

**DETECCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE FALLAS INTERNAS PARA SISTEMAS
SOLARES FOTOVOLTAICOS CONECTADOS A MICRO-REDES EN AC
BASADO EN EL MÉTODO DE LA TRANSFORMADA DE PARK**

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

**CARRERA:
INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de
INGENIERO ELÉCTRICO**

**TEMA:
DETECCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE FALLAS INTERNAS PARA SISTEMAS
SOLARES FOTOVOLTAICOS CONECTADOS A MICRO-REDES EN AC
BASADO EN EL MÉTODO DE LA TRANSFORMADA DE PARK**

**AUTOR:
ALMACHI QUISHPE MARCO ANTONIO**

**TUTOR:
LEONY ORTIZ MATOS**

Quito, Agosto 2021

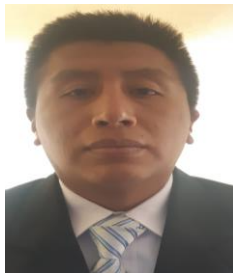
Marco Antonio Almachi Quishpe

DETECCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE FALLAS INTERNAS PARA SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS CONECTADOS A MICRO-REDES EN AC BASADO EN EL MÉTODO DE LA TRANSFORMADA DE PARK

Universidad Politécnica Salesiana, Quito – Ecuador 2021

Ingeniería Eléctrica

Breve reseña histórica e información de contacto.



Marco Antonio Almachi Quishpe (Y'1992). Egresado de la Universidad Politécnica Salesiana Quito-Ecuador, de la carrera de Ingeniería Eléctrica. Actualmente labora en la Empresa Eléctrica Quito, recibió el título de Tecnólogo en electricidad en el Instituto Tecnológico Superior De Tecnologías Apropriadas INSTA. Quito-Ecuador. malmachi@est.ups.edu.ec

Dirigido por:



Leony Ortiz Matos (Y'1982). Recibió el título de MSc. e Ingeniería en Automática por el Instituto Superior Politécnico Julio Antonio Mella (ISPJAM) de la Universidad de Oriente, Cuba. Actualmente se encuentra estudiando para obtener su título de Doctor en Ingeniería en la Universidad Pontificia Bolivariana-Colombia-Medellín, es miembro del Grupo de Investigación en Redes Eléctricas Inteligentes (GIREI). Forma parte del equipo académico de la carrera de Ingeniería Eléctrica de Universidad Politécnica Salesiana Quito-Ecuador. Sus principales intereses de investigación Automatización y Control, Control robusto y Control Tolerante a Fallos, Micro-redes Eléctricas Inteligentes híbrida, CA/CC. lortiz@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

Yo, Leony Ortiz Matos declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación *DETECCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE FALLAS INTERNAS PARA SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS CONECTADOS A MICRO-REDES EN AC BASADO EN EL MÉTODO DE LA TRANSFORMADA DE PARK* realizado por Marco Antonio Almachi Quishpe, 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 de 2021



.....

Leony Ortiz Matos
C.C.: 175423038-9

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, Marco Antonio Almachi Quishpe, con documento de identificación N° 1724440373, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo de grado/titulación intitulado: *DETECCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE FALLAS INTERNAS PARA SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS CONECTADOS A MICRO-REDES EN AC BASADO EN EL MÉTODO DE LA TRANSFORMADA DE PARK*, 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, Agosto de 2021



.....
Marco Antonio Almachi Quishpe
C.C.: 1724440373

ÍNDICE GENERAL

1	Introducción	2
2	Detección e identificación de fallos	4
2.1	Cables o líneas de transmisión	4
2.2	Paneles fotovoltaicos.....	5
2.3	Turbinas eólicas	5
2.4	Celdas de combustible.....	5
2.5	Fuentes convencionales.....	5
3	Método planteado.....	6
3.1	Transformada de Park	6
3.2	Convertor de tercer nivel	7
3.3	Detección e identificación de fallos	7
4	Planteamiento del problema.....	9
5	Análisis de resultados.....	11
5.1	Máxima demanda.....	11
5.2	Mínima demanda.....	15
6	Conclusiones	18
6.1	Trabajos Futuros.....	18
7	Referencias.....	18
8	Matriz de Estado del Arte	22
9	Resumen de Indicadores	26

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Resumen del modelo. [Autor].....	4
Figura 2. Transformada de Park. [Autor].....	6
Figura 3. Conversor de tercer nivel. [Autor].....	7
Figura 4. Representación polar señal equilibrada. [Autor]	8
Figura 5. Cálculo angular por cada medición. [Autor]	8
Figura 6. Corriente del conversor, clase normal escenario demanda máxima. [Autor]..	11
Figura 7. Corriente del conversor, clase fallo 1 escenario demanda máxima. [Autor]...	11
Figura 8. Corriente del conversor, clase fallo 2 escenario demanda máxima. [Autor]...	11
Figura 9. Corriente del conversor, clase fallo 3 escenario demanda máxima. [Autor]...	12
Figura 10. Transformada de Park, clase normal escenario demanda máxima. [Autor]..	12
Figura 11. Transformada de Park, clase normal en tiempo reducido escenario demanda máxima. [Autor].....	12
Figura 12. Transformada de Park, clase 1 escenario demanda máxima. [Autor]	13
Figura 13. Transformada de Park, clase 2 escenario demanda máxima. [Autor]	13
Figura 14. Transformada de Park, clase 3 escenario demanda máxima. [Autor]	13
Figura 15. Comportamiento angular, escenario demanda máxima. [Autor].....	13
Figura 16. Relación en magnitud, escenario demanda máxima. [Autor].....	14
Figura 17. Diferencias angulares, escenario demanda máxima. [Autor]	14
Figura 18. Diferencias en magnitud, escenario demanda máxima. [Autor].....	14
Figura 19. Comparación polar, escenario demanda máxima. [Autor]	14
Figura 20. Corriente del conversor, clase normal escenario demanda mínima. [Autor]	15
Figura 21. Corriente del conversor, clase fallo 1 escenario demanda mínima. [Autor] .	16
Figura 22. Corriente del conversor, clase fallo 2 escenario demanda mínima. [Autor] .	16
Figura 23. Corriente del conversor, clase fallo 3 escenario demanda mínima. [Autor] .	16
Figura 24. Comportamiento angular, escenario demanda mínima. [Autor]	16
Figura 25. Relación en magnitud, escenario demanda mínima. [Autor]	17
Figura 26. Diferencias angulares, escenario demanda mínima. [Autor].....	17
Figura 27. Diferencias en magnitud, escenario demanda mínima. [Autor]	17
Figura 28. Comparación polar, escenario demanda mínima. [Autor].....	17
Figura 29. Resumen e indicador de la temática - Estado del arte	26
Figura 30. Indicador de formulación del problema - Estado del arte.....	26
Figura 31. Indicador de solución - Estado del arte.....	27

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Zonas angulares de detección. [Autor]	8
Tabla 2. Algoritmo propuesto. [Autor]	9
Tabla 3. Resultados máxima demanda. [Autor].....	15
Tabla 4. Detección, máxima demanda. [Autor]	15
Tabla 5. Identificación, demanda máxima. [Autor]	15
Tabla 6. Detección, demanda mínima. [Autor].....	17
Tabla 7. Identificación, demanda mínima. [Autor].....	18
Tabla 8. Matriz de estado del arte	22

DETECCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE FALLAS INTERNAS PARA SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS CONECTADOS A MICRO-REDES EN AC BASADO EN EL MÉTODO DE LA TRANSFORMADA DE PARK

Resumen

Cuando se realiza la implementación de sistemas de generación fotovoltaica, es necesario el uso de un conversor capaz de enlazar la generación de los paneles en DC con redes de AC. Dichos elementos de conversión se consideran una etapa de infraestructura que puede ser susceptible a la ocurrencia de fallos internos que pueden afectar el rendimiento general del sistema de potencia. Hay una gran cantidad de técnicas y métodos que permiten la detección e identificación de fallos en micro-redes. La presente investigación plantea un método para la detección de fallos en dispositivos de potencia que componen los convertidores de voltaje. La propuesta hace uso de la Transformada de Park y el análisis vectorial. Para comprobar la validez del método, los autores emplean dos escenarios y cuatro clases de operación. Los mismos permiten comprobar el adecuado funcionamiento del método planteado por medio del análisis vectorial mencionado. De esta forma, se consigue una herramienta capaz de detectar e identificar fallos internos en los sistemas de conversión que se asocian a generadores fotovoltaicos. Tales tareas se ejecutan con el análisis de las señales de corriente. Los resultados obtenidos han sido generados, ensayados y analizados por medio de Matlab / Simulink. Los resultados son de una micro-red modelo.

Palabras Clave: Convertidores de voltaje, Micro-red, Detección e identificación de fallas (FDI), Transformada de Park.

Abstract

When a solar PV generation system is implemented, it is necessary to employ a converter. It is employed in order to join the DC power generated by PV panels and the AC network. Those conversion elements are considered as an infrastructure stage. This stage could be susceptible to internal failures occurrence. The failures can affect the overall performance of the power system. There are lots of techniques and methods that allow the detection and identification of failures in micro-grids. This research presents a method to detect failures in the power elements that integrate the voltage converters. The proposal employs Park's transform and vectorial analysis. In order to probe the method, the authors employ scenarios and four kinds of operation. They allow to test the proper functioning of the present proposal. They also probe the usage of mentioned vectorial analysis. Thus, it is obtained a capable instrument to detect and identify internal failures. The failures occur in the conversion systems that are associated with photovoltaic generators. Both tasks are executed when current signals are analyzed. The obtained results have been generated, proven and analyzed through Matlab and Simulink software. The gathered results come from a micro-grid model.

Keywords: Microgrid, Fault Detection and identification (FDI), Park Transformation, Voltage converter.

1 Introducción

Las micro-redes (MR) son grupos de fuentes de energía y cargas interconectadas que pueden estar conectadas a la red convencional o funcionar en forma autónoma y actúan como una entidad única controlable. Los sistemas híbridos de MG se han convertido en los más populares debido a la factibilidad económica que brindan para la solución de problemas asociados al abastecimiento de la demanda de ubicaciones lejanas o también para mejorar la estabilidad del sistema de potencia. La integración de las MR se lleva a cabo usando convertidores electrónicos de potencia, mismos que pueden ser implementados usando algoritmos de control simples para la gestión de los flujos de energía [1]–[3].

Las MR se constituyen como el conjunto de elementos que permiten la integración de diversos recursos de generación renovable. Debido a la cantidad de elementos que se encuentran dentro de este tipo de red, la confiabilidad y la seguridad de toda la estructura y sus componentes, debe ser analizada y revisada desde diversas perspectivas. En este sentido, se pueden nombrar a elementos como las cargas de DC y de generadores distribuidos (GD) con sus respectivos elementos de conversión electrónicos de potencia que posibilitan la formación de redes híbridas AC/DC y las correspondientes tareas de control y protección de los elementos [1], [4].

Otros aspectos que provocan una mayor utilización de las redes híbridas incluyen la aparición de cargas modernas incluyendo los vehículos híbridos y eléctricos, la facilidad para que tal red opere en modo aislado o de isla, la reducción de costos por conversión, así como un mejor control de los componentes hábiles para la generación de energía eléctrica. En modo aislado los generadores pueden adoptar una estrategia

de apoyo mutuo para efectuar el control de voltaje y de frecuencia respetando los límites de operación tanto de los generadores como de los convertidores de energía; para lo cual se vuelve relevante contar con los medios para la detección de fallos en cada componente, de tal forma de conservar la integridad de la red o la mayor porción posible de cargas abastecidas [2], [5]–[8].

Como cualquier sistema complejo, las MR están sujetas a la existencia de fallas y averías a lo largo de todos sus componentes distribuidos y los subsistemas, los que son representados como costos elevados anuales; por ello la protección es una cuestión crítica que se deberá tratar cuidadosamente. Los sistemas de diagnóstico de las fallas permiten en forma efectiva y medible la detección, localización o la estimación de diferentes tipos de fallas que se presentan en los componentes distribuidos lo que implica la posibilidad de una reducción de costos asociados al mantenimiento y operación [2], [9]–[13].

