

**ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE TRANSFORMADORES CON
CONEXIÓN SCOTT PARA LA ALIMENTACION DE CARGAS TÍPICAS DE
ELECTRO MOVILIDAD.**

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

**CARRERA:
INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de
INGENIERA ELÉCTRICA**

TEMA:

**ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE TRANSFORMADORES CON
CONEXIÓN SCOTT PARA LA ALIMENTACION DE CARGAS TÍPICAS DE
ELECTRO MOVILIDAD.**

.

**AUTOR:
ALEX OMAR TARAPUES PASPUEL**

**TUTOR:
ROGELIO ALFREDO ORIZONDO MARTÍNEZ**

Quito, agosto 2021

Alex Omar Tarapues Paspuel

**ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE TRANSFORMADORES CON
CONEXIÓN SCOTT PARA LA ALIMENTACIÓN DE CARGAS TÍPICAS
DE ELECTRO MOVILIDAD**

Universidad Politécnica Salesiana, Quito-Ecuador 2021
Ingeniería Eléctrica

Breve reseña histórica e información de contacto.



Alex Omar Tarapues Paspuel (Y'1992 – D'16) Realizó sus estudios de nivel secundario en el Instituto Tecnológico Superior Policía Nacional de la ciudad de Quito. Egresado de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Politécnica Salesiana. Su trabajo se basa en el análisis del comportamiento de transformadores con conexión Scott para la alimentación de cargas típicas de electro movilidad. atarapues@est.ups.edu.ec

Dirigido por



Rogelio Alfredo Orizondo Martínez (Y'1979 – M'01). Nació en Caracas, Venezuela. Recibió su título en Ingeniería Eléctrica por la Universidad Simón Bolívar en 1999 y el MSc. en la Universidad Simón Bolívar en 2006. Actualmente es docente en la Universidad Politécnica Salesiana. Sus áreas de investigación incluyen electrónica de potencia, especialmente FACTS, sistemas de puesta a tierra y protección catódica. rorizondo@ups.edu.ec

Todos los derechos reservados:

Queda prohibida, salvo excepción prevista en la ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra para fines comerciales, sin contar con la autorización de los titulares de propiedad intelectual. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual. Se permite la libre difusión de este texto con fines académicos o investigativos por cualquier medio, con la debida notificación a los autores.

DERECHOS RESERVADOS

©2021 Universidad Politécnica Salesiana
QUITO - ECUADOR

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR/A

Yo, ROGELIO ALFREDO ORIZONDO MARTÍNEZ declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación *ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE TRANSFORMADORES CON CONEXIÓN SCOTT PARA LA ALIMENTACIÓN DE CARGAS TÍPICAS DE ELECTRO MOVILIDAD* realizado por ALEX OMAR TARAPUES PASPUEL, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerado como trabajo final de titulación.

Quito, agosto 2021



.....

ROGELIO ALFREDO ORIZONDO MARTÍNEZ

175742419-5

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, ALEX OMAR TARAPUES PASPUEL, con documento de identificación N° 172553324-2, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor/es del trabajo de grado/titulación intitulado: *ANALISIS DEL COMPORTAMIENTO DE TRANSFORMADORES CON CONEXIÓN SCOTT PARA LA ALIMENTACION DE CARGAS TIPICAS DE ELECTRO MOVILIDAD*, mismo que 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 aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, D. M., agosto 2021



.....

ALEX OMAR TARAPUES PASPUEL

CI: 172553324-2

ÍNDICE GENERAL

Resumen	12
Abstract	12
1. Introducción	13
2. Métodos de Mitigación.....	14
2.1 Transformador Monofásico.....	15
2.2 Transformador Scott.....	15
2.3 Transformador Le Blanc.	16
2.4 Impacto de los Armónicos en los Transformadores.....	17
2.5 Distorsión Armónica (THD).	17
2.6 Factor de desbalance de tensión (FDV).	17
2.7 Modelación Matemática de la Carga Electro Móvil.	17
3. Formulación del Problema	19
3.1 Escenarios de Análisis.....	20
3.2 Primer Escenario	20
3.3 Segundo Escenario	20
3.4 Tercer Escenario.....	21
4. Análisis de Resultados	21
4.1 Resultados Escenario 1.....	21
4.2 Resultados Escenario 2.....	22
4.3 Resultados Escenario 3.....	23
5. Conclusiones	30
6. Trabajos Futuros.....	31
7. Referencias	31
8. Estado del Arte	34

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Transformadores utilizados en sistemas de electro movilidad.	13
Figura 2. Conexión Monofásica y Diagrama Fasorial.	15
Figura 3. Conexión Scott y Diagrama Fasorial.....	15
Figura 4. Diagrama de conexión transformador Scott.	15
Figura 5. Conexión Le Blanc y Diagrama fasorial.....	16
Figura 6. Diagrama de conexión transformador Le Blanc.	16
Figura 7. Fuerzas que influyen en la circulación de tren.	18
Figura 8. Diagrama del circuito de estudio, escenario uno.	21
Figura 9. Diagrama del circuito eléctrico del segundo escenario.	21
Figura 10. Diagrama del Circuito Eléctrico Tercer Escenario.	21
Figura 11. Formas de onda del primario, voltaje y corriente transformador monofásico.	23
Figura 12. Formas de onda del primario, voltaje y corriente transformador Le Blanc.	23
Figura 13. Formas de onda del primario, voltaje y corriente transformador Scott.	23
Figura 14. Corriente por la resistencia de falla (fase 0°), transformador monofásico.	23
Figura 15. Voltaje y corriente de carga, falla de alta impedancia fase 0°, transformador monofásico.	24
Figura 16. Corriente del primario, falla de alta impedancia fase 0°, transformador monofásico.	24
Figura 17. Corriente por la resistencia de falla (fase 0°), falla de baja impedancia, transformador monofásico.	24
Figura 18. Voltaje y corriente de carga, falla de baja impedancia fase 0°, transformador monofásico.	24
Figura 19. Voltajes y corrientes del primario durante falla de baja impedancia fase 0°, transformador monofásico.	25
Figura 20. Corriente por la resistencia de falla (fase 90°), transformador monofásico.	25
Figura 21. Corriente por la resistencia de falla (fase 90°), transformador monofásico.	25
Figura 22. Voltaje y corriente de carga, durante falla baja impedancia fase 90°, transformador monofásico.	25
Figura 23. Corriente por la resistencia de falla (fase 0°), transformador Le Blanc.	25
Figura 24. Voltaje y corriente de carga, durante falla de alta impedancia fase 0°, Le Blanc.	26
Figura 25. Voltajes y corrientes del primario durante falla de alta impedancia fase 0°, transformador Le Blanc.....	26
Figura 26. Corriente por la resistencia de falla (fase 0°), transformador Le Blanc.	26
Figura 27. Voltaje y corriente de carga, falla baja impedancia fase 0°, transformador Le Blanc.	26
Figura 28. Voltajes y corrientes del primario durante falla de baja impedancia fase 0°, transformador Le Blanc.....	26
Figura 29. Corriente por la resistencia de falla (fase 90°), transformador Le Blanc.	27
Figura 30. Voltaje y corriente de carga, falla de alta impedancia fase 90°, transformador Le Blanc.	27
Figura 31. Voltajes y corrientes del primario durante falla de alta impedancia fase 0°, transformador Le Blanc.....	27

Figura 32. Corriente por la resistencia de falla (fase 90°), transformador Le Blanc.	27
Figura 33. Voltaje y corriente de carga, falla de baja impedancia fase 90°, transformador Le Blanc.	27
Figura 34. Voltajes y corrientes del primario durante falla de baja impedancia fase 90°, transformador Le Blanc.....	28
Figura 35. Corriente por la resistencia de falla (fase 0°), transformador Scott.....	28
Figura 36. Voltaje y corriente de carga, falla de alta impedancia, fase 0°, transformador Scott.	28
Figura 37. Voltajes y corrientes del primario durante falla de alta impedancia (fase 0°), transformador Scott.....	28
Figura 38. Corriente por la resistencia de falla (fase 0°), transformador Scott.....	28
Figura 39. Voltaje y corriente de carga, falla de baja impedancia, fase 0°, transformador Scott.	29
Figura 40. Voltajes y corrientes del primario durante falla, transformador Scott.....	29
Figura 41. Corriente por la resistencia de falla, fase 90°, transformador Scott.	29
Figura 42. Voltaje y corriente de carga, falla alta impedancia, fase 90°, transformador Scott.	29
Figura 43. Voltajes y corrientes del primario durante falla (fase 90°), transformador Scott.	29
Figura 44. Corriente por la resistencia de falla (fase 90°), transformador Scott.....	30
Figura 45. Voltaje y corriente de carga, falla de baja impedancia, fase 90°, transformador Scott.	30
Figura 46. Corriente y Voltaje del primario durante falla de baja impedancia, fase 90°, transformador Scott.....	30
Figura 45. Resumen e indicador de la temática - Estado del arte	37
Figura 46. Indicador de formulación del problema - Estado del arte.....	38
Figura 47. Indicador de solución - Estado del art	39

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Niveles de THD para cada transformador.....	22
Tabla 2. Orden Armónico de cada transformador.....	22
Tabla 3. Factor de desbalance de tensión en los transformadores FDV (%).	22
Tabla 4. Escenarios	23

ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE TRANSFORMADORES CON CONEXIÓN SCOTT PARA LA ALIMENTACIÓN DE CARGAS TÍPICAS DE ELECTRO MOVILIDAD

Resumen

En esta investigación se propone el análisis del transformador con conexión Scott alimentando a cargas electro móviles, y una comparativa ante otros transformadores comúnmente utilizados en sistemas ferroviarios, para el análisis del comportamiento ante diferentes tipos de escenarios, por ende, se modela cada uno de los transformadores, escenarios y la carga electro móvil utilizando la herramienta digital MATLAB- Simulink, con el objetivo de visualizar el comportamiento de las corrientes del primario de los transformadores ante fallas de baja impedancia de la misma manera de impedancia alta, la corriente de falla en cada una de sus fases del secundario del transformador, así mismo se divide el factor de desequilibrio de tensión para cada transformador debido al desbalance de carga y el efecto en las corrientes y voltajes del primario de cada transformador. El análisis de armónicos y el índice THD que inyectan las cargas electro móviles a cada uno de los transformadores.

Palabras Clave: Transformador, distorsión armónica, subestaciones, cargas, sistemas ferroviarios.

Abstract

This research proposes the analysis of the transformer with Scott connection feeding electro-mobile loads, and a comparison with other transformers commonly used in railway systems, for the analysis of the behavior in different types of scenarios, therefore, each of the transformers, scenarios and the electro-mobile load using the MATLAB-Simulink digital tool, with the objective of visualizing the behavior of the primary currents of the transformers before low impedance faults in the same way of high impedance, the fault current in each one of its phases of the transformer secondary, likewise the voltage unbalance factor for each transformer is determined due to the load unbalance and the effect on the currents and voltages of the primary of each transformer. The harmonic analysis and the THD index that the electro-mobile loads inject to each of the transformers.

Keywords: Transformer, harmonic distortion, substation, loads, railway system.

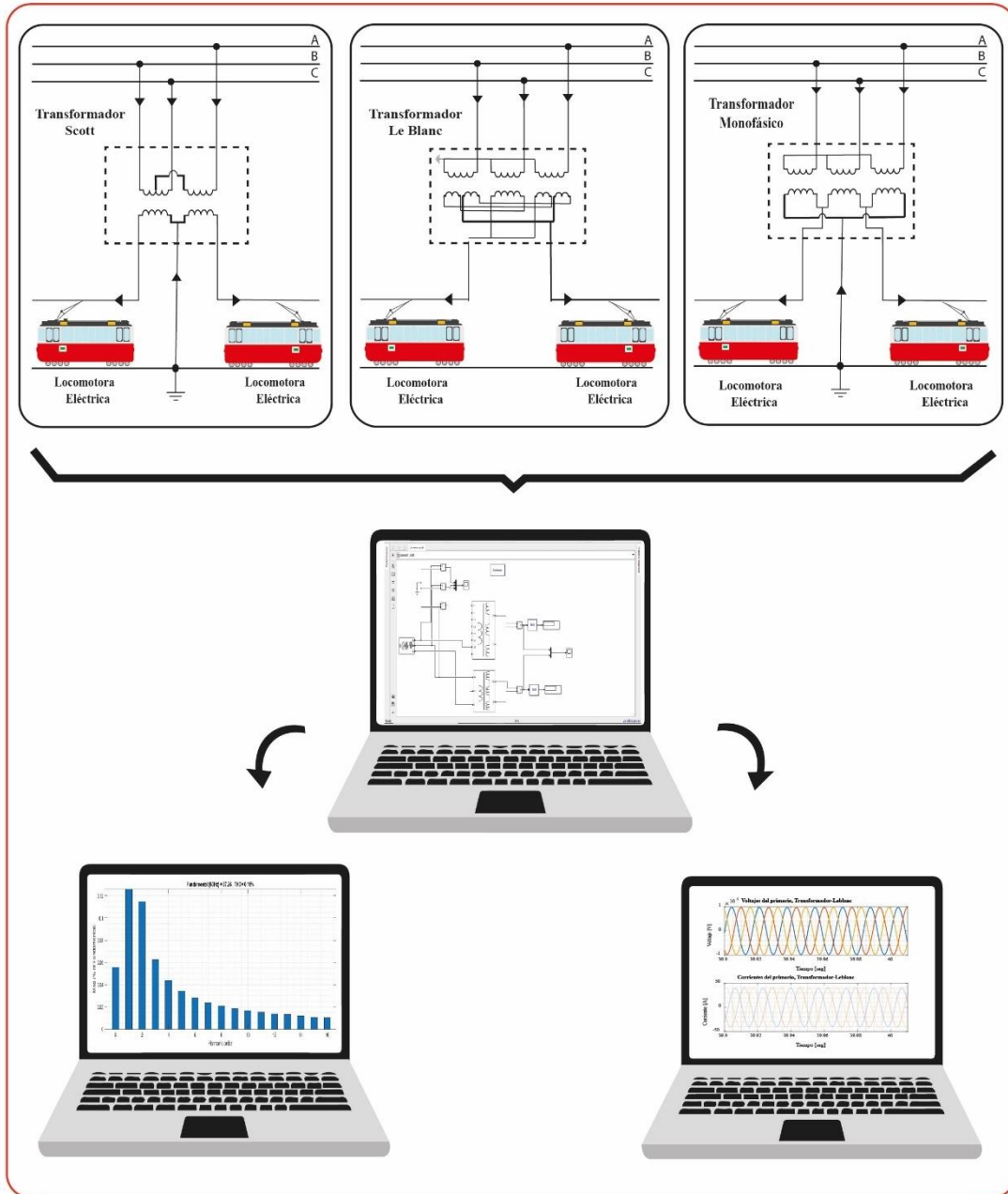


Figura 1. Transformadores utilizados en sistemas de electro movilidad.

