



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

**CLASIFICACIÓN DE FALLAS EN LÍNEAS DE  
TRANSMISIÓN USANDO SEÑALES  
DISPERSAS BASADO EN EL  
RECONOCIMIENTO DE PATRONES PARA  
MEJORAR LA SEGURIDAD EN LOS  
SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA.**

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

AUTOR: JONATHAN MEDARDO TIPAN AREQUIPA

TUTOR: MILTON GONZALO RUIZ MALDONADO

Quito -Ecuador

2024

## CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Jonathan Medardo Tipan Arequipa con documento de identificación N° 1754127536 manifiesto que:

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

Quito, 18 de marzo del año 2024

Atentamente,



---

Jonathan Medardo Tipan Arequipa  
1754127536

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

Yo, Jonathan Medardo Tipan Arequipa con documento de identificación No. 1754127536, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del Artículo Académico: “Clasificación de fallas en líneas de transmisión usando señales dispersas basado en el reconocimiento de patrones para mejorar la seguridad en los sistemas eléctricos de potencia”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Eléctrico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

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

Quito, 18 de marzo del año 2024

Atentamente,



---

Jonathan Medardo Tipan Arequipa

1754127536

## CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Milton Gonzalo Ruiz Maldonado con documento de identificación N° 1714409065, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: CLASIFICACIÓN DE FALLAS EN LÍNEAS DE TRANSMISIÓN USANDO SEÑALES DISPERSAS BASADO EN EL RECONOCIMIENTO DE PATRONES PARA MEJORAR LA SEGURIDAD EN LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA, realizado por Jonathan Medardo Tipan Arequipa con documento de identificación N° 1754127536, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Artículo Académico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 18 de marzo del año 2024

Atentamente,



---

Ing. Milton Gonzalo Ruiz Maldonado, MSc  
1714409065

## ÍNDICE GENERAL

1	Introducción .....	2
2	Marco teórico .....	3
2.1	Señales en tiempo continuo de dos dimensiones.....	3
2.1.1	Señales digitales en tiempo continuo .....	4
2.1.2	Reconocimiento de patrones .....	4
2.2	Fallas en los sistemas eléctricos de transmisión.....	4
2.3	Métodos Utilizados para Localizar Fallas en sistemas eléctricos.....	5
2.3.1	Métodos utilizados .....	5
2.4	El Sensado Comprimido.....	6
3	Árbol de decisiones .....	7
3.1	Tipos de algoritmos que tiene un árbol de decisión.....	7
3.2	Creación de un árbol de decisión .....	7
3.3	Ventajas y desventajas del árbol de decisión.....	7
4	Planteamiento del problema .....	8
4.1	Diagrama de flujo de Potencia.....	8
5	Análisis de resultado .....	8
5.1	Caso de Estudio.....	9
	Caso 1: Simulación de fallas en el sistema IEEE de 39 barras .....	9
	Caso 2: Simulación de fallas en el sistema IEEE de 118 barras .....	9
5.2	Fallas generadas en líneas de transmisión.....	10
5.3	Funcionamiento del algoritmo .....	11
6	Conclusiones .....	16
6.1	Trabajos futuros.....	16
7	Referencias .....	17
7.1	Matriz de Estado del Arte.....	19

7.2	Resumen de Indicadores .....	22
-----	------------------------------	----

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Señal en tiempo continuo.....	3
Figura 2.	Ejemplo de corto circuito.....	5
Figura 3.	Protección en línea de transmisión .....	5
Figura 4.	Diagrama simple de un Árbol de decisiones .....	7
Figura 5.	Diagrama de Flujo de clasificación de fallas .....	8
Figura 6.	Esquema IEEE de 39 barras.....	9
Figura 7.	Esquema IEEE de 118 barras.....	10
Figura 8.	Falla de cortocircuito trifásico la línea LT4_14 de Transmisión.....	10
Figura 9.	Simulación de cortocircuito trifásico .....	11
Figura 10.	Leyenda de cortocircuito trifásico .....	11
Figura 11.	Señales eléctricas en estado estable o sin falla .....	11
Figura 12	Señales comprimidas en forma de átomos de estado estable o sin falla.....	12
Figura 13.	Señales eléctricas de Cortocircuito trifásico .....	12
Figura 14.	Señales comprimidas en forma de átomos de Cortocircuito trifásico .....	13
Figura 15.	Señales eléctricas de Cortocircuito bifásico .....	13
Figura 16.	Señales comprimidas en forma de átomos Cortocircuito bifásico.....	13
Figura 17.	Señales eléctricas de Falla monofásica a tierra.....	14
Figura 18.	Señales comprimidas en forma de átomos de Falla monofásica a tierra .....	14
Figura 19.	Señales eléctricas de Falla bifásica a tierra.....	14
Figura 20.	Señales comprimidas en forma de átomos de Falla bifásica a tierra .....	14
Figura 21.	Resumen e indicador de la temática - Estado del arte. ....	22
Figura 22.	Indicador de formulación del problema - Estado del arte.....	22
Figura 23.	Indicador de solución - Estado del arte.....	22

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Datos de simulación de fallas en el sistema IEEE de 39 barras.....	15
Tabla 2. Datos de simulación de fallas en el sistema IEEE de 118 barras.....	15
Tabla 3: Matriz de estado del arte. ....	19

# CLASIFICACIÓN DE FALLAS EN LÍNEAS DE TRANSMISIÓN USANDO SEÑALES DISPERSAS BASADO EN EL RECONOCIMIENTO DE PATRONES PARA MEJORAR LA SEGURIDAD EN LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA

