

Recibido 4 de julio de 2025. Aceptado 26 de noviembre de 2025. Publicado 22 de diciembre de 2025.

ISSN: 2448-7775

Evaluación y Validación Experimental del Modelo de Relé de Sobre Corriente de Tiempo Inverso 51 en EMTP-ATP

JOSÉ JESÚS CONTRERAS PERÉZ², JUAN MANUEL CANO GALLARDO¹, DANIEL PEÑA PÉREZ², OSVALDO RODRÍGUEZ VILLALÓN, LUIS RAMON MERCHAN VILLALBA^{1*}

¹Universidad de Guanajuato, División de Ingenierías.

²LAPEM.

*Autor de correspondencia: lr.merchan@ugto.mx

RESUMEN En este trabajo se presenta la evaluación, simulación y validación de un modelo de relé de sobrecorriente de tiempo inverso tipo 51 utilizando el software EMTP-ATP. El modelo es contrastado con resultados experimentales obtenidos mediante pruebas en un relé físico SEL-451, ampliamente utilizado en sistemas de protección modernos. Se emplean curvas IEC estándar para ajustar el comportamiento del relé virtual, simulando diversas condiciones de operación. Posteriormente, se realiza la configuración equivalente en el SEL-451, evaluando la correlación entre ambos resultados. Los resultados muestran una alta concordancia en los tiempos de operación, validando la capacidad de EMTP-ATP como plataforma efectiva para estudios de coordinación de protecciones. Este trabajo ofrece una base práctica para ingenieros en el diseño y prueba de esquemas de protección utilizando herramientas digitales y relés comerciales.

PALABRAS CLAVE — Protecciones, sobrecorriente, simulación EMT.

I. INTRODUCCIÓN

La protección de sistemas eléctricos es una función crítica para garantizar la continuidad del servicio, la integridad de los equipos y la seguridad de las personas. Dentro de las múltiples funciones de protección, la sobrecorriente temporizada cumple un rol esencial en redes de media y baja tensión, proporcionando una respuesta escalonada y coordinada frente a fallas. El relé tipo 51, basado en una lógica de tiempo inverso, es ampliamente utilizado para garantizar selectividad, permitiendo que las fallas sean despejadas por el dispositivo más cercano antes de que afecten al sistema completo [1], [2]. Su versatilidad y aplicabilidad lo han convertido en una herramienta estándar para la protección radial y escalonada en sistemas eléctricos industriales y de distribución.

El desarrollo tecnológico ha llevado a que gran parte de los estudios de protección se trasladen a entornos digitales de simulación, donde se pueden modelar, analizar y validar esquemas de protección sin los riesgos inherentes a las pruebas físicas. Diversas plataformas permiten modelar la operación de relés de protección, tanto mediante ecuaciones lógicas como mediante bloques funcionales predefinidos. El modelado de estos dispositivos debe considerar no solo los parámetros eléctricos, sino también las curvas de disparo temporizadas normalizadas, como las definidas en la norma

IEC 60255-151 [3]. La simulación de protecciones bajo condiciones de transitorios electromagnéticos es particularmente importante, ya que estos eventos reflejan el comportamiento más exigente y crítico de los sistemas eléctricos [4], [5], [6], [7].

El software EMTP-ATP se ha establecido como una herramienta fundamental para el análisis detallado de transitorios electromagnéticos y la simulación de sistemas de protección [8]. Su capacidad para representar fenómenos dinámicos complejos, como fallas, saturaciones y disparos de relés, lo ha convertido en una referencia tanto en ambientes académicos como industriales [9], [10]. Diversos estudios han demostrado su aplicabilidad para modelar dispositivos de protección con alta precisión, así como para evaluar propuestas de esquemas de protección [11], [12], [13]. En [14] modelaron un relé de distancia y validaron su comportamiento mediante pruebas de laboratorio, lo que demostró la capacidad del entorno EMTP para reproducir fielmente la respuesta transitoria de protecciones digitales. De forma similar, en [15] desarrollaron una metodología de pruebas de relés basada en transitorios generados en EMTP, destacando su potencial para evitar errores de diseño en etapas tempranas. En [14] propusieron una metodología para crear y validar modelos de protección eléctrica en ATP, con aplicaciones prácticas en relés de sobrecorriente. En [16], se integró EMTP con pruebas físicas end-to-end para verificar

la lógica de operación de relés. Además, estudios como los presentados en [17] y [18] profundizan en la simulación de eventos reales y su correlación con la lógica de disparo en relés comerciales, reafirmando que EMTP-ATP permite modelar, simular y validar protecciones con un alto grado de confiabilidad, convirtiéndose así en una plataforma idónea para estudios como el que se plantea en este trabajo.