1. Introducción

El transformador con conexión Scott está constituido por un transformador principal el cual posee un devanado intermedio en el primario y un solo devanado en el secundario. Un transformador auxiliar el cual es un transformador monofásico [1], consta de

una relación de transformación especial lo cual le permite tener una entrada trifásica y una salida bifásica con un desfase de 90° y de forma contraria, es decir tener una entrada bifásica mientras que su salida será trifásica y equilibrada [2], [3].

Esencialmente la conexión Scott es usada en subestaciones ferroviarias

considerando que posee salidas monofásicas, las cuales pueden alimentar directamente a la catenaria del sistema [4] y respectivamente a las cargas que son de tipo monofásico como se afirma en [5].

Los sistemas ferroviarios necesitan de una conexión eficaz y en la mayoría de sistemas se hace uso de conexiones especiales en el transformador del sistema de tracción que permita garantizar la estabilidad y confiabilidad del sistema ferroviario [6] y contrarrestar las afectaciones producidas por las cargas electro móviles. El desequilibrio en los sistemas ferroviarios es bastante común, ya que no se puede distribuir las cargas de manera adecuada porque se depende de un horario, al ser cargas dinámicas que se encuentran en constante movimiento. Este tipo de desequilibrio afecta directamente a la calidad de la energía del sistema [7], [8], lo que conlleva a un grupo de perturbaciones o situaciones que son desfavorables para todo el sistema, equipos o una instalación en específico.

Los problemas que se pueden presenciar son la distorsión del voltaje, corrientes de secuencia negativa y corrientes armónicas, desequilibrio de potencia, consumo elevando de potencia reactiva (factores de potencia bajos) los cuales pueden provocar vibración y reducción en el torque de las máquinas, sobrecalentamiento, pérdidas en las líneas y un erróneo accionamiento de los relés de protección [9].

Actualmente existen varios estudios que han brindado diversas soluciones para los problemas mencionados: una medición adecuada de los parámetros de energía eléctrica en las subestaciones de tracción y su respectivo análisis [10], una solución pasiva para el desequilibrio provocado

por cargas electro móviles, optimizando el modo de despacho de una forma eficiente con modelos matemáticos como lo afirma [11], la distorsión armónica producida por las cargas electro móviles que provocan pérdidas en el sistema ferroviario y que se mitiga por medio de sistemas de filtración que permitan reducir los armónicos de orden 3° y 5°, acompañados de un sistema de compensación del factor de potencia o potencia reactiva [12], [13].

La optimización de sistemas de filtración como se afirma en [14] permite tener resultados aún más relevantes en la distorsión armónica con modelos matemáticos, como el enjambre de partículas [15], el cual es usado para una reducción de armónicos de corriente y voltaje garantizando mejorar la calidad de la energía en sistemas ferroviarios.

La afectación de las cargas electro móviles a la calidad del sistema ferroviario se describe en [16] y [17] así como el análisis de corriente armónica y de secuencia negativa al integrar diferentes tipos de conexiones especiales como son Scott, Le Blanc y los transformadores de impedancia infinita. Hay una investigación publicada en [18] así como los efectos respectivos en la calidad de la energía de sistemas de alta velocidad [19], [20].

2. Métodos de Mitigación.

Los problemas de desequilibrio en sistemas ferroviarios debido a cargas móviles se las puede reducir de manera importante distribuyendo las cargas de manera uniforme entre las fases, ahora por sí sola, dicha solución no es viable, la intensidad del tráfico de cargas móviles en cada subestación es diferente, así que es inherente el uso de otras acciones que permitan reducir el problema del desequilibrio.

La solución que se plantea es el uso del transformador con conexión Scott para un mejor equilibrio de las cargas móviles siendo esta una solución pasiva [21].

2.1 Transformador Monofásico.

En sistemas eléctricos ferroviarios es común el uso de transformadores monofásicos convencionales que permiten una salida bifásica, y es exactamente por este motivo que se produce un desequilibrio de voltaje, así mismo, una caída de voltaje drástica por la alta impedancia interna en el uso de sistemas ferroviarios, sin embargo, su utilidad es debido a que pueden sobrecargarse el doble de su potencia nominal durante breves intervalos de tiempo [21], se ejemplifica en la figura 2, así mismo, su diagrama fasorial.

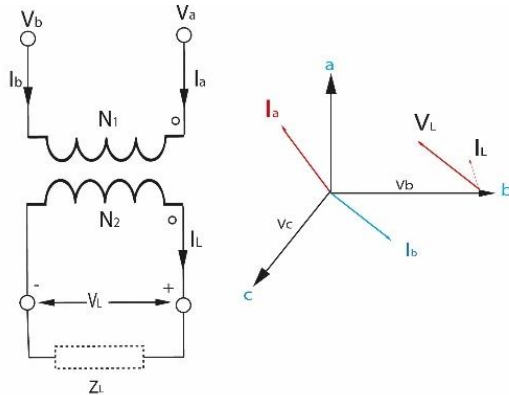


Figura 2. Conexión Monofásica y Diagrama Fasorial.

Subsecuentemente tenemos las ecuaciones en donde se observa la relación del primario con el secundario en voltaje y en corriente.

$$V_{ab} = V_a - V_b = \frac{N_1}{N_2} V_L \quad (1)$$

$$I_a = -I_b = \frac{N_2}{N_1} I_L \text{ y } I_c = 0 \quad (2)$$

2.2 Transformador Scott.

La conexión Scott en transformadores para subestaciones de tracción es indispensable para la mitigación de problemas con el desequilibrio de voltaje ya que la conexión especial que se realiza en los dos transformadores monofásicos que lo conforman permiten obtener un sistema bifásico balanceado de un sistema trifásico balanceado [21], se ejemplifica en la figura 3, así mismo, su diagrama fasorial, en la figura 3 se divide la forma de conexión.

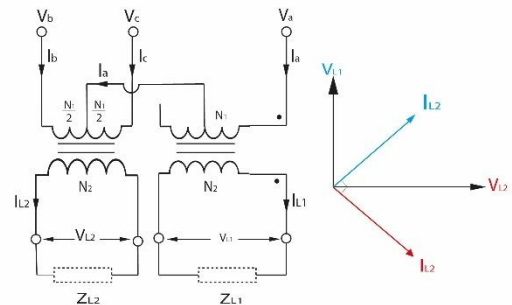


Figura 3. Conexión Scott y Diagrama Fasorial

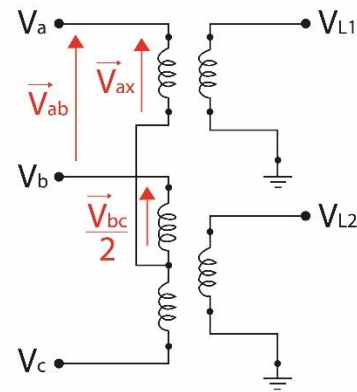


Figura 4. Diagrama de conexión transformador Scott.

A continuación, se considera las ecuaciones en donde se observa el comportamiento de los voltajes en el transformador y la relación del primario con el secundario en voltaje y en corriente.

$$\begin{aligned} V_{ab} &= 1\angle 0^\circ; V_{bc} = 1\angle -120^\circ \\ V_{ca} &= 1\angle 120^\circ \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} V_{ax} &= \frac{V_{ab} + V_{bc}}{2} = \\ &= \left(1\angle 0^\circ + \frac{1}{2}\angle -120^\circ \right) = \\ &= \frac{\sqrt{3}}{2}\angle -30^\circ \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} V_{ab} &= \frac{N_1}{2N_2} (\sqrt{3}V_{L1} - V_{L2}); \\ I_a &= \frac{N_2}{N_1} \frac{2}{\sqrt{3}} I_{L1} \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} V_{bc} &= \frac{N_1}{N_2} V_{L2}; \\ I_b &= \frac{N_2}{N_1} \left(I_{L2} - \frac{1}{\sqrt{3}} I_{L1} \right) \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} V_{ca} &= \frac{-N_1}{2N_2} (\sqrt{3}V_{L1} - V_{L2}); \\ I_c &= \frac{-N_2}{N_1} \left(I_{L2} + \frac{1}{\sqrt{3}} I_{L1} \right) \end{aligned} \quad (7)$$

2.3 Transformador Le Blanc.

La conexión Le Blanc permite convertir un sistema con alimentación trifásica en un sistema con salida bifásica totalmente balanceada y equilibrada o de manera contraria, la forma de conexión en el primario es en delta al igual que un transformador trifásico mientras que en lado secundario posee cinco devanados convertidos en dos fases directas a la alimentación de la catenaria [21], se ejemplifica en la figura 5 así mismo su diagrama fasorial.

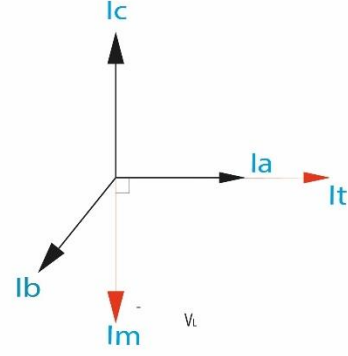
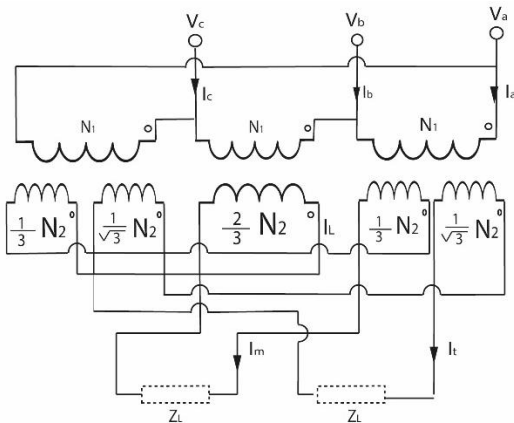


Figura 5. Conexión Le Blanc y Diagrama fasorial.

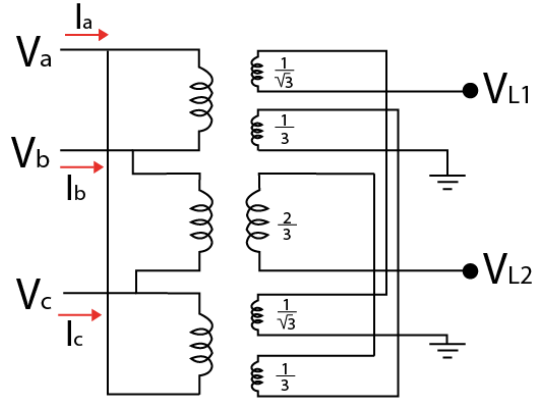


Figura 6. Diagrama de conexión transformador Le Blanc.

Así mismo, se muestran las ecuaciones en donde observamos la relación del primario con el secundario en voltaje y en corriente, y el comportamiento de los voltajes.

$$\begin{aligned} V_{ab} &= 1\angle 0^\circ; V_{bc} = 1\angle -120^\circ \\ V_{ca} &= 1\angle 120^\circ \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} V_{L2} &= \frac{V_{ac}}{3} + \frac{2V_{ab}}{3} + \frac{V_{ca}}{3} = \\ &= \left(\frac{1}{3}\angle 120^\circ + \frac{2}{3}\angle -120^\circ + \right) = \\ &= \frac{1}{3}\angle 120^\circ \\ &= \frac{\sqrt{3}}{3}\angle -30^\circ \end{aligned} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} V_{ab} &= \frac{-N1}{N2} \left(\frac{\sqrt{3}}{2} V_t + \frac{3}{4} V_m \right); \\ I_a &= -\frac{N2}{N1} \left(\frac{2}{\sqrt{3}} \right) I_t \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} V_{bc} &= \frac{N1}{N2} \left(\frac{\sqrt{3}}{2} \right) V_m; \\ I_b &= \frac{N2}{N1} \left(I_m + \frac{1}{\sqrt{3}} I_t \right) \end{aligned} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} V_{ca} &= \frac{N1}{N2} \left(\frac{\sqrt{3}}{2} V_t - \frac{3}{4} V_m \right); \\ I_c &= \frac{N2}{N1} \left(\frac{1}{\sqrt{3}} I_t - I_m \right) \end{aligned} \quad (12)$$

2.4 Impacto de los Armónicos en los Transformadores.

El transformador es un equipo esencial dentro de un sistema de potencia y su tiempo de vida depende primordialmente de su aislamiento. Este tiende a deteriorarse en función de la temperatura y el tiempo, así mismo la temperatura del transformador se encuentra estrechamente vinculada con la carga, lo que nos lleva a las pérdidas Joule I^2R de los devanados. Las corrientes armónicas pueden elevar la temperatura en el transformador, lo que provocará pérdidas adicionales. La vida útil del aislamiento se verá afectada de manera significativa, la temperatura de aislamiento será mayor, el factor de potencia se reducirá, podrá sobrecargarse el neutro, y puede dispararse innecesariamente los disyuntores y sobrecargarse los condensadores. De esta forma es posible que el transformador deba reducir hasta en un 50% su capacidad de alimentación hacia las cargas [22].

