



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE GUAYAQUIL
CARRERA DE ELECTRICIDAD**

**ANÁLISIS DE INYECCIÓN SECUNDARIA DE
CORRIENTE Y VOLTAJE PARA UNA RED DE
MONITOREO DE 9 BARRAS UTILIZANDO
RELES SEL 75 Y EL ESTÁNDAR IEC 61850.**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingeniero eléctrico

AUTOR: AAROM SAAVEDRA VARGAS

TUTOR: ERVIN GEOVANNY SOLANO VILLEGAS

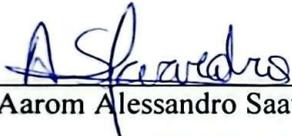
Página 1 de 4

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Aarom Alessandro Saavedra Vargas con documento de identificación N°0952206027 manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Guayaquil, 24 de enero del año 2025 Atentamente,



Aarom Alessandro Saavedra Vargas

0952206027

CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Yo, Aarom Alesaandro Saavedra Vargas con documento de identificación No.095226027, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del artículo académico : Análisis de inyección secundaria de corriente y voltaje para una red de monitoreo de 9 barras utilizando reles SEL 751 y el estándar IEC 61850 , el cual ha sido desarrollado para optar por el título de Ingeniero Eléctrico , en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayas, de enero del año 2025

Atentamente,


Aarom Alessandro Saavedra Vargas
0952206027

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Ervin Geovanny Solano Villegas con documento de identificación N°0923481915, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: ANALISIS DE INYECCION SECUNDARIA DE CORRIENTE Y VOLTAJE PARA UNA RED DE MONITOREO DE 9 BARRAS UTILIZANDO LOS RELES SEL 751 Y EL ESTANDAR IEC 61850, realizado por Aarom Alessandro Saavedra Vargas con documento de identificación N° 0952206027, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Artículo Académico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayas, 24 de enero del año 2025

Atentamente,



MSC.Ervin Geovanny Solano Villegas
0923481915

Análisis de inyección secundaria de corriente y voltaje para una red de monitoreo de 9 barras utilizando relés SEL 751 y el estándar IEC 61850.

Aarom Alessandro Saavedra Vargas
Carrera de Electricidad
Universidad Politécnica Salesiana
SEDE Guayaquil
Guayaquil, Ecuador
asaavedrav2@est.ups.edu.ec

Ing. Ervin Geovany Solano Villegas,
MSc.
Docente de la Carrera de Electricidad
Universidad Politécnica Salesiana
SEDE Guayaquil
Guayaquil, Ecuador
esolano@est.ups.edu.ec

Resumen— La problemática referida a las fallas en los sistemas eléctricos ocasiona malestar en la comunidad beneficiaria, por ello, se planteó como objetivo realizar un análisis del sistema aplicado para el monitoreo de una red de 9 barras, bajo el uso de mecanismos de protección, cumpliendo disposiciones establecidos en la norma IEC 61850, para garantizar el funcionamiento óptimo del sistema eléctrico. El método seleccionado fue el cuali-cuantitativo, descriptivo, cuyos resultados manifestaron FP mayor a 95%, es decir, una elevada estabilidad del sistema eléctrico en cada uno de sus buses, tanto en la prueba de simulación como de inyección, evidenciando que, el uso de relés SEL 751, equipo Ómicron y sistema ETAP, cumplieron lo estipulado en estándar IEC 61850. En conclusión, el sistema de monitoreo diseñado garantizó el funcionamiento óptimo del sistema eléctrico, contribuyendo con la optimización de la toma de decisiones y asegurando la continuidad en la distribución del suministro eléctrico.

Palabras clave—monitoreo, protección, inyección, simulación, estándar.

Abstract—The problem related to failures in the electrical systems causes discomfort in the beneficiary community, therefore, the objective was to carry out an analysis of the system applied to monitor a 9-bar network, under the use of protection mechanisms, complying with provisions established in the IEC 61850 standard, to guarantee the optimal functioning of the electrical system. The code method was a qualitative-quantitative, descriptive one, whose results showed PF greater than 95%, that is, a high stability of the electrical system in each of its buses, both in the simulation and injection tests, evidencing that, the use of SEL 751 relays, Ómicron equipment and ETAP system, met the stipulations of the IEC 61850 standard. In conclusion, the designed monitoring system guaranteed the optimal functioning of the electrical system, contributing to the optimization of decision making and ensuring continuity in distribution of electrical supply.

Keywords— monitoring, protection, injection, simulation, standard.

I. INTRODUCCIÓN

La oferta energética en el mundo entero, ha sufrido severos problemas debido al incremento de la demanda, como producto de la explosión demográfica, especialmente, en aquellos países en vías de desarrollo o subdesarrollados, en donde no se ha modernizado los sistemas de control y seguimiento de los procesos energéticos. Por ello, Arciniegas et al. [1], consideraron de gran relevancia, la introducción de dispositivos tecnológicos inteligentes, para efectuar las labores de monitoreo de los equipos que se encuentran formando parte de las subestaciones o circuitos eléctricos,

sobre todo, en el primer caso, porque son los responsables de abastecer del suministro eléctrico a las diferentes poblaciones, por lo que, cualquier defecto en la operación de estos sistemas, puede generar el desabastecimiento de energía a toda la colectividad beneficiaria, con las consecuentes pérdidas que puede generar ello, para el estado y la sociedad en general.

Ante esta problemática, se requiere realizar un análisis del sistema aplicado para el monitoreo de una red de 9 barras, para lo cual, es esencial el empleo de mecanismos de protección, como en este caso, se trata de los relés SEL 751, los cuales pueden facilitar el seguimiento de los circuitos eléctricos, protegiendo sus dispositivos, además de cumplir con las disposiciones establecidos en la norma IEC 61850, para garantizar el funcionamiento óptimo del sistema eléctrico.

Se tomó como uno de los referentes para la fundamentación del mismo, la investigación de López y Vásquez [2], la cual también abordó la variable de las pruebas de simulación, así como el mismo estándar empleado en este estudio, además de los protocolos MMS y GOOSE y el software Relab OPC, cuyos resultados evidenciaron que, la comunicación entre los dispositivos del circuito eléctrico, bajo Gateway IEC61850, tuvo lugar mediante la IED Explorer, en donde también participó el relé SEL351, el cual al activarse pudo efectuar la protección eficiente de los mecanismos del circuito en referencia.

