

**MÉTODO DE DETECCIÓN FALLAS PARA SISTEMAS SOLARES
FOTOVOLTAICOS CONECTADOS A MICRO-REDES EN AC USANDO UN
OBSERVADOR POR MODO DESLIZANTE**

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

**CARRERA:
INGENIERÍA ELÉCTRICA**

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

**TEMA:
MÉTODO DE DETECCIÓN FALLAS PARA SISTEMAS SOLARES
FOTOVOLTAICOS CONECTADOS A MICRO-REDES EN AC USANDO UN
OBSERVADOR POR MODO DESLIZANTE**

**AUTOR:
Criollo Zumba Pablo Esteban**

**DIRECTOR:
LEONY ORTIZ MATOS**

Quito, enero 2022

PABLO ESTEBAN CRIOLLO ZUMBA

MÉTODO DE DETECCIÓN FALLAS PARA SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS CONECTADOS A MICRO-REDES EN AC USANDO UN OBSERVADOR POR MODO DESLIZANTE

Universidad Politécnica Salesiana

Ingeniería Eléctrica

Breve reseña histórica e información de contacto.



Pablo Esteban Criollo Zumba (Y'1993). Realizó sus estudios de nivel secundario en el Colegio “Nuevo Ecuador” de la ciudad de Quito, donde obtuve el título de Bachiller Técnico Industrial en Instalaciones, Equipos y Máquinas Eléctricas. Egresado de la Carrera de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Politécnica Salesiana. Su trabajo se basa en desarrollo de un método de detección de fallas en sistemas solares fotovoltaicos en una Micro-red. pcriolloz@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

©2022 Universidad Politécnica Salesiana
QUITO - ECUADOR

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR/A

Yo, Leony Ortiz declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación Método de detección fallas para sistemas solares fotovoltaicos conectados a Micro-redes en AC usando un observador por modo deslizante realizado por Criollo Zumba Pablo Esteban, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerado como trabajo final de titulación.

Quito, enero 2022

.....


Leony Ortiz Matos

Cédula de identidad: 175423038-9

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, Criollo Zumba Pablo Esteban, con documento de identificación N° 1725505083, 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 titulación intitulado: Método de detección fallas para sistemas solares fotovoltaicos conectados a Micro-redes en AC usando un observador por modo deslizante, 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, enero 2022

A handwritten signature in black ink that reads "Pablo Esteban Criollo". The signature is written in a cursive style and is positioned above a horizontal dotted line.

Pablo Esteban Criollo Zumba

C.I: 17255050-3

ÍNDICE GENERAL

1. Introducción	2
2. Micro redes Eléctricas.....	3
3. Sistemas Solares Fotovoltaicos.....	4
4. Topologías.....	4
5. Sistema de detección de fallas.....	5
5.1. Observador de Modo Deslizante (SMO).....	5
6. Planteamiento del problema.....	5
7. Caso de Estudio y análisis de resultados.....	7
7.1. Caso 1: Operación Normal.....	8
7.2. Caso 2: Falla incipiente en voltaje	8
7.3. Caso 3: Falla Abrupta en Voltaje.....	9
7.4. Caso 4: Falla Incipiente en Corriente.....	9
7.5. Caso 5: Falla abrupta en Corriente.....	10
8. Conclusiones	10
9. Trabajos Futuros	11
10. Referencia	11
10.1. Estado del Arte.....	15
10.2. Resumen Indicadores	18

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. MG eléctrico	3
Figura 2. Modelo de identificación de fallos para Voltaje.....	5
Figura 3. Modelo de identificación de fallos para Corriente	5
Figura 4. Esquema del SMO planteado.....	6
Figura 5. Voltaje del Primario Real y Estimado	8
Figura 6. Corriente del Primario Real y Estimado.....	8
Figura 7. Residuo y Bandera de falla del Voltaje del Primario	8
Figura 8. Residuo y Bandera de falla de la Corriente del Primario	8
Figura 9. Voltaje del Primario Real y Estimado con Falla Incipiente	9
Figura 10. Residuo y Bandera de falla del Voltaje del Primario frente a una falla incipiente.....	9
Figura 11. Voltaje del Primario Real y Estimado con Falla Abrupta	9
Figura 12. Residuo y Bandera de falla del Voltaje del Primario frente a una Falla Abrupta.....	9
Figura 13. Corriente del Primario Real y Estimado con Falla Incipiente	10
Figura 14. Residuo y Bandera de falla de la Corriente del Primario frente a una Falla Incipiente.....	10
Figura 15. Corriente del Primario Real y Estimado con Falla Incipiente	10
Figura 16. Residuo y Bandera de falla de la Corriente del Primario frente a una Falla Abrupta.....	10

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Variables Utilizadas	6
Tabla 2. Funciones Utilizadas	6
Tabla 3. Pseudocódigo implementado para corriente	7
Tabla 4. Pseudocódigo implementado para voltaje.....	7

MÉTODO DE DETECCIÓN FALLAS PARA SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS CONECTADOS A MICRO-REDES EN AC USANDO UN OBSERVADOR POR MODO DESLIZANTE

Resumen

La presente investigación desarrolla un método de detección de fallos para sistemas solares fotovoltaicos conectados a Micro-redes Híbridas. El método planteado se basa en un modelo por observabilidad de modo deslizante, este método permite desarrollar la detección de fallas en sistemas no lineales que están expuesto a fallos. El estudio permite obtener los parámetros de diseño del observador y del sistema de detección de fallas. La investigación se implementó en un Micro-Red Híbrida tipo benchmark con funcionalidad normal y con la incorporación de fallas en el control primario del sistema solar fotovoltaico, tanto para la corriente como para el voltaje. Los resultados obtenidos fueron simulados y comparados antes diversos escenarios de fallas. La observancia de las salidas dinámicas del sistema (V y I) siendo el caso base el de operación normal, estos escenarios fueron simulados mediante el paquete informático Matlab/Simulink validando así el método de detección a fallas.

Palabras Clave: Micro-redes Híbridas, Observador de Modo Deslizante, Detección de fallas, Sistema Fotovoltaico.

Abstract

This research develops a fault detection method for solar photovoltaic (PV) systems connected to a Hybrid Micro Grid (HMG). The proposed method is based on a Sliding Mode Observer (SMO) model. This method allows the development of fault detection in nonlinear systems that are exposed to failures. The study allows to obtain the design parameters of the observer and of the fault detection system. The research was implemented in a benchmark HMG with normal operation and with the incorporation of faults in the primary control of PVs for both current and voltage. The results obtained were simulated and compared before different fault scenarios by observing the dynamic outputs of the system (V and I) being the base case the normal operation, these scenarios were simulated using the Matlab/Simulink software package, thus validating the fault detection method.

Keywords: Hybrid Microgrid, Sliding Mode Observer, Fault Detection, Photovoltaic system.

1. Introducción

La energía renovable ha sufrido en los últimos años un gran crecimiento con el fin de suplir la demanda energética, en especial la energía solar y eólica que son las más demandadas al momento de incrementar el sistema con el fin de reducir las contaminaciones que poseen las generadoras de electricidad tradicionales [1], [2]. La estimación de crecimiento que se hace para este tipo de energías renovables es de un 80% con respecto al 20% de todo el sistema de generación eléctrica [3].

Los sistemas solares fotovoltaicos (PVs) es una forma de generación de energía que ayuda a solventar la demanda de las diferentes formas de generación existentes (hidroeléctricas, térmicas, entre otras) [4].

La implementación de las nuevas formas de generación no convencionales ha llevado a tener Micro-Redes Híbridas (HMG) con el objetivo de autoabastecerse cubriendo su demanda de forma parcial o total [5], [6].

Para los PVs existen fallas eléctricas que pueden ser detectadas para su posterior corrección, para así no afectar al sistema eléctrico de potencia (SEP) con el fin de mantener los niveles de despacho eléctrico [5], [7].

Existen diferentes tipos de eventos que conducen a fallas en las Micro-Redes (MG) produciendo así desperfectos en cascadas de los componentes claves de la red abriendo un debate sobre el monitoreo y el posible manejo de la corrección de fallas que se pueden producir [5], [8]–[10].

A lo largo de estas dos últimas décadas se han venido dando investigaciones sobre la estimación de fallos del tipo no maliciosas como lo son las salidas parciales del modo incipiente y sensores sin salidas de modo abrupto para los PVs [8], [11]–[14].