2.5 Distorsión Armónica (THD).

Al alimentar cargas electro móviles por su carácter dinámico puede crear distorsión armónica en las formas de onda de corriente como de voltaje, la distorsión armónica total, permite expresar en un valor porcentual, de esta manera se obtiene un dato numérico de los armónicos existentes, en cierto punto, permitiendo crear valores base admisibles que se pueden presentar en un sistema

[22]. En una forma de onda de corriente se calcula con la siguiente formula. Donde, I_3, I_5, I_7, \dots Son las corrientes eficaces según el orden de armónicos, I_1 es la corriente a la frecuencia fundamental.

$$I_{THD} = \frac{\sqrt{I_3^2 + I_5^2 + I_7^2 + I_9^2 \dots}}{I_1} \quad (13)$$

2.6 Factor de desbalance de tensión (FDV).

Uno de los problemas más significativos dentro de sistemas ferroviarios debido a cargas electro móviles es el desbalance de tensiones por el constante movimiento de cargas, y al no ser equilibrados para cada fase dentro de la operación del sistema, lo que conlleva a un aumento de potencia, pérdidas en la red y una afectación a los convertidores conectados a la red [23]. El factor de desbalance de tensión utiliza la componente de la secuencia negativa de la tensión V_2 , así mismo la componente de la secuencia positiva de la tensión V_1 , especificado en la ecuación 14, [24].

$$FVD = \frac{V_2}{V_1} * 100 \quad (14)$$

2.7 Modelación Matemática de la Carga Electro Móvil.

A continuación, se muestran las ecuaciones que rigen a la carga electro móvil dentro del escenario planteado para proceder debidamente a su estudio, el modelo matemático se centra en tres principales variables las cuales son la posición, velocidad y aceleración, dichas variables a la par de las fuerzas que afectan al movimiento de la carga electro móvil corresponden a la segunda ley de Newton que permite explicar el movimiento de las cargas [25].

Se tiene que F_{Trac} es la fuerza de tracción, F_R resistencia mecánica, M masa efectiva del tren.

$$F_{Trac} - \sum F_R = M \frac{dv}{dt} \quad (15)$$

$$F_r = F_{rr} + F_{ar} + F_{gr} \quad (16)$$

Se tiene F_{rr} fuerza resistiva rodante, F_{ar} fuerza de arranque, F_{gr} fuerza del gradiente (inclinación de la vía).

$$F_{rr} = f_r M g \cos \alpha \quad (17)$$

Se tiene f_r coeficiente de resistencia al rodar, g aceleración debido a la gravedad, α inclinación del ángulo.

$$F_{ar} = \frac{1}{2} C_w A \rho v^2 \quad (18)$$

Se tiene C_w coeficiente de arranque, ρ densidad del aire, A área frontal del vehículo, v velocidad del tren.

$$F_{gr} = M g \sin \alpha \quad (19)$$

Utilizando (15) en (19) se obtiene que:

$$F_{Trac} = f_r M g \cos \alpha + \frac{1}{2} C_w A \rho v^2 + M g \sin \alpha + M \frac{dv}{dt} \quad (20)$$

El torque se distribuya de manera uniforme entre los vagones de la carga electro móvil, cada vagón costa de 4 ejes, por lo tanto, el torque y la velocidad para cada uno de los ejes se obtendría de la siguiente manera:

$$T_a = \frac{F_{Trac} r}{4n_c} \quad (21)$$

Se tiene T_a torque de cada eje, r radio de las ruedas del tren, n_c numero de vagones del tren.

$$\omega_w = \frac{v}{r} \quad (22)$$

Las ecuaciones (23) (24) permiten establecer el torque y velocidad de inducción al eje del motor.

$$T_G = \frac{T_a}{\gamma_G} + \frac{B}{\gamma_G} \quad (23)$$

Se tiene T_G torque antes de la caja de cambios, γ_G relación de la caja de cambios, B pérdidas del vehículo.

$$\omega_G = \omega_w \gamma_G \quad (24)$$

Se tiene ω_G velocidad angular antes de la caja de cambios.

Las pérdidas de la carga electro móvil se pueden representar por medio de la ecuación (25).

$$B = T_a (1 - \eta_G) \quad (25)$$

Se tiene η_G eficiencia de la caja de cambios.

En la figura 7 se aprecia el diagrama de fuerzas que se utiliza dentro del estudio de la carga móvil para su debida simulación.

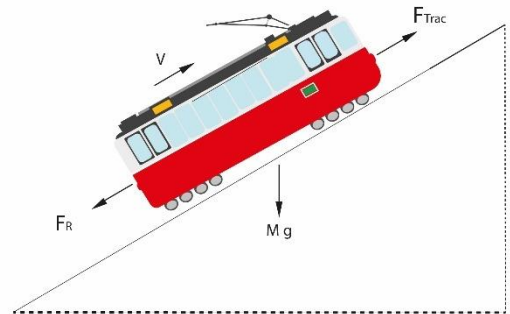


Figura 7. Fuerzas que influyen en la circulación de tren.

3. Formulación del Problema

El transformador es uno de los equipos más importantes dentro de un sistema eléctrico ferroviario, así mismo está sometido a varios tipos de contingencias como son armónicos, fallas, desbalances de carga. Debido a las cargas electro móviles a las que alimenta, la conexión que se utiliza en el transformador de tracción es de suma importancia, ya que, permite que al encontrarse bajo condiciones inusuales no se vea comprometido el transformador ni el sistema.

Con el fin de analizar el comportamiento de la conexión Scott ante escenarios de carga electro móvil se modelará y simulará un sistema ferroviario y la conexión Scott, el cual servirá para determinar ciertos parámetros eléctricos bajo tres escenarios de análisis, en el primer escenario se plantea obtener la distorsión armónica en la onda de corriente al usar la conexión Scott, conexión monofásica y una conexión Le Blanc en la subestación de tracción, en el segundo escenario se plantea un desbalance de cargas electro móviles y analizar el comportamiento del transformador; para el tercer escenario se plantea someter al sistema a fallas monofásicas en primer lugar y luego a fallas trifásicas para analizar el comportamiento del transformador ante este tipo de contingencias.

El análisis de los escenarios mencionados permitirá obtener conclusiones relevantes con relación a la utilización de la conexión Scott en sistemas relacionados con el electro movilidad.

Aquí se describe el proceso de diseño de la simulación de los transformadores y la

carga por medio de los siguientes pseudocódigos.

Simulación del transformador monofásico

Paso 1: Realizar la equivalencia del sistema de transformadores.

Paso 2: Parametrización de la relación de voltaje y corriente.

$$\mathbf{V}_{ab} = \mathbf{V}_a - \mathbf{V}_b = \frac{N_1}{N_2} \mathbf{V}_L$$

$$\mathbf{I}_a = -\mathbf{I}_b = \frac{N_2}{N_1} \mathbf{I}_L \text{ y } \mathbf{I}_c = \mathbf{0}$$

Paso 3: Conexión en base a las ecuaciones.

Paso 4: Resolución de ecuaciones mediante el Solver-Simulink, ODE 23tb.

Paso 5: Verificación de la validez de resultados
Terminar

Simulación del transformador Scott

Paso 1: Realizar la equivalencia del sistema de transformadores.

Paso 2: Parametrización de la relación de voltaje y corriente.

$$\mathbf{V}_{ab} = \frac{N_1}{2N_2} (\sqrt{3}\mathbf{V}_{L1} - \mathbf{V}_{L2}); \mathbf{I}_a = \frac{N_2}{N_1} \frac{2}{\sqrt{3}} \mathbf{I}_{L1}$$

$$\mathbf{V}_{bc} = \frac{N_1}{N_2} \mathbf{V}_{L2}; \mathbf{I}_b = \frac{N_2}{N_1} \left(\mathbf{I}_{L2} - \frac{1}{\sqrt{3}} \mathbf{I}_{L1} \right)$$

$$\mathbf{V}_{ca} = \frac{-N_1}{2N_2} (\sqrt{3}\mathbf{V}_{L1} - \mathbf{V}_{L2});$$

$$\mathbf{I}_c = \frac{-N_2}{N_1} \left(\mathbf{I}_{L2} + \frac{1}{\sqrt{3}} \mathbf{I}_{L1} \right)$$

Paso 3: Conexión en base a las ecuaciones.

Paso 4: Resolución de ecuaciones mediante el Solver- de -Simulink, ODE 23 tb.

Paso 5: Verificación de la validez de resultados
Terminar

Simulación del Transformador Le Blanc

Paso 1: Realizar la equivalencia del sistema de transformadores.

Paso 2: Parametrización de la relación de voltaje y corriente.

$$V_{ab} = \frac{-N1}{N2} \left(\frac{\sqrt{3}}{2} V_t + \frac{3}{4} V_m \right);$$

$$I_a = -\frac{N2}{N1} \frac{2}{\sqrt{3}} I_t$$

$$V_{bc} = \frac{N1}{N2} \frac{3}{2} V_m; I_b = \frac{N2}{N1} \left(I_m + \frac{1}{\sqrt{3}} I_t \right)$$

$$V_{ca} = \frac{N1}{N2} \left(\frac{\sqrt{3}}{2} V_t - \frac{3}{4} V_m \right);$$

$$I_c = \frac{N2}{N1} \left(\frac{1}{\sqrt{3}} I_t - I_m \right)$$

Paso 3: Conexión en base a las ecuaciones.

Paso 4: Resolución de ecuaciones mediante el Solver - Simulink, ODE 23 tb.

Paso 5: Verificación de la validez de resultados

Terminar

Simulación de la carga electro móvil

Paso 1: Se modela la fuerza de tracción de la carga y las fuerzas físicas que rigen a la carga.

$$F_{Trac} = f_r M g \cos \alpha +$$

$$\frac{1}{2} C_w A \rho v^2 + M g \sin \alpha + M \frac{dv}{dt}$$

Paso 2: Se modela el torque para su optima distribución en los ejes de la carga.

$$T_a = \frac{F_{Trac} r}{4n_c}$$

Paso 3: Se ingresa los datos del torque para cada una de las ruedas.

$$\omega_w = \frac{v}{r}$$

Paso 4: Se modela el torque y la velocidad angular antes de la caja de cambios.

$$T_G = \frac{T_a}{Y_G} + \frac{B}{Y_G}$$

$$\omega_G = \omega_w Y_G$$

Paso 5: Se modela las pérdidas que puede tener la carga.

$$B = T_a (1 - \eta_G)$$

Paso 6: Resolución de ecuaciones mediante el Solver- Simulink, ODE 23 tb.

Paso 7: Verificación de validez de resultados.

Terminar

3.1 Escenarios de Análisis

Con la finalidad de analizar el transformador con conexión Scott se plantea tres escenarios de análisis, los cuales son simulados empleando MATLAB Simulink. Se detalla a continuación de manera general los escenarios utilizados en la presente investigación:

3.2 Primer Escenario

En este escenario de análisis se utiliza el sistema simulado en la figura 8, en el cual se plantea utilizar tres transformadores: monofásicos, Le Blanc y Scott en las subestaciones, entre cada subestación existen cargas electro móviles. Para la valoración del efecto que tienen las cargas electro móviles en los transformadores se hace uso del THD en el sistema para cada subestación, se usará la Resolución Nro. ARCONEL-053/18 respecto al control de armónicos en sistemas eléctricos.

3.3 Segundo Escenario

Para el caso de estudio del desbalance de carga se plantea utilizar los transformadores: monofásico, Le Blanc y Scott, para lo cual se conecta una carga electro móvil a una fase y la otra fase conectada a ningún tipo de carga conforme se puede apreciar en la figura 9. Para la valoración del efecto que tienen las cargas electro móviles de forma balanceada y las afectaciones al

transformador se hace uso del índice FDV y el comportamiento de las tensiones en el transformador.