Prosiguiendo con la revisión de los referentes del estado del arte, se tomó el estudio de Silva y Cevallos [3], en donde se abordó el monitoreo de un sistema eléctrico, a través de la protección bajo el relé SEL 751 y el uso del estándar IEC 61850, en donde el principal resultado evidenció un error promedio de 0,21%, así como un error menor al 5% en el desarrollo de las pruebas de ensayo, según los reportes emitidos a través del protocolo MMS, cuya información permitió comprobar la protección eficiente del sistema, a través del uso del equipo ómicron CMC 356 y la activación del relé en mención.

Se ha expuesto también la investigación de Encala y Tonato [4], la cual expresó como resultado más relevante que, al aplicar un sistema de protección del sistema eléctrico conformado por relé-relé, fusible-fusible y relé-fusible, se obtuvo una protección más eficiente para las redes de 9 barras y todos los equipos inmersos en el circuito eléctrico, en donde el equipo Omicron CMC 356 fue el mecanismo empleado para inyectar corriente y estimar los fallos en el sistema eléctrico.

Entonces, se ha podido identificar que, la simulación a realizar en un sistema de monitoreo para una red eléctrica de 9 barras, en el Laboratorio de Potencia de la Universidad Politécnica Salesiana, puede obtener resultados favorables al emplear relés SEL 751 en la prueba de inyección correspondiente, a lo que se añade el uso propuesto del estándar IEC 61850 como parte del presente estudio, para alcanzar los propósitos de este trabajo investigativo.

II. METODOLOGÍA

Se ha escogido el enfoque cuali-cuantitativo, debido a que, según Solórzano [5], ha sido necesario recoger la información numérica proveniente de los registros que brindan los sistemas automatizados de la red eléctrica de nueve barras, pero también se deberá profundizar en estos resultados y establecer cómo se han comportado estos circuitos, a partir de estos resultados y cómo contribuirá el monitoreo, a la optimización de los procesos en esta red eléctrica.

Por su parte, el alcance seleccionado es descriptivo, porque según Guevara et al. [6], debe desarrollar las características de las variables consideradas, en donde se detalla el procedimiento de monitoreo, a través de datos cuantitativos y cualitativos, empleando relés SEL 751, con respecto a las disposiciones que emanan del estándar IEC61850, para establecer cómo se han comportado los parámetros técnicos de la red eléctrica de 9 barras.

Además se ha escogido la investigación de campo que, según Leyva y Guerra [7], se realiza en un lugar específico que, en este caso, es el Laboratorio de la carrera de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Politécnica Salesiana.

Por último, se seleccionó la investigación experimental, la cual, según Burgo et al. [8], consiste en realizar un análisis en

el laboratorio, en donde se comprobará una hipótesis que, en este caso, se trata de las instalaciones de la carrera de Ingeniería Eléctrica de este prestigioso establecimiento académico de educación superior.

Prosiguiendo, se ha realizado el modelado del sistema de monitoreo de una red de 9 barras, bajo la prueba estipulada en la norma IEC61850, para lo cual, se presenta el siguiente esquema Fig.1:

Como parte de este modelo del sistema de 9 barras, es necesario realizar el cálculo de Y de barra, para lo cual se aplica las siguientes fórmulas, según Andrade et al. [9]:

$$Y_{bus} = Y_{nn} - Y_{nr} \quad (1)$$

$$Y_{rn} \quad Y_{rr}$$

$$Y_{red} = Y_{nn} - Y_{nr} \cdot Y_{rr}^{-1} \cdot Y_{rn}$$

También, es necesario que, el modelo del sistema de 9 barras trabaje bajo la Ley de Kirchoff, según lo expresado por Oñate y Bustos [10] como se presenta seguido:

$$\sum_{k=1}^n I_k = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n = 0 \quad (2)$$

$$K=1$$

Es decir que, la suma de las corrientes (I) que ingresan por un nodo del circuito, son equivalentes a la sumatoria de intensidades (I) de salida. Mientras que, la tensión total ($\sum V$) es igual a todas las caídas de tensión (V), donde la suma de todos sus voltajes debe ser igual a 0 [11].

$$\sum_{k=1}^n V_k = V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n = 0 \quad (3)$$

$$K=1$$

One-Line Diagram - OLV1 (Load Flow Analysis)