## Resumen

En el presente documento, se realizará la clasificación de tipos de fallas en líneas de transmisión, los cuales existen dentro de los sistemas eléctricos potencia, la clasificación ayudara a tener una mejor forma de identificar los distintos tipos fallas que ocurren a menudo. El estudio se realizó con la ayuda del programa DigSilent PowerFactory que ayudo a generar los datos necesarios de cada tipo de falla. Mediante la metodología propuesta en el presente documento se logró clasificar los distintos tipos de fallas con la ayuda el Sensado comprimido que permite la reconstrucción de las señales que se obtienen de la simulación realizada y ayuda con la recuperación de las señales unidimensional considerando una cantidad mínima de datos que se obtiene de la señal original. El reconociendo de patrones forma parte de la clasificación de tipos de fallas, ya que ayuda a identificar el tipo de falla que se presenta sobre las líneas de transmisión, y con la implementación del algoritmo de árbol de decisión se podrá determinar el estado de falla o no falla que ocurre sobre cada una de las líneas. Todo esto para que exista un rendimiento eficiente, seguro y con una clasificación inmediata frente a los distintos tipos de fallas que se producen.

**Palabras Clave:** Clasificación de fallas, líneas de transmisión, Sensado comprimido, Reconociendo de patrones, árbol de decisión.

## Abstract

In this document, the classification of types of failures in transmission lines will be carried out, which exist within electrical power systems, the classification will help to have a better way of identifying the different types of failures that often occur. The study was carried out with the help of the DigSilent PowerFactory program that helped to generate the necessary data for each type of failure. Through the methodology proposed in this document, it was possible to classify the different types of failures with the help of compressed sensing that allows the reconstruction of the signals obtained from the simulation carried out and helps with the recovery of one-dimensional signals considering a minimum amount of data obtained from the original signal. The recognition of patterns is part of the classification of types of failures, since it helps to identify the type of failure that occurs on the transmission lines, and with the implementation of the decision tree algorithm, it will be possible to determine the state of failure or non-failure that occurs on each of the lines. All this so that there is an efficient, safe performance and with an immediate classification against the different types of failures that occur.

**Keywords:** Fault classification, transmission lines, compressed sensing, pattern recognition, decision tree.



# 1 Introducción

Las fallas que se producen dentro de muchos sistemas eléctricos de potencia sobre todo en las líneas de transmisión pueden ocurrir debido a diversos factores y pueden afectar al suministro de energía eléctrica, haciendo que muchos usuarios y sectores industriales se ven afectados ante estos tipos de fallas por tal motivo existen muchos métodos para detectar y mitigar el daño que produce dichas fallas [1]. Una de las fallas que ocurren sobre líneas de transmisión es el cortocircuito que existe cuando se da la unión de dos puntos con diferente potencial eléctrico de diferentes fases, esto puede ocurrir por objetos externos o aislamiento que pudieron sufrir algún desgaste o por defecto de fábrica [1]. Los cortocircuitos pueden provocar sobrecargas, daños en los equipos de transmisión y producir muchas anomalías en el suministro de energía [2].

Otra causa que puede producir el fallo en las líneas de transmisión son las descargas atmosféricas, un claro ejemplo son rayos, pueden afectar directamente las líneas de transmisión, cuando un rayo impacta cerca de la línea de transmisión, induce altas corrientes y voltajes [2]. El fallo en los aisladores puede también ser una causa ya que son un componente clave para las líneas de transmisión porque evitan el paso de corriente a través de las estructuras de soporte [3]. Si los aisladores pueden sufrir daños debido al envejecimiento, la contaminación u otros factores, esto hace que la línea de transmisión pueda sufrir un colapso [3]. La protección que mayor seguridad pueden tener las líneas de transmisión son los relés de protección, son dispositivos eléctricos utilizados en las líneas de transmisión para detectar y responder rápidamente a cualquier anomalía o falla en el sistema eléctrico [3]. Su función principal es garantizar la seguridad y confiabilidad de la línea de transmisión al detectar y aislar las fallas,

evitando así posibles daños en el equipo y asegurando la continuidad de la energía [3].

Algunos de los tipos de relés de protección que son más utilizados para las líneas de transmisión son los relés de sobre corriente, estos relés se encargan de monitorear continuamente la corriente que fluye a través de la línea de transmisión. Si la corriente excede un valor preestablecido, el relé actúa de manera inmediata y envía una señal para interrumpir la corriente y aislar la sección afectada [3].

Se propone implementar distintos métodos para la clasificación de tipos de fallas como el sensado comprimido, que es un método eficiente para la localización de fallas, se describe como un algoritmo que se basa en tener un reducido número de datos que permite reconstruir una señal, esto ayudara a reconstruir cada una de fallas que serán simuladas [4], el reconociendo de patrones también tiene la finalidad de analizar las distintas señales que tiene cada tipo de falla y poder expresar en patrones cual es el comportamiento que tiene cada señal cuando sufre algún tipo de falla, estos patrones serán de gran utilidad para poder identificar el tipo de falla en cada una de las líneas de transmisión [5]. El algoritmo de Árbol de Decisión es una herramienta eficaz, tiene una buena aceptación en la predicción de sus respuestas, básicamente un árbol de decisión es una estructura arbórea que tiene gran similitud a un diagrama de flujo, en cuestión de la toma de decisiones es excelente para mostrar los distintos resultados que se pueden al establecer ciertas condiciones para la toma de decisiones [6].

Los datos que serán utilizados son de los modelos de transmisión IEEE de 39 y 118 Barras, donde se podrá simular las distintas fallas, en distintas líneas de los sistemas, las fallas que serán generadas mediante simulaciones son: fallas de cortocircuito

trifásico, cortocircuito bifásico, falla monofásica a tierra, falla bifásica a tierra, una vez realizada las simulaciones se aplicara el método propuesto para mostrar los resultados obtenidos y poder realizar la clasificación respectiva del tipo de falla [7].