En este trabajo se aborda el modelado y simulación del relé 51 de tiempo inverso en EMTP-ATP, configurado con parámetros definidos por la norma IEC. Posteriormente, se realiza la validación experimental mediante un banco de pruebas con un relé físico SEL-451, el cual permite implementar curvas IEC similares y registrar los tiempos de operación bajo condiciones equivalentes. Esta comparación busca comprobar la fidelidad del modelo simulado respecto al dispositivo real, aportando evidencia empírica sobre la confiabilidad del entorno EMTP-ATP para el diseño y análisis de sistemas de protección.

II. PROTECCIÓN DE SOBRECORRIENTE DE TIEMPO INVERSO

El relé 51 responde ante sobrecorrientes cuya magnitud supera un umbral de disparo, con un tiempo de actuación que varía en función inversa de la magnitud de la corriente. Según la norma IEC 60255-151 [3], las curvas normalizadas más utilizadas para estos relés son:

- Curva inversa estándar (Standard Inverse)
- Curva muy inversa (Very Inverse)
- Curva extremadamente inversa (Extremely Inverse)

La expresión general definida por la IEC 60255-151 para estas curvas es la siguiente

$$t = TMS \left(\frac{K}{\left(\frac{I}{I_p}\right)^\alpha} + c \right) \quad (1)$$

Donde, TMS es el ajuste de multiplicador de tiempo, t es el tiempo de operación, I es la corriente medida, I_p es la corriente de disparo ajustada en el relé, K , α y c son constantes que dependen del tipo de curva seleccionada.

En la Fig. 1 se presenta una tabla con los valores que conforman las diversas curvas de la IEC 60255-151 para la protección 51 de tiempo inverso.

Curve type	Operating time			Reset time		Commonly used name
	$t(G) = TMS \left[\frac{k}{\left(\frac{G}{G_S}\right)^\alpha} + c \right]$			$t_r(G) = TMS \left(\frac{t_r}{1 - \left(\frac{G}{G_S}\right)^\alpha} \right)$		
	k s	c s	α	t_r s	α	
A	0,14	0	0,02	*	*	Inverse
B	13,5	0	1	*	*	Very inverse
C	80	0	2	*	*	Extremely inverse
D	0,0515	0,1140	0,02	4,85	2	IEEE Moderately inverse
E	19,61	0,491	2	21,6	2	IEEE Very inverse
F	28,2	0,1217	2	29,1	2	IEEE Extremely inverse

* For curves A, B and C, the manufacturer shall declare if dependent time reset characteristic is implemented and provide the appropriate information.

Fig. 1. Parámetros de las curvas IEC 60255-151 [19].

III. MODELADO PROTECCIÓN 51 en EMTP-ATP

El modelado de la protección 51 de sobrecorriente de tiempo inverso en el software EMTP-ATP comprende el uso de dos bloques, uno de obtención de valores RMS de corriente (ABC2RMS) y otro de implementación de la curva respectiva (WIRELAY51I). Los elementos mencionados se presentan en la Fig. 2, teniendo como entrada la medición de las señales de corriente (I_{abc}) y como salida la señal de disparo del relé (Trip).

Los bloques de medición RMS y de protección 51 inversa son implementados mediante la herramienta MODEL en el software. La descripción de los bloques ABC2RMS y WIRELAY51I se muestran en las Fig. 3 y 4, donde se pueden identificar los algoritmos implementados en EMTP-ATP.

El bloque ABC2RMS toma valores de la señal de entrada para calcular el respectivo valor RMS, debido a indicar como parámetro de entrada la frecuencia fundamental de la medición y la frecuencia de muestreo con la cual se tomarán los valores para el cálculo.

El bloque WIRELAY51I toma los valores RMS de la señal y los compara con la respectiva curva para generar la señal de disparo. Para este bloque se configuran las constantes de la curva a utilizar, y se tiene como salida la señal de disparo. Adicionalmente, este bloque presenta una herramienta para graficar las respuestas de una forma que favorezca la coordinación de protecciones, lo cual se explorará en la sección de resultados.

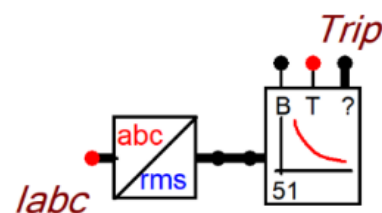


Fig. 2. Bloques para implementación de protección 51 en EMTP-ATP.

```

MODEL ABC2RMS
comment-----
Calculates the true rms value of a 3-phase signal based on integration.
SampleFreq frequency should be whole multiple of power frequency.
-----endcomment
DATA
freq -- base frequency
xrms_ini (dflt:-1) -- initial rms value
scale (dflt:1) -- multiply output by this number
SampleFreq -- sample frequency in Hz
INPUT
x[1..3] -- monitored signal
OUTPUT
xrms[1..3] -- rms value of monitored signal
VAR
xrms[1..3]
x2[1..3] -- internal, x*x
ix2[1..3] -- internal, integral of x2
period -- 1/freq
n
TIMESTEP min:recip(SampleFreq) --this restricts local timestep to avoid overflow
DELAY CELLS(ix2[1..3]): recip(freq*timestep) +2
INIT
period := recip(freq)
histdef(ix2[1..3]) := 0
integral(x2[1..3]) := 0
IF xrms_ini <0 THEN xrms[1..3]:=0 ELSE xrms[1..3]:=xrms_ini ENDF
ENDINIT
EXEC
FOR n:=1 TO 3 DO
x2[n] := x[n]*x[n]
ix2[n] := integral(x2[n])
IF t>period THEN
xrms[n] := sqrt((ix2[n] - delay(ix2[n], period))*freq)*scale
ENDIF
ENDFOR
ENDEXEC
ENDMODEL