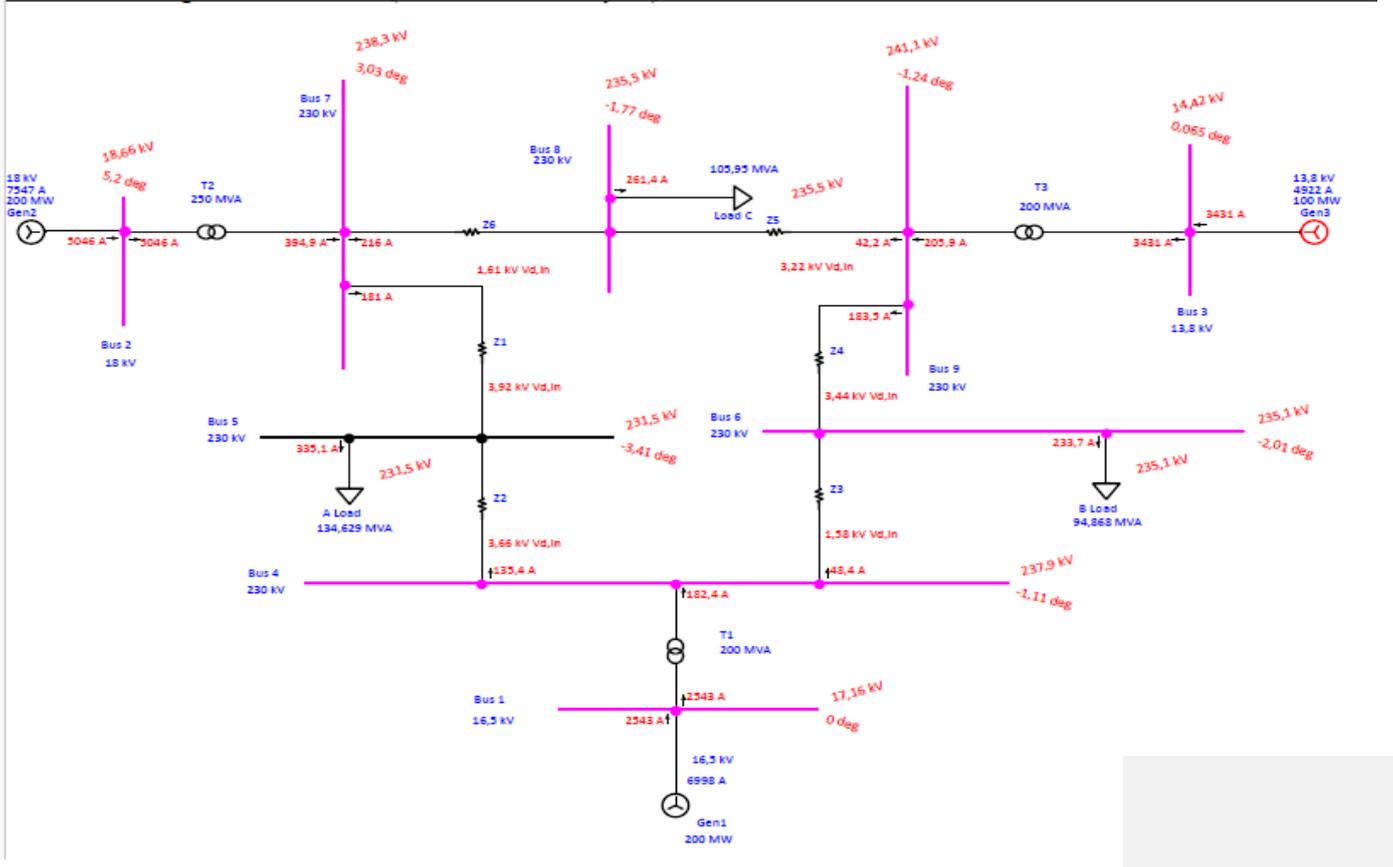


Fig.1. Modelado del sistema de monitoreo de una red de 9 barras mediante sistema ETAP, bajo la prueba estipulada en la norma IEC6185

Además, según Morales y Solórzano [12] es necesario que, el circuito emplee la Ley de Kirchoff explicada en la siguiente ecuación:

$$\Sigma V = \Sigma IR$$

Donde, según Morales y Solórzano [12], V es igual al voltaje, I representa la intensidad o la corriente y R la resistencia eléctrica.

En cuanto a la ecuación que representa el modelo de operación de los relés de protección SEL 751, según el estándar IEC61850, Moscoso y Silva [13] citan las siguientes fórmulas:

$$M = \frac{I_{cc}}{I_a} \quad (4)$$

$$t = \frac{a * Dial}{(M - 1)}$$

Donde, según Moscoso y Silva [13], I_{cc} representa la corriente de actuación del relé de protección mientras que, I_a es la de ajuste. Por su parte, M significa la relación entre ambas corrientes de actuación y ajuste.

Por su parte, según Moscoso y Silva [13], DIAL representa la curva del tiempo de operación del relé, entre tanto, a es una constante en la fórmula.

Finalmente, se aplican las siguientes ecuaciones sobre la corriente y potencia de transmisión:

$$CTR = \frac{CTS \text{ primaria (amperios)}}{CTS \text{ secundaria (amperios)}} \quad (5)$$

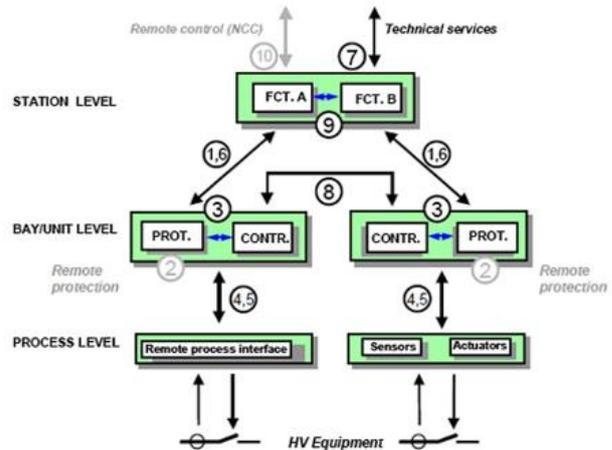
$$PTR = \frac{PT \text{ primaria} \times 1.000 \text{ (voltios)}}{PT \text{ secundaria (voltios)}}$$

Donde CTR es la corriente de transmisión y PTR es la potencia de transmisión.

Relé	Objeto	Voltaje objeto (KV)	Capacidad objeto (MVA)	Corriente prim. Objeto	CTS prim.	CTS sec.	Pt prim (KV)	Pt sec (KV)	Corriente primaria operación(A)	I secundario operación (A)	Voltaje primario (KV)	Volt (L-L) secundario operación [V]	Volt (L-N) secundario operación [V]	P[MW]	Q[MVAR]
#1	GENERADOR 2	18	235,294	7547,1	8000	5	18	120	5046	3,15	18,66	124,40	71,82	200	6,7
#2	LINEA 3, BARRA 7-8	230	100	251,0	300	5	230	120	216	3,60	238,3	124,33	71,78	88,7	8,63
#3	LINEA 2, BARRA 7-5	230	100	251,0	300	5	230	120	181	3,02	238,3	124,33	71,78	74,3	MENOS8,12
#4	CARGA A	230	134,629	337,9	400	5	230	120	335,1	4,19	231,5	120,78	69,73	124,7	49,9
#5	LINEA 1, BARRA 4-5	230	100	251,0	300	5	230	120	135,4	2,26	237,9	124,12	71,66	52,5	19
#6	GENERADOR 1	16,5	200	6998,2	8000	5	16,5	120	2543	1,59	17,16	124,80	72,05	200	21,9
#7	LINEA 6, BARRA 4-6	230	100	251,0	300	5	230	120	48,4	0,81	237,9	124,12	71,66	19,9	1,4
#8	CARGA B	230	94,868	238,1	300	5	230	120	233,7	3,90	235	122,61	70,79	90	30,1
#9	LINEA 5, BARRA 6-9	230	100	251,0	300	5	230	120	183,5	3,06	241,1	125,79	72,63	85	MENOS12,9
#10	GENERADOR 3	13,8	117,647	4922,0	5000	5	13,8	120	343,1	0,34	14,42	125,39	72,39	100	MENOS10,9
#11	LINEA 4, BARRA 8-9	230	100	251,0	300	5	230	120	42,2	0,70	235,5	122,87	70,94	12,6	12,3
#12	CARGA C	230	105,95	266,0	300	5	230	120	261,4	4,36	235,5	122,87	70,94	100,7	35,2