## 2 Marco teórico

Para conocer la importancia sobre las líneas de transmisión y como estas han evolucionado hay que conocer un poco de su historia, tomaremos como referencia el principio de industria eléctrica que se remonta a finales del XIX [8].

Donde a principios de la edad moderna, la generación y la distribución se basaban en sistemas locales con sus respectivas limitaciones, donde la electricidad se generaba en plantas cercanas a la población y se utilizaban cables con recubrimiento de capacidad mínima de energía [9].

La demanda fue un factor adverso que se empezó a generar dentro de la población y la necesidad que existía para transferir energía a distancias más larga hizo que la tecnología evolucionara con mayor rapidez para cubrir la demanda de manera más económica y eficiente, este suceso dio como inicio la creación de líneas de transmisión de alta tensión [9].

El antes y después de las líneas de transmisión está bien definido con un suceso que lo cambia todo, este suceso fue la implementación de la corriente alterna (CA), haciendo que esta corriente sea como el estándar para la transferencia de energía eléctrica a largas distancias, esto genero un gran cambio para muchas poblaciones que no contaban con este suministro [10].

El científico Nicolas Tesla fue quien propuso este método de la corriente alterna (CA), demostrando sus ventajas que tenía frente al método ya conocido de Thomas

Edison quien se aferraba a la corriente continua (CC) [10].

La construcción de las primeras líneas de transmisión con corriente alterna se llevó a cabo a finales del siglo XIX y principios del siglo XX, estas líneas ya utilizaron torres de soporte y cables de conducción ya suspendidos, haciendo que se pueda transportar grandes cantidades de energía a largas distancias y con menor pérdida de energía eléctrica [11].

Con el transcurso del tiempo se fueron haciendo mejoras a los diseños de las líneas de transmisión, como cables con mayor capacidad, se mejoró el sistema de los aisladores y se implementaron dispositivos de protección y control más sofisticados [11].

Actualmente las líneas de transmisión de alta tensión son una parte importante de la sociedad a nivel mundial por lo indispensable que significa para muchos sectores productivos, de transporte y de comunicación [11].

### 2.1 Señales en tiempo continuo de dos dimensiones

La señal en tiempo continuo es una variable independiente esto hace que la señal pueda tomar cualquier valor, también se la puede definir como  $x(t)$  ( $t \in \mathbb{R}$ , siendo  $\mathbb{R}$  todos los números que pertenecen a los reales) [12]. La siguiente imagen representa una señal en tiempo continuo  $x(t) = t$ .

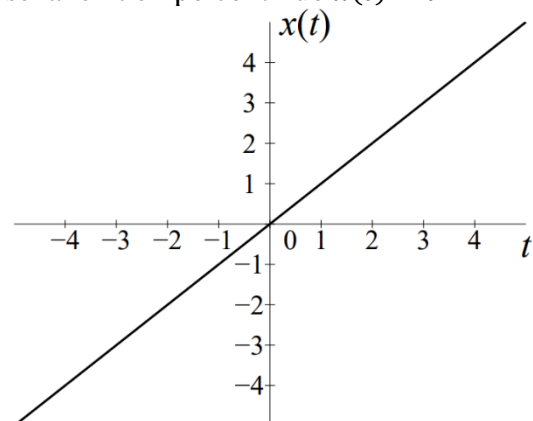


Figura 1. Señal en tiempo continuo.

### **2.1.1 Señales digitales en tiempo continuo**

Las señales digitales constan de dos estados bien definidos. Dependiendo su punto de vista se puede representar utilizando distintos símbolos como, por ejemplo: 0 o 1, V o F [12].

Las señales digitales tienen como característica el tener sólo dos estados esto permite representar, transmitir o almacenar información binaria [12].

### **2.1.2 Reconocimiento de patrones**

El reconocimiento de patrones básicamente consiste en clasificar una o varias señales desconocidas dependiendo a la clase que corresponde [13].

Un ejemplo es que puede ser empleado en el reconocimiento de personas o, como en un sistema de seguridad que pueda analizar durante varias horas y aun cuando este se encuentre en movimiento pueda identificarlo y clasificarlo como “persona autorizada” o “persona no autorizada” [13].

El reconocimiento de patrones puede ser empleado como un sistema de clasificación, esto siempre que cuente como todos los datos necesarios, datos que son extraídos de determinados sistemas para emplear la clasificación correspondiente [14].

Se escoge el método de clasificación que se adapte más al reconocimiento de patrones, como también puede ser empleado en los sistemas de tiempo continuo de dos dimensiones.

La tarea principal del reconocimiento de patrones es poder determinar el proceso de decisión para separar el espacio de características siempre y cuando se cuente con un conjunto de datos extenso [14].

## **2.2 Fallas en los sistemas eléctricos de transmisión**

Los sistemas eléctricos de transmisión siempre están sometidos a diferentes fenómenos, esto genera distintos tipos de fallas, las cuales son causadas por: actos mal intencionados y factores climáticos [15].

En los sistemas eléctricos de potencia la falla o disturbio eléctrico que más daños genera es el corto circuito, el corto circuito se genera debido al contacto, entre dos conductores de fases energizadas diferentes [15].

Es importante conocer la clasificación de los cortos circuitos, ya que estos se clasifican de acuerdo a la forma de contacto que pueden tener los conductores entre sí, estos se clasifican en [15]:

- Cortocircuito por contacto directo.
- Cortocircuito por ruptura de aislamientos.

Los fenómenos físicos que pueden ocurrir, los que son causantes de una falla en sistema eléctrico pueden suscitarse por: descargar atmosféricas, el viento, caída de una torre, accidentes aéreos, incendios aledaños a las líneas de transmisión [16].

La falla monofásica ocurre cuando se produce un cortocircuito o una interrupción en una de las fases del sistema eléctrico, este tipo de falla es muy común por los distintos fenómenos naturales [16].