```

Fig. 3. Descripción en MODEL de ABC2RMS.

El bloque WIRELAY51I toma los valores.

```

MODEL WIRELAY51I
comment-----
Inverse time overcurrent relay.
ts= D*(A/((I_rms/I_s)^Q -1)+B)
-----endcomment
DATA Is --Starting current
D --time multiplier
-- IEC: NI VI EI IEEE: NI VI EI
A -- 0.14 13.5 80.0 0.0515 19.61 28.20
B -- 0 0 0 0.1140 0.491 0.1217
Q -- 0.02 1 2 0.02 2 2
Tr -- 4.85 21.6 29.1
DownSampl -- Write out every DownSampl
t_init -- Time before relay starts sampling
Idx -- Unique identifier (managed by ATPDraw)
INPUT
irms[1..3]
Block (dflt:0) -- Blocking signal TRUE or 1 = Block
OUTPUT Trip
Zone[1..3] --Shows which zone (0 or 1 here) trips in which phase (1..3)
VAR trip,Zone[1..3],ts[1..3],M,j,n
INIT
trip:=1
Zone[1..3]:=0
ts[1..3]:=0
j:=0
ENDINIT
EXEC
if (t>t_init) and (Block=FALSE)
then
FOR n:=1 TO 3 DO
M:=ABS(irms[n]*recip(Is))
if M>1
then
ts[n]:=ts[n]+timestep
if ts[n]>D*(A*recip(M**Q-1)+B)
then
Zone[n]:=1
endif
else
ts[n]:=ts[n]-timestep
if ts[n]<-D*Tr*recip(M**2-1)
then
ts[n]:=0
endif
endif
endif
ENDFOR
trip:=not OR(Zone[1],Zone[2],Zone[3],not trip)
if (j mod DownSampl) = 0
then
write('BEGIN WRITE @WIRELAY51I',round(Idx)) --Do not modify
write(irms[1], ts[1], irms[2], ts[2], irms[3], ts[3], trip) --Add multiple
write('END WRITE @WIRELAY51I',round(Idx)) --Do not modify
endif
j:=j+1
endif
ENDEXEC
ENDMODEL

```

Fig. 4. Descripción en MODEL de W1RELAY51I.

IV. RESULTADOS

Para la evaluación del modelo se seleccionó una curva inversa tipo A, a la cual se le establecieron los parámetros para poder desarrollar la simulación y posteriormente la validación experimental. El desarrollo de la prueba de simulación y experimental corresponde con obtener varios puntos de operación a través de la inyección de señales de

corriente de prueba, debiendo responder con la señal de disparo según lo indica la curva seleccionada.

En este trabajo, se consideró la curva expresada en (2), correspondiente al tipo inverso A. La representación gráfica de la curva se presenta en la Fig. 5, indicando los puntos que serán considerados para las pruebas 1 y 2 que se describirán a continuación.

$$t = 0.1 \left(\frac{0.14}{\left(\frac{I}{I_p}\right)^{0.02} - 1} + 0 \right) \quad (2)$$

La simulación del relé se realiza mediante la inyección de señales de corriente, lo cual se implementa con sistema de fuentes de corriente ideales las cuales son inyectadas directamente al relé. La implementación del sistema de prueba en EMTP-ATP se presenta en la Fig. 6, donde se hace uso de elementos TACS. Para la medición RMS de la corriente se establece una frecuencia de muestreo de 480 Hz, correspondiente a 8 veces la frecuencia fundamental. Se considera este parámetro que viene por defecto dentro del modelo ABC2RMS.

Para la simulación se consideran dos pruebas. Como prueba 1 se inyecta una corriente de 0.5 Arms seguido de 1 Arms, y como prueba 2, se inyecta una corriente de 0.5 Arms seguido de 3.5 Arms. Los resultados de las pruebas 1 y 2 mostrados a través de las señales temporales de corriente instantánea, corriente rms y señal de disparo Trip (negada) se tienen en las Fig. 7 y 8, donde se puede observar que en el tiempo de 0.3 s aparece el aumento en las señales de corriente, y transcurriendo un tiempo de 1.002 s y 0.352 s las señales de disparo se activas para las pruebas 1 y 2 respectivamente.