En el caso de los componentes de generación fotovoltaica, es común que se produzcan fallas en los elementos destinados a la conversión de la energía, en especial aquellos que se encuentran en el lado de funcionamiento con corriente alterna. Tales fallas ocurren cuando los componentes pasivos del inversor o los elementos encargados de la interrupción que son de potencia se encuentran en estado de cortocircuito o de circuito abierto principalmente. El estrés térmico y mecánico también puede conducir a la producción de fallas de estos componentes, en este caso lo más común ha sido la utilización de técnicas de aprendizaje de máquina y análisis de pérdidas energéticas. Las técnicas nombradas normalmente están enfocadas en la detección de fallos de elementos específicos como son

capacitores, la puerta de los elementos de control, por nombrar otras [14].

En este sentido la utilización de sensores de voltaje y corriente ha sido ampliamente estudiada, reconociendo que la mayoría de las técnicas solo pueden ser empleadas con una topología concreta de conversión y no pueden ser fácilmente trasladadas cuando hay variaciones de elementos y topológicas. Otro aspecto relevante para ejecutar la detección de fallos en los elementos es si la técnica está basada en la utilización de un modelo o si no tiene un modelo a seguir, lo que implica variaciones como son emplear estimadores o la utilización de información previa lo que modifica la precisión de cada una de las técnicas empleadas para la estimación o la detección de fallos y averías [10], [14]–[19].

La importancia de detectar fallos en la generación fotovoltaica y en sus diversos componentes radica en que una falla puede ocasionar que no se obtenga toda la potencia generada disponible a la salida del componente convertidor, esto debido a que las fallas normalmente provocan reducciones de la magnitud de la corriente I_{pv} [20].

En el caso de [12], se propone una estrategia para el diagnóstico y detección de fallas en los convertidores de energía electrónicos que permiten la integración de los arreglos de generadores fotovoltaicos hacia la MR. Los convertidores están expuestos a tres tipos de fallos, esto es fallos de componentes, actuadores y sensores. Si ocurre una falla de censado, el convertidor debe ser capaz de detectar la falla y establecer una estimación del voltaje de salida. En el caso de una falla del actuador, por ejemplo, de uno de los elementos de interrupción, el convertidor debería ser capaz de aislar a todo el elemento de conversión.

En el caso de fallos de los componentes, las mismas se pueden detectar por las variaciones que pueden existir en las señales de corriente y voltaje de salida del inversor, y que deben ser detectadas para que el control del convertidor reconfigure el funcionamiento del componente. Debido a las relaciones de acoplamiento de los dispositivos de la MR, así como las variaciones y las perturbaciones de carga, la detección de las fallas en los convertidores puede resultar desafiante [12].

El método propuesto en [21] se enfoca en la detección de fallas en máquinas eléctricas empleando transformadas de Fourier y Wavelet para el acondicionamiento de las señales, cada una con su respectivo diagrama y análisis que permite obtener un entendimiento mayor de las características presentes en el sistema. Luego, se ejecuta un análisis estadístico y por medio de redes neuronales completamente conectadas para determinar el estado actual de los sistemas que están siendo revisados constantemente, así como las características relevantes de cada tipo de falla que puede existir en tales máquinas.

El uso de la transformada de Park en conjunto con el análisis de Hilbert en la detección de fallas en MR, es el objeto de estudio de [22]. En tal documento está explicada una propuesta que no requiere un análisis total de las características de la corriente en cada fase involucrada, sino más bien solo la información relevante que está inmersa en cada señal de corriente. En este caso las demodulaciones de Hilbert se emplean para determinar la frecuencia y amplitud instantánea de cada señal, lo que permite revisar si existen modulaciones de señal causadas por componentes en falla, lo que además elimina las señales portadoras y reduce la influencia de la información que resulta irrelevante para el estudio. Finalmente, mediante el uso de FFT, es posible ejecutar un diagnóstico del estado

de los componentes que considera la posibilidad de la existencia de varios tipos de falla anteriormente estudiados por parte de los autores, presentando resultados adecuados en lo referente a la detección de averías en MR y sus componentes.

Otra alternativa para la detección de fallos y averías en los convertidores de energía de un sistema fotovoltaico de baja potencia es la propuesta en [23]. Tal aproximación consiste en la comparación de las magnitudes de corriente, voltaje y potencia que se miden directamente en el sistema, respecto de lo que se obtiene en una simulación precisa de los componentes de la red que están involucrados, los autores establecen la limitación correspondiente a la detección de solo ciertos tipos de fallos por medio de los indicadores de relación propuestos, pero que a la vez permiten una detección precisa de la zona en la que puede estar ocurriendo un fallo, a un precio reducido y con elementos que no tienen una complejidad computacional elevada.

Otra aproximación para la detección de fallas consiste en el empleo de estimadores de estado lineales conmutados presentada en [24], donde se calcula un vector entre la diferencia de las magnitudes relevantes estimadas y aquellos valores que han sido calculados, luego esto es comparado con valores de disparo que indican la posibilidad de un fallo y que ya están predefinido, esto aplica para fallas de componentes, de sensores y también permite la identificación del fallo, esto funciona especialmente en los convertidores de potencia conmutados, ello fue demostrado por los autores en cuatro diversas topologías de convertidores y con los fallos que más comúnmente se presentan, mejorando la confiabilidad de la red.

La figura 1 muestra las tareas de detección e identificación de fallos que se proponen en la presente investigación y que contempla la implementación de las tareas

antes mencionadas en un convertidor ligado a un sistema de generación fotovoltaica.

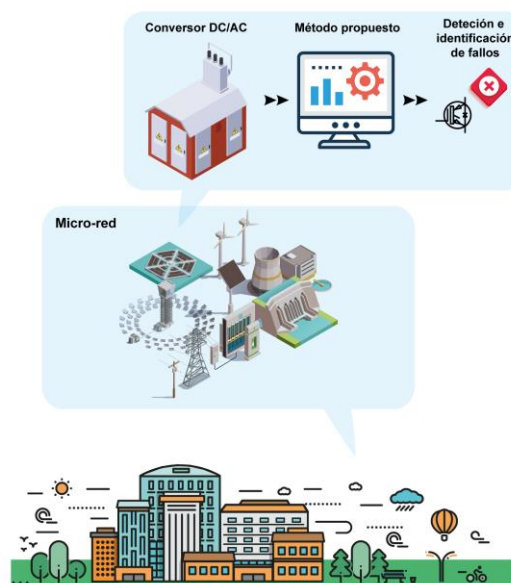


Figura 1. Resumen del modelo.
[Autor]

2 Detección e identificación de fallos

Las MR son monitoreadas haciendo uso de medidores inteligentes y sensores no invasivos [1], [2], [9], [25]. La detección en sistemas de este tipo es fundamental dado que la falla en 1 componente de la red puede significar un desbalance o alteración que podría inducir condiciones críticas de operación, sin duda la detección e identificación es fundamental, pero para ello es necesario conocer los principales fallos que se pueden presentar en las MR. Los párrafos que continúan exponen los principales fallos a los que se exponen los diferentes componentes que integran una MR [15]–[17], [19], [26]–[28].

2.1 Cables o líneas de transmisión

Daños físicos por la exposición a la intemperie o condiciones propias de ductos soterrados, estrés mecánico propio de las condiciones de instalación y exposición a condiciones fuera de parámetros

nominales, falta de mantenimiento o deterioro por tiempo de operación.

2.2 Paneles fotovoltaicos

Fallos en celdas los cuales se pueden entender como apertura o cortocircuito, puntos calientes o degradación de materiales, las fallas de módulo también se presentan por apertura o cortocircuito, así como daños en su estructura y elementos relacionados a la protección de las celdas.

Finalmente, los daños en el diodo de bypass es un daño que podría ocasionar daños adicionales en casos en los cuales los módulos son afectados. Se podría incluso alterar el rendimiento del sistema total por la afectación al diodo de bypass.

2.3 Turbinas eólicas

Daños en la caja de transmisión pueden ocurrir en sus rodamientos tanto internos como externos, los daños pueden ser resultado de abrasiones, corrosión, falta de lubricación y acumulación de residuos.

Daños en generación pueden suceder en el estator, rotor o en el rodamiento, los fallos entonces pueden entenderse como fallos de conexión, alteración en los bobinados, roturas de barras de rotor, degradación de aislamientos entre otros. Sin embargo, también se pueden presentar daños en los convertidores ligados al generador y sus dispositivos de potencia.

A nivel mecánico se puede agregar los sistemas hidráulicos de control y las hélices que son susceptibles a daños de fabricación, daños mecánicos o corrosión.

2.4 Celdas de combustible

Los fallos más comunes en estos sistemas de generación responden a procesos de degradación mecánica, térmica y química. Otros daños que se pueden presentar corresponden a daños en las placas bipolares, selladores o empaques y fallos en el compresor del sistema.

2.5 Fuentes convencionales

Las fallas pueden presentarse en sistemas mecánicos como son fugas de combustible, daños en los rodamientos, o daños en el eje del mecanismo motriz. Todos estos daños pueden ser resultados de procesos de corrosión, quebraduras y desgastes normales por el uso de los sistemas.

Daños en el sistema eléctrico pueden suceder principalmente en el rotor y estator del sistema de generación que pueden describirse como cortocircuitos, saturación, excentricidades, y degradación de materiales de aislamiento o magnetismo. Los daños conllevan a desbalances de parámetros puntos calientes o similares.

Existe una gran cantidad de técnicas que permiten la detección e identificación de fallos que se pueden segmentar en 2 grandes categorías entre las cuales se mencionan aquella que basan su funcionamiento en modelos de los sistemas y otro grupo que requiere el uso de datos para conseguir las tareas de detección e identificación. El primer grupo de técnicas requieren de un extenso conocimiento del sistema para conseguir una adecuada representatividad de este a través de diversos métodos mientras que el segundo grupo es más bien un suceso experimental y de tiempo real con la adquisición de información que alimente una técnica específica [2].

Así por ejemplo se encuentran métodos o técnicas que basan su funcionamiento en el uso de lógica difusa para la detección de fallos, otros tantos requieren del uso de transformadas de dominio para llevar a cabo la tarea, otras técnicas requieren el uso de árboles de decisión, redes neuronales, clasificadores o el uso de análisis más complicados que representen el sistema por medio de variables. El uso de estimadores de estado también es utilizado para detectar fallos al representar un sistema en espacios de estados o funciones de transferencia. Finalmente se puede mencionar el método

basado en el uso de umbrales que al ser sobrepasados cumplen con detectar un fallo, este último método requiere de un conocimiento previo de las condiciones habituales de operación del sistema con lo cual es posible conocer los valores dentro de los cuales una variable opera [29], [30].

3 Método planteado

La presente sección presenta a detalle el método planteado, así como los recursos utilizados para su consecución.

3.1 Transformada de Park

La transformada de Park o también llamada transformación dq0 es en esencia un cambio de variable que migra un sistema trifásico (que pudiese o no ser equilibrado) a un marco de referencia diferente mismo que tan sólo está compuesto por dos ejes que son perpendiculares entre sí y que pudiesen girar en el espacio y opcionalmente puede proporcionar una tercera variable que entrega el promedio de valores del sistema trifásico, este sistema aunque es muy aplicado en la descripción y estudio de máquinas de inducción también puede ser utilizado en análisis de armónicos, estabilidad y transitorios de una red.

La formulación habitual de la transformada de Park normalmente brinda una perspectiva dq0 sin embargo, para efectos de la investigación en curso se suprime el componente 0 y sólo se estudia los componentes directos y cuadratura. La expresión 1 muestra la transformada de Park de forma matricial.

$$\begin{bmatrix} d \\ q \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} * \begin{bmatrix} \sin(\theta) & \sin\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & \sin\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) \\ \cos(\theta) & \cos\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} A \\ B \\ C \end{bmatrix} \quad (1)$$

Dado que el ángulo θ representa la posición angular del eje de referencia y

representa la distancia entre el vector de la fase A del sistema ABC al primer eje alienado del marco de referencia dq. Con lo cual se puede mencionar que el valor de dicho ángulo es de 90° o $\pi/2$ lo cual puede simplificar el proceso de transformación.