Las fallas bifásicas suceden cuando las dos fases de los conductores hacen contacto produciendo dicha falla [17].

La falla trifásica es un tipo de falla poco común que este tipo de fallas con respecto a las anteriores, teniendo un porcentaje del 5% y puede ocasionarse cuando las tres fases entren en contacto directo [17].

La sobretensión se caracteriza, por el aumento de voltaje el cual excede los valores máximos, pueden dañar dispositivos electrónicos y eléctricos, mayor mente se produce por las descargas atmosféricas [17].

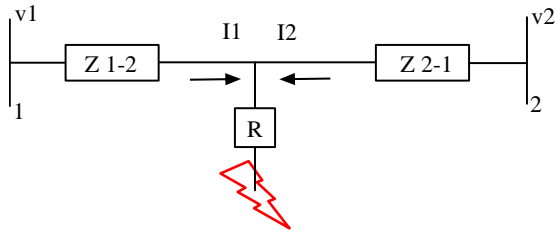


Figura 2. Ejemplo de corto circuito

### 2.3 Métodos Utilizados para Localizar Fallas en sistemas eléctricos

El sistema eléctrico de transmisión siempre está expuesto a diferentes tipos de fallas, en primera instancia cuando sucede este tipo de fallas los sistemas de protección son los primeros que actúan de manera instantánea para poder aislar la falla y de esta manera se evita distintos daños en toda la red o personal de mantenimiento que se encuentre cerca de la falla ocurrida [18].

Existen distintos métodos que se utilizan para localizar las fallas y cada una de ellas utiliza su propio algoritmo, estos algoritmos de localización de fallas hacen que sea más rápido, seguro, eficiente y con mucha más precisión encontrar el punto de falla en el sistema [18].

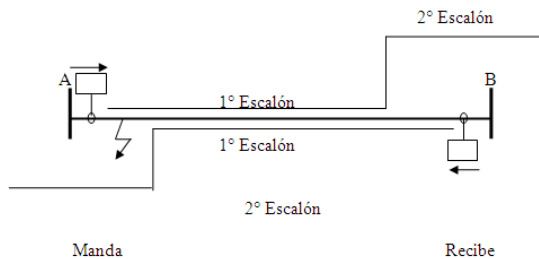


Figura 3. Protección en línea de transmisión

#### 2.3.1 Métodos utilizados

Los métodos más utilizados para la localización y detención de falla son:

La onda viajera es método está enfocado en la constante observación y monitoreo de los tiempos de llegada, mediante las ondas que son monitoreadas constantemente se puede obtener la ubicación de la falla [19].

La ecuación para este método está enfocada en definir la distancia que existe entre el lugar de la falla hasta el punto de detección:

$$d = \frac{L - v(t_2 - t_1)}{2} \quad (1)$$

Donde:

**d**: representa la distancia entre la fuente y el punto de falla.

**L**: es la longitud que posee la línea de transmisión.

**v**: Corresponde a la velocidad con la que viaja de la onda.

**t2 y t1**: es el tiempo y distancia de la falla hacia el relé izquierdo y derecho de la línea [19].

La transformada de Wavelet es un método práctico para la identificación y detección de fallas, la Transformada tiene como proceso importante aumentar la resolución en el tiempo de las frecuencias elevadas [20].

El método de Hilbert Huang hace que sus componentes sean extraíbles tanto de señales no lineales como de no estacionarias, este método propone calcular amplitudes en pocos segundos, así como su frecuencia [21].

La localización de fallas de un solo terminal es un método que se utiliza en protección sobre una línea de transmisión, con beneficio de solo utilizar la información de un lado de la línea de transmisión en este caso de la línea que se encuentra protegida, de forma no se requiere llegar hasta punto de falla ya que de forma remota se puede saber en qué punto se originó la falla [22].

La Transformada de Clarke es método utilizado en sistemas eléctricos trifásicos, donde es utilizado para convertir las señales trifásicas a señales en coordenadas alfa-beta. Esta transformación facilita el análisis y el control de sistemas trifásicos, especialmente en aplicaciones de control de máquinas eléctricas [23].

El least squares (LS) es una técnica matemática mayormente utilizada para encontrar la mejor aproximación lineal de un conjunto de datos. Esto ayuda a reconstruir la señal para obtener una recuperación aproximada [24].

El método de Basis Pursuit (BP) es de optimización global, que es simple pero eficiente cuando se trata sobre la reconstrucción de imágenes o señales, ya que es particularmente útil cuando la señal que se desea aproximar es dispersa (sparse), la característica que tiene este método hace que sea posible recuperar la señal original por medio de un argumento mínimo [25].

La orthogonal matching pursuit (OMP) es un tipo de método de muestreo de compresión, donde al tener un gran número de muestras el método OMP toma un número pequeño de proyecciones lineales las cuales contiene suficiente información para reconstruir la señal. Las matrices son importantes para la reconstrucción de una señal ya que implica tanto de proceso de muestreo como el de compresión de la señal [26].

## **2.4 El Sensado Comprimido**

El Sensado Comprimido es utilizado en la reconstrucción de señales, haciendo posible que se puede recuperar una señal original a partir de una cantidad mínima de datos o mediciones, lo que es muy beneficioso en sistemas de transmisión con pérdidas o en la recuperación de señales incompletas [27].

Para las redes de sensores inalámbricos (WSN), donde la energía y el ancho de banda son limitados, el Sensado Comprimido ayuda a reducir la cantidad de datos a transmitir, prolongando la vida útil de las baterías y mejorando la eficiencia de la red. Con lo que respecta a las comunicaciones móviles y la transmisión de datos dentro de los sistemas de telecomunicaciones, el Sensado Comprimido es útil para la transmisión de señales en condiciones de ancho de banda limitado, lo que facilita la transferencia de información a través de redes inalámbricas y móviles [27].