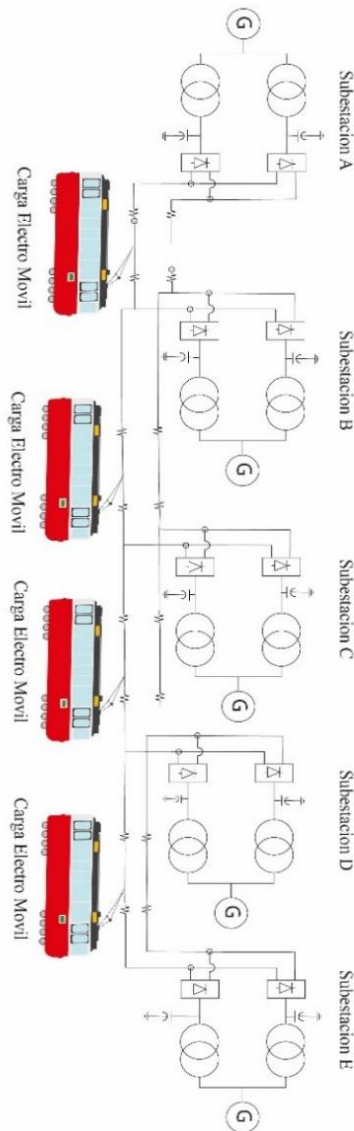


Figura 8. Diagrama del circuito de estudio, escenario uno.

3.4 Tercer Escenario

Este escenario aborda dos tipos de fallas en las subestaciones con transformadores: monofásicos, Le Blanc y Scott, las fallas que se simulan son de baja impedancia y de alta impedancia, las cuales se ubican en las fases secundarias de cada transformador de acuerdo con la figura 10, de esta manera se plantea analizar

cómo se reflejan las fallas en las corrientes del primario.

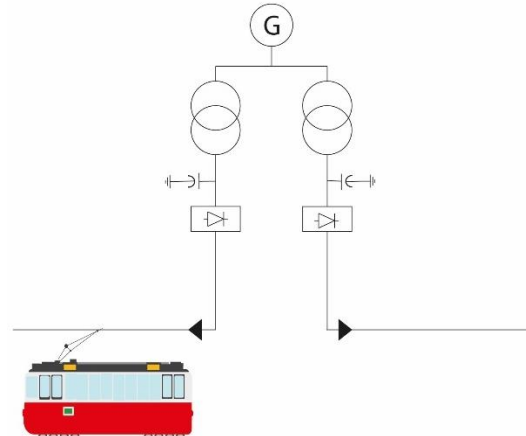


Figura 9. Diagrama del circuito eléctrico del segundo escenario.

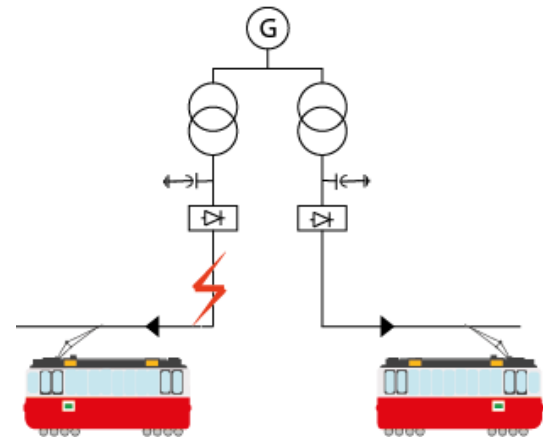


Figura 10. Diagrama del Circuito Eléctrico Tercer Escenario.

4. Análisis de Resultados

Subsecuentemente se realiza el análisis de resultados para cada uno de los escenarios mencionados anteriormente.

4.1 Resultados Escenario 1

El objetivo del primer escenario es el análisis del nivel de THD y armónicos que existe en las fases secundarias del transformador a causa de la carga electro móvil. Para esto se procede a la

simulación de cada transformador y una comparativa.

Una vez simulado para cada transformador dentro del sistema se obtiene los resultados del nivel de THD que se aprecia en la tabla 1, por lo cual se realiza una comparativa con los límites máximos que se encuentran regulados en el ARCONEL -053/18 [26], (Columna 4-Tabla 1), dentro del cual el transformador Scott y el transformador Le Blanc se encuentran dentro de los parámetros y este último muestra niveles más bajos a diferencia de los otros transformadores.

Tabla 1. Niveles de THD para cada transformador.

Transformador	THD (%)		
	Fase 0°	Fase 90°	Límite
T. Monofásico	7.58	8,15	5,0
T. Le Blanc	0,4407	0,5214	5,0
T. Scott	0,6451	0,6397	5,0

Conjuntamente se realiza el análisis de armónicos en cada uno de los transformadores debido a las cargas electro móviles conectadas al sistema. En este contexto, las magnitudes de los armónicos que presentan mayor nivel, empleando el transformador monofásico, son el 3°,5°,7° y 9° (Tabla 2), por el contrario, en los transformadores Le Blanc y Scott las magnitudes de los armónicos se reducen considerablemente (Fila 3,4 - Tabla 2).

4.2 Resultados Escenario 2

En el segundo escenario, el objetivo es el análisis del factor de desbalance de tensión (FDV), provocado por el desbalance de cargas en las fases del transformador, así mismo, el comportamiento de las tensiones y corrientes en el primario del transformador, en el cual se realiza una simulación para cada transformador en el

sistema ferroviario y una comparativa que permita definir cual aporta al sistema un mejor rendimiento ante este tipo de escenarios para lo cual se hará mención a la con la norma IEC 61000-4-30,[27].

Tabla 2. Orden Armónico de cada transformador.

Transformador	Orden Armónico			
	Magnitud (%)			
	3°	5°	7°	9°
T. Monofásico	0,3	7,04	3,89	0,25
T. Le Blanc	0,07	0,04	0,03	0,02
T. Scott	0,07	0,04	0,03	0,02

En la Tabla 3, se aprecia el FDV para cada transformador una vez simulado en el sistema.

Tabla 3. Factor de desbalance de tensión en los transformadores FDV (%).

Transformador	FDV	Máximo IEC
T. Monofásico	0,0077%	1%
T. Le Blanc	0,0154%	1%
T. Scott	0,0169%	1%

La simulación del sistema en el segundo escenario permite apreciar el comportamiento de tensiones y corrientes del primario ante desbalances de carga para cada uno de los transformadores, con el sistema utilizando un transformador monofásico. Se aprecia una distorsión, en la forma de onda del voltaje al igual que un incremento en magnitud, mientras las corrientes del primario tienen un incremento de magnitud y desbalance de las fases, figura 11.

Por otro lado, con el uso del transformador Le Blanc en el sistema se observa una distorsión en la forma de onda del voltaje en sus tres fases, así mismo en las corrientes se aprecia el incremento en amplitud y un desbalance, como se divisa en, figura 12, pero es mínimo.

Por el contrario, el transformador Scott presenta una distorsión en la forma de

onda de la tensión, las corrientes del primario de la conexión Scott se visualiza un incremento en magnitud de cada una de las fases, al igual que un desbalance de las fases de corriente, figura 11.

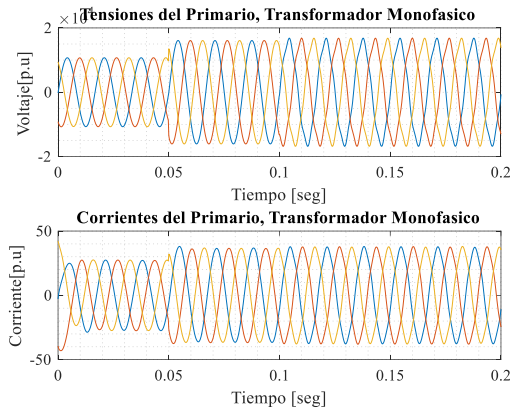


Figura 11. Formas de onda del primario, voltaje y corriente transformador monofásico.

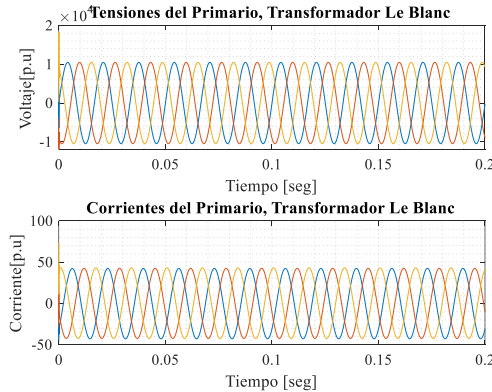


Figura 12. Formas de onda del primario, voltaje y corriente transformador Le Blanc.

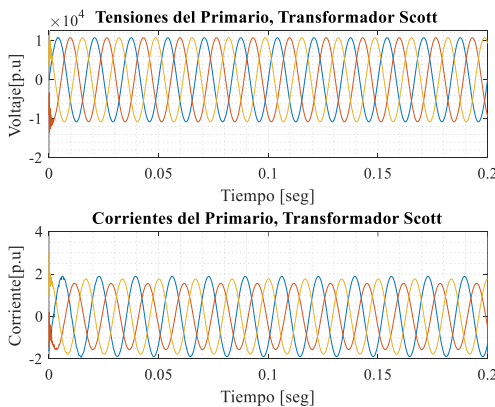


Figura 13. Formas de onda del primario, voltaje y corriente transformador Scott.

4.3 Resultados Escenario 3

En el tercer escenario se analizan dos tipos de fallas, alta y baja impedancia. Estas sucederán en el lado de baja tensión de cada uno de los transformadores (Scott, Leblanc y monofásico), para cada una de sus fases (Tabla 4).

Tabla 4. Escenarios

Transformador	Falla alta impedancia		Falla baja impedancia	
	Fase 1	Fase 2	Fase 1	Fase 2
Scott	X	X	X	X
Le Blanc	X	X	X	X
Mono fásico	X	X	X	X

Las variables que se analizan son: corriente por la resistencia de falla, voltajes y corrientes de la carga, así como de la generación.

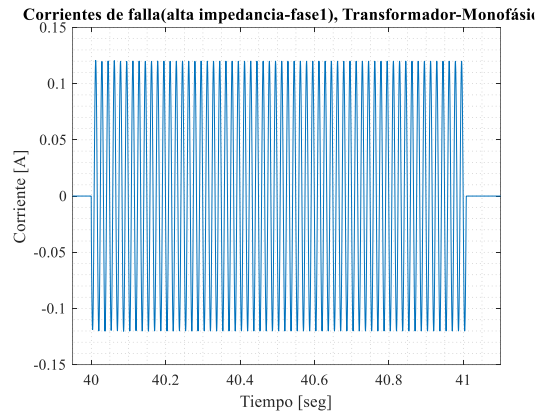


Figura 14. Corriente por la resistencia de falla (fase 0°), transformador monofásico.

En la figura 14 se puede visualizar la corriente en el punto de falla, provocada en la fase de 0°, del transformador, esta al ser de alta impedancia se puede ver que el valor de corriente de falla es bajo, el comportamiento de este tipo de fallas es perjudicial ya que es imperceptible a los equipos de medición e impiden que el

sistema de protección actúe de manera eficiente dejando que el tiempo de corte de falla sea mucho mayor, provocando incidentes en el sistema. En la figura 15, y en la figura 16 en cambio se obtiene las formas de onda de la corriente y voltaje en lado del primario del transformador en donde se ve que este tipo de fallas afecta a la corriente, ya que existe un incremento de amplitud en una de las fases, así mismo se puede ver que la forma de onda del voltaje no tiene ningún tipo de afectación.

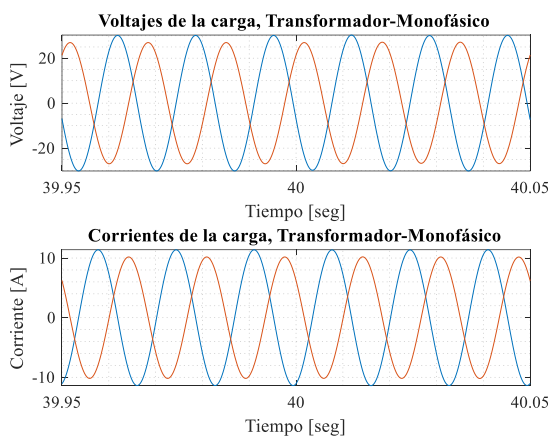


Figura 15. Voltaje y corriente de carga, falla de alta impedancia fase 0° , transformador monofásico.

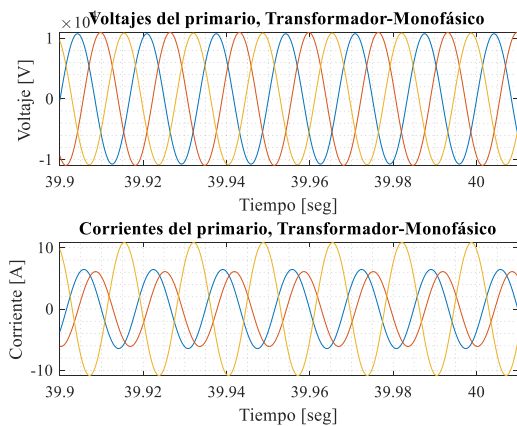


Figura 16. Corriente del primario, falla de alta impedancia fase 0° , transformador monofásico.

Para la falla de impedancia baja la corriente de falla en la fase de 0° en el transformador monofásico es considerablemente alta como se aprecia en la figura 17. Este tipo de fallas es

mucho más perceptible para el sistema de protección, lo cual permite actuar de manera inmediata y despejar la falla como se aprecia en la figura 18. Es notorio la distorsión de onda del voltaje y corriente. Así mismo en las corrientes del primario del transformador se puede observar cómo una de las fases incrementa en amplitud mientras que en las formas de onda del voltaje no existe cambios, figura 19.