En el siguiente esquema se presenta el modelo de funcionamiento del sistema automatizado de protección del sistema eléctrico, bajo el uso de relés SEL 751:

Fig.2. Modelado de niveles funcionales de un sistema automatizado para el monitoreo de una red de 9 barras, con relés SEL 751, bajo estándar IEC61850



Donde las funciones que se encuentran asociadas al nivel proceso, representan todas las iteraciones del mismo. Las del nivel bahía accionan en el equipo primario para proteger al sistema eléctrico y las de estación utilizan datos para accionar en el equipo, protegerlo, además de relacionarse con la interfaz.

Se destaca que la simulación de la red de 9 barras puso en evidencia una capacidad del generador de 18 kv, con 18,66 kv y 5.046 amperios entregados por el bus 2, un ángulo de fase de 5,2 y los siguientes resultados tabulados:

TABLE I. REPORTE DE PRUEBA DE SIMULACIÓN BAJO ETAP

Los principales hallazgos obtenidos en la prueba de simulación se obtuvieron a partir de la ecuación mencionada en este apartado, la cual arrojó los resultados siguientes:

$$CTR \text{ relé } 1 = \frac{8.000 \text{ amperios}}{5 \text{ amperios}} = 1.600 \text{ amperios}$$

$$PTR \text{ relé } 1 = \frac{18 \text{ kv} \times 1.000}{120 \text{ kv}}$$

$$PTR \text{ relé } 1 = 150 \text{ kv}$$

También es necesario mencionar los siguientes ratios estipulados en la norma IEC61850:

TABLE II. DATOS DE PARÁMETROS SEGÚN ESTÁNDAR IEC61850

Table 5-70: Ratings for Current Transformers with One or Two Ratios. Ref. IEEE Std. C57.13-1993, Table 7. Copyright © 1993. IEEE. All rights reserved.

Current Ratings (A)			
Single Ratio	Double Ratio With Series-Parallel Primary Windings		Double Ratio with Taps in Secondary Winding
	10:5	800:5	25 x 50:5
15:5	1200:5	50 x 100:5	50 / 100:5
25:5	1500:5	100 x 200:5	100 / 200:5
40:5	2000:5	200 x 400:5	200 / 400:5
50:5	3000:5	400 x 800:5	300 / 600:5
75:5	4000:5	600 x 1200:5	400 / 800:5
100:5	5000:5	1000 x 2000:5	600 / 1200:5
200:5	6000:5	2000 x 4000:5	1000 / 2000:5
300:5	8000:5		1500 / 3000:5
400:5	12 000:5		2000 / 4000:5
600:5			

Mientras tanto, las pruebas de simulación se realizaron con el equipo Ómicron CMC356 y el relé SEL 751.

Fig. 1. Equipo Ómicron CMC356



Mientras tanto, los resultados obtenidos con el uso del relé SEL 751 son los siguientes:

Fig. 2. Relé SEL 751



En la simulación, el sistema arrojó una CTR de 60 amperios y PTR de 1967,67 voltios.

A continuación, se detalla la presentación de los resultados de la prueba de simulación.

Fig. 3. Presentación de resultados de prueba de simulación

Mientras tanto, los resultados que arrojó el sistema ETAP en la prueba de simulación con la red de 9 barras, se presentan seguido:

TABLE III. RESULTADOS DE PRUEBA DE SIMULACIÓN

Ingreso de datos de impedancia

Impedancia	Secuencia de impedancia positive				
	ID	R	X	Y	Unidad
	Z1	3,2000	16,1000	30,6000	% in 230.000 kv base y 100.0 mva base

Z2	1,0000	8,5000	17,6000	% in 230.000 kv base y 100.0 mva base
Z3	1,7000	9,2000	15,8000	% in 230.000 kv base y 100.0 mva base
Z4	3,9000	1,7000	35,8000	% in 230.000 kv base y 100.0 mva base
Z5	1,1900	10,0800	20,9000	% in 230.000 kv base y 100.0 mva base
Z6	0,8500	10,0800	0,0000	% in 230.000 kv base y 100.0 mva base

Conexiones de ramales

ID	CKT/Ramal	Bus Conectado ID		% Impedancia, Pos. Seq., 100 MVA Base			
		Del Bus	Al Bus	R	X	Y	Z
T1	2W XFMR	Bus 1	Bus 4	0	2,88	2,88	
T2	2W XFMR	Bus 2	Bus 7	0	2,5	2,5	
T3	2W XFMR	Bus 3	Bus 9	0	2,93	2,93	
Z1	Impedancia	Bus 5	Bus 7	3,2	16,1	16,41	30,6
Z2	Impedancia	Bus 4	Bus 5	1	8,5	8,56	17,6
Z3	Impedancia	Bus 4	Bus 6	1,7	9,2	9,36	15,8
Z4	Impedancia	Bus 6	Bus 9	3,9	1,7	4,25	35,8
Z5	Impedancia	Bus 9	Bus 8	1,19	10,08	10,15	20,9
Z6	Impedancia	Bus 7	Bus 8	0,85	10,08	10,12	