Al analizar la transformada como una formulación matricial, la transformada se puede llevar a acabo de acuerdo con lo mostrado por la expresión (2).

$$\begin{bmatrix} i_D \\ i_Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sqrt{\frac{2}{3}} & -\sqrt{\frac{1}{6}} & -\sqrt{\frac{1}{6}} \\ 0 & \sqrt{\frac{1}{2}} & -\sqrt{\frac{1}{2}} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} i_A \\ i_B \\ i_C \end{bmatrix} \quad (2)$$

En donde i_A , i_B e i_C corresponden a las corrientes medidas en un sistema trifásico, en caso de que el sistema trifásico contenga señales sinusoidales, equilibradas y de secuencia positiva la representación en un marco de 2 dimensiones mostrará una circunferencia centrada en el origen y con un radio relativamente constante como se muestra en la figura 1 [31], [32].

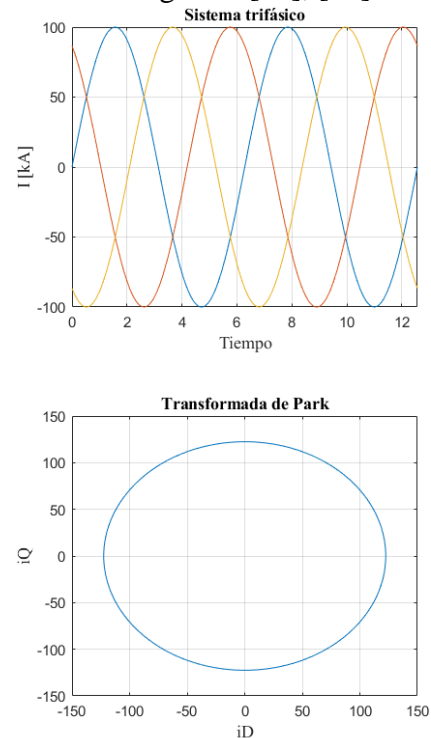


Figura 2. Transformada de Park.
[Autor]

En cuanto se refiere al uso de la transformada de Park para la detección e identificación de fallos existe literatura que menciona la posibilidad de recurrir a análisis vectorial como herramienta de detección e identificación. Para ello es posible recurrir al uso de las expresiones que continúan. De tal manera es posible a través de la expresión (3) calcular los valores promedios de los componentes D y Q resultantes de la transformada mientras que los valores obtenidos por las expresiones (4) y (5) brindan una perspectiva vectorial de los resultados obtenidos.

$$\mu_x = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N i_x \quad (3)$$

$$\mu = \mu_D + j\mu_Q = M_\mu \angle \theta_\mu \quad (4)$$

$$M_\mu = \sqrt{\mu_D^2 + \mu_Q^2}, \theta_\mu = \tan^{-1} \frac{\mu_Q}{\mu_D} \quad (5)$$

Los resultados obtenidos por medio de las expresiones anteriores contribuirán a entender desbalances o afectaciones en el sistema que es objeto de estudio. La introducción de un daño en el sistema generará que los resultados obtenidos por la transformada de Park y su enfoque vectorial alteren la magnitud y ángulo con lo cual en consecuencia se puede recurrir al uso de la magnitud como detector de fallos mientras que el ángulo obtenido podrá ser usado para tareas de identificación.

3.2 Conversor de tercer nivel

El conversor que se plantea es un conversor compuesto por un puente de tercer nivel de trifásico compuesto por un conjunto de 12 dispositivos de potencia que forman 3 brazos, los dispositivos seleccionados para el presente trabajo son IGBT cada uno con su respectivo diodo antiparalelo. Los 3 brazos que componen el conversor son utilizados para generar una señal trifásica de corriente alterna que es necesaria para la conexión del sistema fotovoltaico con la red de corriente alterna que conforma la

MR. El conversor en mención se muestra en la figura 2.

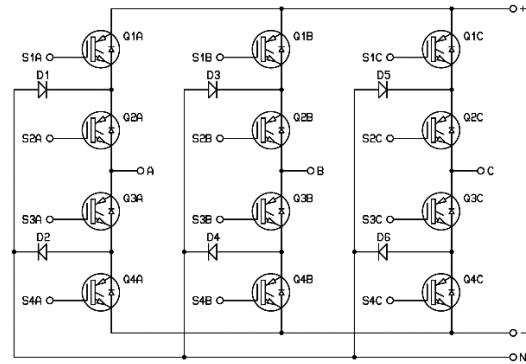


Figura 3. Conversor de tercer nivel.
[Autor]

Además, cada uno de los dispositivos de potencia que se utilizan son controlados por medio de 12 señales de control independientes. Cada brazo del conversor posee también un par de diodos de sujeción lo cual convierte al conversor en uso en un inversor con topología de sujeción por diodo, esto evita la necesidad del uso de un capacitor de acoplamiento y un transformador de aislamiento lo cual reduce la cantidad de dispositivos para el inversor, sin embargo, el daño de 1 de los dispositivos significa el malfuncionamiento del conversor por lo cual las investigaciones alrededor de la detección de fallos han sido amplias.

El punto de conexión común para los diodos de sujeción se realiza en un punto denominado punto neutral y que se da en un conjunto de capacitores del lado de DC (punto medio entre 2 capacitores) [33].

3.3 Detección e identificación de fallos

Una vez analizados la estructura del conversor de voltaje y la transformada de Park se procede a determinar un método por medio del cual se pueda cumplir con tareas de detección e identificación de fallos, por ello se hará uso de las expresiones (2), (3) y (4) para el cálculo de los valores polares que representan el

estado actual del sistema. Basados en las señales estudiadas en la figura 2 es posible calcular los valores de magnitud y ángulo que pueden también ser representados polarmente tal como se muestra en la figura 4, cabe recalca que el valor que se muestra corresponde a valores promedios.

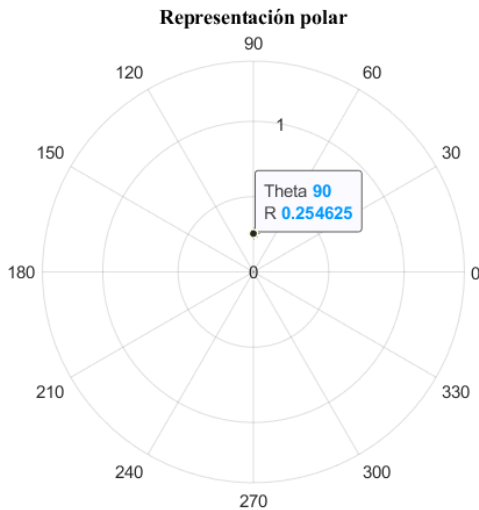


Figura 4. Representación polar señal equilibrada.
[Autor]

Por otro lado, el ángulo y la magnitud a la que se hace referencia también se puede calcular con cada medición posible por lo cual la figura 5 muestra el valor angular en cada medición, sin embargo, al tratarse de un sistema equilibrado al realizar el cálculo de la magnitud la misma se nota relativamente constante por lo que la representación de dicha variable no se muestra en la presente sección.

Es posible notar en la figura 5 que la operación constante representada por la señal de prueba genera una señal de tipo triangular con periodo y magnitud constante. Se espera que la inserción de una anomalía o desbalance en el sistema ocasione que los valores angulares sufran una alteración en su magnitud o periodo.

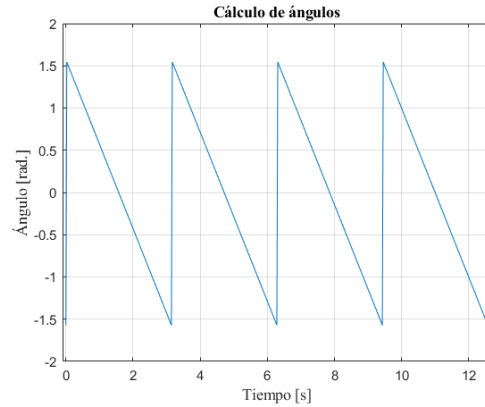


Figura 5. Cálculo angular por cada medición.
[Autor]

Con base en lo analizado con anterioridad es posible determinar el uso de las diferentes variables en tareas de detección e identificación de fallo de manera que, la magnitud del análisis polar puede ser implementado como herramienta de detección de fallos por medio de un umbral de detección mientras que se pueden generar zonas de detección por medio del uso del ángulo obtenido.

En [31] y [34] se propone el uso de zonas angulares para la identificación de los elementos o ramales en fallo, un resumen de lo mostrado en dichas investigaciones se detalla en la tabla 1 dado que la presente investigación usará dicha información como base para la selección de zonas de identificación. Es importante mencionar que la tabla que ahora se presenta contempla las zonas correspondientes a un convertor de tan sólo 6 dispositivos por lo cual la tabla se segmenta en ramales.

Tabla 1. Zonas angulares de detección.
[Autor]

RAMAL	IGBT	INTERVALO
A	1	150 – 210
A	2	330 – 30
B	3	270 – 330
B	4	90 – 150
C	5	30 – 90
C	6	210 – 270

4 Planteamiento del problema

Debido a que la principal aplicación del método se plantea sobre una MR el sistema que se propone se compone de dos sistemas de generación fotovoltaicos, dos sistemas tipo BESS (Battery Energy Storage System), cargas de tipo lineal y no lineal teniendo también disponible una conexión hacia un sistema convencional así como fuentes de generación convencionales de tipo Diesel, el estudio se llevará a cabo sobre un convertor DC/AC situado en uno de los sistemas de generación fotovoltaicos [1], [35].

Por otro lado, se ensayan diferentes clases de fallo mismas que son ensayadas en 2 escenarios que corresponden a escenarios de máxima y mínima demanda. Las clases de fallo tienen relación directa con la ubicación del IGBT en fallo el mismo que puede encontrarse en cualquiera de los brazos del convertor.

La propuesta contempla el análisis de señales de corriente de salida del convertor las cuales serán convertidas por medio de la transformada de Park en señales directas y cuadratura las cuales son luego procesadas en modo polar para producir valores utilizables para detección e identificación. El pseudocódigo implementado, así como las variables utilizadas se muestran en la tabla 2 y su definición de variables.

Tabla 2. Algoritmo propuesto.
[Autor]

Algoritmo 1: Detección e identificación de fallos, Transformada de Park	
Paso 1:	Inicio
	Declaración:
Paso 2:	Entradas: {t, t1, t2, t3, D_n, D_1, D_2, D_3} → numéricos
	Salidas: {f1, f2, f3, d1, d2, d3} → texto
Paso 3:	Asignación:

$$Pv = \begin{bmatrix} \sqrt{\frac{2}{3}} & -\sqrt{\frac{1}{6}} & -\sqrt{\frac{1}{6}} \\ 0 & \sqrt{\frac{2}{3}} & \sqrt{\frac{2}{3}} \end{bmatrix}$$

Paso 4: Proceso Detección e identificación de fallos

```

[ian, ibn] = Pv*D_n
[ia1, ib1] = Pv*D_1
[ia2, ib2] = Pv*D_2
[ia3, ib3] = Pv*D_3
Análisis polar:
udn = promedio(ian)
uqn = promedio(ibn)
Mun = raiz(udn^2 + uqn^2)
Muin(i) = raiz(ibn(i)^2+ian(i)^2)
un = atan(uqn/udn)
uin(i) = atan(ibn(i)/ian(i))
ud1 = promedio(ia1)
uq1 = promedio(ib1)
Mu1 = raiz(ud1^2 + uq1^2)
Mui1(i) = raiz(ib1(i)^2+ia1(i)^2)
u1 = atan(uq1/ud1)
ui1(i) = atan(ib1(i)/ia1(i))
ud2 = promedio(ia2)
uq2 = promedio(ib2)
Mu2 = raiz(ud2^2 + uq2^2)
Mui2(i) = raiz(ib2(i)^2+ia2(i)^2)
u2 = atan(uq2/ud2)
ui2(i) = atan(ib2(i)/ia2(i))
ud3 = promedio(ia3)
uq3 = promedio(ib3)
Mu3 = raiz(ud3^2 + uq3^2)
Mui3(i) = raiz(ib3(i)^2+ia3(i)^2)
u3 = atan(uq3/ud3)
ui3(i) = atan(ib3(i)/ia3(i))
Cálculo de residuos:
res1 = uin - ui1
res2 = uin - ui2
res3 = uin - ui3
resM1 = Muin - Mui1
resM2 = Muin - Mui2
resM3 = Muin - Mui3
Cálculo de umbral:

```

rad = Mun * 5

Si Mu1 > rad

f1 = Fallo 1

Si 150<=u1<=210 ó u1<=30 ó u1>=330

d1 = Fallo Q1A o Q2A

Sino Si 270<=u1<=330 o 90<=u1<=150

d1 = Fallo Q1B o Q2B

Sino Si 30<=u1<=90 o 210<=u1<=270

d1 = Fallo Q1C o Q2C

Fin Si

Caso Contrario:

f1 = Clase 1 normal

Fin Si

Si Mu2 > rad

f2 = Fallo 2

Si 150<=u2<=210 ó u2<=30 ó u2>=330

d1 = Fallo Q1A o Q2A

Sino Si 270<=u2<=330 o 90<=u2<=150

d1 = Fallo Q1B o Q2B

Sino Si 30<=u2<=90 o 210<=u2<=270

d1 = Fallo Q1C o Q2C

Fin Si

Caso Contrario:

f2 = Clase 2 normal

Fin Si

Si Mu3 > rad

f3 = Fallo 3

Si 150<=u3<=210 ó u3<=30 ó u3>=330

d1 = Fallo Q1A o Q2A

Sino Si 270<=u3<=330 o 90<=u3<=150

d1 = Fallo Q1B o Q2B

Sino Si 30<=u3<=90 o 210<=u3<=270

d1 = Fallo Q1C o Q2C

Fin Si

Caso Contrario:

f3 = Clase 3 normal

Fin Si

Visualización

Mostrar {f1, f2, f3, d1, d2, d3}

Paso 6: Final

En donde:

dem: Escenario de demanda

t: Vector de tiempo, clase normal

D_n: Matriz de mediciones de corriente, clase normal

t1: Vector de tiempo, clase fallo 1

D₁: Matriz de mediciones de corriente, clase fallo 1

t2: Vector de tiempo, clase fallo 2

D₂: Matriz de mediciones de corriente, clase fallo 2

t3: Vector de tiempo, clase fallo 3

D₃: Matriz de mediciones de corriente, clase fallo 3

Pv: Matriz transformada de Park

[ian, ibn]: Ejes directo y cuadratura, clase normal

[ia1, ib1]: Ejes directo y cuadratura, clase fallo 1

[ia2, ib2]: Ejes directo y cuadratura, clase fallo 2

[ia3, ib3]: Ejes directo y cuadratura, clase fallo 3

udn: Promedio eje directo, clase normal

uqn: Promedio eje cuadratura, clase normal

Mun: Magnitud promedio, clase normal

Muin: Magnitud por observación, clase normal

un: Ángulo promedio, clase normal

uin: Ángulo por observación, clase normal

ud1: Promedio eje directo, clase fallo 1

uq1: Promedio eje cuadratura, clase fallo 1

Mu1: Magnitud promedio, clase fallo 1

Mui1: Magnitud por observación, clase fallo 1

u1: Ángulo promedio, clase fallo 1

ui1: Ángulo por observación, clase fallo 1

ud2: Promedio eje directo, clase fallo 2

uq2: Promedio eje cuadratura, clase fallo 2

Mu2: Magnitud promedio, clase fallo 2

Mui2: Magnitud por observación, clase fallo 2

u2: Ángulo promedio, clase fallo 2

ui2: Ángulo por observación, clase fallo 2

ud3: Promedio eje directo, clase fallo 3

uq3: Promedio eje cuadratura, clase fallo 3

Mu3: Magnitud promedio, clase fallo 3

Mui3: Magnitud por observación, clase fallo 3

u3: Ángulo promedio, clase fallo 3

ui3: Ángulo por observación, clase fallo 3

res1: Residuo ángulos, fallo 1 - normal
res2: Residuo ángulos, fallo 2 - normal
res3: Residuo ángulos, fallo 3 - normal
resM1: Residuo magnitud, fallo 1 - normal
resM2: Residuo magnitud, fallo 2 - normal
resM3: Residuo magnitud, fallo 3 - normal
rad: Umbral de detección
f1: Detección fallo 1
f2: Detección fallo 2
f3: Detección fallo 3
d1: Identificación fallo 1
d2: Identificación fallo 2
d3: Identificación fallo 3

5 Análisis de resultados

Como se mencionó con anterioridad se procede a realizar un estudio de 2 escenarios con el fin de ensayar un estudio de sensibilidad del método por lo cual la presente sección se divide en dos partes en donde se abordarán escenarios de máxima y mínima demanda.

5.1 Máxima demanda

El sistema completamente parametrizado para trabajar en máxima demanda sin existencia de fallos (clase normal) en el convertidor bajo estudio es sometido a una simulación de 0.35 segundos, se selecciona la señal de corriente como señal de estudio y se obtiene la siguiente señal de corriente trifásica a la salida del convertidor que se muestra en la figura 6.

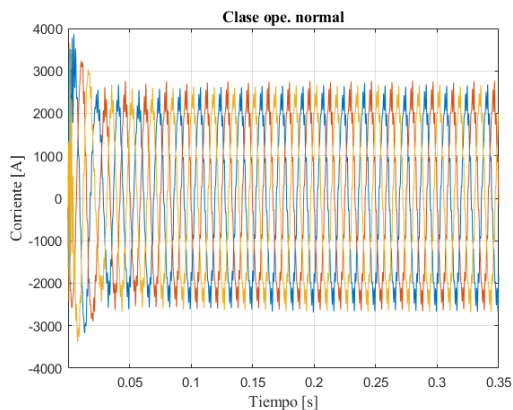


Figura 6. Corriente del convertidor, clase normal escenario demanda máxima.
[Autor]

Por otro lado, la figura 7 ilustra la medición de corriente en el mismo punto que en la clase normal, sin embargo, en aquel caso se introduce un daño de apertura de dispositivo de potencia en el brazo o ramal de la fase A por lo que los IGBT afectados son Q1A y Q2A (revisar figura 3) el daño de estos dispositivos en adelante se denominarán clase fallo 1.

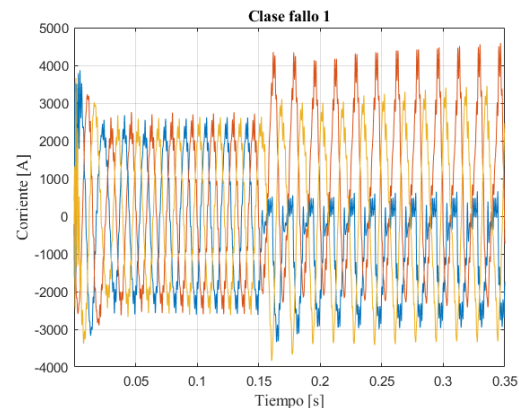


Figura 7. Corriente del convertidor, clase fallo 1 escenario demanda máxima.
[Autor]

De manera análoga se ensayan fallos en dispositivos de potencia ubicados en los 3 ramales del convertidor con lo cual consecuentemente los dispositivos afectados son Q1B y Q2B para la llamada clase fallo 2 y Q1C y Q2C para la clase que tiene por nombre fallo 3. Las figuras 8 y 9 muestran el comportamiento de la corriente de salida del convertidor en su salida.

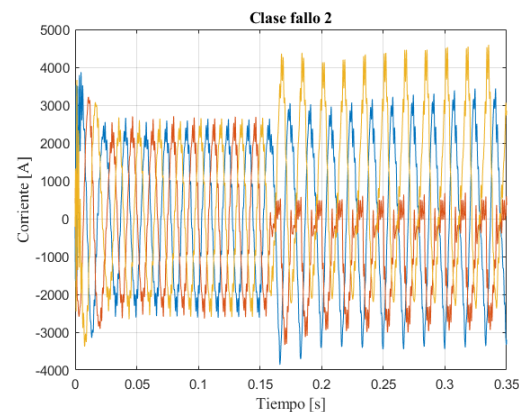


Figura 8. Corriente del convertidor, clase fallo 2 escenario demanda máxima.
[Autor]

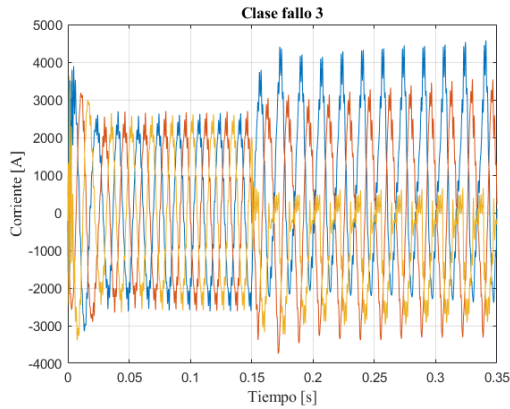


Figura 9. Corriente del convertor, clase fallo 3 escenario demanda máxima.
[Autor]

En todas las clases de fallo que se revisan la falla del dispositivo ocurre a los 0.15 segundos de simulación que coincide con el instante en que se presentan desbalances en la corriente de salida del convertor. Las señales de corriente luego son estudiadas por medio del análisis vectorial obteniendo señales de la relación angular y en magnitud durante cada instante o medición realizada. En primer momento se estudia la totalidad de observaciones, aunque el horizonte de análisis podría ser reducido para tener un mejor entendimiento de las señales y su comportamiento ante la ocurrencia de un fallo.

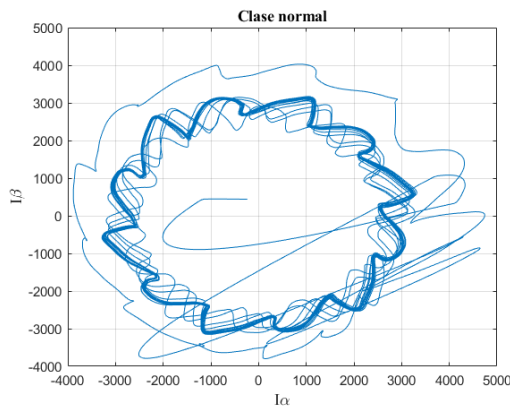


Figura 10. Transformada de Park, clase normal escenario demanda máxima.
[Autor]

La figura 10 ilustra los resultados obtenidos de la transformada de Park para

la clase normal en la totalidad del tiempo de análisis entendiendo que por el ruido presente en la señal no es posible conseguir un círculo perfecto como se espera, sin embargo, la especie de disco dentado que se obtienen mantiene una forma relativamente circular.

Se puede apreciar trazos extraños mismos que corresponden a los primeros instantes en los cuales el sistema se encuentra en busca del punto de operación por lo cual se tiene una alteración en magnitud, no obstante, al reducir el tiempo de análisis a 5 milisegundos antes de la ocurrencia de una falla es posible notar una mejor forma como se aprecia en la figura 11.

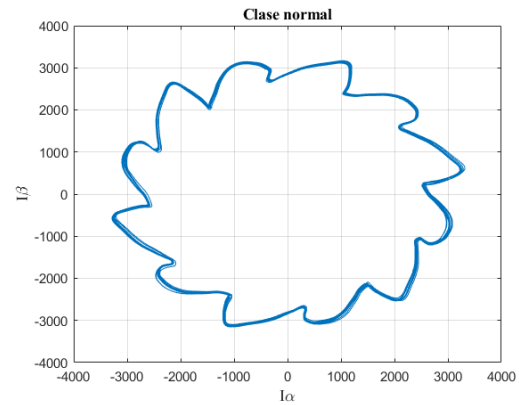


Figura 11. Transformada de Park, clase normal en tiempo reducido escenario demanda máxima.
[Autor]

Es evidente entonces que la forma relativamente circular se presenta por varios la totalidad de ciclos con lo cual se redibujan varios discos con centro sobre el origen de coordenadas. Similar análisis se realiza sobre las señales de corriente de las 3 clases de fallo.

La figura 12 muestra el resultado de la transformada en el mismo horizonte de tiempo utilizado para la figura 11, es importante mencionar que al trabajar con una porción de 5 ms. de datos en prefalla es previsible la existencia de trazos extraños antes de adquirir una forma dominante

similar a un semicírculo manteniendo la forma dentada.