Existen diferentes tipos de análisis para la detección de fallas en PVs

dependiendo de su origen, se busca analizar los diferentes tipos de fallos que puedan producirse al inicio de una falla, para [15] una de estas características sería el voltaje que se produce cuando ocurre un cortocircuito, para este tipo de falla utiliza el control tolerante a fallas, pero el coste del sistema se eleva considerablemente.

En [16] el autor describe que el método para detección de fallas está ligado a la comparación de los parámetros de operación normales y con fallas en el módulo fotovoltaico en donde las deformaciones en la curva de I-V se ven notablemente.

Estos márgenes son calculados a partir de una comparación entre las medidas en un sistema normal y ante una falla donde se obtendrán valores mínimo y máximo para considerar una falla en el sistema [16].

De igual manera en [17] el método para detección de fallas está basado en tres categorías: métodos basados en el procesamiento de señales, métodos basados en el historial de procesos y métodos basados en modelos cuantitativos dirigidos al lado de DC.

Para [18] considera fallos a los diferentes tipos de malfuncionamientos que posee el sistema de PVs y que el sistema de detección reconoce el tipo de falla y con un tiempo de reacción rápida, el método empleado esta categorizado en diferentes parámetros pero siempre en tres variables como los es el voltaje, corriente y potencia de salida.

En [19] hace referencia a la cantidad de ruido que este sistema pueda producir deteriorando la capacidad de detectar las fallas que se pueda producir, el método de detección enfocado es de carácter robusto que pueda mitigar la influencia del ruido que el sistema posee para ello monitorea el lado de corriente continua mediante una representación multiescala de wavelets teniendo como resultado aislar en su mayor parte este tipo de ruido del

sistema y la detección de la anomalía en el lado de corriente continua.

La presente investigación pretende desarrollar una estrategia para la detección de fallas internas en los PVs los cuales se encuentran conectados a las HMG en AC, se utiliza un método por observabilidad de estados en este caso que pretenden estimar las salidas del sistema llamado Observadores de modo Deslizantes (SMO).

En una primera instancia se determinará el modelo de planta del sistema para posteriormente adecuar el SMO, el modelo será evaluado mediante el paquete informático Matlab/Simulink implementado un módulo de fallas con el fin de ser detectadas con el sistema en operación normal y la comparación de su operación ante una falla tenido así un margen de operabilidad en el cual detectará la falla con la que se está produciendo.

2. Micro redes Eléctricas

Las redes micro eléctricas (MG) actualmente vienen implementadas con

soluciones más tecnológicas como la inclusión de energías no convencionales, con el fin de reducir el uso de fuentes energéticas derivadas del petróleo principalmente generadoras: hidráulicas, térmicas de gas y carbón, mejorando la huella de carbono que estos producen [4], [20].

Los impactos que se pueden producir al introducir este tipo de generación son analizados en [21] que establece que en una red pequeña tiene cambios muy importantes y dependiendo del tipo de generación que se esté introduciendo. El sistema de control para este tipo sistemas deben poseer estrategias control robustas, optimas, de detección e identificación de fallas y de tolerancia a fallas, esto con el objetivo de evitar desconexiones parciales o totales [20], [22]–[26].

Una micro red eléctrica está constituida por fuentes de generación no convencionales y convencionales en su mayor parte con el propósito de mejorar los índices de confiabilidad y la calidad implementación de nuevos dispositivos como cocinas de inducción [2], [8], [20], [25], [27], [28].

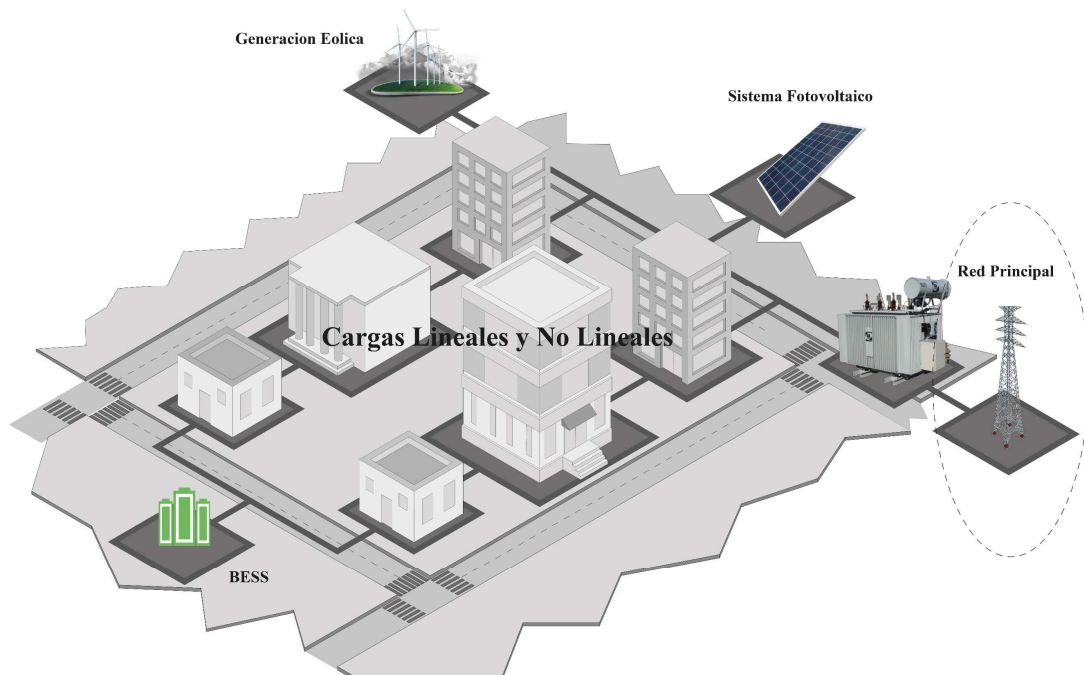


Figura 1. MG eléctrico

Para [29] las unidades de generación distribuida están en una coordinación para el aumento de la fiabilidad del sistema mediante un punto de acoplamiento común (PCC). La operación puede ser en modo isla que consiste en tener su propia fuente de generación, adicionales a las que estén conectadas en la red, con el fin de ser autosustentable ante una emergencia que pueda ocurrir [20].

Los PVs son un sistemas de generación actual que pueden conformar el SEP con el fin de elevar la generación eléctrica que año a año se va incrementando [30].

Para el control de este tipo de sistemas de generación en [31] hace hincapié en la eficiencia y la potencia de generación que este produce mediante la localización de parámetros adecuados de máximo aprovechamiento de los paneles solares.

Estas MG deben estar estrictamente controladas según [27] los controles dependerán de la complejidad en cuanto a su modelización y simulación para así asegurar el funcionamiento de forma estable y continua para [32] la elaboración de un modelo de reconfiguración para la tolerancia a fallos para su sistema de distribución elevaría estos indicadores.

3. Sistemas Solares Fotovoltaicos

Los sistemas solares fotovoltaicos (PVs) utiliza la radiación solar para generar electricidad a la MG. Su construcción se basa en polímeros y semiconductores además de la incorporación de una material captador de las radiaciones emitidas por el sol [33]. Entre las fallas más comunes dentro de los PV se encuentra: Fallas en las celdas, en el módulo, y en el diodo de By-Pass [30].

Fallas en las celdas estas pueden ser de apertura o cortocircuito de las celdas,

fallas en los puntos calientes y por degradación [34].

Fallas en el módulo estas consideran por fallas de manufactura del PV que consiste en rupturas en el vidrio del panel que pueden ser producidas por el accionamiento mecánico [34].

Fallas en el diodo de By-Pass estas fallas se producen por un cortocircuito o una abertura de circuito, cuando se produce por una apertura en el circuito este sufre puntos calientes mientras que por cortocircuito disminuye la eficiencia de la generación [34].

Los PVs poseen diferentes tipos de fallas desde fallos por degradado de sus elementos, fallos malintencionados y fallos de sensado, siendo este último a ser analizados mediante las fallas de sensado parciales de modo incipientes y sensor sin salida de modo abrupta.

Donde las fallas de salida parcial de modo incipientes tienen como ecuación la siguiente forma:

$$v_{sen}(t) = v(t) + v_{offset}(t) \quad (1)$$

Las fallas de sensor sin salida de modo abrupta tienen la siguiente ecuación:

$$v_{sen}(t) = 0, \forall t > t_f; \quad (2)$$

4. Topologías

Los SEP tienen configuraciones distintas como pueden ser en anillo simple y doble, bus, malla, entre otros, debido a los diferentes dispositivos que este lo conforme para así formar subsistemas aún más pequeños con autonomía propia [20], [27].