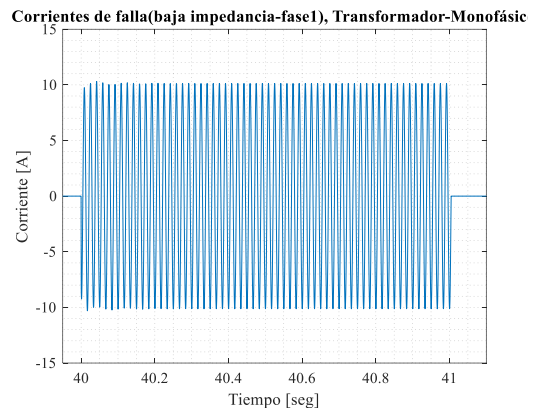


Figura 17. Corriente por la resistencia de falla (fase 0°), falla de baja impedancia, transformador monofásico.

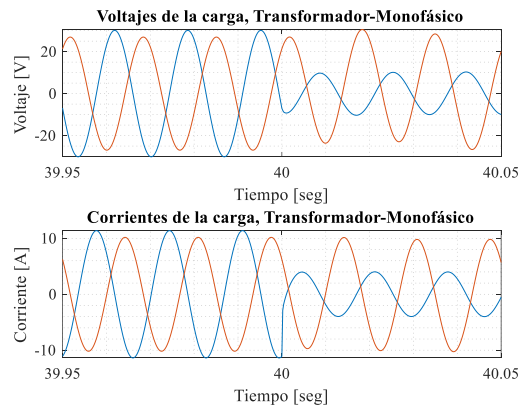


Figura 18. Voltaje y corriente de carga, falla de baja impedancia fase 0° , transformador monofásico.

Se realiza el mismo tipo de simulación para la fase de 90° , se divisa que la corriente de falla de alta impedancia es similar a la fase de 0° pero de manera inversa con el mismo valor, figura 20. Las corrientes y voltajes de carga son iguales a la fase de 0° , figura 15, de la misma manera

para las corrientes y voltajes del primario, figura 16.

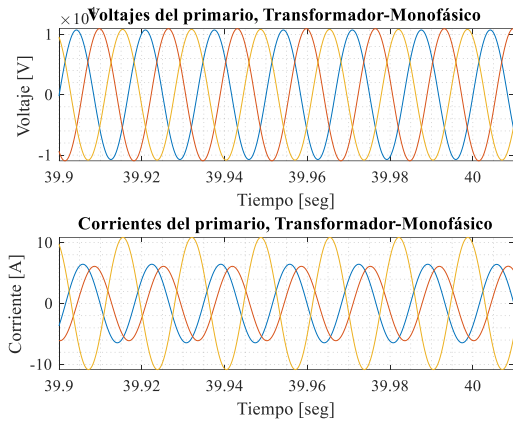


Figura 19. Voltajes y corrientes del primario durante falla de baja impedancia fase 0°, transformador monofásico.

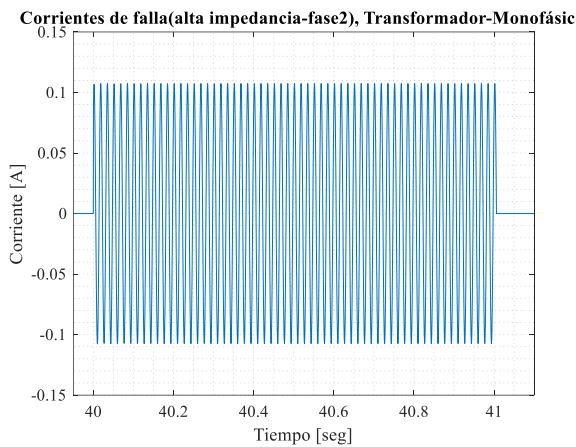


Figura 20. Corriente por la resistencia de falla (fase 90°), transformador monofásico.

La corriente de falla de impedancia baja para la fase de 90° permite divisar que al principio de la falla existe un pico de corriente de un valor muy alto a diferencia de la fase 0°, figura 21, así mismo se divide en la figura 22 el comportamiento del voltaje y corriente de carga y la distorsión de onda tanto en corriente como en voltaje en la fase de 90° y se puede apreciar que existe mayor distorsión que en la fase de 0°.

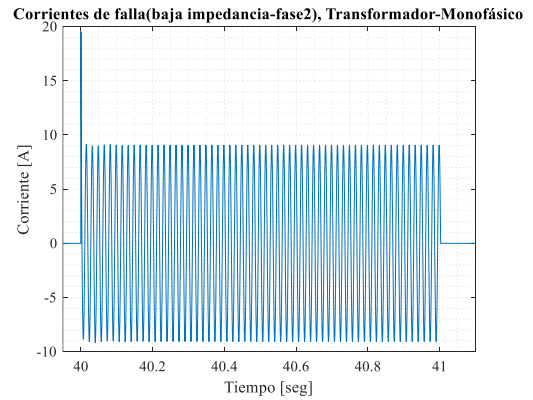


Figura 21. Corriente por la resistencia de falla (fase 90°), transformador monofásico.

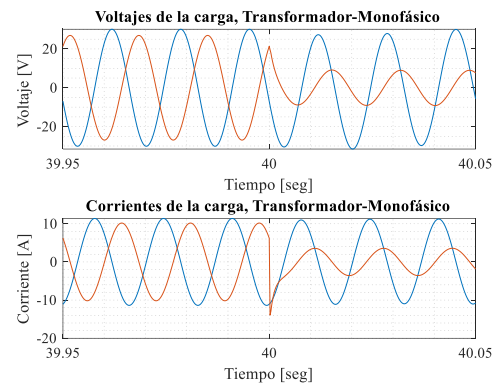


Figura 22. Voltaje y corriente de carga, durante falla baja impedancia fase 90°, transformador monofásico.

En el transformador Le Blanc la falla de impedancia alta a diferencia del transformador monofásico en la fase 0° es mucho mayor, figura 23.

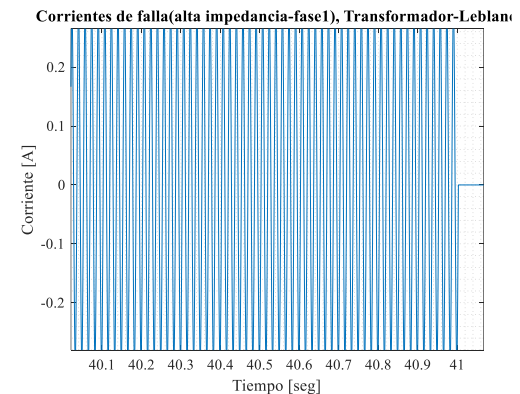


Figura 23. Corriente por la resistencia de falla (fase 0°), transformador Le Blanc.

Las formas de onda de corriente y voltaje de carga son similares a las del transformador Monofásico dividiendo que este tipo de fallas no muestra cambios en las formas de onda. En las corrientes y voltajes en la parte del primario del transformador Le Blanc observamos que no existe cambio alguno permaneciendo estables, figura 25.

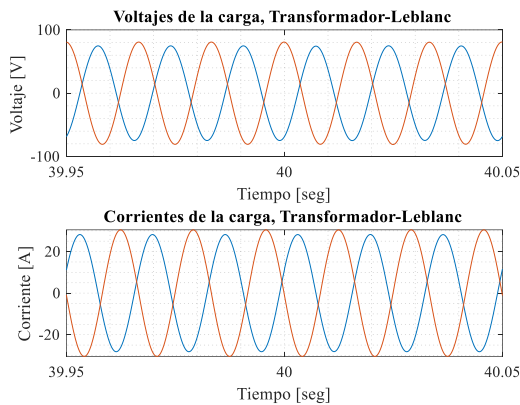


Figura 24. Voltaje y corriente de carga, durante falla de alta impedancia fase 0° , Le Blanc.

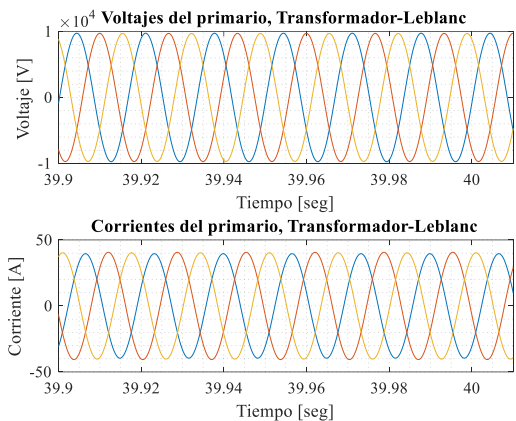


Figura 25. Voltajes y corrientes del primario durante falla de alta impedancia fase 0° , transformador Le Blanc.

La falla de impedancia baja en la fase 0° del transformador Le Blanc se visualiza que es mucho mayor a comparación del transformador Monofásico, figura 24. La falla en forma de onda de corriente es más evidente, figura 27, sus corrientes y voltajes del primario permanecen sin cambios ante este tipo de falla.

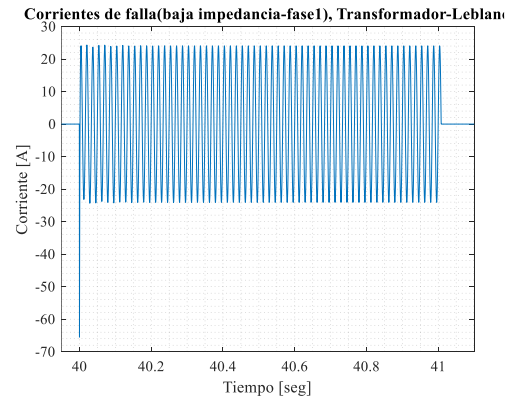


Figura 26. Corriente por la resistencia de falla (fase 0°), transformador Le Blanc.

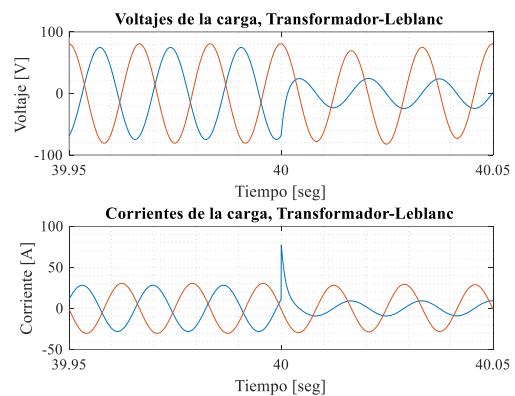


Figura 27. Voltaje y corriente de carga, falla baja impedancia fase 0° , transformador Le Blanc.

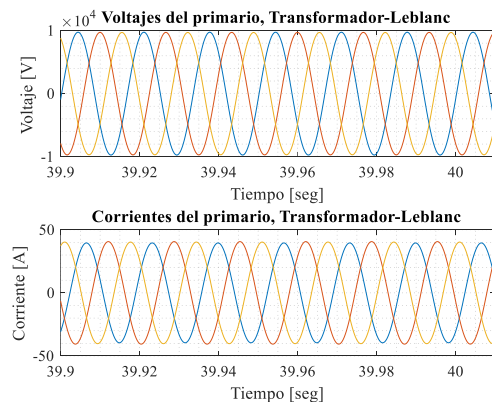


Figura 28. Voltajes y corrientes del primario durante falla de baja impedancia fase 0° , transformador Le Blanc.

El análisis para la fase de 90° en condiciones de falla con alta impedancia permite visualizar un incremento en la corriente falla, figura 29, a diferencia de la fase de 0° y el comportamiento en la forma de onda de corriente y voltaje

figura 30, las corrientes del primario no tienen ningún tipo de afectación, figura 31.

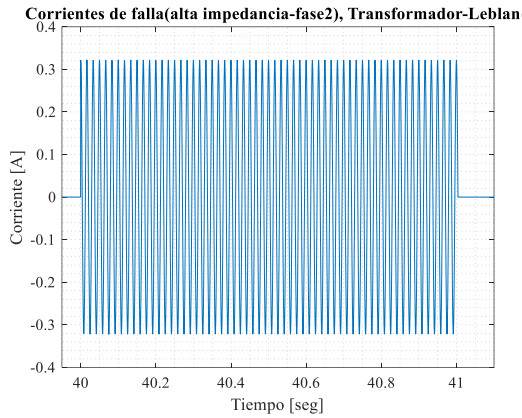


Figura 29. Corriente por la resistencia de falla (fase 90°), transformador Le Blanc.

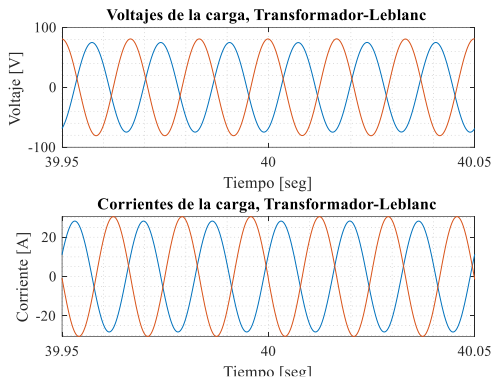


Figura 30. Voltaje y corriente de carga, falla de alta impedancia fase 90°, transformador Le Blanc.