Reporte de flujo de carga

Bus	ID	kV	Generación				Carga				Flujo de carga				XFMR
			% Mag.	An e-	MW	MVA R	MW	Mvar	BU S	MW	Mvar	Am P	%PF	%Ta P	
	* 1	16,5	104.000	00	72.343	21.884	0.000	0.000	4	72.343	21.884	25,4	957		
	2	18	103.691	52	163.00	6.700	0.000	0.000	7	163.000	6.700	50,4	999		
	3	13,8	104.485	01	85.000	-	0.000	0.000	9	85.000	-	64	-992		
	4	230	103.413	-11	0.000	0.000	0.000	0.000	5	52.468	18.967	1,35	940		
									6	19.875	1.396	484	998		
									1	-72.343	-	1,82	963		
	5	230	100.655	-34	0.000	0.000	124.74	49.889	7	-72.610	20.363	4	978		
									4	-52.135	15.423	1	834		
	6	230	102.224	-20	0.000	0.000	90.286	30.090	4	-19.797	34.466	9	746		
									9	-70.490	17.676	1,75	985		
										12.414	8	1,81	-994		
	7	230	103.604	30	0.000	0.000	0.000	0.000	5	74.275	-8.122	2,16	995		
									8	88.725	8.634	0			
									2	-163.000	-0.512	3,94	1.000		
	8	230	102.394	-18	0.000	0.000	100.65	35.216	9	-12.563	-	890	346		
									7	-88.096	34.045	2,16	1.000		
										-1.171	0				
	9	230	104.818	-12	0.000	0.000	0.000	0.000	6	72.359	-	1,83	-945		
									8	12.641	12.271	42,2	71,8		
										25.142	5				
									Bus 3	-85.000	12,871	205,9	-98,9		

Se muestran los valores de impedancia para los buses del 4 al 9, en la primera tabla, mientras que, en la siguiente tabla se presenta los datos de impedancia de todos los buses de la red, donde se pudo observar cifras superiores al 95% en el factor de potencia, cifras que además de ser positivas en lo referente a la simulación, también se encuentran bajo lo expresado en el estándar IEC61850.

TABLE IV. RESULTADOS DE PRUEBA DE SIMULACIÓN

Reporte resumido de carga de buses

Carga conectada directamente										
Bus	kVA	Z constante	I constante		Genérico					
			MW	Mvar						
ID	kV	Ratio Amp	MW	Mvar	MW	Mvar	MW	Mvar	MW	Mvar
Bus 1	16.500									
Bus 2	18.000									
Bus 3	13.800									
Bus 4	230.000									
Bus 5	230.000		124.745	49.889						
Bus 6	230.000		90.286	30.090						
Bus 7	230.000									
Bus 8	230.000		100.658	35.216						
Bus 9	230.000									

CKT / Branch		Busway / Cable & Reactor									
Transformer		Loading (input)					Loading (output)				
Ampacity	Loading	Capability		Capability		Capability		Capability		Capability	
ID	Type	(Amp)	Amp	%	(MVA)	MVA	%	MVA	%	MVA	%
T1	Transformer	200.000	75.580	37.8	75.154	37.6					
T2	Transformer	250.000	163.138	65.3	163.001	65.2					
T3	Transformer	200.000	85.969	43.0	85.696	42.8					

* Indicates a branch with operating load exceeding the branch capability.

Ramal ID	Desde - hasta el flujo de carga		Hasta- desde el flujo de caga		Pérdidas		% Bus de Voltaje		VD %
	MW	Mvar	MW	Mvar	kW	Kvar	kvar	Desde	Hasta
T1	72.343	21.884	-72.343	-	00	15.210	1.040	1.034	000,59
				20.363					
T2	163.000	6.700	-	-0.512	01	61.883	1.037	1.036	000,09
			163.000						
T3	85.000	-	-85.000	12.871	00	19.710	1.045	1.048	000,33
			10.900						
Z1	-72.610	-	74.275	-8.122	16.652	-	1.007	1.036	002,95
			15.423			235.454			
Z2	52.610	18.967	-52.135	-	3.327	-	1.034	1.007	002,76
			34.466			154.985			
Z3	19.875	1.396	-19.797	-	782	-	1.034	1.022	001,19
			17.676			162.806			
Z4	-70.490	-	72.359	-	18.692	-	1.022	1.048	002,59
			12.414			375.564			
Z5	-12.563	-	12.641	12.271	784	-	1.024	1.048	002,42
			34.045			217.733			
Z6	88.725	8.634	-88.096	-1.171	6.293	74.627	1.036	1.024	001,21
					4653,2	-			
						97511,1			

Nota: Datos que arrojó el sistema ETAP.

Los resultados obtenidos en la simulación realizada son de gran importancia porque definen las cantidades de kv que deben atravesar por cada bus de la red de 9 barras, de conformidad con lo manifestado en el estándar IEC61850, en donde es necesario enfatizar en los respectivos factores de potencia para dar a conocer la viabilidad de los resultados y del sistema de monitoreo.

Para el efecto, en la siguiente tabla se presentan los datos correspondientes a las alertas que deben ser detectadas por el sistema de los relés respectivos, para interrumpir la energía del sistema eléctrico y procurar su protección inmediata ante una descarga de energía.

TABLE V. ALERT SUMMARY REPORT

% Alert Settings

Carga	Crítica	Marginal
Barras	1.000	950
Cable / Busway	1.000	950
Reactor	1.000	950
Línea	1.000	950
Transformador	1.000	950
Panel	1.000	950
Protective Device	1.000	950
Generador	1.000	950
Inverter/Carga	1.000	950
Bus Voltaje		
Sobretensión	1.050	102
Bajo voltage	950	98
Excitación del Generador		
Sobreexcitada (Q Max.)	1.000	95
Baja excitación (Q Min.)	1.000	

Reporte Crítico

ID Dispositivo	Tipo	Condición	Clasificación / Límite	Unidad	Operación	%operación	Tipo de fase
Gen3	Generador	Baja excitación	0	Mvar	-10,9	0	3-Fase