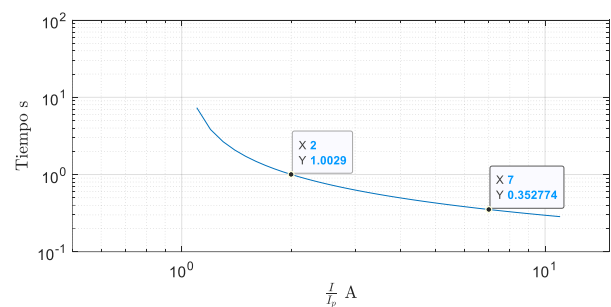


Fig. 5. Gráfica curva (2) en escala logarítmica.

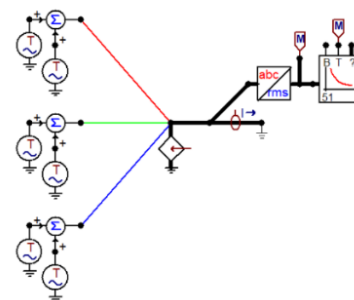


Fig. 6. Implementación en EMTP-ATP prueba del relé 51.

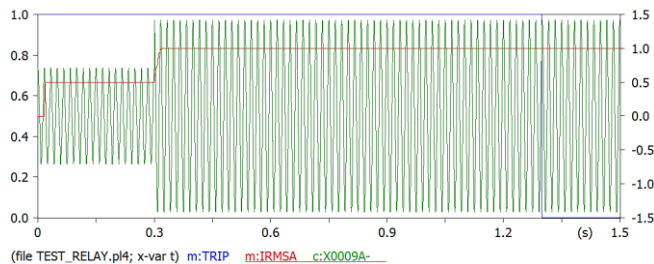


Fig. 7. Señales temporales prueba 1.

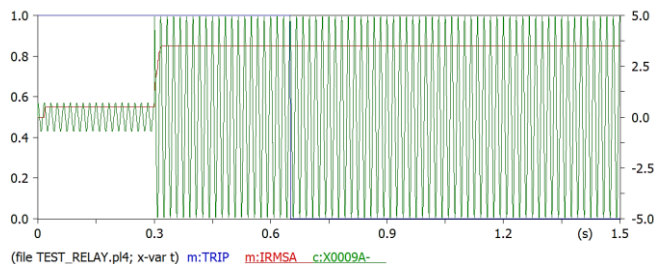


Fig. 8. Señales temporales prueba 2.

Adicionalmente, el bloque W12RELAY51I tiene una herramienta que permite observar de una forma más adecuada las señales del relé para el desarrollo de una coordinación de protecciones, teniendo así de las curvas registradas en las Fig. 9 y 10 para las pruebas 1 y 2 respectivamente. Según la Fig. 5, para la prueba 1 el disparo debería ser de un tiempo de 1.0029 s, y para la prueba 2 de 0.352 s, teniendo de los resultados presentados en las Fig. 9 y 10 son tiempos de 1.002 s y 0.352 s, respectivamente. De este modo se puede notar que el comportamiento del sistema simulado respecto del teórico es adecuado.

Para la prueba experimental se hace uso del relé SEL 451[20] estableciendo las configuraciones para que la respuesta sea como la ecuación (2). Adicionalmente se utiliza el equipo JHS903 [21] para la inyección de señales de corriente en el relé que permitan validar su operación. El montaje de la prueba experimental se presenta en la Fig. 11.

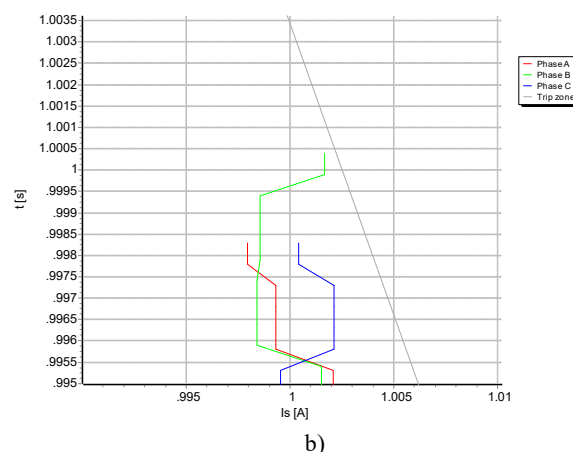
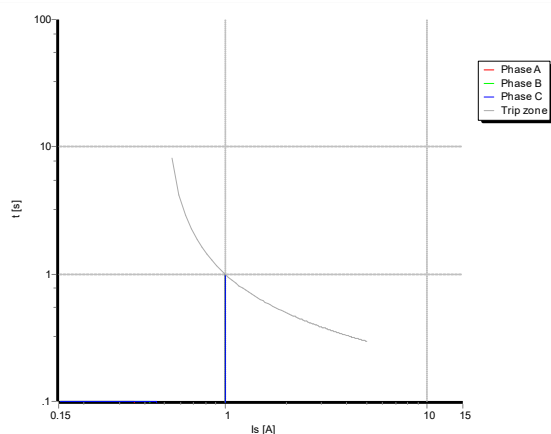


Fig. 9. Curvas del bloque W1RELAY51I para la prueba 1, a) prueba completa y b) acercamiento.