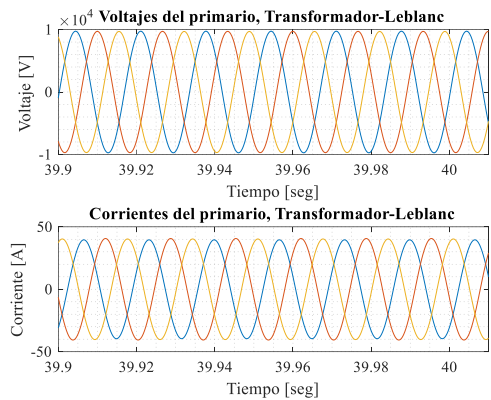


Figura 31. Voltajes y corrientes del primario durante falla de alta impedancia fase 0°, transformador Le Blanc.

Las fallas de impedancia baja en la fase de 90°, figura 32, se divisa que su valor inicial es casi idéntico a la fase de 0° de forma

inversa, así mismo el comportamiento de las formas de onda de corriente y voltaje al momento de la falla, figura 33, que es evidente los cambios bruscos en la fase fallada, las corrientes y voltajes del primario aún permanecen estables al momento de la falla.

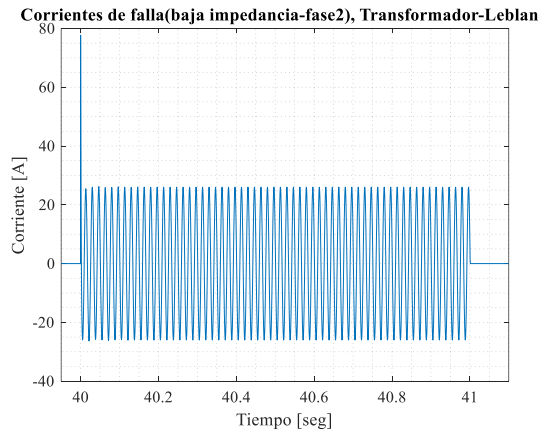


Figura 32. Corriente por la resistencia de falla (fase 90°), transformador Le Blanc.

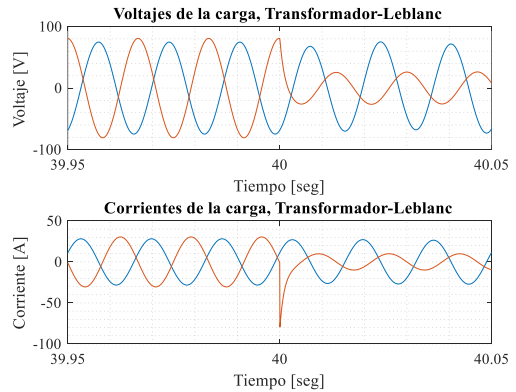


Figura 33. Voltaje y corriente de carga, falla de baja impedancia fase 90°, transformador Le Blanc.

Por el contrario, para el transformador con conexión Scott se tiene que para la falla de alta impedancia en la fase de 0°, tiene un valor más alto a diferencia del transformador monofásico y Le Blanc en la corriente de falla, figura 35, las corrientes y voltajes de carga no tiene mayor cambio a causa de la falla, figura 36, para el caso de los voltajes del primario no existe cambio en la forma de onda, mientras que las corrientes del

primario se divide que cada corriente opta por un incremento de amplitud y desfase a causa de la fase fallada, figura 37.

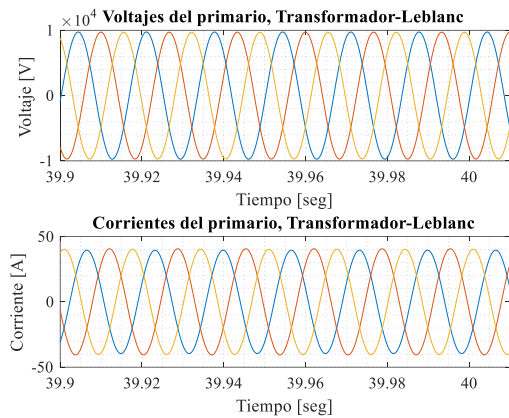


Figura 34. Voltajes y corrientes del primario durante falla de baja impedancia fase 90°, transformador Le Blanc.

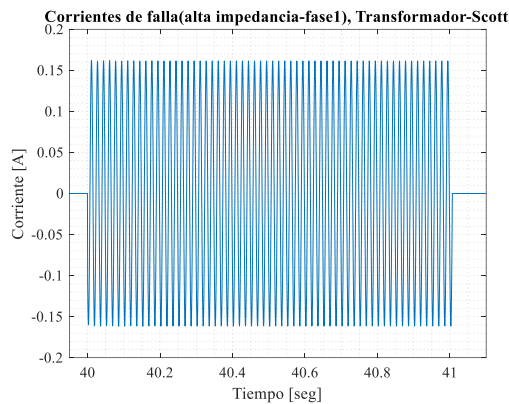


Figura 35. Corriente por la resistencia de falla (fase 0°), transformador Scott.

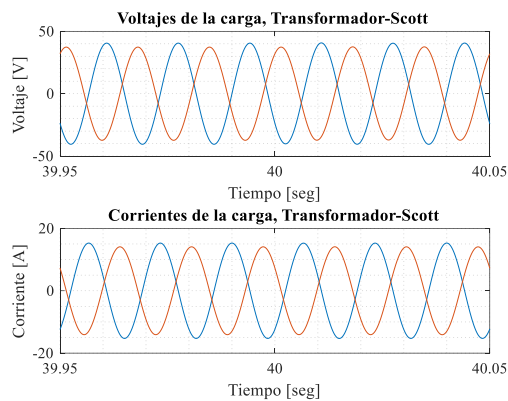


Figura 36. Voltaje y corriente de carga, falla de alta impedancia, fase 0°, transformador Scott.

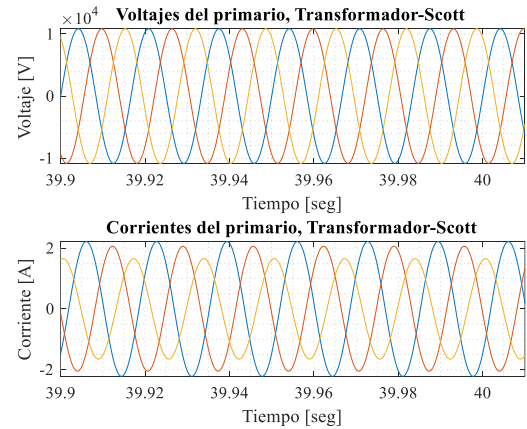


Figura 37. Voltajes y corrientes del primario durante falla de alta impedancia (fase 0°), transformador Scott.

En el caso de la falla de baja impedancia se tiene que el valor de la corriente de falla es menor, figura 38.

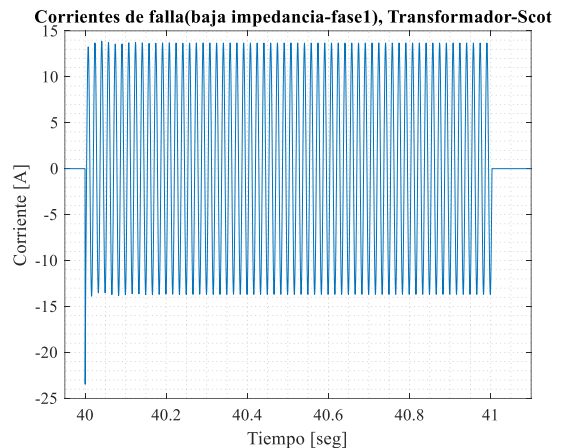


Figura 38. Corriente por la resistencia de falla (fase 0°), transformador Scott.

A la presentada en el transformador Le Blanc, por el contrario, el transformador Monofásico muestra un valor menor de corriente de falla con una baja impedancia. El voltaje y corriente de falla se aprecia la distorsión causada por la falla en la onda de voltaje y corriente, figura 39, al igual que en la falla de alta impedancia se aprecia el comportamiento de las corrientes del primario del transformador y como crecen en amplitud cada una de ellas, figura 40.

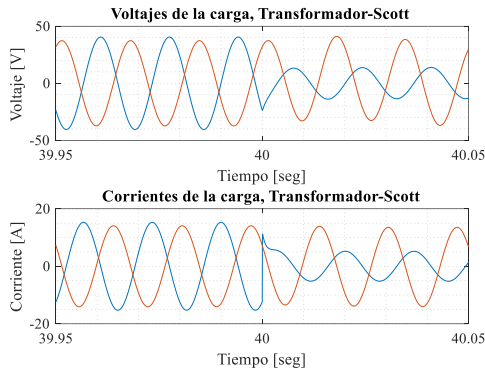


Figura 39. Voltaje y corriente de carga, falla de baja impedancia, fase 0°, transformador Scott.

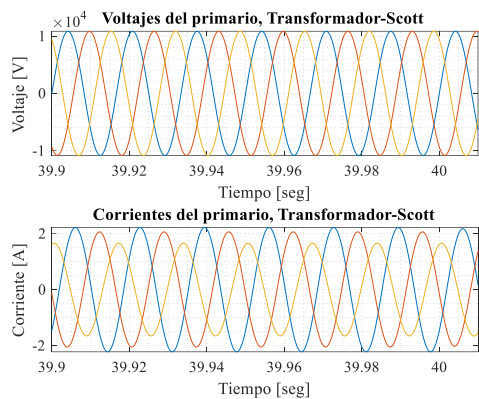


Figura 40. Voltajes y corrientes del primario durante falla, transformador Scott.

Las fallas de alta impedancia y baja impedancia en la fase de 90° para el transformador Scott nos permite visualizar que el valor de la corriente de falla es mayor a los otros transformadores, figura 41.

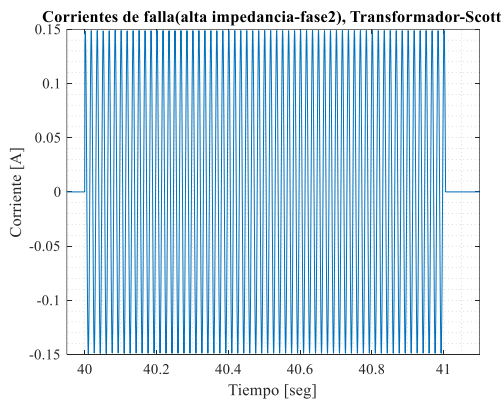


Figura 41. Corriente por la resistencia de falla, fase 90°, transformador Scott.

La distorsión de onda en voltaje y corriente no tiene mayor afección, figura 42, las corrientes y voltajes del lado primario del transformador sucede un incremento de amplitud para cada una de las fases y un desbalance entre ellas, figura 43.

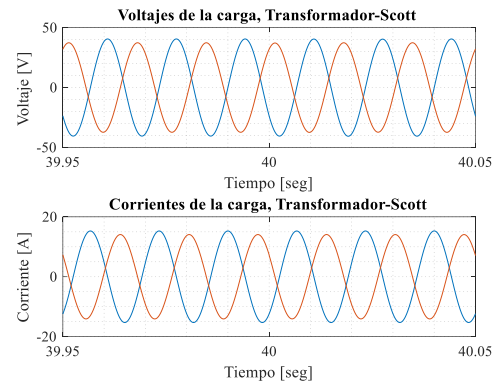


Figura 42. Voltaje y corriente de carga, falla alta impedancia, fase 90°, transformador Scott.

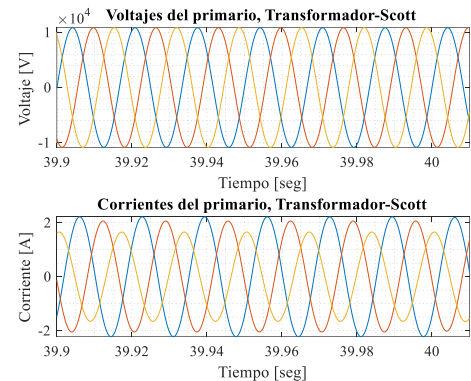


Figura 43. Voltajes y corrientes del primario durante falla (fase 90°), transformador Scott.

La falla de impedancia baja para el caso de la fase de 90°, figura 44 se tiene que es menor al contrario que el transformador Le Blanc y superior al Transformador Monofásico, en la corriente y voltajes de carga al momento de la falla la forma de onda cambia drásticamente, figura 42, las corrientes en el lado secundario del transformador se divide el incremento de la amplitud de cada fase, figura 45.

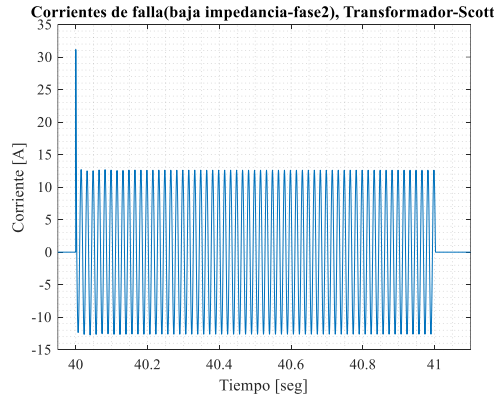


Figura 44. Corriente por la resistencia de falla (fase 90°), transformador Scott.

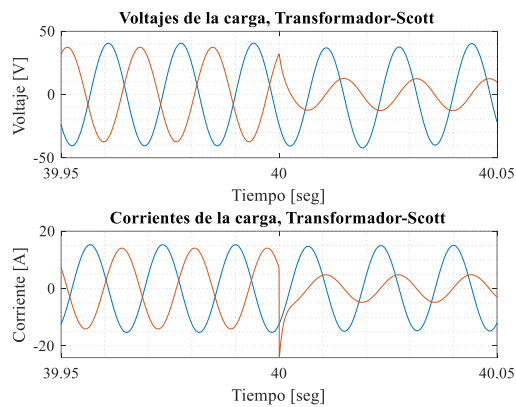


Figura 45. Voltaje y corriente de carga, falla de baja impedancia, fase 90°, transformador Scott.