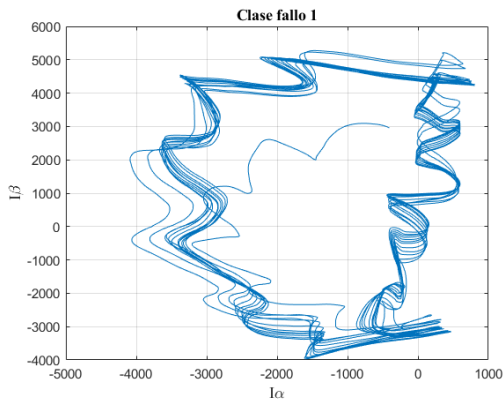


Figura 12. Transformada de Park, clase 1 escenario demanda máxima.
[Autor]

La figura 13 muestra un estudio similar sobre la señal correspondiente a la clase 2 y la figura 14 muestra los resultados de la señal de la clase 3.

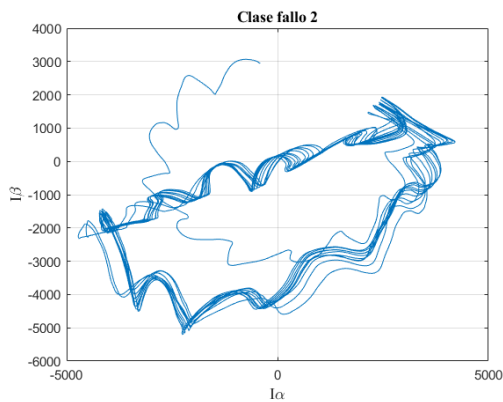


Figura 13. Transformada de Park, clase 2 escenario demanda máxima.
[Autor]

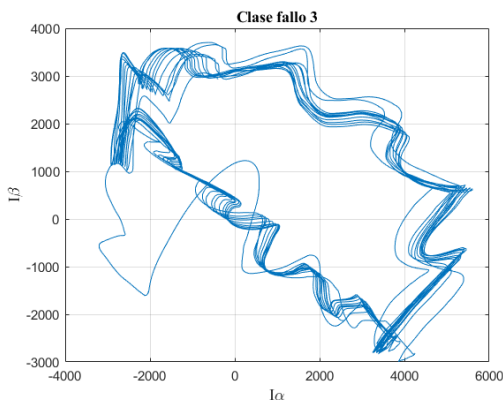


Figura 14. Transformada de Park, clase 3 escenario demanda máxima.
[Autor]

En las figuras anteriores se puede notar que las figuras obtenidas mantienen una relación con respecto al origen de coordenadas dado que es alrededor de dicho punto en donde se genera una rotación angular.

Una vez vistos los efectos sobre la transformada en ejes directos y cuadratura se procede a iniciar el estudio polar en el cual se calculan ángulos y magnitudes. En primer lugar, se revisarán los parámetros de cada observación. La figura 15 muestra el comportamiento angular en un horizonte aún más reducido en donde sólo se consideran 10000 observaciones después de los 0.145 s lo cual representa un tiempo de estudio cercano a 50 ms.

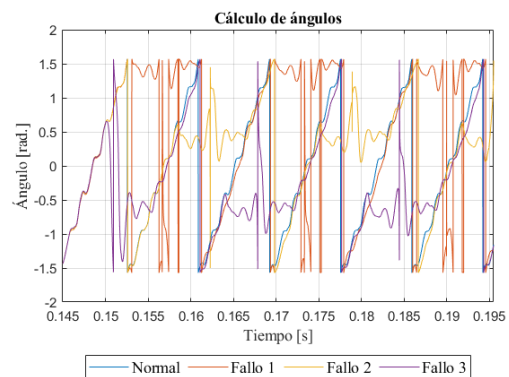


Figura 15. Comportamiento angular, escenario demanda máxima.
[Autor]

Se puede apreciar que una vez que el fallo se presenta a los 0.15 segundos el cálculo angular se modifica por completo obteniendo alteraciones de magnitud y periodo en la señal que representa la clase normal, esto es claro indicio de que al realizar un estudio de valores promedio también se tendrán variaciones significativas, aunque aquello se revisará más adelante.

La figura 16 es un gráfico comparativo de la relación en magnitud de las clases en fallo y aquella normal.

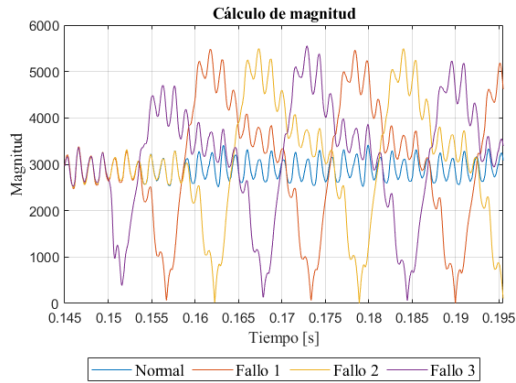


Figura 16. Relación en magnitud, escenario demanda máxima.
[Autor]

Se puede apreciar que en este caso solamente la clase fallo 3 presenta una variación inmediata una vez sucedido el fallo mientras que en las clases de fallo 1 y 2 la variación tarda aproximadamente 5 y 10 ms. en presentarse alteraciones, sin embargo, al tratarse de un sistema que trabaja a 60 Hz y tener un periodo de la señal sinusoidal de 16.67 ms. se deduce que las alteraciones suceden dentro del primer ciclo después de ocurrida la falla.

Como estudio adicional se calcula el residuo existente entre los valores de cada clase de fallo respecto a la clase normal con el fin de notar las diferencias que suceden al ocurrir un fallo.

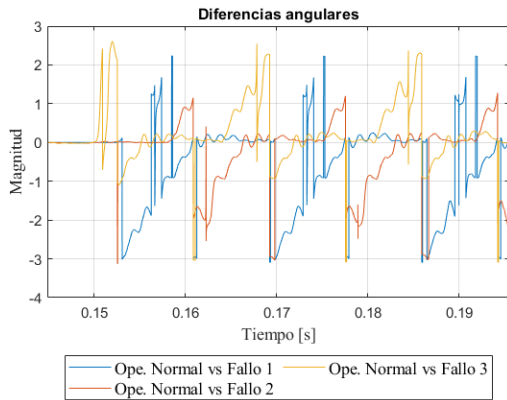


Figura 17. Diferencias angulares, escenario demanda máxima.
[Autor]

El residuo del comportamiento angular se muestra en la figura 17 mientras que el mismo análisis sobre la relación en magnitud es presentado en la figura 18, será

entonces evidente la ocurrencia de una anomalía al obtenerse divergencias en los residuos.

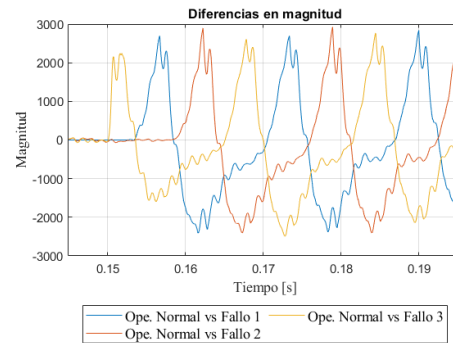


Figura 18. Diferencias en magnitud, escenario demanda máxima.
[Autor]

Las diferencias responden a lo explicado en párrafos anteriores y, por tanto, al tomar estos datos en consideración para el cálculo promedio se obtendrán diferencias a nivel polar como se verá a continuación.

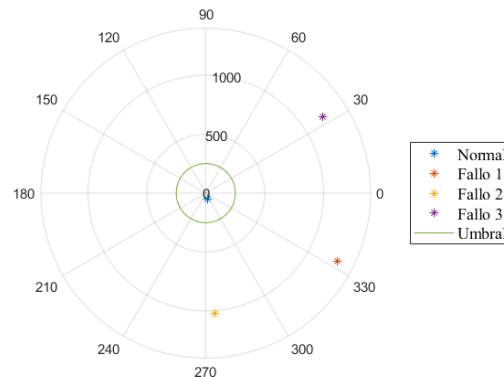


Figura 19. Comparación polar, escenario demanda máxima.
[Autor]

Como se puede observar, efectivamente los valores polares de cada clase de fallo se sitúan en zonas diferentes a la vez que tienen un valor en magnitud mayor a una cantidad de veces de la magnitud de la clase normal, de manera experimental se delimitó esta cantidad de veces en un valor de 5 veces la magnitud nominal, dado que como se verá más adelante es un valor adecuado para diferentes situaciones de demanda. La tabla 3 muestra los resultados

obtenidos en sus valores promedio y con los cuales se puede validar el método.

Tabla 3. Resultados máxima demanda.
[Autor]

CLASE	MAGNITUD	ÁNGULO
Fallo 1	1261.83	332.57°
Fallo 2	1021.11	274.27°
Fallo 3	1186.88	33.01°

Dado que el valor de umbral es de 250.73, todas las clases se consideran fallo detectados y al comparar la tabla 3 con la tabla 1 se valida también la identificación del fallo, dado que los ángulos calculados corresponden a zonas de daño en cada uno de los brazos del convertidor. Las tablas 4 y 5 muestra la comparación entre los resultados y los valores esperados.

Tabla 4. Detección, máxima demanda.
[Autor]

CLASE	RAMAL SIMULADO	UMBRAL DE DETECCIÓN	MAGNITUD CALCULADA	DIFERENCIAL MAGNITUD
Detección				
Fallo 1	A (Q1A Y Q2A)	250.73	1261.83	1011.10
Fallo 2	B (Q1B Y Q2B)	250.73	1021.11	770.38
Fallo 3	C (Q1C Y Q2C)	250.73	1186.88	936.15

Como se puede observar, tanto en identificación como en detección las tareas se realizan con efectividad y por tanto se puede validar el método para el escenario de máxima demanda.

Tabla 5. Identificación, demanda máxima.
[Autor]

CLASE	RAMAL SIMULADO	ÁNGULOS POR RAMAL	ÁNGULOS CALCULADOS	VALIDEZ DE IDENTIFICACIÓN
Identificación				
Fallo 1	A (Q1A Y Q2A)	150-210 , 330-30	332.57°	Si, válido
Fallo 2	B (Q1B Y Q2B)	270-330 , 90-150	274.27°	Si, válido
Fallo 3	C (Q1C Y Q2C)	30-90 , 210-270	33.01°	Si, válido

5.2 Mínima demanda

Se ensaya un segundo escenario en el cual se hace un cambio sobre el valor de demanda del sistema para lo cual se reduce la demanda de la MR a un valor que representa el 70% de la demanda máxima, esto con el fin de ensayar el modelo con una variación en el punto de operación. La figura 20 muestra la señal de corriente del convertidor en la clase de operación normal, en ausencia de fallas.

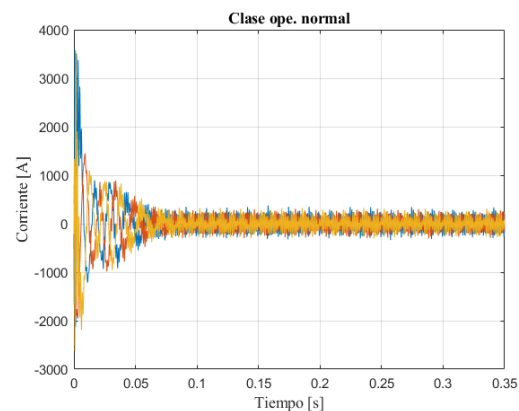


Figura 20. Corriente del convertidor, clase normal escenario demanda mínima.

[Autor]

Se puede apreciar que el tiempo que le toma al sistema encontrar el punto de operación es superior al requerido por el sistema en el punto de máxima demanda por lo que se hace necesario reducir el

tiempo de análisis para evitar la influencia de los primeros milisegundos en el cálculo de parámetros promedio.

Las figuras 21, 22 y 23 muestran las clases de fallo 1, 2 y 3 para el escenario de mínima demanda con la totalidad de observaciones, es importante considerar que para los análisis que continúan se realizarán con un periodo de estudio reducido de manera que la influencia de los primeros instantes no afecte los resultados.