La combinación de sistemas en AC y DC proporcionan una ventaja como se muestra en donde las redes en AC con otra de tipo DC ayudan la interconexión con diferentes dispositivos o unidades de generación distribuida (DG) [35], [36].

5. Sistema de detección de fallas

Para [37] los sistemas de detección a fallas representan una de las etapas más importantes en el sistema de supervisión, debido a que un malfuncionamiento puede llegar a producir daños graves, pérdidas económicas, entre otras.

Para el diseño de un sistema de detección de fallos existe métodos de estimación de estados como los son los observadores difusos [38], redes neuronales [39], observador por modo deslizante [40], todos estos métodos tienen una respuesta rápida en la convergencia del sistema y del observador propuesto.

5.1. Observador de Modo Deslizante (SMO)

Un observador es un estimador de estados que puede ser lineal o no línea teniendo en cuenta que, para sistemas no lineales el SMO es una de las mejores opciones debido a las operaciones matemáticas que estos sistemas poseen tanto para sistemas continuos y discretos [41]–[43], ya que las operaciones se vienen simplificando por el modelo en espacio de estados para así poder trabajar con un modelo matricial.

Un SMO debe ser lo suficientemente veloz para estimar el estado siguiente del sistema, debido a las perturbaciones propias del sistema el SMO debe contemplar estas variables con el fin de que el error sea el menor en un tiempo sumamente corto [44], [45],

Debido a que los sistemas poseen un numero alto de estados a ser estimados el observador puede reducir estos estados sin reducir la efectividad de la identificación del sistema [46].

Para [47] el SMO de segundo orden tiene como ventaja el tiempo de convergencia con el sistema original, debido a la mitigación que posee el observador con el fin de estimar de manera rápida el sistema propuesto. En la

Figura 2 y 3 se muestra el diseño del sistema generación de residuo (error) usado posteriormente para la detección fallas. El presente estudio utiliza las variables de voltaje y corriente.

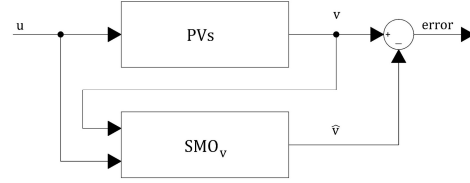


Figura 2. Modelo de generación de residuo para la detección de fallos: caso de voltaje

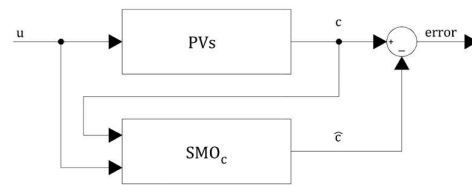


Figura 3. Modelo de generación de residuo para la detección de fallos: caso de corriente

6. Planteamiento del problema

En esta sección se describe la problemática a dar solución mediante la identificación de variables a ser analizadas con el fin de proponer un sistema de detección a fallos.

6.1. Diseño del Observador

Considerando un sistema lineal descrito en modelo de espacio de estados:

$$\begin{aligned} \dot{x}(t) &= Ax(t) + Bu(t) \\ y(t) &= Cx(t) \end{aligned} \quad (3)$$

Donde $A \in \mathbb{R}^{n \times n}$, $B \in \mathbb{R}^{m \times n}$ y $C \in \mathbb{R}^{p \times n}$, representan respectivamente a la matriz de estado, la matriz de variables de entradas, y la matriz de variables de salidas.

Restricción: Que las matrices A , C tenga el criterio de Observabilidad, además de que $n > p$, para que sea posible el diseño del observador.

Para poder realizar el diseño del observador se considera una transformación de coordenadas asociada a la matriz invertida:

$$T_c = \begin{bmatrix} N_c^T \\ C \end{bmatrix} \quad (4)$$

Donde la matriz $N_c \in \mathbb{R}^{n \times (n-p)}$ abarca el espacio nulo de C , cumpliendo como regla que $\det(T_c) \neq 0$.

Aplicando esta matriz de coordinación a las matrices A, B, C de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} T_c A T_c^{-1} &= \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{bmatrix}, T_c B \\ &= \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \end{bmatrix}, C T_c^{-1} \\ &= [0 \ I_p] \end{aligned} \quad (5)$$

Donde $A_{11} \in \mathbb{R}^{(n-p) \times (n-p)}$, $B_1 \in \mathbb{R}^{(n-p) \times m}$, el modelo del observador se describe de la siguiente representación del sistema en espacio de estados:

$$\begin{aligned} \hat{\dot{x}}(t) &= A \hat{x}(t) + B u(t) + G_n v \\ \hat{y}(t) &= C \hat{x}(t) \end{aligned} \quad (6)$$

Donde (\hat{x}, \hat{y}) son los estimados de (x, y) y v es el termino de inyección discontinua

El término v se define por componentes de la siguiente forma:

$$v = \rho \text{sign}(e_{y,i}) \quad i = 1, 2, \dots, p \quad (7)$$

Donde ρ es un escalar positivo y $e_{y,i}$ es el error entre \hat{y}, y .

La ganancia G_n se conforma de la siguiente manera:

$$G_n = \begin{bmatrix} L \\ -I_p \end{bmatrix} \quad (8)$$

Donde $L \in \mathbb{R}^{(n-p) \times p}$ representa la libertad del diseño por lo cual debe cumplir la siguiente restricción:

Que la expresión $A_{11} + L A_{21}$ tienda alejarse del valor de 0 es decir que la ubicación de los polos sea ubicada en la parte izquierda del semiplano, el modelo planteado se lo puede observar en la Figura 4.

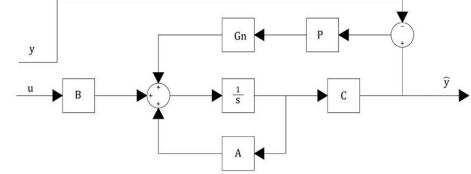


Figura 4. Esquema del SMO planteado

6.2. Método de detección de fallas

Dado que el sistema posee un conjunto de datos que puede ser medidos como los son las salidas del convertidos AC/DC y las entradas que posee el sistema de control de los PVs que son la magnitud y el ángulo que son alimentados.

En la tabla 1 se muestra las variables que se usaran para desarrollar el método planteado

Tabla 1. Variables Utilizadas

Nombre	Característica
<i>Data_U</i>	Entradas del sistema
<i>Data_Y</i>	Salidas del sistema
<i>n</i>	Estados estimados
<i>m</i>	Cantidad de entradas
<i>p</i>	Cantidad de salidas
T_c	Matriz de Coordinación
A_c	Matriz de estados A
B_c	Matriz de entradas B
C_c	Matriz de salidas C
<i>L</i>	Ganancia del observador libre
G_n	Ganancia
<i>v</i>	términos de inyección discontinua
<i>err</i>	Residuo de observadores

Las funciones y el algoritmo para el diseño del sistema de detección de fallas se muestran en las tablas 3 y 4.

Las simulaciones correspondientes se las realiza mediante el programa MATLAB/SIMULINK, debido al orden del espacio de estados se desarrolla dos observadores uno para la Corriente y el Voltaje trifásica del primario.