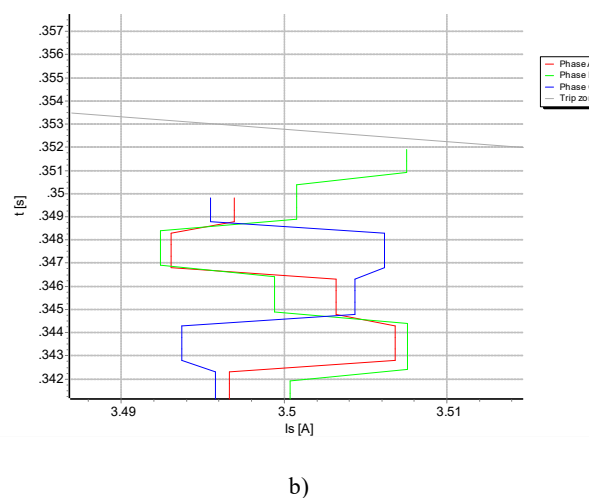
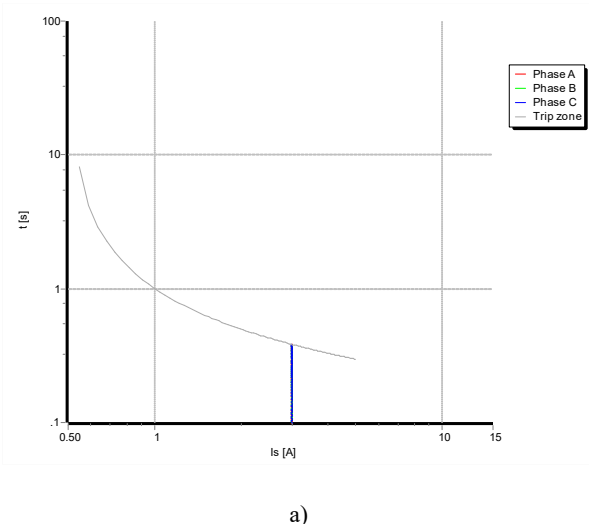


Fig. 10. Curvas del bloque W1RELAY51I para la prueba 2, a) prueba completa y b) acercamiento.

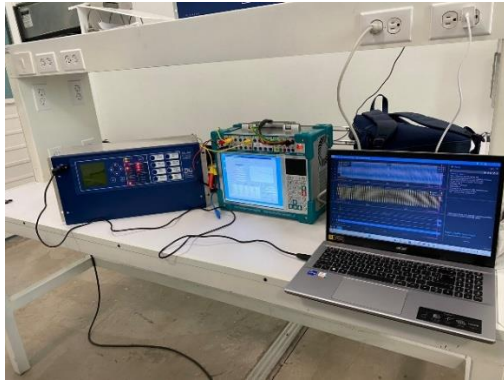


Fig. 11. Montaje experimental prueba relé SEL 451.

En el equipo JHS903 se realiza la configuración para la validación del relé mediante la aplicación de seis señales de prueba con valores de corriente desde 1 Arms hasta 3.5 Arms en pasos de 0.5 Arms. La configuración del equipo y resultado de la prueba se presenta en la Fig. 12, teniendo que el relé responde según lo establecido en las curvas.

De la validación experimental, se tiene que las pruebas No 1 y 6 de la Fig. 12, corresponden a las evaluaciones consideradas para la simulación. La respuesta del relé SEL-451 ante estas pruebas se muestra en la Fig. 13, cuyos resultados fueron obtenidos directamente desde el relé a través del software Accselerator QuickSet [22]. En éstos resultados se tienen los tiempos de disparo de 1.019 s y 0.359 s para las pruebas realizadas.

Finalmente, en la Tabla I se registran los resultados de las pruebas desarrolladas, teniendo que los tiempos teóricos y simulados presentan una gran similitud, mientras que los resultados experimentales, aunque difieren en mayor medida tienen un valor de error aceptable, validando así que el modelado del relé de protección 51 tiene un comportamiento adecuado según lo establece la curva teórica y los resultados experimentales.