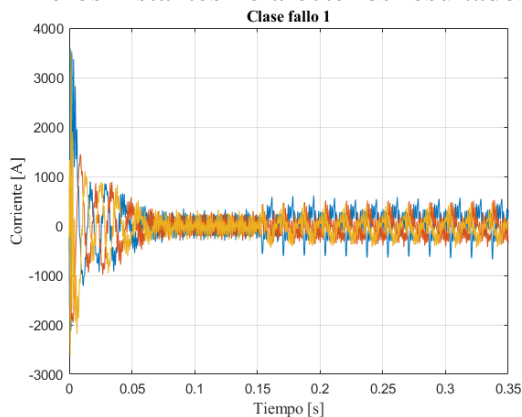


Figura 21. Corriente del convertor, clase fallo 1 escenario demanda mínima.
[Autor]

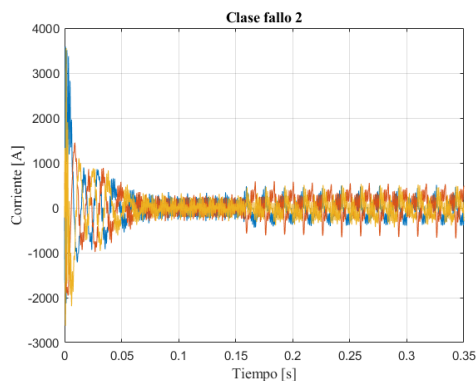


Figura 22. Corriente del convertor, clase fallo 2 escenario demanda mínima.
[Autor]

El tiempo de estudio contemplado se asemeja al utilizado para demanda máxima y que corresponden a 10000 observaciones después de transcurridos 0.145 segundos.

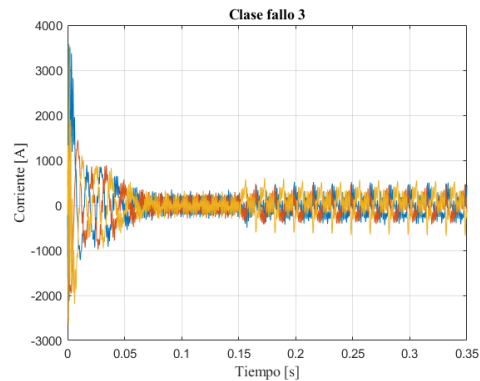


Figura 23. Corriente del convertor, clase fallo 3 escenario demanda mínima.
[Autor]

Dado que con anterioridad se revisaron los efectos de un fallo en una comparación del eje directo y cuadratura en la forma del disco y debido a que las señales en estudio presentan mucho más ruido que el escenario de demanda máxima se procede a iniciar el estudio de relaciones polares en ángulos y magnitudes.

Los fallos suceden sobre los mismos elementos de potencia que los sucedidos en el escenario anterior para poder realizar un estudio de sensibilidad del método. La figura 24 muestra el comportamiento angular de las 4 clases que se analizan.

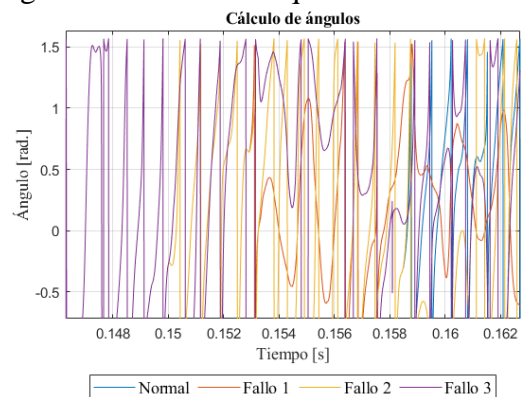


Figura 24. Comportamiento angular, escenario demanda mínima.
[Autor]

La figura 25, por otro lado, ilustra las relaciones en magnitud para el escenario de demanda mínima, como se menciona en párrafos anteriores la señal es mucho más ruidosa y aunque la dificultad se incrementa para distinguir fluctuaciones,

aún es válida lo que en consecuencia indica que a realizar un análisis vectorial se obtendrán los resultados esperados.

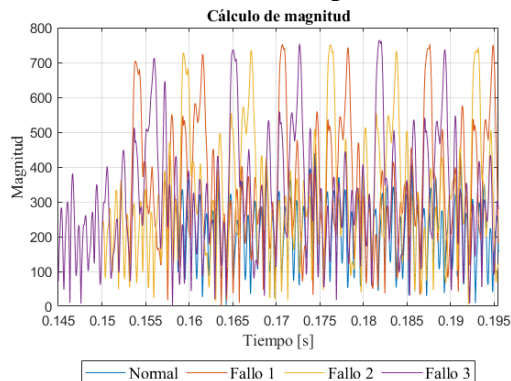


Figura 25. Relación en magnitud, escenario demanda mínima. [Autor]

Del mismo modo que lo sucedido con anterioridad se realiza el cálculo de los residuos o diferencias con respecto al comportamiento angular y la relación en magnitud correspondientemente en la figura 26 y 27.

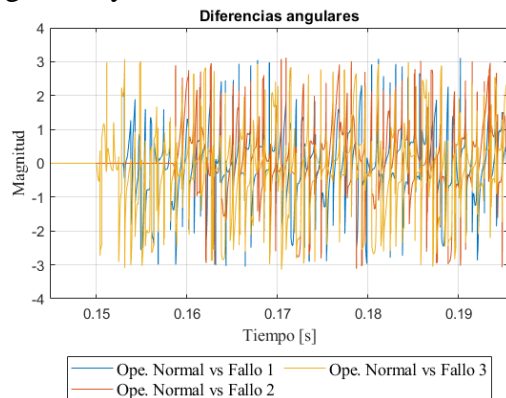


Figura 26. Diferencias angulares, escenario demanda mínima. [Autor]

Es evidente que igual a lo sucedido en comparaciones de clases anteriores una vez sucedida la falla los valores angulares y de magnitud se modifican por completo. Lo cual es señal inequívoca de que al analizar los valores promedios los mismos también arrojarán diferencias notables. Por lo mismo se dice que la introducción de valores en ausencia de falla pueden alterar los resultados finales de identificación.

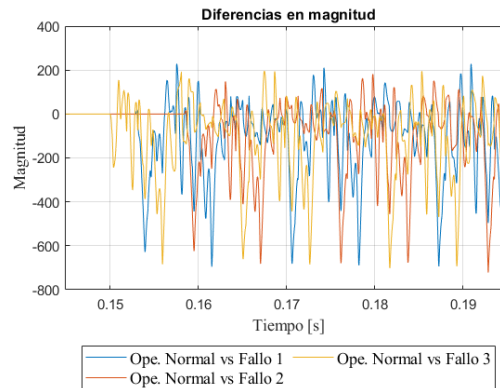


Figura 27. Diferencias en magnitud, escenario demanda mínima. [Autor]

Finalmente, la figura 28 ilustra una comparación de las clases disponibles a nivel vectorial por medio de un gráfico polar.

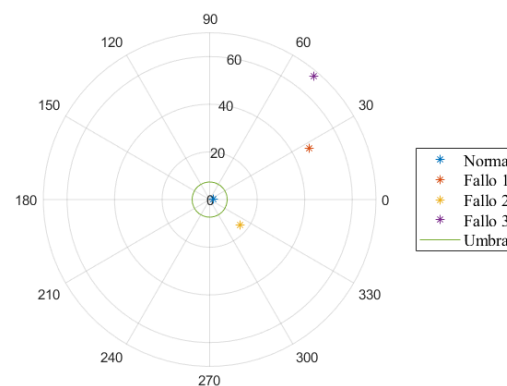


Figura 28. Comparación polar, escenario demanda mínima. [Autor]

Con estos resultados es posible realizar cuadros comparativos como los ensayados en el escenario anterior. Las tablas 6 y 7 muestran los resultados de detección e identificación a manera de resumen.

Tabla 6. Detección, demanda mínima. [Autor]

CLASE	RAMAL SIMULADO	UMBRAL DE DETECCIÓN	MAGNITUD CALCULADA	DIFERENCIA L MAGNITUD
Detección				
Fallo 1	A (Q1A Y Q2A)	7.36	46.89	39.53
Fallo 2	B (Q1B Y Q2B)	7.36	16.75	9.39

Fallo 3	C (Q1C Y Q2C)	7.36	49.65	42.29
---------	---------------	------	-------	-------

Tabla 7. Identificación, demanda mínima.
[Autor]

CLASE	RAMAL SIMULADO	ÁNGULOS POR RAMAL	ÁNGULOS CALCULADOS	VALIDEZ DE IDENTIFICACIÓN
	Identificación			
Fallo 1	A (Q1A Y Q2A)	150-210 , 330-30	27.24°	Si, válido
Fallo 2	B (Q1B Y Q2B)	270-330 , 90-150	319.76°	Si, válido
Fallo 3	C (Q1C Y Q2C)	30-90 , 210-270	67.82°	Si, válido

Con los resultados antes mostrado se valida que efectivamente el método es capaz de desempeñarse de manera correcta para la detección e identificación de fallos en convertidores ligados a sistemas fotovoltaicos en MR híbridas.

6 Conclusiones

La transformada de Park permite reducir la dimensión de los datos en estudio al cambiar un sistema de 3 variables por un nuevo sistema de 2 variables que es capaz de devolver información relevante sobre las condiciones de operación de una señal determinada, su secuencia e incluso equilibrio.

El daño en un elemento de potencia (IGBT) de un convertidor de voltaje es capaz de afectar negativamente el balance de corriente y voltaje en una red ocasionando que las condiciones de operación del sistema se alteren.

La introducción de un análisis vectorial sobre los ejes resultantes de la transformada de Park permite obtener un mejor conocimiento del estado del sistema a través del estudio de una sola variable

importante de operación como lo es la corriente. Los resultados obtenidos son de utilidad al analizar la presencia de una falla y la identificación del elemento dañado.

La transformada de Park es susceptible a alteraciones ante el cambio en el punto de operación o fluctuaciones de la red, por dicho motivo se vuelve necesario el uso de valores promedio para la detección e identificación de fallos. Si el sistema es relativamente constante o los cambios son leves el método no sufrirá alteraciones por efectos de fluctuaciones comunes.

El método planteado es capaz de desempeñar tareas de detección e identificación de fallos en 2 puntos de operación ensayados (2 escenarios) en donde, a pesar de tener variaciones en valores angulares y de magnitud se mantienen los criterios planteados por los autores de la presente investigación.

6.1 Trabajos Futuros

Se propone el uso de técnicas adicionales de análisis de señal como son el uso de transformadas adicionales como es el caso de la transformada de Wavelet como herramienta adicional de análisis para mejorar la precisión y efectividad del método. Las señales obtenidas y que son resultado de la transformada de Park también podrían ser la base para estudios con métodos ligados a inteligencia artificial, Deep learning, lógica difusa entre otras con lo cual los resultados podrían ser de mayor utilidad o rapidez.