Tabla 2. Funciones utilizadas

Nombre	Descripción
--------	-------------

<i>ident</i>	Permite la obtención de las matrices del sistema de espacio de estados
function_SMO_C	Obtiene los parámetros del observador de Corriente
function_SMO_V	Obtiene los parámetros del observador de Voltaje

Tabla 3. Pseudocódigo implementado para corriente

Algoritmo 2: Algoritmo de detección de fallos basado en SMO para corriente	
Paso 1:	Entradas: [Mag, Angle, Corriente_out]
Paso 2:	Salidas: {residuo, flagfault, system, Observer}
Paso 3:	Inicialización: [A, B, C, D] ← []
Paso 4:	Asignación: [A, B, C, D] ← <i>funcion ident</i>
Paso 5:	Cálculo de parámetros del Observador [L, G _n , ρ] ← <i>funcion_SMO_C</i>
Paso 6:	Cálculo de error $err = \hat{y} - y$ Comparación de umbrales de operación Si $err > \text{Umbral}$ Mostrar (“Falla Incipiente”) Flag=1
Paso 7:	Sino Mostrar (“Falla Abrupta”) Flag=1 Fin si
Paso 8:	Retorno {residuo, flagfault, system, Observer}

Tabla 4. Pseudocódigo implementado para voltaje

Algoritmo 3: Algoritmo de detección de fallos basado en SMO para voltaje	
Paso 1:	Entradas: [Mag, Angle, Corriente_out]
Paso 2:	Salidas: {residuo, flagfault, system, Observer}
Paso 3:	Inicialización: [A, B, C, D] ← []
Paso 4:	Asignación: [A, B, C, D] ← <i>funcion ident</i>
Paso 5:	Cálculo de parámetros del Observador [L, G _n , ρ] ← <i>funcion_SMO_C</i>
Paso 6:	Cálculo de error $err = \hat{y} - y$ Comparación de umbrales de operación Si $err > \text{Umbral}$ Mostrar (“Falla Incipiente”) Flag=1
Paso 7:	Sino Mostrar (“Falla Abrupta”) Flag=1 Fin si
Paso 8:	Retorno {residuo, flagfault, system, Observer}

7. Caso de Estudio y análisis de resultados

Para el caso de estudio se plantea una MG Híbrida conectado en AC tipo benchmark que estará compuesto por: dos paneles PVs, dos sistemas de almacenamiento de energía (BESS), las cual cuentan con convertidores para su conexión con la MG, posee un generador de Diesel, cargas lineales y no lineales [20], [27], [48].

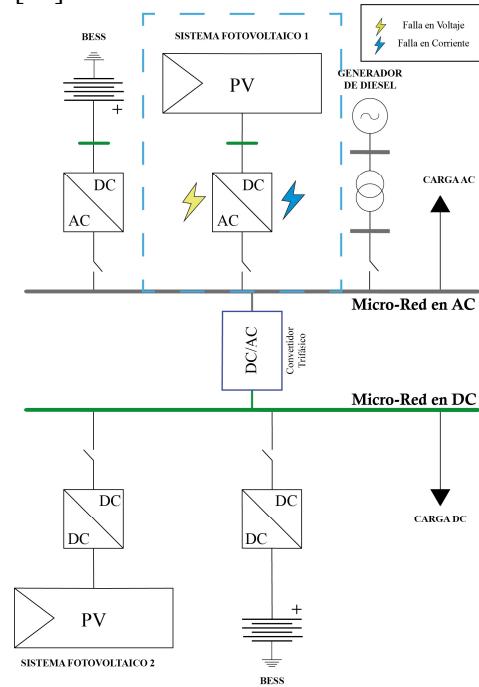


Figura 5. Diagrama de MG AC/DC para el caso de estudio

Para poder realizar los análisis pertinentes se considera 5 casos de estudio para la operación de la MR, uno de ellos se lo realizará en estado normal sin intervención de fallas, el segundo y tercer caso será introducida una falla del tipo incipiente tanto en el voltaje y la corriente de entrada del convertidor DC/AC del PVs, para el cuarto y quinto caso el tipo de fallo será abrupta de igual manera en el voltaje y la corriente del convertidor.

En esta sección se muestra el análisis de los diferentes casos que se han propuesto en el apartado anterior. Siendo el caso uno el escenario de operabilidad normal mientras que los otros cuatro casos restantes se introducen las fallas tanto en la entrada de voltaje y corriente del convertidor.

7.1. Caso 1: Operación Normal

En este primer escenario se plantea una demanda de la MG como alta y en condiciones normales es decir sin afectación de falla alguna al sistema.

En la Figura 6 y 7 muestra el comportamiento del sistema con relación al comportamiento del SMO propuesto para el voltaje y la corriente del controlador primario del Pvs.

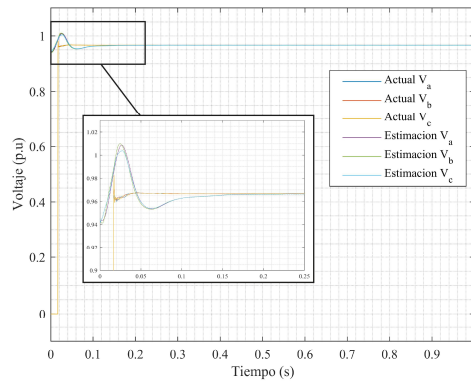


Figura 6. Voltaje del Primario Real y Estimado

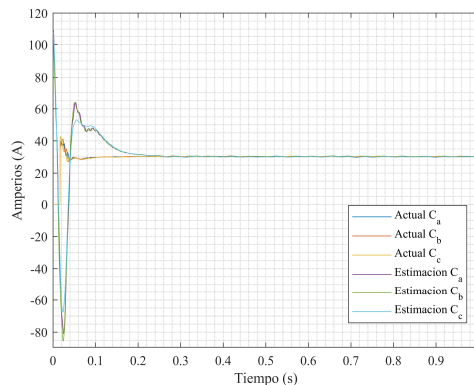


Figura 7. Corriente del Primario Real y Estimado

Del mismo modo en la Figura 8 y 9 muestra el residuo que tiende a cero debido a la similitud entre el sistema y el SMO tanto para el voltaje y la corriente.

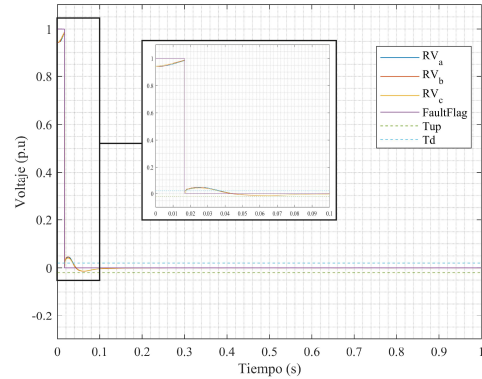


Figura 8. Residuo y Bandera de falla del Voltaje del Primario

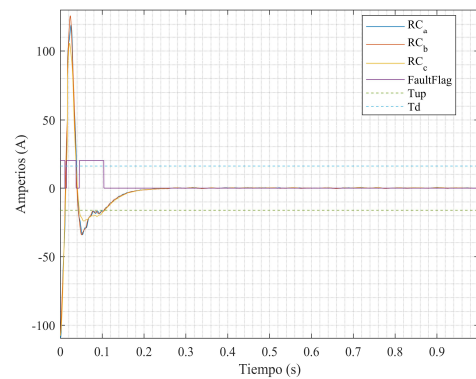


Figura 9. Residuo y Bandera de falla de la Corriente del Primario

En la Figura 8 y 9 presenta picos de cambios debido al estado transitorio del sistema hasta llegar a estabilizarse alrededor de los 0.2 segundos.

7.2. Caso 2: Falla incipiente en voltaje

Para este caso se plantea introducir una falla de sensado parcial de modo incipiente en el voltaje del controlador primario.

La Figura 10 muestra el comportamiento del sistema y del SMO ante el fallo propuesto del voltaje en p.u.

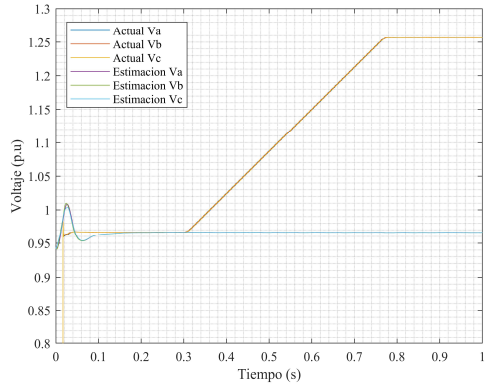


Figura 10. Voltaje del Primario Real y Estimado con Falla Incipiente

En la Figura 11 muestra el sistema de detección de fallas con los umbrales de operación normales (T_{up} , T_d) y el levantamiento de la bandera de falla (FaultFlag) dada por la falla, de igual manera se muestra el residuo generado entre el sistema y el SMO (RV_a, RV_b, RV_c).

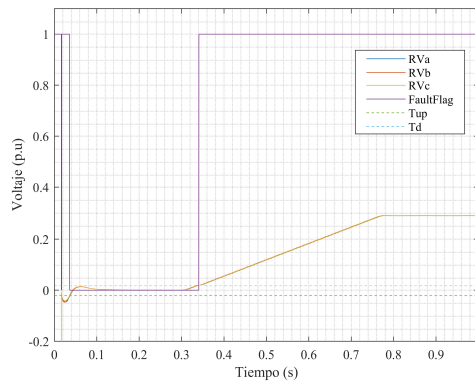


Figura 11. Residuo y Bandera de falla del Voltaje del Primario frente a una falla incipiente

En este tipo de fallo se observa que el umbral máximo de operación (T_{up}) es alcanzado por las señales del residuo de voltaje disparando así la bandera de fallo en un tiempo aproximado de 0.33 segundos.