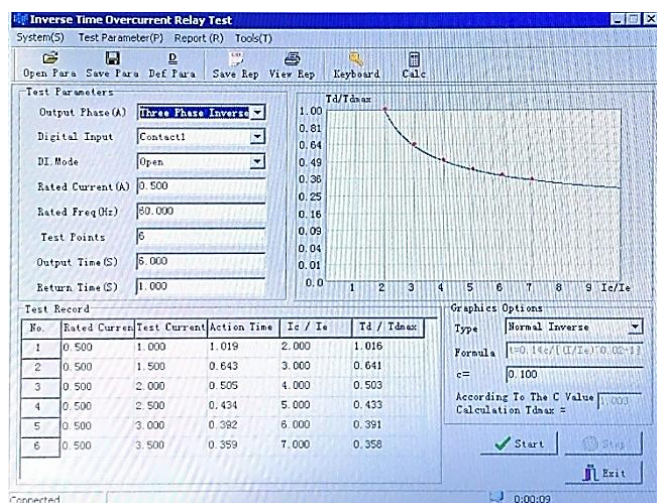
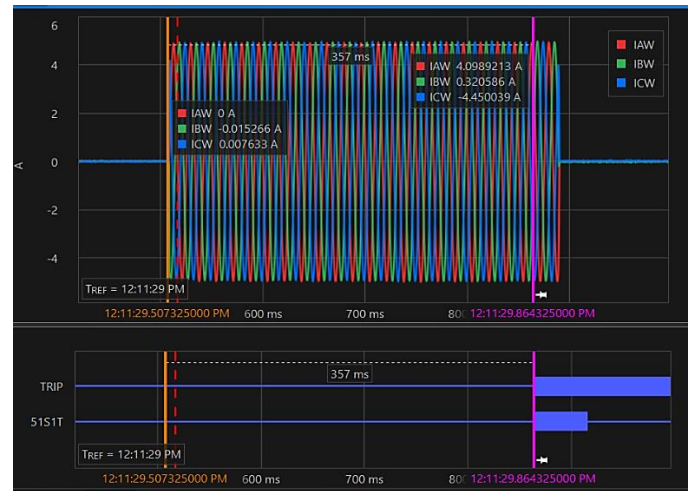
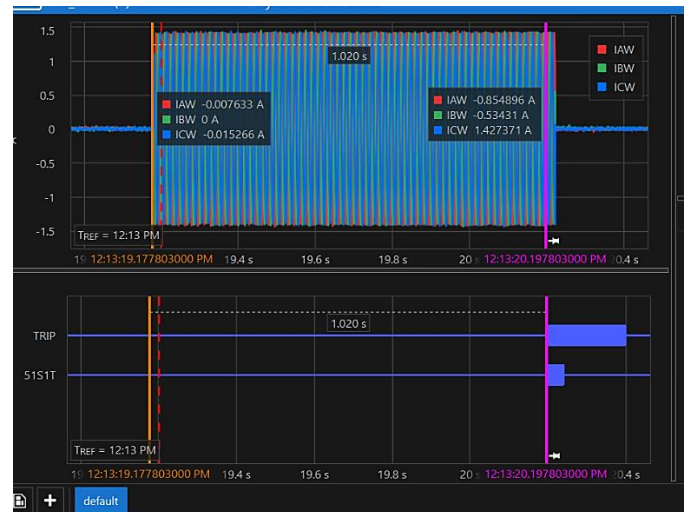


Fig. 12. Configuración y resultado de prueba en el equipo JHS903.



a)



b)

Fig. 13. Señales temporales relé SEL-451 prueba experimental, a) pruebas 1 y b) prueba 6.

TABLA I. RESULTADOS.

Corriente Arms	Tiempo disparo (s)		
I prueba	Teórico	Simulación	Experimental
1.0	1.0029	1.002	1.019 (1.6%)
3.5	0.352	0.352	0.359 (1.9%)

Aunque los resultados son adecuados, se deben desarrollar evaluaciones exhaustivas considerando elementos detallados tanto del modelado en EMTP-ATP como de los algoritmos y tiempo de muestreo en el equipo SEL-451

V. CONCLUSIONES

En este trabajo se analizó el modeló del relé de sobrecorriente de tiempo inverso tipo 51 utilizando el software EMTP-ATP, siguiendo los parámetros definidos

por la norma IEC 60255-151. El modelo utilizado hace uso de los bloques funcionales ABC2RMS y WIRELAY51I, los cuales permitieron implementar las curvas de disparo y simular su comportamiento frente a distintos niveles de corriente.

La simulación computacional arrojó resultados altamente coherentes con la curva teórica esperada. Las pruebas realizadas en el entorno EMTP-ATP mostraron errores inferiores al 0.1%, validando la precisión del modelo desarrollado. En la validación experimental utilizando el relé SEL-451, los tiempos de disparo registrados estuvieron dentro de un margen de error del 1.6% al 1.9% respecto a los valores teóricos. Esta pequeña desviación se considera aceptable y puede atribuirse a tolerancias internas del dispositivo físico, tiempo de procesamiento del microcontrolador, o errores de muestreo del equipo de inyección de corriente.