7 Referencias

- [1] L. Ortiz, R. Orizondo, A. Aguila, J. W. Gonz, I. Isaac, and J. L. Gabriel, "Hybrid AC / DC microgrid test system simulation : grid-connected mode," *Heliyon*, vol. 5, no. August, p. 21, 2019, doi: 10.1016/j.heliyon.2019.e02862.
- [2] L. Ortiz, J. W. Gonz, L. B. Gutierrez,

- and O. Llanes-santiago, "A review on control and fault-tolerant control systems of AC / DC microgrids," *Heliyon*, vol. 6, no. June, 2020, doi: 10.1016/j.heliyon.2020.e04799.
- [3] K. R. Lekshmi, V. K. Ashraf Ali, A. M, and A. P, "Design, Simulation and Implementation of a Hybrid Micro Grid System," pp. 1–6, 2021, doi: 10.1109/i2ct51068.2021.9418082.
- [4] K. Gong, X. Wang, C. Jiang, M. Shahidehpour, X. Liu, and Z. Zhu, "Security-Constrained Optimal Sizing and Siting of BESS in Hybrid AC/DC Microgrid Considering Post-Contingency Corrective Rescheduling," *IEEE Trans. Sustain. Energy*, vol. 3029, no. c, pp. 1–1, 2021, doi: 10.1109/tste.2021.3080707.
- [5] D. Arias Cazco, R. A. Robayo Vasco, and L. Ortiz Matos, "Novel inteligente Step Voltaje Regulator (SVR) for residential electrical connections," *IEEE Lat. Am. Trans.*, vol. 14, no. 4, pp. 1656–1661, 2016, doi: 10.1109/TLA.2016.7483497.
- [6] L. Ortiz Matos, A. Aguila Tellez, R. C. Hincapié Reyes, and J. . González Sanchez, "Multi-Criteria Optimization of the Deployment of a Grid for Rural Electrification Based on a Heuristic Method," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 73, no. 1, p. 012020, 2017, doi: 10.1088/1755-1315/73/1/012020.
- [7] D. Carrión and L. Ortiz, "Generación distribuida a partir de bicicletas estáticas y sistemas híbridos," *Ingenius*, vol. 10, pp. 44–48, 2013.
- [8] A. A. Eajal, A. H. Yazdavar, E. F. El-Saadany, and M. M. A. Salama, "Optimizing the Droop Characteristics of AC/DC Hybrid Microgrids for Precise Power Sharing," *IEEE Syst. J.*, vol. 15, no. 1, pp. 560–569, 2021, doi: 10.1109/JSYST.2020.2984623.
- [9] L. Ortiz, L. B. Gutiérrez, J. W. González, and A. Águila, "A novel strategy for dynamic identification in AC/DC microgrids based on ARX and Petri Nets," *Heliyon*, vol. 6, no. March, p. 18, 2020, doi: 10.1016/j.heliyon.2020.e03559.
- [10] L. O. Matos, J. Wilson, and G. Sanchez, "Reconfiguration Strategy for Fault Tolerance of Power Distribution Systems Using Petri Net," 2016, doi: 10.1109/ETCM.2016.7750820.
- [11] L. Ortiz Matos, L. B. Gutierrez Zea, J. W. González Sanchez, and A. Aguila Tellez, "An ARX-Petri Nets algorithm for Active Identification of an AC / DC Microgrid Simulation," in *2019 IEEE 4th Colombian Conference on Automatic Control (CCAC)*, 2019, p. 6, doi: 10.1109/CCAC.2019.8921191.
- [12] S. Jadidi, H. Badihi, Z. Yu, and Y. Zhang, "Fault Detection and Diagnosis in Power Electronic Converters at Microgrid Level Based on Filter Bank Approach," *2020 IEEE 3rd Int. Conf. Renew. Energy Power Eng. REPE 2020*, pp. 39–44, 2020, doi: 10.1109/REPE50851.2020.9253824.
- [13] S. P. Quishpe Guamantica and L. Ortiz Matos, "Detección de fallas de sensado en convertidores CA/CC para micro-redes híbridas usando análisis de componentes principales (PCA)," Universidad Politécnica Salesiana, 2021.
- [14] S. R. Madeti and S. N. Singh, "A comprehensive study on different types of faults and detection techniques for solar photovoltaic

- system,” *Sol. Energy*, vol. 158, no. June, pp. 161–185, 2017, doi: 10.1016/j.solener.2017.08.069.
- [15] S. X. Garrido Jácome and L. Ortiz Matos, “Estrategia activa de tolerancia a fallas para el control Buck-Boost de micro-redes eléctricas en DC,” Universidad Politécnica Salesiana, 2019.
- [16] F. A. Urgiles Navarrete and L. Ortiz Matos, “Estrategia de identificación dinámica no lineal basada en NARX para fuentes de generación distribuida acopladas electrónicamente a micro – redes AC/DC,” Universidad Politécnica Salesiana, 2020.
- [17] J. L. M. Bastidas and L. O. Matos, “Localización de fallas en microredes eléctricas basado en un modelo Markoviano,” Universidad Politécnica Salesiana, 2018.
- [18] J. G. B. Sánchez and L. O. Matos, “Estrategia de tolerancia a fallas por condiciones ambientales para IEDS en subestaciones de distribución,” Universidad Politécnica Salesiana, 2016.
- [19] B. E. Ramírez Velasco and L. Ortiz Matos, “Estudio comparativo de métodos de detección e identificación de fallas (FDI) de sensado sobre el Control Local de micro redes Electricas Híbridas AC/DC,” Universidad Politécnica Salesiana, 2020.
- [20] H. Badihi, S. Jadidi, Y. Zhang, C. Y. Su, and W. F. Xie, “Ai-driven intelligent fault detection and diagnosis in a hybrid ac/dc microgrid,” *1st Int. Conf. Ind. Artif. Intell. IAI 2019*, pp. 1–6, 2019, doi: 10.1109/ICIAI.2019.8850834.
- [21] M. Jalayer, C. Orsenigo, and C. Vercellis, “Fault detection and diagnosis for rotating machinery: A model based on convolutional LSTM, Fast Fourier and continuous wavelet transforms,” *Comput. Ind.*, vol. 125, p. 103378, 2021, doi: 10.1016/j.compind.2020.103378.
- [22] K. Bacha, S. Ben Salem, and A. Chaari, “An improved combination of Hilbert and Park transforms for fault detection and identification in three-phase induction motors,” *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 43, no. 1, pp. 1006–1016, 2012, doi: 10.1016/j.ijepes.2012.06.056.
- [23] W. Chine, A. Mellit, A. M. Pavan, and S. A. Kalogirou, “Fault detection method for grid-connected photovoltaic plants,” *Renew. Energy*, vol. 66, pp. 99–110, 2014, doi: 10.1016/j.renene.2013.11.073.
- [24] J. Poon, P. Jain, I. C. Konstantakopoulos, C. Spanos, S. K. Panda, and S. R. Sanders, “Model-Based Fault Detection and Identification for Switching Power Converters,” *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 8993, no. c, 2016, doi: 10.1109/TPEL.2016.2541342.
- [25] S. I. Freire Piedra and L. Ortiz Matos, “Modelado y simulación de un sistema automático de adquisición de datos en centrales hidroeléctricas pequeñas,” Universidad Politécnica Salesiana, 2015.
- [26] A. F. Falcón Ayala and L. Ortiz Matos, “Confiabilidad en microredes eléctricas AC/DC usando control robusto H_∞ y estrategias de tolerancia a fallas,” Universidad Politécnica Salesiana, 2019.
- [27] G. K. Chinchuña Toledo and L. Ortiz Matos, “Mejoramiento de la fiabilidad en microredes mediante el control robusto de voltaje usando técnicas pasivas de tolerancia a fallos,” Universidad Politécnica Salesiana, 2018.

- [28] F. M. Armas Chamorro and L. Ortiz Matos, "Modelización con Petri Net de una aplicación automática de diagnóstico y restauración de avería en sistema de distribución," Universidad Politécnica Salesiana, 2015.
- [29] J. Hare, X. Shi, S. Gupta, and A. Bazzi, "A review of faults and fault diagnosis in micro-grids electrical energy infrastructure," *2014 IEEE Energy Convers. Congr. Expo. ECCE 2014*, no. August 2003, pp. 3325–3332, 2014, doi: 10.1109/ECCE.2014.6953852.
- [30] J. Hare, X. Shi, S. Gupta, and A. Bazzi, "Fault diagnostics in smart micro-grids: A survey," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 60, pp. 1114–1124, 2016, doi: 10.1016/j.rser.2016.01.122.
- [31] W. S. Im, J. S. Kim, J. M. Kim, D. C. Lee, and K. B. Lee, "Diagnosis methods for IGBT open switch fault applied to 3-phase AC/DC PWM converter," *J. Power Electron.*, vol. 12, no. 1, pp. 120–127, 2012, doi: 10.6113/JPE.2012.12.1.120.
- [32] C. J. Verucchi and G. G. Acosta, "Técnicas de detección y diagnóstico de fallos en máquinas eléctricas de inducción," *IEEE Lat. Am. Trans.*, vol. 5, no. 1, pp. 41–49, 2007, doi: 10.1109/T-LA.2007.4444532.
- [33] H. Hu, F. Feng, and T. Wang, "Open-circuit fault diagnosis of NPC inverter IGBT based on independent component analysis and neural network," *Energy Reports*, vol. 6, pp. 134–143, 2020, doi: 10.1016/j.egyr.2020.11.273.
- [34] C. B. D. Eddine, B. Azzeddine, K. M. Amine, B. Mokhtar, and B. Noureddine, "The enhancement of park current vectors technique for inverter fault detection," *2017 6th Int. Conf. Syst. Control. ICSC 2017*, pp. 377–382, 2017, doi: 10.1109/ICoSC.2017.7958646.
- [35] L. Ortiz, R. Orizondo, A. Aguila, J. W. Gonz, I. Isaac, and J. L. Gabriel, "Hybrid AC/DC microgrid (HMG) test system simulation (<https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/73878-hybrid-ac-dc-microgrid-hmg-test-system-simulation>)." MATLAB Central File Exchange, 2020, [Online]. Available: <https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/73878-hybrid-ac-dc-microgrid-hmg-test-system-simulation>).

8 Matriz de Estado del Arte

Tabla 8. Matriz de estado del arte

DETECCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE FALLAS INTERNAS PARA SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS CONECTADOS A MICRO-REDES EN AC BASADO EN EL MÉTODO DE LA TRANSFORMADA DE PARK																				
ITEM	DATOS	TÍTULO DEL ARTÍCULO	CITAS	TEMÁTICA				FORMULACIÓN DEL PROBLEMA FUNCIONES OBJETIVO				RESTRICCIONES DEL PROBLEMA			PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA			SOLUCIÓN PROPUESTA		
				Micro-redes híbridadas	Transformada de Park	Detección e identificación de fallas	Convertidores de voltaje	FDI con Transformada de Park	Fallas internas	Tipo de falla	Análisis polar	Fallas internas en convertidores	Convertidores DC/AC	Métodos polares y transformadas	Transformada de Park	Medidas de corriente de salida	Simulación de micro-redes híbridadas	Medición de variable eléctricas	Transformada de Park	Cálculo de valores polares
1	2019	Hybrid AC / DC microgrid test system simulation : grid-connected mode	24	<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"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
2	2020	A review on control and fault-tolerant control systems of AC / DC microgrids	8	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
3	2021	Design, Simulation and Implementation of a Hybrid Micro Grid System	0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" 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"/>	
4	2021	Security-Constrained Optimal Sizing and Siting of BESS in Hybrid AC/DC Microgrid Considering Post-Contingency Corrective Rescheduling	0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" 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"/>	
5	2016	Novel inteligente Step Voltaje Regulator (SVR) for residential electrical connections	12	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" 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"/>	
6	2017	Multi-Criteria Optimization of the Deployment of a Grid for Rural Electrification Based on a Heuristic Method	22	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" 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"/>	
7	2013	Generación distribuida a partir de bicicletas estáticas y sistemas híbridos	20	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" 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"/>	
8	2020	Optimizing the Droop Characteristics of AC/DC Hybrid Microgrids for Precise Power Sharing	6	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" 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"/>	

DETECCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE FALLAS INTERNAS PARA SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS CONECTADOS A MICRO-REDES EN AC BASADO EN EL MÉTODO DE LA TRANSFORMADA DE PARK