El sensado comprimido es un método eficiente para la clasificación de fallas que puede ser empleado en los distintos sistemas de transmisión y distribución, se describe como un algoritmo que basado en bloques sobrepuestos y una base de datos permite reconstruir una señal [27].

Para entender mejor el funcionamiento del sensado comprimido hay tomar en cuenta, que cuando ocurre o se produce una falla en la línea, se genera una gran cantidad de corriente que se inyecta directamente en el sistema, esto es lo que se denomina como cortocircuito [28].

Cuando se genera una corriente de falla, hace que se genere perturbaciones dentro de los el sistema de eléctricos, con esta falla genera se adquirir toda la información necesaria y forma de onda, aun cuando estas perturbaciones provengan de la corriente o voltaje, se podrá representar en toda la línea de transmisión mediante picos altos y bajos.

Todas estas perturbaciones se producen en tiempos demasiados cortos que se acercan mucho a los milisegundos. Cuando se realiza el análisis en la impedancia y la caída de tensión, el sensado comprimido entra en funcionamiento localizando el tipo falla [28].

### 3 Árbol de decisiones

Un árbol de decisión es un método de aprendizaje automático y un algoritmo de aprendizaje supervisado que se utiliza para resolver problemas de clasificación. Este método es muy popular debido a su facilidad de interpretación, ya que representan de manera comprensible cómo se toman las decisiones basadas en las características de los datos [29].

El método de árbol de decisiones se ha convertido en una herramienta muy eficiente para clasificar distintos casos, es considerado un modelo de predicción el cual junta datos con valores similares para de esta manera poder llegar a la respuesta [29].

Si se quiere obtener una forma diferente de representar la información el árbol de decisiones una buena opción por que permite representar distintas rutas antes de llegar a una respuesta o resultado posible [29].

Cuando existe un espacio muestral demasiado grande en recomendable dividirlo en subregiones siempre y cuando dichas regiones tengas la misma proporción de información distribuida [29].

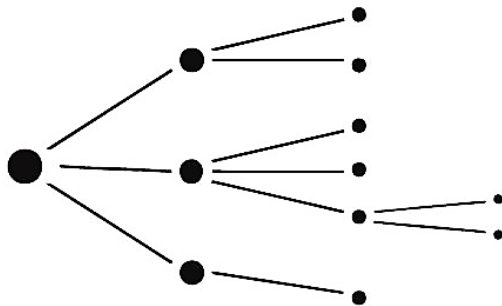


Figura 4. Diagrama simple de un Árbol de decisiones

#### 3.1 Tipos de algoritmos que tiene un árbol de decisión

El supervisado, este tipo de algoritmo necesita de cierta observación para generar un aprendizaje automático y a su vez

necesita el modelo de la variable dependiente [30].

El no supervisado es el tipo de algoritmo que funciona de manera más autónoma y automática porque no necesita de supervisión u observación, todo esto teniendo en cuenta que utiliza la variable independiente [30].

#### 3.2 Creación de un árbol de decisión

Para la creación de este algoritmo es necesario tener claro en que lo vamos a utilizar, ya que al final escogerá la respuesta más viable posible dentro del problema que se proponga [31].

Un problema de clasificación es la mejor forma de experimentar y explotar al máximo este método de árbol de decisión, la mejor manera de solucionar estos problemas de clasificación es utilizando el algoritmo de Hunt [31].

El árbol de decisiones está basado en la división de sub conjuntos, esto se aplica que al tener una gran cantidad de datos el algoritmo, ante esto se busca la separación más optima posible, en donde se clasifican por notas [31].

Esto hace que cuando existan nodos similares se los considera como nodos de un solo terminal, pero si existen nodos de diferente clase estos se dividen en sub conjuntos más pequeños y así sucesivamente [31].

#### 3.3 Ventajas y desventajas del árbol de decisión

##### Ventajas

- Son de fácil comprender su construcción es intuitiva, así como su interpretación y la forma en que se visualiza.
- Cuando clasifica o selecciona lo hace tomando la variable más importante, permite las relaciones no lineales [32].

### Desventajas

- Cuando se trata de modelos de regresión no suele ser muy eficiente.
- Si se crean árboles muy complejos puede llegar a que el algoritmo no se adapte muy bien al resultado que se desea obtener [32].

## 4 Planteamiento del problema

Actualmente la electricidad se ha convertido en una parte importante para el desarrollo de la tecnología y la sociedad, donde muchas veces el principal problema que se puede presentar es la restauración del servicio, frente a los distintos tipos de fallas que se puede generar sobre una línea de transmisión el objetivo que se tiene es poder identificar y clasificar el tipo de falla que se puede presentar dentro de un sistema eléctrico.

La clasificación de fallas está ligada a los métodos que vamos a utilizar, ya que con las simulaciones que realicemos obtendremos los datos necesarios para poder identificar la falla y poder hacer a su clasificación. Esta oportuna clasificación hará que se pueda tomar la medida necesaria frente al tipo de falla que se genera en las líneas de transmisión.

Bajo este criterio la clasificación de fallas se convirtió en un método fundamental dentro de las líneas de transmisión, ya que permite identificar de manera oportuna el daño que puede generar la falla y esta manera saber si la línea necesita una reparación inmediata.