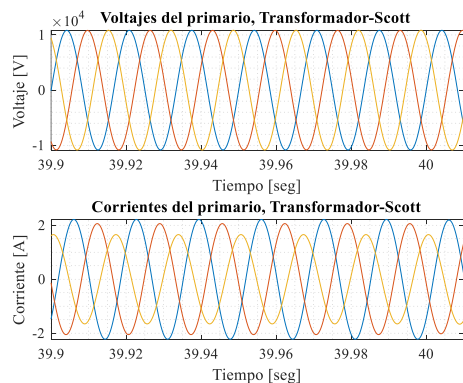


Figura 46. Corriente y Voltaje del primario durante falla de baja impedancia, fase 90°, transformador Scott.

5. Conclusiones

El porcentaje de armónicos 3°,5°,7°,9° registrado en el escenario uno para cada uno de los transformadores en presencia de las cargas electro móvil, nos permite aseverar que la conexión Scott y Le Blanc

permiten una mayor reducción de estos siendo sus valores idénticos para cada uno de los armónicos estudiados, a diferencia del transformador monofásico en el cual se registra valores mayores en magnitud de los armónicos estudiados.

La inyección de armónicos de la conexión Scott y Le Blanc se encuentra dentro de lo permitido por el ARCONEL a diferencia del transformador monofásico que excede los niveles permitidos de la tasa de distorsión armónica (THD).

El factor de desbalance de tensión a causa del desequilibrio de cargas en las fases de los transformadores permite aseverar que el comportamiento ante este tipo de escenarios, los transformadores utilizados en la presente investigación se encuentran dentro de los parámetros aceptables, según la norma IEC 61000-4-30, [27], en Ecuador se permite un desequilibrio máximo en los voltajes del 1%. De acuerdo con los valores obtenidos el transformador monofásico tiene un comportamiento aceptable ante este tipo de escenarios, a diferencia de los transformadores Le Blanc y Scott. El análisis de corrientes y voltajes en el primario y su afectación por desbalance de cargas permite concluir que existe una distorsión en la forma de onda en los tres transformadores utilizados en la investigación y se diferencian por la forma de onda de las corrientes del primario en donde se observan cambios en la amplitud de las fases de los transformadores Scott y Le Blanc, y desbalance en los ángulos de la corriente.

El tipo de falla de alta impedancia no afecta a las formas de onda de voltaje en lado primario del transformador a diferencia de las corrientes, donde se

puede divisar el comportamiento y se concluye que el transformador Le Blanc actúa de mejor manera, debido a las fallas la corriente y voltaje de carga no es muy apreciable. Se aprecia que el transformador con conexión Scott posee valores de corriente de falla menores tanto en baja como en alta impedancia.

6. Trabajos Futuros

Algunos trabajos a futuro que se pueden plantear son los siguientes:

El estudio de soluciones activas que permitan la mitigación de armónicos y afectación que tiene en transformadores con conexiones especiales.

Un análisis de la calidad de la energía con el uso de transformadores Le Blanc y el impacto a la red eléctrica principal.

7. Referencias

- [1] Y. P. Chang and Y. H. Chan, "The minimization of voltage sag effect for specially connected transformers with a sensitive load and distributed generation systems," *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 73, pp. 882–890, 2015, doi: 10.1016/j.ijepes.2015.06.006.
- [2] R. Yadav and S. Gairola, "Optimum and non-optimum 16-pulse Scott connection based AC-DC converters," *2nd IEEE Int. Conf. Innov. Appl. Comput. Intell. Power, Energy Control. with their Impact Humanit. CIPECH 2016*, pp. 75–79, 2017, doi: 10.1109/CIPECH.2016.7918741.
- [3] C. L. Kaleybar H, "Impacts of Traction Transformers on Power Rating of Railway Power Quality Compensator," *2016 IEEE 8th Int. Power Electron. Motion Control Conf. (IPEMC-ECCE Asia)*, 2016, doi: 10.1109/IPEMC.2016.7512645.
- [4] D. Santiyanon, K. Hongesombut, and S. Srisonphan, "Simulation on Voltage Unbalance Reduction in Railway Electrification System by Different Special Transformers," *Procedia Comput. Sci.*, vol. 86, no. March, pp. 373–376, 2016, doi: 10.1016/j.procs.2016.05.104.
- [5] A. Bueno, J. M. Aller, J. A. Restrepo, R. Harley, and T. G. Habetler, "Harmonic and Unbalance Compensation based on Direct Power Control for Electric Railway Systems," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 28, no. 12, pp. 1–9, 2013, doi: 10.1109/TPEL.2013.2253803.
- [6] L. M. Adesina, A. Abdulkareem, O. Ogunbiyi, and O. Ibrahim, "On-load measurement method for the reliability of distribution transformers," *MethodsX*, vol. 7, p. 101089, 2020, doi: 10.1016/j.mex.2020.101089.
- [7] L. Xue, X. Han, and S. Li, "Influence of traction transformer with different connection forms on power quality of the grid," *2nd IEEE Conf. Energy Internet Energy Syst. Integr. EI2 2018 - Proc.*, pp. 1–5, 2018, doi: 10.1109/EI2.2018.8582113.
- [8] V. Z. Manusov, U. Bumtsend, and Y. V. Demin, "Analysis of the power quality impact in power supply system of Urban railway passenger transportation - The city of Ulaanbaatar," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 177, no. 1, 2018, doi: 10.1088/1755-1315/177/1/012024.

- [9] F. Fathima and S. Prabhakar Karthikeyan, "Harmonic analysis on various traction transformers in co-phase traction system," *Ain Shams Eng. J.*, vol. 7, no. 2, pp. 627–638, 2016, doi: 10.1016/j.asej.2015.06.004.
- [10] J. Wang, H. Shao, Q. He, G. Lin, and Y. Zhang, "Measurement Analysis on Electric Power Parameters in Electrified Railway Traction Substations," *CPEM 2018 - Conf. Precis. Electromagn. Meas.*, pp. 1–2, 2018, doi: 10.1109/CPEM.2018.8500995.
- [11] S. Yang, X. Li, K. Song, and M. Wu, "A novel modeling approach of negative-sequence current for electrified railway traction substation," *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 107, no. October 2018, pp. 462–471, 2019, doi: 10.1016/j.ijepes.2018.12.004.
- [12] C. Dai and Y. Sun, "Investigation of the imbalance current compensation for transformers used in electric railways," *Asia-Pacific Power Energy Eng. Conf. APPEEC*, vol. 1, no. 1, pp. 10–13, 2010, doi: 10.1109/APPEEC.2010.5448337.
- [13] P. Belany, M. Novak, M. Siranec, M. Roch, and J. Odelga, "Design of a filter compensation device for traction systems support," *Transp. Res. Procedia*, vol. 40, pp. 136–143, 2019, doi: 10.1016/j.trpro.2019.07.023.
- [14] Y. P. Chang, "Harmonic filters planning of system for specially connected transformers using a PSO method with nonlinear time-varying evolution," *Proc. Int. Conf. Harmon. Qual. Power, ICHQP*, pp. 558–563, 2012, doi: 10.1109/ICHQP.2012.6381309.
- [15] Y. P. Chang, "Optimal harmonic filters design of the Taiwan high speed rail traction system of distributor generation system with specially connected transformers," *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 62, pp. 80–89, 2014, doi: 10.1016/j.ijepes.2014.02.014.
- [16] H. Hu, Z. He, X. Li, K. Wang, and S. Gao, "Power-Quality Impact Assessment for High-Speed Railway Associated with High-Speed Trains Using Train Timetable - Part I: Methodology and Modeling," *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 31, no. 2, pp. 693–703, 2016, doi: 10.1109/TPWRD.2015.2472994.
- [17] G. Cui et al., "YN/VD connected balance transformer-based hybrid power quality compensator for harmonic suppression and reactive power compensation of electrical railway power systems," *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 113, no. April, pp. 481–491, 2019, doi: 10.1016/j.ijepes.2019.05.067.
- [18] W. Wei, C. Yueliang, D. Xue, and C. Qiu, "Simulation Analysis of Railway In-phase Power Supply with Scott Transformer Connection Mode," *Proc. 2020 IEEE 4th Inf. Technol. Networking, Electron. Autom. Control Conf. ITNEC 2020*, no. Itnec, pp. 2341–2347, 2020, doi: 10.1109/ITNEC48623.2020.9085203.
- [19] Y. Zhao, L. Ren, G. Lin, and F. Peng, "Research on the Harmonics Penetration Characteristics of the Traction Network to Three-Phase 380 v Power System of the Traction Substation and Suppression Scheme," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 195359–

- 195369, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3033889.
- [20] F. Ciccarelli, M. Fantauzzi, D. Lauria, and R. Rizzo, "Special transformers arrangement for AC railway systems," *Electr. Syst. Aircraft, Railw. Sh. Propulsion, ESARS*, pp. 0–5, 2012, doi: 10.1109/ESARS.2012.6387417.
- [21] G. Firat, G. Yang, and H. A. H. Al-Ali, "A comparative study of different transformer connections for railway power supply-mitigation of voltage unbalance," *IET Semin. Dig.*, vol. 2015, no. 8, 2015, doi: 10.1049/ic.2015.0216.
- [22] R. Singh and A. Singh, "Aging of distribution transformers due to harmonics," *ICHQP 2010 - 14th Int. Conf. Harmon. Qual. Power*, pp. 1–8, 2010, doi: 10.1109/ICHQP.2010.5625347.
- [23] A. Stamatopoulos, H. Vikelgaard, H. Khazraj, F. Faria Da Silva, and C. L. Bak, "Calculation of Voltage Unbalance in Transmission Systems Due to AC Railway Operation: A Simplified Methodology Using Network Admittance Matrix," *Proc. - 2018 IEEE Int. Conf. Environ. Electr. Eng. 2018 IEEE Ind. Commer. Power Syst. Eur. IEEEIC/I CPS Eur.* 2018, no. 1, pp. 1–6, 2018, doi: 10.1109/IEEEIC.2018.8493488.
- [24] M. Piumetto, J. C. Gómez, and J. C. Vaschetti, "Reducción de los factores de desbalance en un sistema de distribución de media tensión debido a la inserción de generación distribuida," *Inf. Tecnol.*, vol. 25, no. 4, pp. 91–102, 2014, doi: 10.4067/S0718-07642014000400012.
- [25] M. Saleh, O. Dutta, Y. Esa, and A. Mohamed, "Quantitative analysis of regenerative energy in electric rail traction systems," *IEEE Ind. Appl. Soc. Annu. Meet.*, pp. 1–7, 2017, doi: 10.1109/IAS.2017.8101774.
- [26] ARCONEL, "RESOLUCIÓN Nro. ARCONEL-053/18," Arconel, pp. 1–40, 2018.
- [27] "Norma IEC 61000-4-30; EMC. Part 4. Testing and measurement techniques: Power Quality measurement methods."

8. Estado del Arte

Análisis del Comportamiento de Transformadores con conexión Scott para la Alimentación de Cargas Típicas de Electro Movilidad																										
ITEM	DATOS			TEMÁTICA					FORMULACIÓN DEL PROBLEMA FUNCIONES OBJETIVO				RESTRICCIONES DEL PROBLEMA			PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA				SOLUCIÓN PROPUESTA						
	AÑO	TITULO DEL ARTÍCULO	CITAS	Análisis de Armónicos y Secuencia Negativa	Análisis de cargas desequilibradas en la red	Medición y Análisis de parámetros eléctricos	Análisis del rendimiento de los transformadores en presencia de un sistema de alimentación	Análisis de la Calidad de energía	Optimización del sistema	Simulación y Modelación del TS	Modelación Matemática	Medición y Comparación de Parámetros Eléctricos	Inclusión un Compensador para Mejora del TS	Minimización por Métodos Matemáticos	Desequilibrio del Voltaje	P. Activa, P Reactiva y Corriente de Carga	Cargas No Lineales	Utilización de Índices (THD, CIR,VUF)	Utilización de Métodos de Optimización	Uso de Transformadores Especiales	Comparación de resultados medidos	Compensador auxiliar en los TS	Sistemas de Filtrado	Reducción de armónicos y secuencia negativa	Reducción del Desequilibrio de Corriente y Voltaje	Mejor Medición de Armónicos
1	2015	The minimization of voltage sag effect for specially connected transformers with a sensitive load and distributed generation systems.	8	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	2017	Optimum and non-optimum 16-pulse Scott connection-based AC-DC converters.	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	2016	Impacts of Traction Transformers on Power Rating of Railway Power Quality Compensator.	9	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	2016	Simulation on Voltage Unbalance Reduction in Railway Electrification System by Different Special Transformers.	1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
5	2013	Harmonic and Unbalance Compensation based on Direct Power Control for Electric Railway Systems.	69	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
6	2020	On-load measurement method for the reliability of distribution transformers.	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7	2018	Influence of traction transformer with different connection forms on power quality of the grid.	0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8	2018	Analysis of the power quality impact in power supply system of Urban railway passenger transportation – the city of Ulaanbaatar.	2	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Análisis del Comportamiento de Transformadores con conexión Scott para la Alimentación de Cargas Típicas de Electro Movilidad