Los resultados obtenidos confirman que el software EMTP-ATP es una herramienta robusta y confiable para el análisis de esquemas de protección, permitiendo modelar relés con alta fidelidad y evaluar su comportamiento antes de su implementación en campo. Se concluye que la metodología de validación aquí planteada puede ser extendida a otros tipos de protecciones y constituye una base sólida para proyectos de coordinación de protecciones en entornos industriales y educativos, además, de permitir la evaluación ante condiciones como la presencia de armónicos, corrientes de inrush, desbalances, entre otros.

REFERENCIAS

- [1] O. S. E. Atwa, "Power System Elements," in *Practical Power System and Protective Relays Commissioning*, Elsevier, 2019, pp. 1–7. doi: 10.1016/B978-0-12-816858-5.00001-0.
- [2] R. Leclerq and L. Vanfretti, "Power System Protective Relaying: basic concepts, industrial-grade devices, and communication mechanisms," *Internal Report*, p. 35, 2011, [Online]. Available: <http://www.vanfretti.com>
- [3] IEC, *IEC 60255-151 Measuring relays and protection equipment - Part 151: Functional requirements for over/under current protection*. 2009.
- [4] Aldo Daniel Marreros Grillo, "Estudio de los fenómenos transitorios electromagnéticos en sistemas eléctricos de potencia, y su influencia en los sistemas de protección." Accessed: Jul. 05, 2025. [Online]. Available: <https://pirhua.udel.edu.pe/item/8dd4c3d5-8320-4712-be51-c16441a59a45>
- [5] "IEEE Standard for Inverse-Time Characteristics Equations for Overcurrent Relays," Dec. 05, 2018, *IEEE, Piscataway, NJ, USA*: 112–1996. doi: 10.1109/IEEESTD.2019.8635630.
- [6] S. Grogan, M. Richwine, R. Quint, and J. Matevosyan, "Electromagnetic Transient Models: Applications, Limitations, and Enablers in Power Systems [Feature]," *IEEE Power and Energy Magazine*, vol. 23, no. 4, pp. 27–39, Jul. 2025, doi: 10.1109/MPE.2024.3512494.
- [7] Y. Dan, K. Sun, C. Wang, X. Zhang, and L. Yu, "Inverse-Time Overcurrent Protection Scheme for Smart Grids Based on Composite Parameter Protection Factors," *Electronics (Basel)*, vol. 14, no. 21, p. 4204, Oct. 2025, doi: 10.3390/electronics14214204.
- [8] European EMTP Users Group, "ATP-EMTP." Accessed: Jan. 05, 2025. [Online]. Available: <https://www.atp-emp.org/>
- [9] L. Zhang et al., "Research on the Lightning Protection for the Pumped Storage Power Substation Using GIL Outgoing Line Design," in *2025 10th Asia Conference on Power and Electrical Engineering (ACPEE)*, IEEE, Apr. 2025, pp. 2006–2011. doi: 10.1109/ACPEE64358.2025.11040180.
- [10] A. Y. Hadjicostas, E. T. Staikos, Z. G. Datsios, G. D. Peppas, and T. Tsovilis, "Surge Protection of Charging Stations Against Impinging Overvoltages Due to Lightning Strikes to Incoming Medium Voltage Overhead Line," *IEEE Trans Ind Appl*, vol. 61, no. 2, pp. 2324–2335, Mar. 2025, doi: 10.1109/TIA.2024.3524952.
- [11] J. R. Lima, F. B. Costa, and F. V. Lopes, "Two-terminal traveling-wave-based non-homogeneous transmission-line protection," *Electric Power Systems Research*, vol. 223, p. 109622, Oct. 2023, doi: 10.1016/j.epsr.2023.109622.
- [12] M. L. S. Almeida and K. M. Silva, "An investigation of distance protection function applied for shunt reactors," *Electric Power Systems Research*, vol. 223, p. 109579, Oct. 2023, doi: 10.1016/j.epsr.2023.109579.
- [13] C. C. S. Silva, V. R. Serpa, and K. M. Silva, "A new negative-sequence cross-differential algorithm for double-circuit line protection," *Electric Power Systems Research*, vol. 251, p. 112219, Feb. 2026, doi: 10.1016/j.epsr.2025.112219.
- [14] Orly Ernesto Torres Breffe, "Desarrollo de herramientas para la creación, modelación y comprobación de protecciones eléctricas," 2005.
- [15] Nan Zhang, Hongbiao Song, and M. Kezunovic, "Transient Based Relay Testing: A New Scope and Methodology," in *MELECON 2006 - 2006 IEEE Mediterranean Electrotechnical Conference*, IEEE, pp. 1110–1113. doi: 10.1109/MELCON.2006.1653294.
- [16] Diego Iván Clavijo Rey, "METODOLOGÍA PARA REALIZACIÓN DE PRUEBAS END-TO-END PARA PROTECCIONES EN LABORATORIO," 2016.
- [17] M. Kezunovic and J. Ren, "New test methodology for evaluating protective relay security and dependability," in *2008 IEEE Power and Energy Society General Meeting - Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century*, IEEE, Jul. 2008, pp. 1–6. doi: 10.1109/PES.2008.4596541.
- [18] J. G. S. Carvalho, A. G. C. Menezes, A. R. Almeida, O. M. Almeida, F. S. Bartolomeu, and L. H. P. Vasconcelos, "Modeling and simulation of reclosers of real distribution feeder using software ATP," in *2018 Simposio Brasileiro de Sistemas Elétricos (SBSE)*, IEEE, May 2018, pp. 1–6. doi: 10.1109/SBSE.2018.8395781.
- [19] Andrea Bonetti; Klaus Spitzenberg; Lennart Schottenius; Stefan Larsson; Megger Sweden A, "Testing self-powered relays with SVERKER 900 - V01," Sep. 2020. Accessed: Jul. 05, 2025. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/344340419_Testing_self-powered_relays_with_SVERKER_900_-_V01
- [20] Schweitzer Engineering Laboratories, "SEL-451 Sistema de protección, automatización y control de bahía." Accessed: Jun. 28, 2023. [Online]. Available: <https://selinc.com/es/products/451/>
- [21] Wuhan Jiuhua Jingce Power Equipment, "JHS903 Relay Protection Tester Microcomputer Secondary Current Injection Relay Test Set 3 Phase." Accessed: Sep. 10, 2024. [Online]. Available: <https://jiuhuajingce.en.made-in-china.com/product/mQLrgpRYFSWz/China-Relay-Protection-Tester-Microcomputer-Secondary-Current-Injection-Relay-Test-Set-3-Phase.html>
- [22] Schweitzer Engineering Laboratories SEL, "SEL-5030 Software acSELEator QuickSet." Accessed: Jun. 28, 2023. [Online]. Available: <https://selinc.com/es/products/5030/>