## 4.1 Diagrama de flujo de Potencia

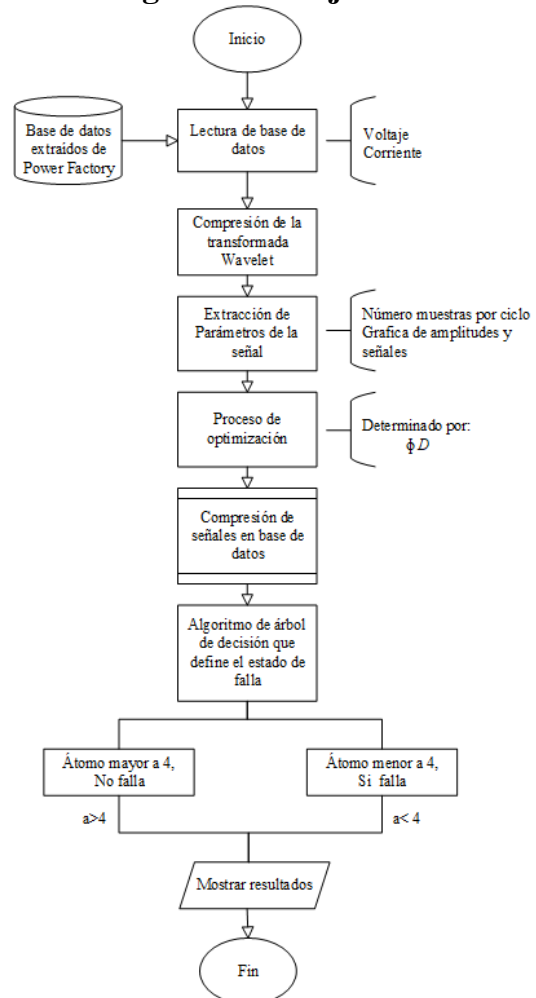


Figura 5. Diagrama de Flujo de clasificación de fallas

## 5 Análisis de resultado

Los métodos utilizados de sensado comprimido y reconocimiento de patrones fueron probados en los sistemas IEEE de 39 y 118 barras, así como en distintas líneas de transmisión, para poder verificar y analizar el rendimiento que tuvo cada método sobre las distintas líneas de transmisión donde se produjo la falla. Se analizó el resultado de cada línea de transmisión puesta en falla, donde se verificó y comprobó si el algoritmo detectaba si la línea de transmisión estaba en falla o no falla, este análisis se llevó a cabo para los distintos casos generados dentro de los sistemas.

## 5.1 Caso de Estudio

### *Caso 1: Simulación de fallas en el sistema IEEE de 39 barras*

Para el primer caso de estudio se realizó la simulación de distintas fallas sobre las líneas de transmisión en el sistema IEEE de 39 barras, esta simulación se llevó a cabo en el programa DigSilent PowerFactory.

Se simularon las siguientes fallas de: cortocircuito trifásico, cortocircuito bifásico, falla monofásica a tierra y falla bifásica a tierra. Cada una de las fallas se simuló en distintas líneas de transmisión del sistema IEEE de 39 barras, representa en la figura 6.

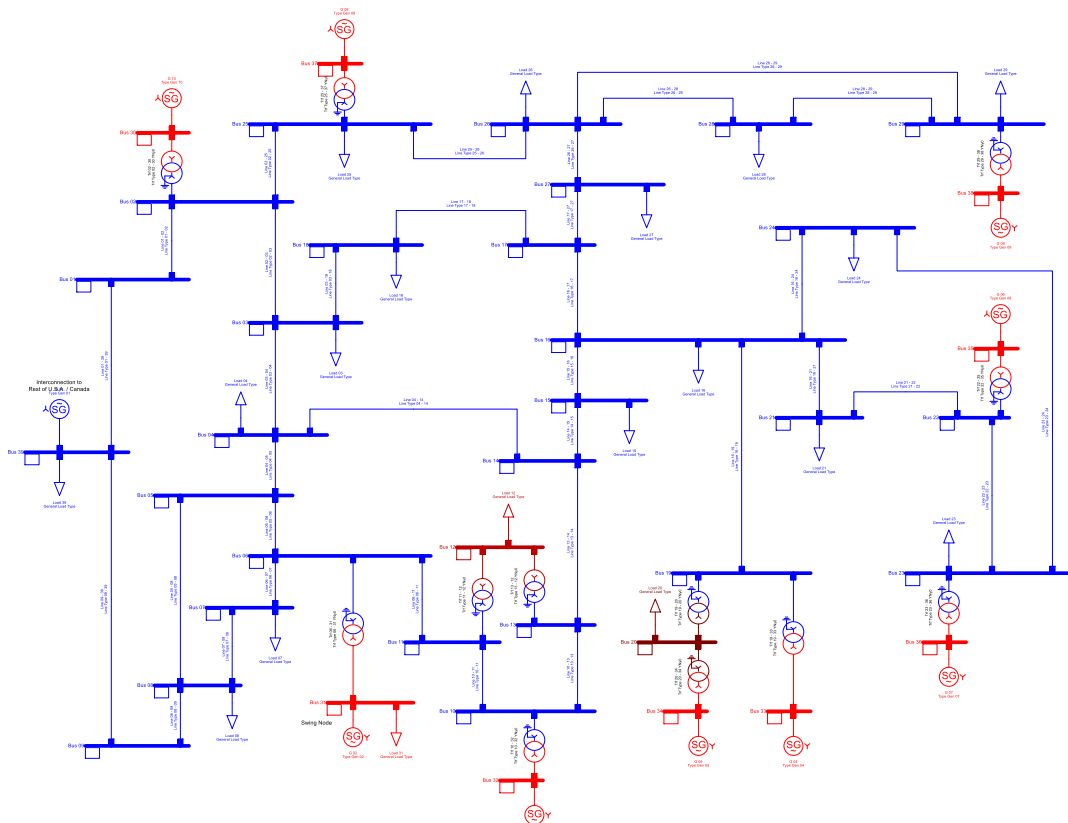


Figura 6. Esquema IEEE de 39 barras

### *Caso 2: Simulación de fallas en el sistema IEEE de 118 barras*

Para el segundo caso de estudio de igual forma, se realizó la simulación de distintas fallas en diferentes líneas de transmisión, esta simulación se llevó a cabo dentro de otro sistema eléctrico. Con la finalidad de comprobar que cambio se puede generar al implementar nuestra solución. En el sistema eléctrico también se simuló 5 veces las fallas de: cortocircuito trifásico, cortocircuito bifásico, falla monofásica a tierra y falla bifásica a tierra. Cada una de las fallas se simuló en distintas líneas de transmisión del sistema IEEE de 118 barras, que se muestra en la figura 7.