7.3. Caso 3: Falla Abrupta en Voltaje

Para este caso a diferencia del caso 2 el fallo propuesto será un fallo de sentido sin salida en modo abrupto.

La Figura 12 muestra el comportamiento del sistema y del SMO

en voltios p.u ante el fallo propuesto que es considerablemente notorio.

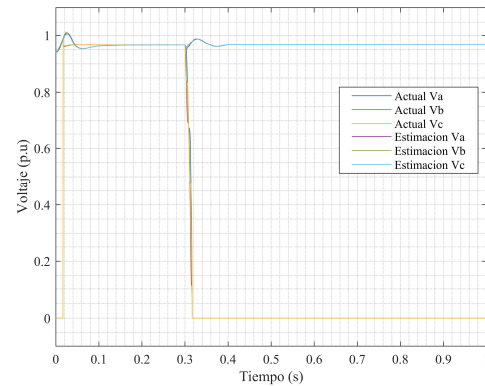


Figura 12. Voltaje del Primario Real y Estimado con Falla Abrupta

De igual manera que el caso 2 la Figura 13 muestra el residuo y el levantamiento de la bandera de fallo para el voltaje del controlador primario del Pvs.

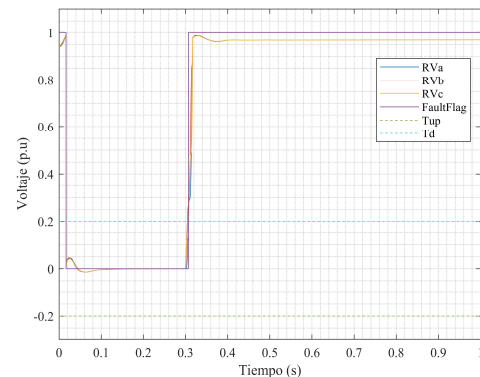


Figura 13. Residuo y Bandera de falla del Voltaje del Primario frente a una Falla Abrupta

7.4. Caso 4: Falla Incipiente en Corriente

Para este caso se plantea introducir una falla de sentido parcial de modo incipiente en la corriente del controlador primario del Pvs.

La Figura 14 muestra el comportamiento del sistema y del SMO ante el fallo propuesto en Amperios (A) presentando un comportamiento tipo rampa en el comportamiento real de la corriente y un estado parecido al normal para el SMO.

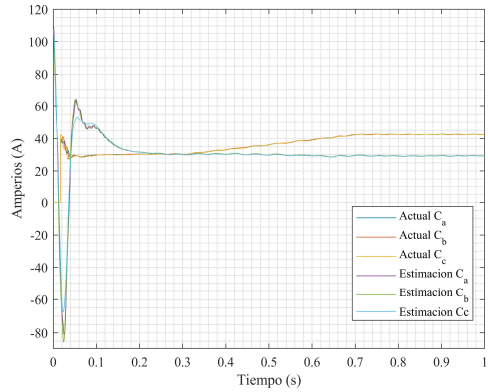


Figura 14. Corriente del Primario Real y Estimado con Falla Incipiente

En la Figura 15 muestra el sistema de detección de fallas con los umbrales de operación normales tanto máximos como mínimos (T_{up} , T_d) y el levantamiento de la bandera de falla (FaultFlag) dada por la falla, junto con el residuo entre el sistema y el SMO (RC_a , RC_b , RC_c).

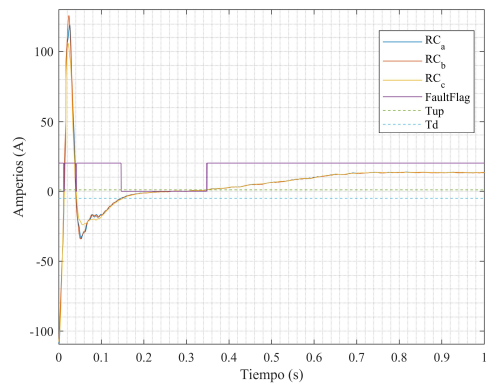


Figura 15. Residuo y Bandera de falla de la Corriente del Primario frente a una Falla Incipiente

7.5. Caso 5: Falla abrupta en Corriente

Dado que el caso 4 presento un fallo incipiente en la corriente del controlador primario, en este apartado se dará una falla abrupta de sensado.

De manera muy similar en el caso 4 la Figura 16 muestra la corriente del primario tanto real como la del SMO.

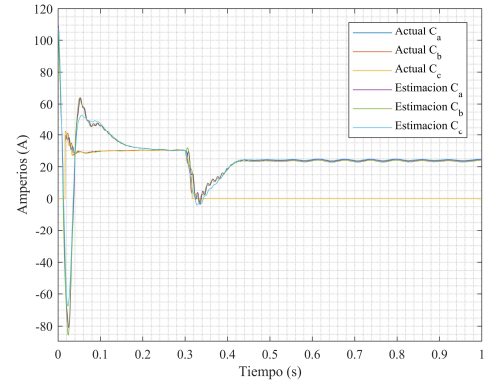


Figura 16. Corriente del Primario Real y Estimado con Falla Abrupta

La Figura 17 muestra el residuo como en el caso 4 declarando así la bandera de fallo ante los umbrales máximos y mínimos de operación.

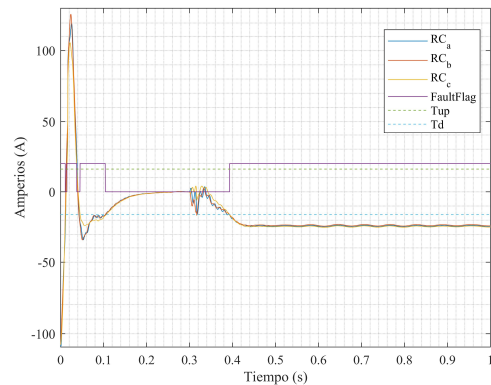


Figura 17. Residuo y Bandera de falla de la Corriente del Primario frente a una Falla Abrupta

8. Conclusiones

Se comprueba que el uso de un observador por modo deslizante permite diseñar un sistema de detección de fallas para un sistema solar fotovoltaico, debido a que a partir de sus mediciones de entradas y salidas del controlador primario del sistema solar fotovoltaico y mediante la teoría aplicada se obtiene una respuesta estimada del comportamiento del sistema así, de esta forma, si el sistema está expuesto a cualquier tipo de falla el observador tratará de asemejarse a al sistema en estado normal y será posible la identificación de la falla.

Se determina que el diagnosticador permite establecer la detección de fallos mediante el observador en modo deslizante debido a que los parámetros obtenidos para el diseño son los suficientemente capaces de converger teniendo un error mínimo de desviación.

Mediante el uso del observador en modo deslizante se determina que la estrategia de detección a fallas es capaz de identificar el fallo en los diferentes escenarios planteados mediante el residuo que es calculado entre el sistema y el observador, cabe resaltar que en los casos planteados anteriormente existe una bandera de falla inicial esto es resultado del transitorio que presenta el sistema y el observador hasta llegar a estabilizarse donde la bandera de fallo es desactivada.

9. Trabajos Futuros

El implemento de acciones de control y un sistema tolerante a fallos es de gran importancia para que en conjunto vuelvan a las condiciones normales de funcionamiento y no tengan un daño al sistema en general.