BIOGRAFÍAS



JOSÉ JESÚS CONTRERAS PÉREZ Actualmente se encuentra en la carrera de Ingeniería Eléctrica en la Universidad de Guanajuato, cursando sus últimos semestres. Sus intereses abarcan temas de electrónica de potencia, energías renovables, análisis de flujos de potencia, protecciones eléctricas y micro redes, entre otros.



JUAN MANUEL CANO GALLARDO Recibió el título de Licenciatura en Ingeniería Eléctrica en el año 2022 por parte de la Universidad de Guanajuato. Actualmente es estudiante de la Maestría en Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Guanajuato. Sus principales intereses son la electrónica de potencia, las energías renovables, las microrredes y el diseño de máquinas eléctricas.



DANIEL ALBERTO PEÑA PÉREZ Es Ingeniero Mecatrónico por la Universidad de Guanajuato (2014) y Maestro en Ingeniería en Energías Renovables por la University of Aberdeen, en Escocia, Reino Unido (2018), grado obtenido con honores. Desde 2018, se desempeña como Ingeniero de Protecciones Eléctricas y Calidad de la Energía en el Laboratorio de Pruebas a Equipos y Materiales (LAPEM) de la Comisión Federal de Electricidad,

donde realiza evaluaciones técnicas de sistemas fotovoltaicos, análisis de calidad de potencia conforme al Código de Red, inspección de relevadores, pruebas a transformadores de instrumentación y análisis de fallas en interruptores, transformadores y esquemas de protección.

Ha participado en proyectos de evaluación de equipos en plantas solares, geotérmicas, hidroeléctricas, termoeléctricas, ciclos combinados y en la Central Nuclear Laguna Verde. Sus líneas de interés incluyen energías renovables, electrónica de potencia, calidad de energía, integración de sistemas fotovoltaicos, protecciones eléctricas, automatización, mecatrónica, manufactura CAD/CAM, grid forming, sistemas HVDC y electromovilidad, entre otras.



OSVALDO RODRIGUEZ VILLALÓN Obtuvo su grado de Doctor en Ciencias en Ingeniería Eléctrica, UMSNH, 2012. Realizó estancia posdoctoral en el Power Systems Laboratory ETH-Zurich, Suiza, 2014 al 2016. Es profesor investigador de tiempo completo adscrito al programa de Ingeniería Eléctrica, DICIS, Universidad de Guanajuato.



LUIS RAMON MERCHAN VILLALBA Realizó sus estudios de pregrado en la Universidad Industrial de Santander en Bucaramanga Colombia obteniendo el título de Ingeniero Electrónico en 2013. En 2015 obtiene su título de Maestro en Ingeniería Eléctrica en la Universidad de Guanajuato, mismo lugar donde en el año 2020 obtiene su título de Doctor en Ingeniería Eléctrica. Actualmente es profesor de tiempo completo en el Departamento de Ingeniería

Eléctrica de la Universidad de Guanajuato. Sus intereses de investigación incluyen electrónica de potencia, sistemas eléctricos inteligentes, micro redes, dispositivos FACTS, entre otros.