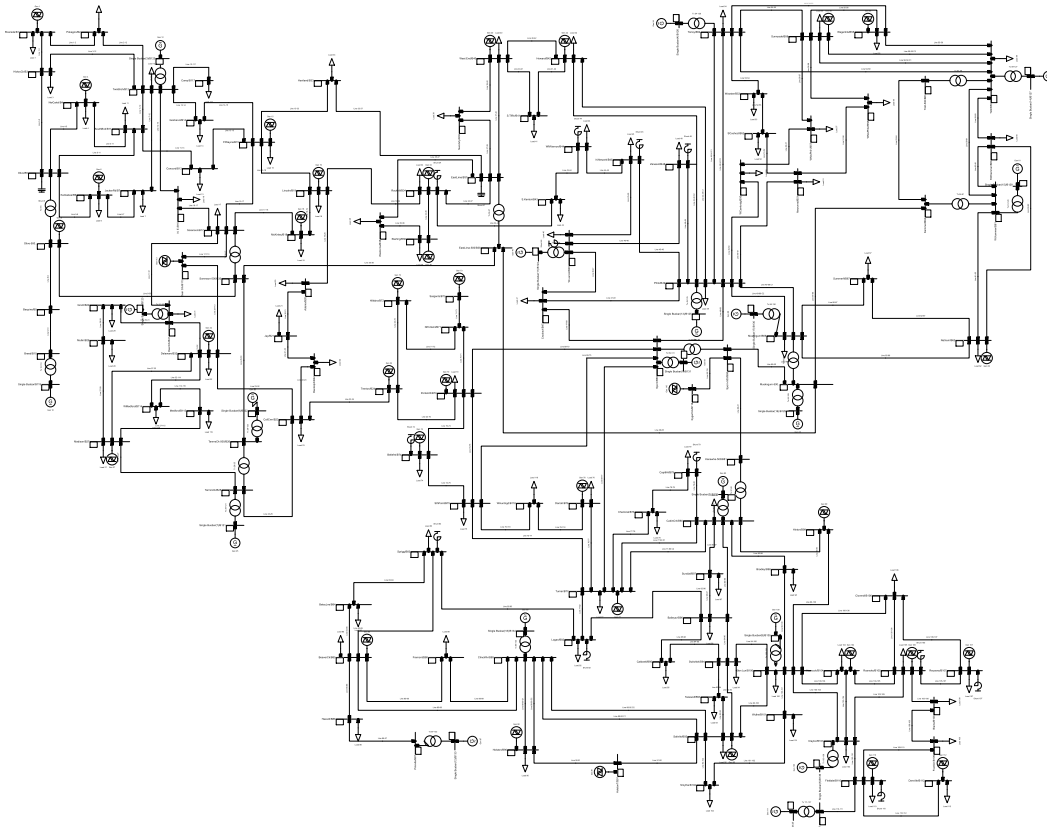


Figura 7. Esquema IEEE de 118 barras

## 5.2 Fallas generadas en líneas de transmisión

Para la creación de fallas utilizaremos como modelo la primera falla de cortocircuito trifásico, se simuló en sistema IEEE de 39 barras, esta falla fue generada entre la línea 4 y 14, las condiciones principales fueron el tiempo total de duración de la simulación que fue 0.5s, así como el tiempo de inicio y final de la falla que fue de 0.2s a 0.3s.

El corto circuito se hará al 50% (Shot-Circuit Location) esto indica que la falla se genera a mitad de la línea de transmisión. En la siguiente ilustración, se puede observar de mejor manera la simulación de cortocircuito trifásico que se realizó en la LT4\_14 del sistema IEEE de 39 Barras en estado de falla.

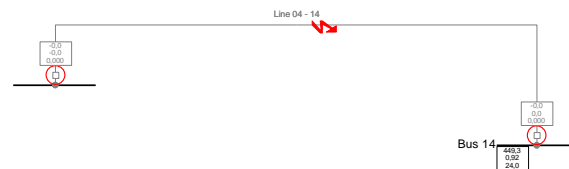


Figura 8. Falla de cortocircuito trifásico la línea LT4\_14 de Transmisión

En la simulación de cortocircuito trifásico se representó de manera gráfica de los voltajes de las líneas y sus corrientes, donde obtuvo los datos del tiempo, la tensión de fase A, B, C y la corriente de fase A, B, C. Donde para tener un mayor número de datos se modificó el tamaño de paso (Step size), de esta manera al aumentar los parámetros del tamaño de paso, se consiguió apreciar de mejor las señales de voltaje y corriente, como se muestra en siguiente imagen.

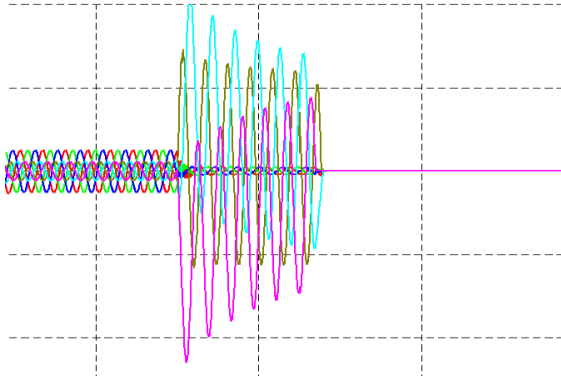


Figura 9. Simulación de cortocircuito trifásico

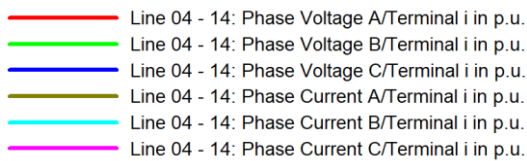


Figura 10. Leyenda de cortocircuito trifásico

Estos datos obtenidos fueron exportados en formato csv, para después ser utilizados en el algoritmo y poder clasificar las fallas simuladas en programa de DigSilent PowerFactory.

