el condensador hace que el voltaje momentáneo aún no corresponda a la nueva corriente.

Tabla 1. Conversión calculada de corriente a voltaje y temperatura en el caso hipotético. Fuente: elaboración del informe a partir de $V = I \cdot R$ y de la calibración supuesta.

Corriente del lazo	Voltaje en $250 \, \Omega$	Temperatura hipotética
4 mA	1 V	$0 \, ^\circ C$
12 mA	3 V	$50 \, ^\circ C$
20 mA	5 V	$100 \, ^\circ C$

A $20 \, mA$ la potencia disipada por la resistencia sería $P = I^2 R = (0,020 \, A)^2 \times 250 \, \Omega = 0,100 \, W$ (9); ese cálculo permite comprobar si la potencia nominal de un componente real es suficiente, pero no especifica por sí solo qué pieza se instalaría. Ante un salto ideal desde 4 hasta $20 \, mA$, el modelo predice $v(t) = 5 \, V - 4 \, V \cdot e^{(-t/0,025 \, s)}$ (10). Por lo tanto, a $t = 0,025 \, s$ se obtiene aproximadamente $3,53 \, V$ y a $t = 0,125 \, s$ cerca de $4,97 \, V$. Para una perturbación sinusoidal de $50 \, Hz$, el cociente ideal de amplitudes es $1/\sqrt{1+(2\pi f RC)^2} \approx 0,126$ (11). Los valores solo describen el filtro eléctrico supuesto; no son una medición de reducción de ruido en una instalación.

4.4. Condiciones que limitan el modelo

El modelo deja de ser suficiente si la entrada analógica incorpora ya una resistencia de medición, si su impedancia modifica la carga, si el transmisor no puede sostener la corriente por falta de margen de tensión o si la tolerancia y las fugas del condensador alteran la respuesta. Wells (2014) señala que el exceso de caída de tensión en la carga y los conductores puede impedir que un transmisor de dos hilos regule el extremo alto del intervalo. Tampoco se han incluido las características de filtrado, muestreo y diagnóstico del módulo receptor; esas funciones pueden cambiar la respuesta total del sistema.

5. Discusión

El ejemplo muestra dos funciones distintas: la resistencia hace legible la corriente para una entrada de voltaje, y el condensador suaviza cambios eléctricos rápidos. La combinación puede ayudar a estabilizar una lectura de temperatura relativamente lenta, pero el mismo filtrado retrasa la representación de cambios verdaderos. Por ello, el valor de 100 μF no debe interpretarse como selección universal: habría que considerar el tiempo propio del sensor, la tasa de muestreo, el ruido observado y el módulo de entrada disponible. Si este último acepta 4 a 20 mA de forma directa, añadir otra resistencia receptora podría alterar la carga del lazo.

El uso de IA facilitó reunir los conceptos y efectuar las operaciones, pero también pudo haber producido una propuesta aparentemente precisa para un equipo que aquí no está identificado. La comparación con documentación de fabricantes permitió respaldar el principio de conversión y el comportamiento de filtro, mientras que los valores numéricos particulares quedaron identificados como supuestos o cálculos. No hay evidencia experimental en este informe para afirmar que el circuito mejora una medición real; esa conclusión necesitaría datos de una aplicación concreta y una revisión de compatibilidad.

6. Conclusiones

La resistencia y el condensador cumplen funciones complementarias en una señal industrial de 4 a 20 mA. En el ejemplo hipotético, una resistencia de 250 Ω produce una lectura estable entre 1 y 5 V; un condensador ideal de 100 μF en paralelo genera un filtro cuya constante de tiempo es 0,025 s y cuya frecuencia de corte es cercana a 6,37 Hz. Estos resultados permiten entender y cuantificar tanto la conversión de la señal como la demora que introduce el filtrado. La ecuación RC ofrece una primera aproximación útil para una entrada analógica, siempre que se verifiquen la calibración, la carga del lazo, la respuesta del transmisor y las características del equipo receptor. El aporte del análisis consiste en mostrar qué puede predecirse con un modelo básico y qué datos siguen faltando antes de justificar una aplicación real de automatización.

7. Declaraciones

Contribuciones

La distribución de roles entre el estudiante y ChatGPT fue evaluada por la propia IA y se detalla en la subsección Uso de IA. La responsabilidad de revisar personalmente y aprobar la versión que se entregue corresponde a Ignacio Baltazar Riquelme Vergara.

Autorizaciones finales

Publicación académica: AUTORIZO expresamente la publicación académica de esta versión identificada del informe, con mi nombre completo y correo institucional tal como figuran en el documento. AUTORIZO su difusión en repositorios y sitios web académicos y la publicación de la misma copia entregada para evaluación.

Condición de reutilización: AUTORIZO la lectura, cita y reutilización de esta versión identificada con fines académicos, indicando el título del trabajo y su fuente de publicación. Cualquier modificación sustantiva requiere mi revisión y aprobación previa.

Modificación por terceros o coautores: NO AUTORIZO que versiones modificadas se presenten como esta misma versión del informe sin mi revisión y aprobación previa.

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, 7 de septiembre). Requerimientos Informe Semana 04 [Guía de actividad]. Curso de Automatización, Universidad de La Frontera.
- Analog Devices. (2016, 6 de septiembre). PIXI MAX11300 4–20mA current control loop transmitter.
<https://www.analog.com/en/resources/technical-articles/pixi-max11300-420ma-current-control-loop-transmitter.html>
- National Instruments. (2026, 3 de septiembre; actualización). Analog circuits: Ohm's law & basic concepts.
<https://www.ni.com/en/shop/data-acquisition/measurement-fundamentals/analog-fundamentals/basic-analog-circuits.html>
- Wells, C. (2014, 4 de noviembre). 2-wire 4–20 mA sensor transmitters: Background and compliance voltage (Part 1). Texas Instruments.
https://e2e.ti.com/blogs_/archives/b/precisionhub/posts/two-wire-4-20-ma-transmitters-background-and-common-issues