10. Referencia

- [1] M. Park and I. K. Yu, "A novel real-time simulation technique of photovoltaic generation systems using RTDS," *IEEE Trans. Energy Convers.*, vol. 19, no. 1, pp. 164–169, 2004, doi: 10.1109/TEC.2003.821837.
- [2] A. T. Aguila, L. M. Ortiz, and R. Orizondo, "Optimal Location and Dimensioning of Capacitors in Microgrids Using a Multicriteria Decision Algorithm," *Heliyon*, vol. 7, no. August, 2021, doi: 10.1016/j.heliyon.2021.e08061.
- [3] M. Agrawal, C. P. Agrawal, M. K. Rathore, and M. K. Pachariya, "Priority based strategic modes of operation and control for renewable energy sources micro-grid," *Mater. Today Proc.*, no. xxxx, 2020, doi: 10.1016/j.matpr.2020.09.415.
- [4] S. Hoyos, C. J. Franco, and I. Dyner, "Integración de fuentes no convencionales de energía renovable al mercado eléctrico y su impacto sobre el precio," *Ing. y Cienc.*, vol. 13, no. 26, pp. 115–146, 2017, doi: 10.17230/ingciencia.13.26.5.
- [5] J. L. Morejón Bastidas, "Localización de fallas en Microredes Eléctricas basado en un Modelo Markoviano," 2018.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] L. Ortiz, J. W. González, L. B. Gutierrez, and O. Llanes-Santiago, "A review on control and fault-tolerant control systems of AC/DC microgrids," *Heliyon*, vol. 6, no. 8, 2020, doi: 10.1016/j.heliyon.2020.e04799.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] J. L. M. Bastidas and L. O. Matos, "Localización de fallas en microredes eléctricas basado en un modelo Markoviano.," Universidad Politécnica Salesiana, 2018.
- [12] 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.
- [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] J. Zhang, A. K. Swain, and S. K. Nguang, *Robust Observer-Based Fault Diagnosis for Nonlinear Systems Using MATLAB®*, vol. 1994, no. Lmi. 2016.
- [15] X. Zhang, F. Wang, W. Ji, S. Qiao, and Y. Cao, "Fault tolerant control method for three-level photovoltaic inverter based on redundant voltage space vector," in *2017 36th Chinese Control Conference (CCC)*, Jul. 2017, pp. 9249–9253, doi: 10.23919/ChiCC.2017.8028830.
- [16] M. H. Ali, A. Rabhi, A. El Hajjaji, and G. M. Tina, "Real Time Fault Detection in Photovoltaic Systems," *Energy Procedia*, vol. 111, no. September 2016, pp. 914–923, 2017, doi: 10.1016/j.egypro.2017.03.254.
- [17] B. Zbib and H. Al Sheikh, "Fault Detection and Diagnosis of Photovoltaic Systems through I-V Curve Analysis," *2nd Int. Conf. Electr. Commun. Comput. Eng. ICECCE 2020*, no. June, pp. 12–13, 2020, doi: 10.1109/ICECCE49384.2020.9179390.
- [18] K. H. Chao, S. H. Ho, and M. H. Wang, "Modeling and fault diagnosis of a photovoltaic system," *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 78, no. 1, pp. 97–105, 2008, doi: 10.1016/j.epsr.2006.12.012.
- [19] F. Harrou, B. Taghezouit, and Y. Sun, "Robust and flexible strategy for fault detection in grid-connected photovoltaic systems," *Energy Convers. Manag.*, vol. 180, no. June 2018, pp. 1153–1166, 2019, doi: 10.1016/j.enconman.2018.11.022.
- [20] 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. 3, 2020, doi: 10.1016/j.heliyon.2020.e03559.
- [21] G. R. Pedroza Astudillo, "Análisis del impacto en transitorios y niveles de tensión relacionados con la conexión de micro-redes eléctricas al sistema de distribución," pp. 1–126, 2017.
- [22] M. M. Morato, D. J. Regner, P. R. C. Mendes, J. E. Normey-Rico, and C. Bordons, "Fault Analysis, Detection and Estimation for a Microgrid via H2/H ∞ LPV Observers," *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 105, no. August 2018, pp. 823–845, 2019, doi: 10.1016/j.ijepes.2018.09.018.
- [23] J. R. Collaguazo Solís and L. Ortiz Matos, "Control de voltaje óptimo para sistemas de almacenamiento de energía de batería (BESS) acoplados a microrredes de AC utilizando algoritmos LQG," 2020, [Online]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/19171>.
- [24] D. R. Cruz Alvarez and L. Ortiz Matos, "Control de sistema de distribución eléctrica usando técnica descubrimiento de patrón (Pattern discovery technique)," Universidad Politécnica Salesiana, 2017.
- [25] L. Ortiz Matos, L. B. Gutierrez Zea, J. W. González Sanchez, and A. Águila 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.
- [26] 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.
- [27] L. Ortiz, R. Orizondo, A. Águila, J. W. González, G. J. López, and I. Isaac, "Hybrid AC/DC microgrid test system simulation: grid-connected mode," *Heliyon*, vol. 5, no. 12, 2019, doi: 10.1016/j.heliyon.2019.e02862.
- [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] D. E. Olivares *et al.*, “Trends in microgrid control,” *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 5, no. 4, pp. 1905–1919, 2014, doi: 10.1109/TSG.2013.2295514.
- [30] W. Chine, A. Mellit, A. M. Pavan, and V. Lughi, “Fault diagnosis in photovoltaic arrays,” *5th Int. Conf. Clean Electr. Power Renew. Energy Resour. Impact, ICCEP 2015*, pp. 67–72, 2015, doi: 10.1109/ICCEP.2015.7177602.
- [31] L. Zhengxi *et al.*, “The Control Method and Design of Photovoltaic Tracking System,” *Proc. - 2015 6th Int. Conf. Intell. Syst. Des. Eng. Appl. ISDEA 2015*, pp. 838–841, 2016, doi: 10.1109/ISDEA.2015.210.
- [32] L. O. Matos and J. W. G. Sanchez, “Reconfiguration strategy for Fault Tolerance of power Distribution Systems using Petri net,” *2016 IEEE Ecuador Tech. Chapters Meet. ETCM 2016*, 2016, doi: 10.1109/ETCM.2016.7750820.
- [33] 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.
- [34] J. C. Gomez, D. Tourn, S. Nesci, and G. R. Zamarillo, “PV cells protection by using class PV fuses,” *IEEE Lat. Am. Trans.*, vol. 11, no. 1, pp. 531–537, 2013, doi: 10.1109/TLA.2013.6502857.
- [35] A. Águila, L. Ortiz, R. Orizondo, and G. López, “Optimal location and dimensioning of capacitors in microgrids using a multicriteria decision algorithm,” *Heliyon*, vol. 7, no. 9, p. e08061, 2021, doi: 10.1016/j.heliyon.2021.e08061.
- [36] D. Carrión and L. Ortiz, “Generación distribuida a partir de bicicletas estáticas y sistemas híbridos,” *Ingenius*, vol. 10, pp. 44–48, 2013.
- [37] L. L. Hurtado-Cortés, E. Villarreal-López, and L. Villarreal-López, “Detección y diagnóstico de fallas mediante técnicas de inteligencia artificial, un estado del arte,” *DYNA*, vol. 83, no. 199, pp. 19–28, 2016, doi: 10.15446/dyna.v83n199.55612.
- [38] Z. Duan, I. Ghous, and J. Shen, “Fault detection observer design for discrete-time 2-D T-S fuzzy systems with finite-frequency specifications,” *Fuzzy Sets Syst.*, vol. 392, pp. 24–45, 2020, doi: 10.1016/j.fss.2019.05.004.
- [39] Z. hua Ye, H. jie Ni, D. Zhang, and H. xin Xue, “Neural network-based fault detection for nonlinear networked systems with uncertain medium access constraint: Application to motor systems,” *ISA Trans.*, vol. 111, no. xxxx, pp. 211–222, 2021, doi: 10.1016/j.isatra.2020.11.003.
- [40] Y. Shtessel, C. Edwards, L. Fridman, and A. Levant, *Sliding mode control and observation*. 2014.
- [41] B. Giraldo Osorio, “Observador de estado mediante modos deslizantes de alto orden para procesos no lineales = state observer using high order sliding modes to nonlinear process,” p. 50, 2012, [Online]. Available: <http://www.bdigital.unal.edu.co/7188/>.
- [42] B. Hou, J. Liu, F. Dong, M. Wang, and A. Mu, “Sliding mode control strategy of voltage source inverter based on load current sliding mode observer,” *2016 IEEE 8th Int. Power Electron. Motion Control Conf. IPEMC-ECCE Asia 2016*, pp. 1269–1273, 2016, doi: 10.1109/IPEMC.2016.7512471.
- [43] O. Datcu, M. Stanciu, and R. M. Udrea, “Secret speech transmission using a high order sliding mode observer,” *2017 40th Int. Conf. Telecommun. Signal Process. TSP 2017*, vol. 2017-Janua, pp. 161–164, 2017, doi: 10.1109/TSP.2017.8075959.
- [44] A. T. Vo, H. J. Kang, and V. C. Nguyen, “An output feedback tracking control based on neural sliding mode and high order sliding mode observer,” *Proc. - 2017 10th Int. Conf. Hum. Syst. Interact. HSI 2017*, no. 2, pp. 161–165, 2017, doi: 10.1109/HSI.2017.8005020.
- [45] Z. Ye, W. A. Zhang, D. Zhang, and H.