Reporte Marginal

ID Dispositivo	Tip o	Condición	Clasificació n/ Límit	Unida d	% Operació n	Tip o de fase
Bus 1	Bus	Sobrevoltaje	16.500	kv	1.040	3-Fase
Bus 2	Bus	Sobrevoltaje	18.000	kv	1.037	3-Fase
Bus 3	Bus	Sobrevoltaje	13.800	kv	1.045	3-Fase
Bus 4	Bus	Sobrevoltaje	230.000	kv	1.034	3-Fase
Bus 6	Bus	Sobrevoltaje	230.000	kv	1.022	3-Fase
Bus 7	Bus	Sobrevoltaje	230.000	kv	1.036	3-Fase
Bus 8	Bus	Sobrevoltaje	230.000	kv	1.024	3-Fase
Bus 9	Bus	Sobrevoltaje	230.000	kv	1.048	3-Fase

Sumatoria total de Generación, Carga y Demanda

	MW	Mvar	MVA	% PF
Fuente (Buses Giratorios):	72.343	21.884	75.580	95.72
Fuente (Buses sin Giro):	248.000	-4.200	248.036	99.99
Demanda Total:	320.343	17.684	320.831	99.85
Total de Carga de Motor:	0.000	0.000	0.000	
Total Carga Estática:	315.690	115.195	336.050	93.94
Total Carga Constante I:	0.000	0.000	0.000	Rezagado
Total Carga Genérica:	0.000	0.000	0.000	
Pérdidas Aparentes:	4.653	-97.511		
Dependencia del Sistema:	0.000	0.000		
Número de Iteraciones:	4			

La red de nueve barras debe mantener en niveles de 13.800 a 18.000 kv en los buses 1, 2 y 3, mientras que, en los restantes buses estos pueden soportar 230.000 kv, situándose en un factor de potencia superior a 95% para garantizar la protección del sistema eléctrico.

III. RESULTADOS

A partir de los resultados obtenidos y presentados en la prueba de simulación efectuada y detallada en el numeral anterior, se realizó la prueba de inyección de corriente en la red de 9 barras, bajo el uso del hardware y software indicado en esta parte del artículo, utilizando los mismos materiales y dispositivos tecnológicos para el cálculo de los resultados de cada parámetro considerando en este análisis, entre los que la intensidad y el voltaje son los principales.

Para el efecto, se aplicó la prueba de inyección en el laboratorio S.E.P. con los recursos materiales y técnicos señalados inicialmente en el perfil de este artículo, en donde además del sistema ETAP y los 12 relés SEL 751, también se hace referencia al multímetro Fluke 87V, para medir los voltajes de las diferentes líneas de la red de 9 barras sujeta de investigación.

Una vez realizada la prueba de inyección con los relés SEL 751, en la red de 9 barras, en el laboratorio SEP de la Universidad Politécnica Salesiana, se obtuvo los siguientes resultados:

TABLE VI. RESULTADOS DE PRUEBA DE INYECCIÓN

RELE	OBJETO	VOLTAJE OBJETO (KV)	CAPACIDAD OBJETO (MVA)	CORRIENTE PRIM. OBJETO	CTS PRIM	CTS SEC	CTR	PT PRIM (KV)	PT SEC (V)	PTR
GENERADOR										
#1	2 LINEA 3,	18	235,294	7547,1	8000	5	1600	18	120	150,00
#2	BARRA 7-8 LINEA 2,	230	100	251,0	300	5	60	230	120	1916,67
#3	BARRA 7-5	230	100	251,0	300	5	60	230	120	1916,67
#4	CARGA A LINEA	230	134,629	337,9	400	5	80	230	120	1916,67
#5	1,BARRA 4-5 GENERADOR	230	100	251,0	300	5	60	230	120	1916,67
#6	1 LINEA	16,5	200	6998,2	8000	5	1600	16,5	120	137,50
#7	6,BARRA 4-6	230	100	251,0	300	5	60	230	120	1916,67
#8	CARGA B LINEA 5	230	94,868	238,1	300	5	60	230	120	1916,67
#9	BARRA 6-9 GENERADOR	230	100	251,0	300	5	60	230	120	1916,67
#10	3 LINEA 4	13,8	117,647	4922,0	5000	5	1000	13,8	120	115,00
#11	BARRA 8-9	230	100	251,0	300	5	60	230	120	1916,67
#12	CARGA C	230	105,95	266,0	300	5	60	230	120	1916,67

Nota: Datos que arrojaron los relés.

Se utiliza la misma fórmula para la obtención de la corriente de transformación (CTR) y la potencia de transmisión (PTR), es decir, la división de las corrientes y potencia primaria para la de tipo secundario, de donde el primer relé arrojó un parámetro de 1.600 amperios para CTR y de 150 voltios para PTR, así como un resultado de 60 amperios para CTR y de 1,916,67 voltios para PTR, en el relé 2 y así sucesivamente, según se puede observar en la imagen de la figura anterior.

Otro factor para considerar en este trabajo investigativo es que, cada relé utilizado en la prueba de inyección de corriente pudo muestrear lo que ocurre en cada una de las barras o buses del sistema eléctrico analizado, por ejemplo, el relé 2 analizó los parámetros de la barra 7-8 de la red eléctrica sujeta de estudio.

Con base en estas consideraciones se ha plasmado los resultados que arrojó cada uno de los relés, con relación a la corriente primaria y secundaria de operación, así como también los voltajes primarios y secundarios de la red de nueve barras, considerando que, para la obtención de la tensión y voltaje secundario, se divide el producto de la corriente o voltaje primario de operación por la CTS o PT secundario, dividido para la CTS o PT primario, respectivamente.