ITEM	DATOS		CITAS	TEMÁTICA				FORMULACIÓN DEL PROBLEMA FUNCIONES OBJETIVO			RESTRICCIONES DEL PROBLEMA			PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA			SOLUCIÓN PROPUESTA			
	AÑO	TÍTULO DEL ARTÍCULO		Micro-redes híbridas	Transformada de Park	Detección e identificación de fallas	Convertidores de voltaje	FDI con Transformada de Park	Fallas internas	Tipo de falla	Análisis polar	Fallas internas en convertidores	Convertidores DC/AC	Métodos polares y transformadas	Transformada de Park	Medidas de corriente de salida	Simulación de micro-redes híbridas	Medición de variable eléctricas	Transformada de Park	Cálculo de valores polares
9	2020	A novel strategy for dynamic identification in AC/DC microgrids based on ARX and Petri Nets	8	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" 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"/>
10	2016	Reconfiguration Strategy for Fault Tolerance of Power Distribution Systems Using Petri Net	19	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" 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"/>
11	2019	An ARX-Petri Nets algorithm for Active Identification of an AC /DC Microgrid Simulation	4	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" 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"/>
12	2020	Fault Detection and Diagnosis in Power Electronic Converters at Microgrid Level Based on Filter Bank Approach	0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" 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 checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
13	2017	A comprehensive study on different types of faults and detection techniques for solar photovoltaic system	104	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" 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 checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
14	2019	Estrategia activa de tolerancia a fallas para el control Buck-Boost de micro-redes eléctricas en DC	3	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" 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 checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
15	2020	Estrategia de identificación dinámica no lineal basada en NARX para fuentes de generación distribuida acopladas electrónicamente a micro – redes AC/DC	0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" 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 checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
16	2018	Localización de fallas en microredes eléctricas basado en un modelo Markoviano	6	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" 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 checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
17	2016	Estrategia de tolerancia a fallas por condiciones ambientales para IEDS en subestaciones de distribución	7	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" 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 checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
18	2020	Estudio comparativo de métodos de detección e identificación de fallas (FDI) de sensado sobre el Control Local de micro redes Eléctricas Híbridas AC/DC	0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" 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 checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
19	2019	Ai-driven intelligent fault detection and diagnosis in a hybrid ac/dc microgrid	8	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" 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"/>

DETECCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE FALLAS INTERNAS PARA SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS CONECTADOS A MICRO-REDES EN AC BASADO EN EL MÉTODO DE LA TRANSFORMADA DE PARK

ITEM	DATOS		TÍTULO DEL ARTÍCULO	CITAS	TEMÁTICA				FORMULACIÓN DEL PROBLEMA FUNCIONES OBJETIVO			RESTRICCIONES DEL PROBLEMA			PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA				SOLUCIÓN PROPUESTA		
	AÑO				Micro-redes híbridas	Transformada de Park	Detección e identificación de fallas	Convertidores de voltaje	FDI con Transformada de Park	Fallas internas	Tipo de falla	Análisis polar	Fallas internas en convertidores	Convertidores DC/AC	Métodos polares y transformadas	Transformada de Park	Medidas de corriente de salida	Simulación de micro-redes híbridas	Medición de variable eléctricas	Transformada de Park	Cálculo de valores polares
20	2021		Fault detection and diagnosis for rotating machinery: A model based on convolutional LSTM, Fast Fourier and continuous wavelet transforms	6	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
21	2012		An improved combination of Hilbert and Park transforms for fault detection and identification in three-phase induction motors	51	<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 checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
22	2014		Fault detection method for grid-connected photovoltaic plants	155	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" 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"/>
23	2016		Model-Based Fault Detection and Identification for Switching Power Converters	130	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" 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"/>
24	2015		Modelado y simulación de un sistema automático de adquisición de datos en centrales hidroeléctricas pequeñas	6	<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 checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
25	2019		Confiabilidad en microredes eléctricas AC/DC usando control robusto H_∞ y estrategias de tolerancia a fallas	3	<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 checked="" 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"/>
26	2018		Mejoramiento de la fiabilidad en microredes mediante el control robusto de voltaje usando técnicas pasivas de tolerancia a fallos	7	<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 checked="" 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"/>
27	2015		Modelización con Petri Net de una aplicación automática de diagnóstico y restauración de avería en sistema de distribución	7	<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 checked="" 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"/>
28	2014		A review of faults and fault diagnosis in micro-grids electrical energy infrastructure	14	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
29	2016		Fault diagnostics in smart micro-grids: A survey	111	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

DETECCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE FALLAS INTERNAS PARA SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS CONECTADOS A MICRO-REDES EN AC BASADO EN EL MÉTODO DE LA TRANSFORMADA DE PARK

ITEM	DATOS		TÍTULO DEL ARTÍCULO	CITAS	TEMÁTICA				FORMULACIÓN DEL PROBLEMA FUNCIONES OBJETIVO			RESTRICCIONES DEL PROBLEMA			PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA				SOLUCIÓN PROPUESTA		
	AÑO				Micro-redes híbridas	Transformada de Park	Detección e identificación de fallas	Convertidores de voltaje	FDI con Transformada de Park	Fallas internas	Tipo de falla	Análisis polar	Fallas internas en convertidores	Convertidores DC/AC	Métodos polares y transformadas	Transformada de Park	Medidas de corriente de salida	Simulación de micro-redes híbridas	Medición de variable eléctrica	Transformada de Park	Cálculo de valores polares
30	2012	Diagnosis methods for IGBT open switch fault applied to 3-phase AC/DC PWM converter	58	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
31	2007	Técnicas de detección y diagnóstico de fallos en máquinas eléctricas de inducción	21	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" 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"/>	
32	2020	Open-circuit fault diagnosis of NPC inverter IGBT based on independent component analysis and neural network	1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
33	2017	The enhancement of park current vectors technique for inverter fault detection	6	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
34	2020	Hybrid AC/DC microgrid (HMG) test system simulation (https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/73878-hybrid-ac-dc-microgrid-hmg-test-system-simulation).	3	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" 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"/>	
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
				33	4	18	33	4	28	28	7	29	25	12	3	26	26	28	3	4	27

9 Resumen de Indicadores

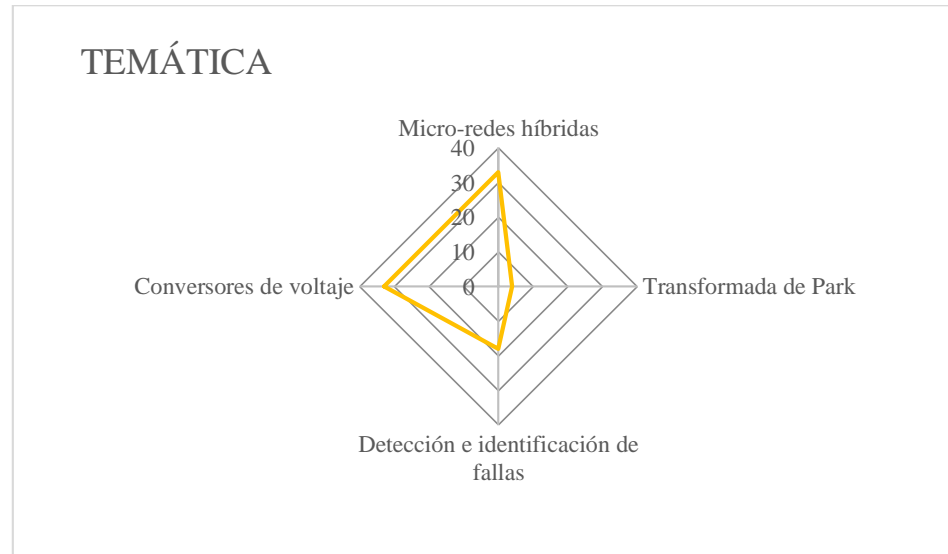


Figura 29. Resumen e indicador de la temática - Estado del arte

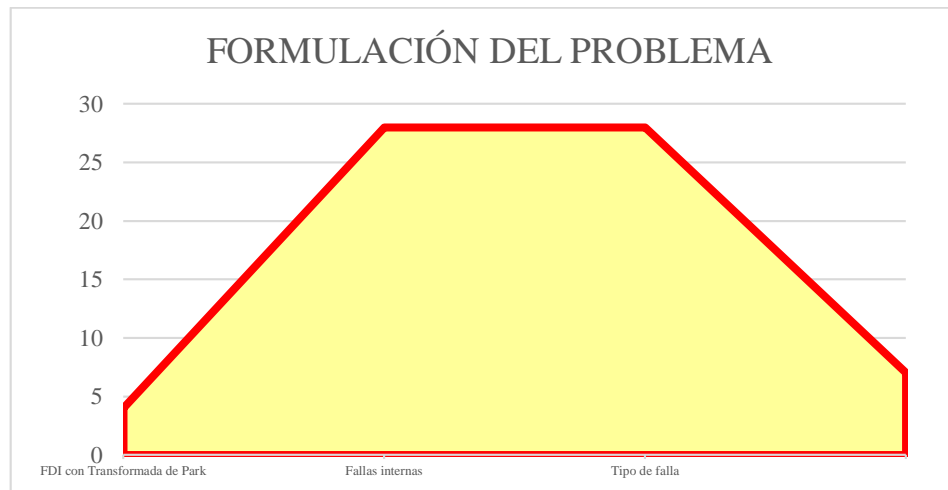


Figura 30. Indicador de formulación del problema - Estado del arte

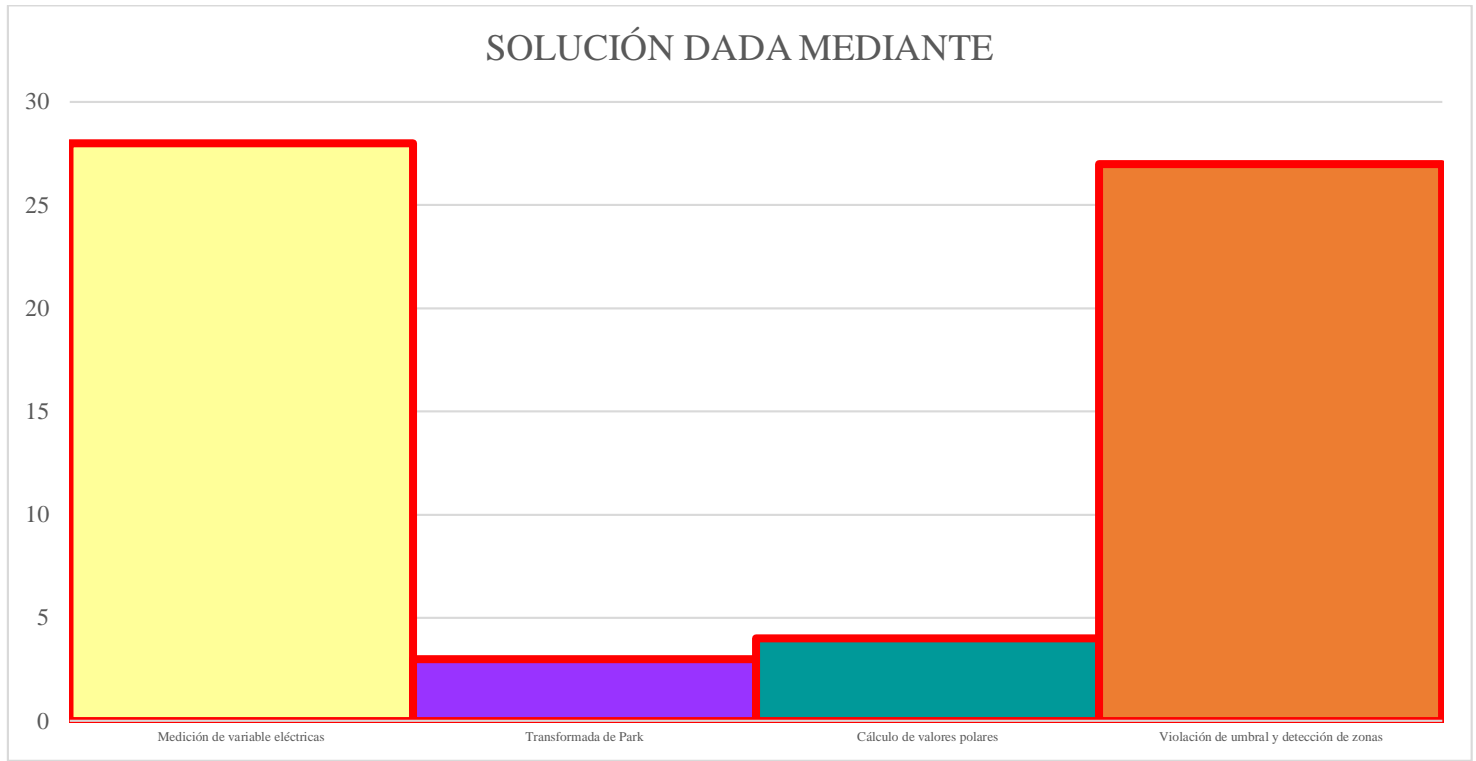


Figura 31. Indicador de solución - Estado del arte