- Ni, "On design of robust sliding mode observer for nonlinear networked time-delay systems with communication constraints," *ISA Trans.*, no. xxxx, 2020, doi: 10.1016/j.isatra.2020.05.014.
- [46] P. Asthana, Arkdev, D. Narzary, and M. K. Sarkar, "Functional observer based higher order sliding mode control for DC-DC Buck converter," *RTEICT 2017 - 2nd IEEE Int. Conf. Recent Trends Electron. Inf. Commun. Technol. Proc.*, vol. 2018-Janua, pp. 1326–1330, 2017, doi: 10.1109/RTEICT.2017.8256814.
- [47] J. Davila, L. Fridman, and A. Levant, "Second-order sliding-mode observer for mechanical systems," *IEEE Trans. Automat. Contr.*, vol. 50, no. 11, pp. 1785–1789, 2005, doi: 10.1109/TAC.2005.858636.
- [48] L. Ortiz, R. Orizondo, A. Aguila, J. W. Gonz, I. Isaac, and J. L. Gabriel, "Hybrid AC/DC & DC microgrid test system simulation (<https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/73878-hybrid-ac-dc-dc-microgrid-test-system-simulation>)." MATLAB Central File Exchange, 2020.

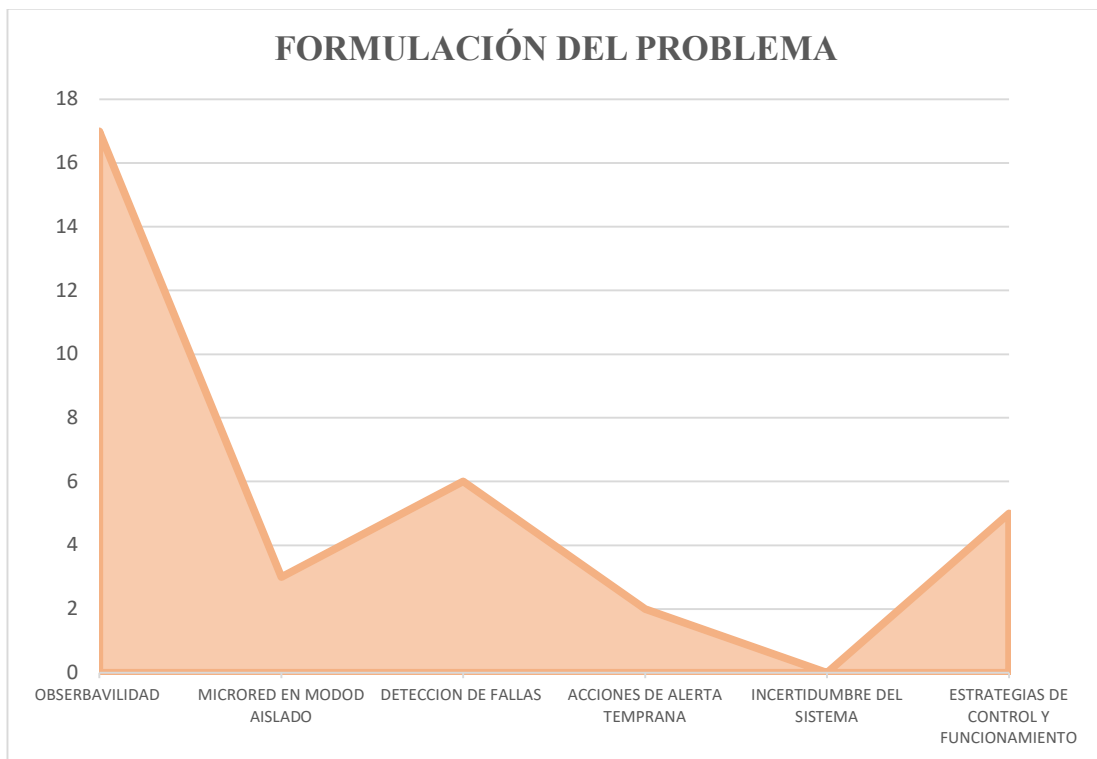
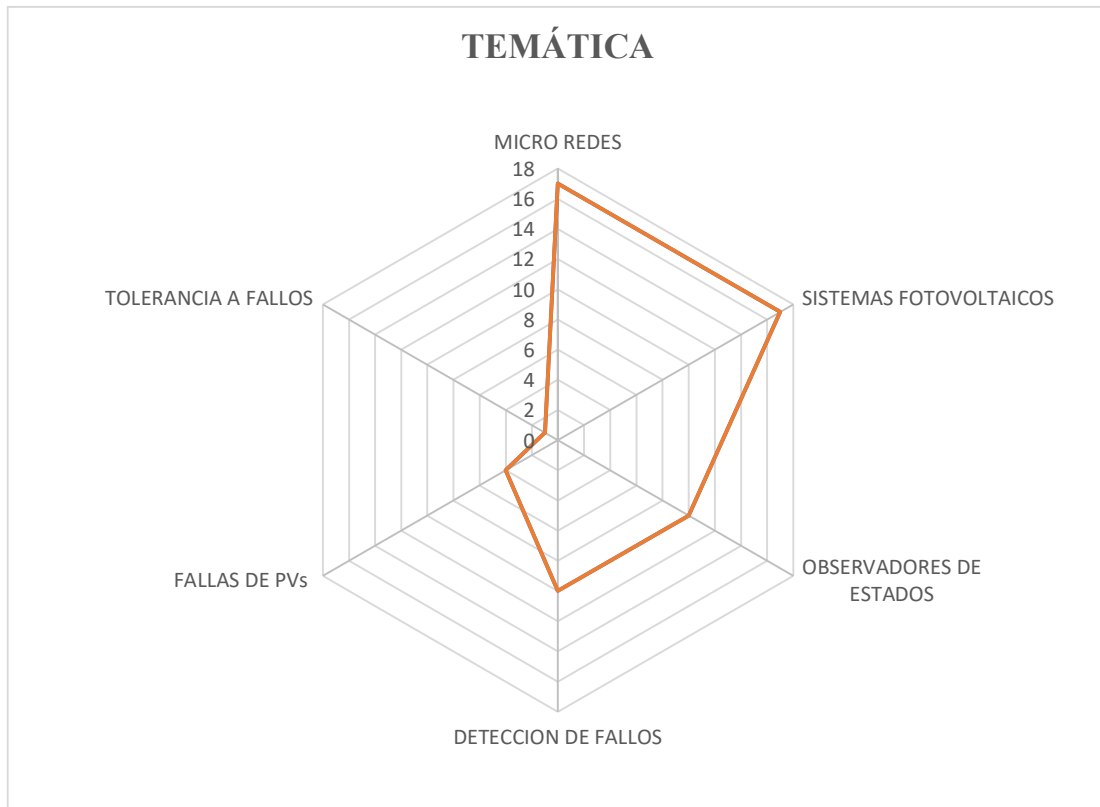
10.1. Estado del Arte