Para mayor apreciación de lo expresado en el párrafo anterior sobre estos hallazgos, estos se exponen en la siguiente tabla:

TABLE VII. RESULTADOS DE PRUEBA DE INYECCIÓN

RELE	OBJETO	CORRIENTE PRIMARIA OPERACIÓN(A)	I secundario operación (A)	VOLTAJE PRIMARIO (KV)	Volt (L-L) secundario operación (V)	Volt (L-N) secundario operación (V)	P(MW)	Q(MWAR)
GENERADOR								
#1	2 LINEA 3,	5043,6	3,15	18,77	125,13	72,00	200	6,7
#2	BARRA 7-8 LINEA 2,	216	3,60	238,3	124,33	71,90	88,7	8,63
#3	BARRA 7-5	181,2	3,02	244,6	127,62	73,68	74,3	-8,12
#4	CARGA A LINEA	335,2	4,19	231,5	120,78	69,73	124,7	49,9
#5	1,BARRA 4-5 GENERADOR	135,6	2,26	237,7	124,02	71,60	52,5	19
#6	1 LINEA	2544	1,59	17,15	124,73	72,01	200	21,9
#7	6,BARRA 4-6	48,4	0,81	237,9	124,12	71,66	19,9	1,4
#8	CARGA B LINEA 5	233,9	3,90	235,05	122,63	70,80	90	30,1
#9	BARRA 6-9 GENERADOR	183,6	3,06	241,2	125,84	72,66	85	-12,9
#10	3 LINEA 4	340,1	0,34	14,42	125,39	72,39	100	-10,9
#11	BARRA 8-9	42	0,70	235,5	122,87	70,94	12,6	12,3
#12	CARGA C	261,4	4,36	235,5	122,87	70,94	100,7	35,2

Los resultados obtenidos en esta matriz evidencian fehacientemente los diferentes parámetros de intensidad y voltaje que han recorrido por cada una de las barras de la red en estudio.

Aplicando la ecuación referida previo a la presentación de esta figura, se obtuvieron los resultados de la intensidad y voltaje secundario de operación, a través de la división entre las siguientes cifras:

$$I \text{ secundaria} = \frac{I \text{ primaria operación} \times \text{CTS secundaria}}{\text{CTS primaria}}$$

$$I \text{ secundaria} = \frac{5.046 \text{ amperios} \times 5 \text{ amperios}}{8000 \text{ amperios}}$$

$$I \text{ secundaria} = 3,15 \text{ amperios.}$$

La intensidad secundaria que arrojó como resultado en el relé 1 utilizado durante la prueba de inyección de corriente que, el mismo fue igual a 3,15 amperios, según consta en la última matriz en referencia.

Posteriormente, similar operación se ha realizado para la obtención del voltaje secundario de operación con el mismo relé 1:

$$V \text{ secundario} = \frac{V \text{ primario operación} \times PT \text{ Sec.}}{PT \text{ Prim.}}$$

$$V \text{ secundario} = \frac{18,66 \text{ kv} \times 120 \text{ voltios}}{18 \text{ kv}}$$

$V \text{ secundario} = 125,13 \text{ amperios.}$

El voltaje secundario que arrojó como resultado el relé 1, fue igual a 125,13 amperios, el cual también se puede apreciar en la última matriz diseñada.

Además de los resultados mencionados, es preciso destacar que, al establecer un análisis comparativo entre los hallazgos obtenidos con la prueba de simulación y que fueron arrojados por el sistema ETAP, con aquellos presentados en este apartado que, fueron los encontrados en la prueba de inyección de corriente con el uso de los 12 relés, se pudo conocer que, hubo un alto nivel de similitud en los resultados, tanto así que, los amperajes del bus 2 de la red eléctrica en análisis reflejó un parámetro de 5.046 amperios de corriente primaria, tanto en la simulación como en la prueba de inyección, asimismo, en esta misma barra, el voltaje primario obtenido fue de 238,3 kv en ambas pruebas referidas, denotando que, el sistema de monitoreo diseñado en este artículo, tiene gran utilidad para la protección del sistema eléctrico en estudio.

Debido a ello, también existen similitudes marcadas en las cantidades resultantes de las corrientes y voltajes secundarios de operación, en cada una de las secciones o buses de la red de 9 barras, como lo demuestran los hallazgos evidenciados por cada uno de los relés utilizados del tipo SEL 751 y que, se pueden apreciar en la última matriz construida, a lo que se debe añadir que, los parámetros observados cumplen con lo estipulado en el estándar IEC61850, cumpliendo el objetivo principal de este trabajo investigativo.

La gran concordancia existente entre los resultados obtenidos en el estudio, tanto con la prueba de simulación que, fue realizada en primera instancia y con la prueba de inyección de corriente que, se efectuó en último término, demuestran que, el sistema de monitoreo diseñado en este trabajo, no solo tiene gran utilidad para la protección de los diferentes mecanismos que forman parte de la red de nueve barras sujeta de estudio, sino que, además, indican conformidad con los parámetros del estándar IEC61850 que se ha considerado en esta investigación, como la normativa técnica del sector eléctrico que, debe fundamentar la factibilidad de los datos calculados con los sistemas y dispositivos utilizados en el laboratorio.

Entonces, el principal resultado obtenido en este artículo cumple con el objetivo plasmado en el mismo, porque demuestra que, el diseño de un sistema de monitoreo que utilice elementos de protección como los relés SEL 751, tienen capacidad suficiente para proteger a una red de 9 barras, hallazgo probado con las pruebas de simulación y de inyección de corriente, a lo que se debe sumar, el cumplimiento del estándar IEC61850.

IV. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos evidenciaron los parámetros eléctricos presentes en la red de 9 barras sujeta de estudio. La prueba de simulación indicó factores de potencia mayores al 95%, cuyo hallazgo indicó que, la corriente eléctrica que atraviesa por este sistema está siendo aprovechada de manera eficiente, de conformidad con el reporte que arrojó la plataforma ETAP.

En este contexto, el referente de Silva y Cevallos [3] evidenció como principales hallazgos, una probabilidad de error mínima, del 0,21%, es decir, muy inferior al 5% máximo esperado, evidenciando entonces, un factor de potencia mayor al 95%, al igual que, el obtenido en el presente estudio, corroborando la eficiencia del sistema de monitoreo plasmado en este artículo.

Entre los resultados más relevantes que se obtuvieron en ambas pruebas, se citó que, los tres primeros buses de la red eléctrica se situaron en niveles de 13.800 a 18.000 kv, mientras que, en las restantes barras se observaron voltajes de 230.000 kv. Cabe destacar que, ambas pruebas midieron amperaje y voltaje en cada uno de los 9 buses del sistema eléctrico, utilizando para ellos el sistema ETAP, así como 12 relés SEL 751 conectados a esta plataforma informática y un multímetro Fluke 87V, dispositivo este último de gran utilidad durante la prueba de inyección.