ITEM	DATOS		TEMÁTICA							FORMULACIÓN DEL PROBLEMA FUNCIONES OBJETIVO				RESTRICCIONES DEL PROBLEMA			PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA				SOLUCIÓN PROPUESTA					
	AÑO	TÍTULO DEL ARTÍCULO	CITAS	Análisis de Armónicos y Secuencia Negativa	Análisis de cargas desequilibradas en la red	Medición y Análisis de parámetros de potencia	Análisis del rendimiento de los transformadores en conexión Scott	Análisis de la Calidad de energía	Optimización del sistema	Simulación y Modelación del TS	Modelación Matemática	Medición y Comparación de Parámetros Eléctricos	Inclusión un Compensador para Mejora del TS	Minimización por Métodos Matemáticos	Desequilibrio de Voltaje	P. Activa, P Reactiva y Corriente de Carga	Cargas No Lineales	Utilización de Índices (THD, CIR, VUF)	Utilización de Métodos de Optimización	Uso de Transformadores Especiales	Comparación de resultados medidos	Compensador auxiliar en los TS	Sistemas de Filtrado	Reducción de armónicos y secuencia negativa	Reducción del Desequilibrio de Carga en Voltaje	Mejor Medición de Armónicos
9	2016	Harmonic analysis on various traction transformers in co-phase traction system.	7	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10	2018	Measurement Analysis on Electric Power Parameters in Electrified Railway Traction Substations.	3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11	2019	A novel modeling approach of negative-sequence current for electrified railway traction substation.	4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12	2010	Investigation of the imbalance current compensation for transformers used in electric railways.	24	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
13	2019	Design of a Filter Compensation Device for Traction Systems Support.	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
14	2012	Harmonic filters planning of system for specially connected transformers using a PSO method with nonlinear time-varying evolution.	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
15	2014	Optimal harmonic filters design of the Taiwan high speed rail traction system of distributor generation system with specially connected transformers.	14	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
16	2016	Power-Quality Impact Assessment for High-Speed Railway Associated with High-Speed Trains Using Train Timetable - Part I: Methodology and Modeling.	57	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Análisis del Comportamiento de Transformadores con conexión Scott para la Alimentación de Cargas Típicas de Electro Movilidad

ITEM	AÑO	TÍTULO DEL ARTÍCULO	DATOS	TEMÁTICA							FORMULACIÓN DEL PROBLEMA FUNCIONES OBJETIVO				RESTRICCIONES DEL PROBLEMA			PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA				SOLUCIÓN PROPUESTA						
				3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22					
17	2019	YN/VD connected balance transformer-based hybrid power quality compensator for harmonic suppression and reactive power compensation of electrical railway power systems.	3	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
18	2020	Simulation Analysis of Railway In-phase Power Supply with Scott Transformer Connection Mode.	0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
19	2020	Research on the Harmonics Penetration Characteristics of the Traction Network to Three-Phase 380 v Power System of the Traction Substation and Suppression Scheme.	0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
20	2012	Special Transformers Arrangement for AC Railway Systems.	32	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
21	2015	A comparative study of different transformer connections for railway power supply-mitigation of voltage unbalance.	9	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
22	2010	Aging of Distribution Transformers due to Harmonics.	50	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
23	2018	Calculation of Voltage Unbalance in Transmission Systems Due to AC Railway Operation: A Simplified Methodology Using Network Admittance Matrix.	0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
24	2014	Reducción de los factores de desbalance en un sistema de distribución de media tensión debido a la inserción de generación distribuida.	2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
25	2017	Quantitative Analysis of Regenerative Energy in Electric Rail Traction Systems.	15	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

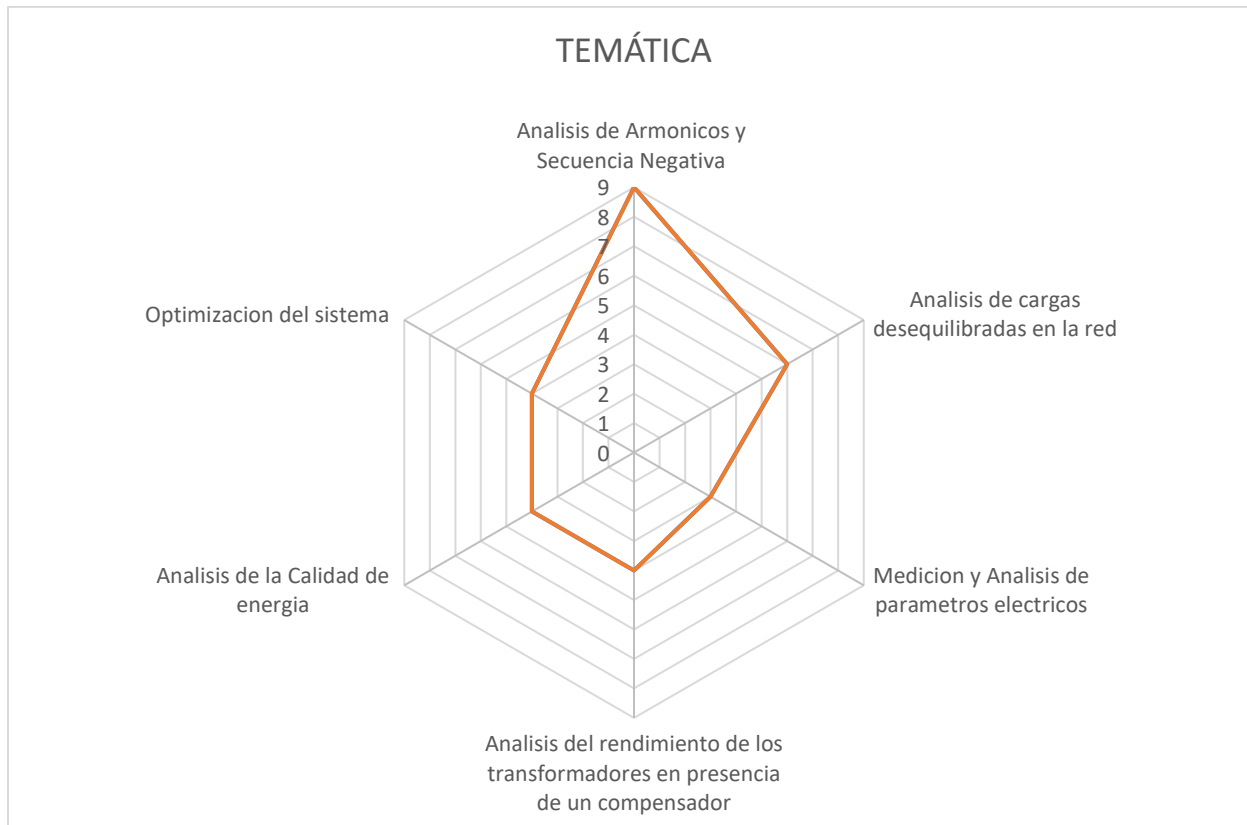


Figura 47. Resumen e indicador de la temática - Estado del arte

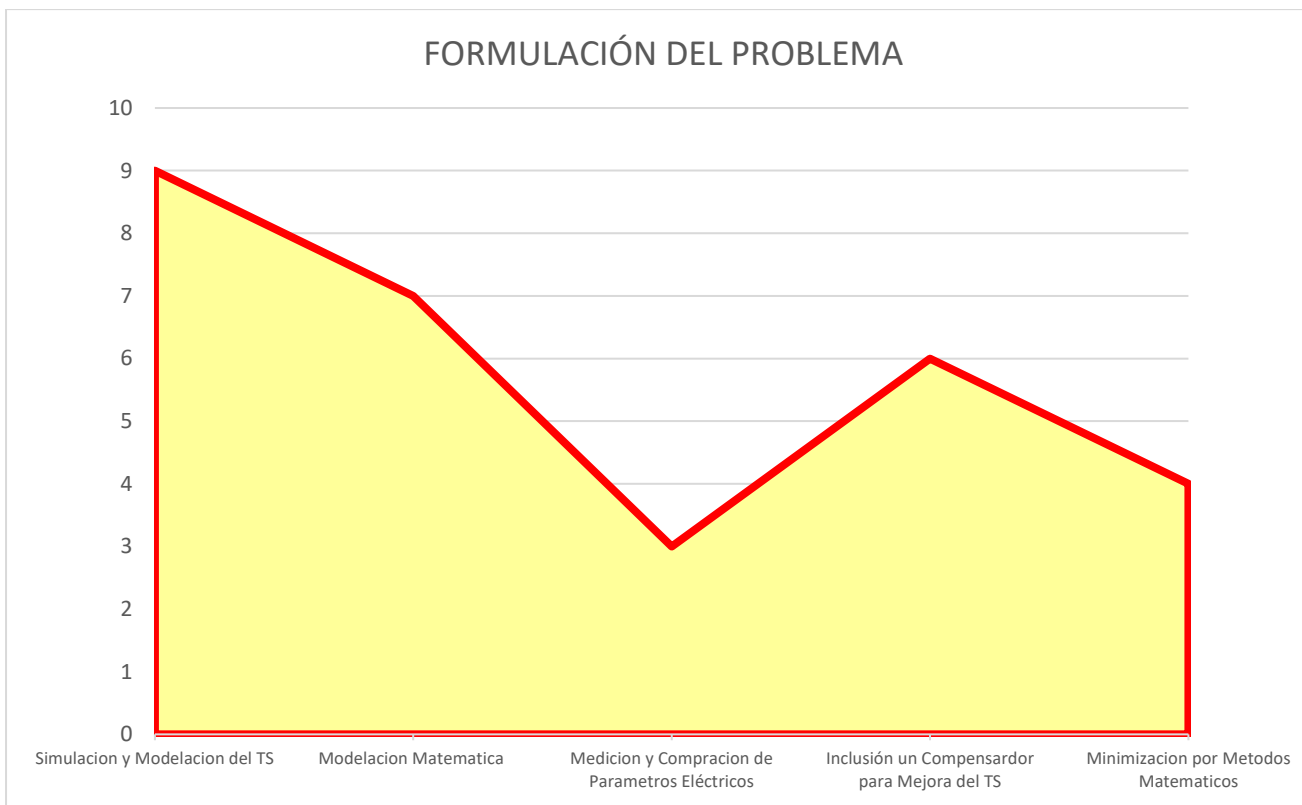


Figura 48. Indicador de formulación del problema - Estado del arte

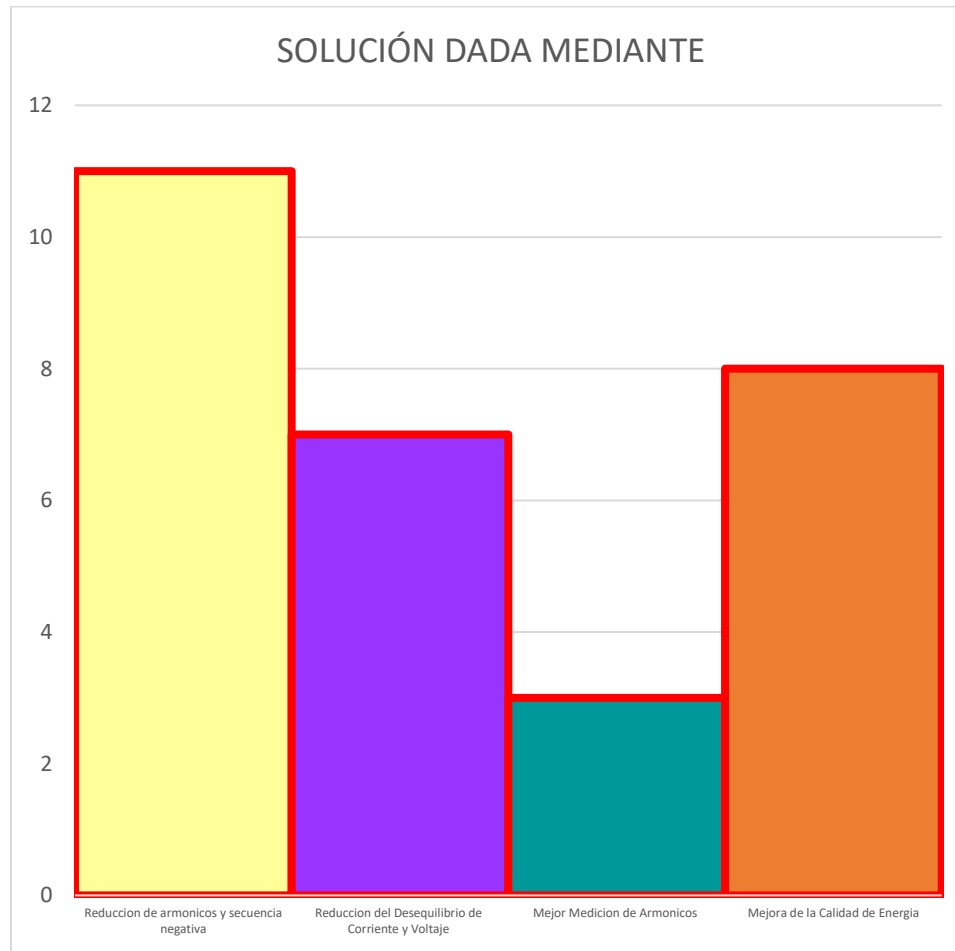


Figura 49. Indicador de solución - Estado del art