MÉTODO DE DETECCIÓN FALLAS PARA SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS CONECTADOS A MICRO-REDES EN AC USANDO UN OBSERVADOR POR MODO DESLIZANTE																																			
ITEM	DATOS				TEMÁTICA				FORMULACIÓN DEL PROBLEMA FUNCIONES OBJETIVO				RESTRICCIONES DEL PROBLEMA			PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA				SOLUCIÓN PROPUESTA															
	AÑO	TÍTULO DEL ARTÍCULO	CITAS	MICRO REDES	SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	OBSERVADORES DE ESTADOS	DETECCION DE FALLOS	FALLAS DE PVs	TOLERANCIA A FALLOS	OBSERVABILIDAD	MICRORED EN MODOD AISLADO	DETECCION DE FALLAS	ACCIONES DE ALERTA TEMPRANA	INCERTIDUMBRE DEL SISTEMA	ESTRATEGIAS DE CONTROL Y FUNCIONAMIENTO	FALLAS ADITIVAS	FALLA ABRUPTA	FALLA INCIPIETE	ROBUSTEZ	ESFUERZO DE PROCESAMIENTO	SMO	CONTROL POR SMO	REDES PETRI	SMO DE ALTO RODEN, SEGUNDO ORDEN	REDES NEURONALES	Observador difuso, WAVELTES	MODELOS MATEMÁTICOS	DETECCION DE FALLAS	CONTROL POR MODO DEZLIZANTE	OBSERVABILIDAD POR H2	DETECCION DE FALLAS POR OBSERVADOR DIFUSO	MODELACION DE SISTEME DE DETECCION A FALLOS	SMO DE ALTO RODEN, SEGUNDO ORDEN		
1	2020	Neural network-based fault detection for nonlinear networked systems with uncertain medium access constraint: Application to motor systems	1				☒			☒				☒	☒	☒									☒										
2	2021	Optimal location and dimensioning of capacitors in microgrids using a multicriteria decision algorithm	0	☒												☒		☒								☒									
3	2020	Fault detection observer design for discrete-time 2-D T-S fuzzy systems with finite-frequency specification	10				☒			☒			☒			☒	☒	☒							☒		☒		☒						
4	2020	Priority based strategic modes of operation and control for renewable energy sources micro-grid	0	☒	☒									☒						☒						☒		☒							
5	2020	On design of robust sliding mode observer for nonlinear networked time-delay systems with communication constraints	2				☒			☒									☒	☒	☒									☒					
6	2020	A novel strategy for dynamic identification in AC/DC microgrids based on ARX and Petri Nets	4	☒	☒														☒			☒		☒											
7	2020	Fault Detection and Diagnosis of Photovoltaic Systems through I-V Curve Analysis	229	☒	☒		☒					☒		☒		☒			☒							☒	☒						☒		
8	2019	Robust and flexible strategy for fault detection in grid-connected photovoltaic systems	25		☒	☒				☒						☒	☒		☒						☒		☒								☒
9	2019	Fault Analysis, Detection and Estimation for a Microgrid via H2/H LPV Observers	33	☒			☒			☒							☒		☒						☒		☒		☒						
10	2019	Hybrid AC/DC microgrid test system simulation: grid-connected mode	20	☒	☒																														

ITEM	DATOS		TEMÁTICA				FORMULACIÓN DEL PROBLEMA FUNCIONES OBJETIVO				RESTRICCIONES DEL PROBLEMA				PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA				SOLUCIÓN PROPUESTA																	
	AÑO	TÍTULO DEL ARTÍCULO	CITAS	MICRO REDES	SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	OBSERVADORES DE ESTADOS	DETECCION DE FALLOS	FALLAS DE PVs	TOLERANCIA A FALLOS	OBSERBABILIDAD	MICRORED EN MODOD AISLADO	DETECCION DE FALLAS	ACCIONES DE ALERTA TEMPRANA	INCERTIDUMBRE DEL SISTEMA	ESTRATEGIAS DE CONTROL Y FUNCIONAMIENTO	FALLAS ADITIVAS	FALLA ABRUPTA	FALLA INCIPIETE	ROBUSTEZ	ESFUERZO DE PROCESAMIENTO	SMO	CONTROL POR SMO	REDES PETRI	SMO DE ALTO RODEN, SEGUNDO ORDEN	REDES NEURONALES	Observador difuso, WAVELTES	MODELOS MATEMÁTICOS	DETECCION DE FALLAS	CONTROL POR MODO DEZLIZANTE	OBSERBABILIDAD POR H2	DETECCION DE FALLAS POR OBSERVADOR DIFUSO	MODELACION DE SISTEME DE DETECCION A FALLOS	SMO DE ALTO RODEN, SEGUNDO ORDEN			
11	2018	LOCALIZACIÓN DE FALLAS EN MICROREDES ELÉCTRICAS BASADO EN UN MODELO MARKOVIANO		☒	☒		☒					☒				☒	☒	☒								☒	☒									
12	2018	Functional Observer Based Higher Order Sliding Mode Control for DC-DC Buck Converter	394	☒		☒				☒	☒								☒	☒	☒			☒				☒						☒		
13	2017	Secret Speech Transmission Using a High Order Sliding Mode Observer	9			☒				☒									☒		☒			☒					☒							
14	2017	Integración de fuentes no convencionales de energía renovable al mercado eléctrico y su impacto sobre el precio	13	☒	☒																															
15	2017	An Output Feedback Tracking Control based on Neural Sliding Mode and High Order Sliding Mode Observer	17			☒				☒									☒	☒				☒	☒			☒								
16	2017	Real Time Fault Detection in Photovoltaic Systems	83	☒	☒		☒	☒		☒	☒	☒				☒										☒	☒								☒	
17	2017	Fault Tolerant Control Method for Three-Level Photovoltaic Inverter Based on Redundant Voltage Space Vector	6		☒		☒	☒							☒											☒	☒					☒				
18	2017	Análisis del impacto en transitorios y niveles de tensión relacionados con la conexión de micro-redes eléctricas al sistema de distribución	2	☒	☒														☒	☒																
19	2016	Sliding mode control strategy of voltage source inverter based on load current sliding mode observer	4							☒									☒					☒				☒							☒	
20	2015	The Control method and design of photovoltaic tracking system	3		☒										☒													☒								
21	2016	Reconfiguration Strategy for Fault Tolerance of Power Distribution Systems Using Petri Net	24	☒				☒								☒	☒	☒					☒										☒			
22	2016	Fault detection and diagnosis through artificial intelligence techniques, a state of art	2				☒				☒					☒	☒	☒							☒	☒										
23	2016	Robust Observer- Nonlinear Systems Diagnosis for Based Fault Using MATLAB	47	☒		☒	☒			☒		☒	☒	☒	☒				☒	☒	☒	☒		☒			☒	☒					☒	☒		☒
24	2016	Fault diagnostics in smart micro-grids: A survey	124	☒	☒		☒	☒		☒															☒							☒	☒			
25	2015	Fault diagnosis in photovoltaic arrays	28	☒	☒							☒														☒	☒							☒		
26	2015	Desarrollo de un algoritmo de interrelación para MicroRedes de distribución eléctrica	9	☒	☒																						☒	☒								

ITEM	DATOS		TEMÁTICA					FORMULACIÓN DEL PROBLEMA FUNCIONES OBJETIVO					RESTRICCIONES DEL PROBLEMA				PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA				SOLUCIÓN PROPUESTA													
	AÑO	TÍTULO DEL ARTÍCULO	CITAS	MICRO REDES	SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	OBSERVADORES DE ESTADOS	DETECCION DE FALLOS	FALLAS DE PV's	TOLERANCIA A FALLOS	OBSERVABILIDAD	MICRORED EN MODO AISLADO	DETECCION DE FALLAS	ACCIONES DE ALERTA TEMPRANA	INCERTIDUMBRE DEL SISTEMA	ESTRATEGIAS DE CONTROL Y FUNCIONAMIENTO	FALLAS ADITIVAS	FALLA ABRUPTA	FALLA INCIPIETE	ROBUSTEZ	ESFUERZO DE PROCESAMIENTO	SMO	CONTROL POR SMO	REDES PETRI	SMO DE ALTO RODEN, SEGUNDO ORDEN	REDES NEURONALES	Observador difuso, WAVELETES	MODELOS MATEMÁTICOS	DETECCION DE FALLAS	CONTROL POR MODO DEZLIZANTE	OBSERVABILIDAD POR H2	DETECCION DE FALLAS POR OBSERVADOR DIFUSO	MODELACION DE SISTEME DE DETECCION A FALLOS	SMO DE ALTO RODEN, SEGUNDO ORDEN	
27	2014	Sliding Mode Control and Observation	1965			☒			☒				☒		☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒				☒		☒					☒	☒	
28	2014	Trends in Microgrid Control IEEE-PES	2436	☒	☒																													
29	2012	Observador de Estado Mediante Modos Deslizantes de Alto Orden para Procesos no Lineales	3			☒			☒									☒	☒	☒			☒											
30	2008	Modeling and fault diagnosis of a photovoltaic system	264		☒	☒			☒		☒									☒			☒		☒	☒								
31	2005	Second-Order Sliding-Mode Observer for Mechanical Systems	1081			☒			☒									☒		☒									☒					☒
32	2004	A Novel Real-Time Simulation Technique of Photovoltaic Generation Systems Using RTDS	234		☒				☒																									

10.2. Resumen Indicadores



SOLUCIÓN DADA MEDIANTE