De la misma manera, Pacho y Ojeda [14] evocan la necesidad del uso de sistemas automatizados, como es el caso de la plataforma ETAP y el sistema Ómicron, la cual favorece la detección automática de los parámetros del sistema eléctrico, en donde la protección del mismo fue garantizada por los relés SEL 751 que, coadyuvaron con el cumplimiento de los parámetros eléctricos, su identificación y la predicción de fallos, para optimizar la comunicación entre los diferentes dispositivos del sistema y mejorar el proceso de toma de decisiones para potenciar la eficiencia de la red eléctrica.

Por esta razón, es necesario señalar que, las pruebas de monitoreo y de inyección de corriente fueron de gran utilidad porque, además de demostrar la hipótesis planteada al inicio de este artículo, defendieron la postura de que, el sistema de monitoreo diseñado en este trabajo, coadyuva a la estabilidad de los principales parámetros que atraviesan por la red de nueve de barras, en referencia al amperaje y al voltaje, señalando la importancia del uso de los relés SEL 751 para la protección del sistema y el cumplimiento de los parámetros estipulados en el estándar IEC 61850 que, contribuyan con la optimización de la toma de decisiones directivas y la predicción precoz de fallos en el sistema eléctrico correspondiente.

V. CONCLUSIONES

Una vez que, se ha culminado el proceso investigación, como conclusión del mismo se menciona que, a través de las pruebas de inyección de corriente y de simulación se pudo corroborar la hipótesis del estudio y cumplir con su principal objetivo, porque el diseño del sistema de monitoreo efectuado a través de la simulación e inyección de corriente en la red de nueve barras, contribuyó con la estabilidad de la intensidad y el voltaje de este sistema, en donde además de los dispositivos utilizados, se debe enfatizar en la función de los relés SEL 751 que, además de indicar el voltaje y amperaje de cada bus del sistema, también sirvieron como mecanismos para mejorar la labor de seguimiento de los circuitos eléctricos y brindar

protección a todos los dispositivos de estos, cumpliendo a cabalidad con las estipulaciones exigidas por el estándar IEC 61850, para garantizar el funcionamiento óptimo del sistema eléctrico, favoreciendo también la toma de decisiones de quienes tienen la responsabilidad por el control del mismo, evitando interrupciones y asegurando la continuidad en la distribución del suministro eléctrico.

REFERENCES

- [1] A. Arciniegas, D. Imbajoa y J. Revelo, «Diseño e implementación de un Sistema de Medición Inteligente para AMI de la microrred de la Universidad de Nariño,» *Enfoque UTE Revista*, vol. 8, n° 1, pp. 1-20, 2020.
- [2] J. López y M. Vásquez, *Diseño e implementación de un laboratorio virtual basado en una metodología para el estudio de pruebas de configuración de protocolos en equipos virtuales bajo el estándar IEC61850*, Universidad de El Salvador, 2021.
- [3] G. Silva y L. Cevallos, *Análisis de la normativa IEC 61850 para la protección y monitoreo de transformadores de potencia empleando reles de protección diferencial*, Universidad Pólitécnica Salesiana, 2023.
- [4] W. Bravo, *Automatización de una subestación eléctrica de potencia con el estándar IEC-61850*, Cusco: Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, 2021.
- [5] R. Solórzano, «El método mixto para el análisis de la cooperación académica entre universidades como factor de prestigio internacional: una elección metodológica para una realidad compleja,» *Comunicación y métodos*, vol. 2, n° 2, pp. 134-148, 2020.
- [6] G. Guevara, A. Verdesoto y N. Castros, «Metodologías de investigación educativa (descriptivas, experimentales, participativas, y de investigación-acción),» *RECIMUNDO; Editorial Saberes del Conocimiento*, vol. 4, n° 3, pp. 163-173, 2020.
- [7] H. Leyva y V. Guerra, «Objeto de investigación y campo de acción: componentes del diseño de una investigación científica,» *Medigraphic*, vol. 12, n° 3, p. 15, 2020.
- [8] O. Burgo, J. León, M. Cáceres, C. Pérez y E. Espinoza, «Algunas reflexiones sobre investigación e intervención educativa,» *Revista Cubana de Medicina Militar*, vol. 48, n° 2 Suplemento, p. 15, 2020.
- [9] G. Andrade, M. Pozo y C. Gallardo, «Evaluación de Estabilidad Transitoria en el Sistema de 9 Barras Considerando TCSC y Análisis de sincronismo y oscilaciones Subsíncrona,» *ResearchGate*, vol. 2, n° 1, pp. 11-22, 2020.
- [10] H. Oñate y X. Bustos, *Prueba de inyección de corriente secundaria a los relés de protecciones de los módulos de sistemas eléctricos de potencia utilizando la Omicron CMC 356*, Guayaquil: UPS, 2020.
- [11] F. Loo y C. Mancilla, *Diseño y simulación de un sistema de protección para generación con los equipos SEL-700G, RTU, RTAC SELL-3530 y CMC 356 integrados en un sistema de monitoreo SCADA*, UPS, 2023.
- [12] L. Morales y J. Solórzano, *Diseño e implementación de pruebas de fallas en los sistemas de generación empleando el CMC 356 OMICRON para el SEL-751*, Guayaquil: UPS, 2021.
- [13] X. Proaño, P. Potes, D. Jiménez y G. Pesántez, «Evaluación de Eficiencia Energética del Sistema Eléctrico para Mejorar los Indicadores de Desempeño IDEn en la Finca "La Cordillera" Perteneciente al Cantón Mejía, Provincia de Pichincha,» *Revista Técnica Energía*, vol. 1, n° 19, pp. 120-132, 2022.
- [14] C. Maigua, W. Quitiaquez, I. Simbaña, P. Quitiaquez, F. Tapanta y C. Isaza, «Diseño de un Sistema de Monitoreo de Vibraciones Mecánicas en Generadores Hidroeléctricos de Media Potencia,» *Revista Técnica Energía*, vol. 1, n° 17, pp. 92-102, 2020.
- [15] D. Soria y S. Gamboa, «Estimador de Estado Estático Distribuido para el Monitoreo y Control de Sistemas Eléctrico de Potencia,» *CENACE*, vol. 13, n° 1, pp. 43-53, 2020.