Este procedimiento se llevó a cabo para cada una de las fallas simuladas en los sistemas IEEE de 39 y 188 barras, donde para realizar una comparación de los tipos de fallas se simuló 5 veces cada una de las fallas en distintas líneas y ver si existe algún cambio.

### 5.3 Funcionamiento del algoritmo

Los datos obtenidos de tiempo, voltaje y corriente de cada tipo de falla que fueron importados desde el programa DigSilent PowerFactory, importamos todos los datos de cada falla simulada para analizarlas de manera independiente.

Donde cada señal fue reconstruida para poder expresar las características de cada falla que fue simulada, ubicando su amplitud, el inicio y final de la falla.

En la figura 11 se realizó el análisis de una línea de transmisión en estado estable o sin falla, donde no se produjo ninguna falla para poder apreciar mejor cada una de las

señales cuando estas no tienen ninguna falla.

Estas señales muestran las características de la señal de falla original que fueron extraídos de los datos de la simulación, cada señal está catalogada como (signal), donde cada señal representa tramos de la de cualquier falla simulada. Tenemos el número de muestras denominadas (sample) las cuales son mesarías para ver el recorrido que tiene cada señal y el voltaje para saber que tipos de variaciones sufre al estar en estado estable o en falla.

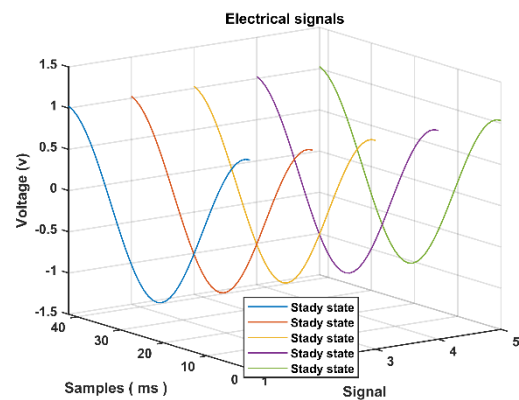


Figura 11. Señales eléctricas en estado estable o sin falla

En esta figura 11 al ser una simulación sin falla no existe cambios en ninguna de las señales y por eso todas mantiene si misma forma en las siguientes figuras se podrá observar el cambio que sufre cada señal al estar en diferentes tipos de fallas.

En la figura 12 cada señal se representada en forma de átomos, esto para poder entender mejor en comportamiento de cada señal, así como las características que más se asemejan a la señal original, se representa el número de muestras por ciclo, la amplitud que tiene la señal cuando este estado estable o en falla y una ubicación inicial de la falla. Cuando no se genera ninguna falla dentro de la línea de transmisión, las amplitudes de cada átomo se muestres de manera similar en todas las señales.

Para poder identificar de mejor manera cuando una línea está en falla o no, existe un dato importante sobre el tercer átomo destaca de forma más notoria, esto indica el límite (Threshold) que debe tener la señal cuando se encuentra sin falla, otra forma de saber si la línea se encuentra con falla o sin falla es al patrón que tiene cada tomo dentro de su señal. El patrón que debe tener cuando está en estado estable o sin falla es el siguiente: el segundo y tercer átomo deben ser positivo, estos átomos son los más destacados cuando están en estado estable, este tipo de identificación por medio de los patrones también es una forma de identificar cuando línea entra en falla.

Esta condición principal se aplicó a los dos sistemas de transmisión ya que arrojo los mismos resultados, cuando una línea de transmisión no está en falla el tercer átomo tiene que estar por encima del límite de amplitud que es cuatro y cuando este tercer átomo está por debajo de ese límite, automáticamente la señal entra en estado de falla. Todo esto se representa en la siguiente imagen.

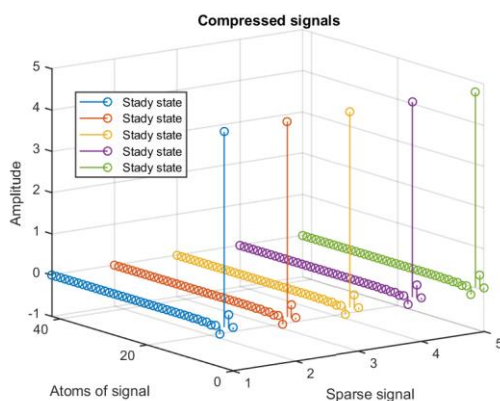


Figura 12 Señales comprimidas en forma de átomos de estado estable o sin falla

Cuando se simula una falla dentro de la línea de transmisión hace que cambien la forma de cada señal y arroge valores diferente por cada tipo de falla simulada.

La figura 13 se representa la simulación de una falla de Cortocircuito trifásico en

sistema IEEE 39 barras, esto hizo que cada señal cambie su forma, para la primera señal se consideró que fuera el principio de la simulación, donde no ocurre ninguna falla, esto hace que la señal no cambie su forma y se mantenga en estado estable.

En la segunda señal se puede ver un cambio significativo, esto es debido a que, en esta señal, es donde ocurre la falla de Cortocircuito trifásico. Las señales tres, cuatro y cinco donde no ocurre mayores cambios, es debió a que representa datos que ocurren después de que falla ya fue detectada, hasta llegar al fin de la simulación.

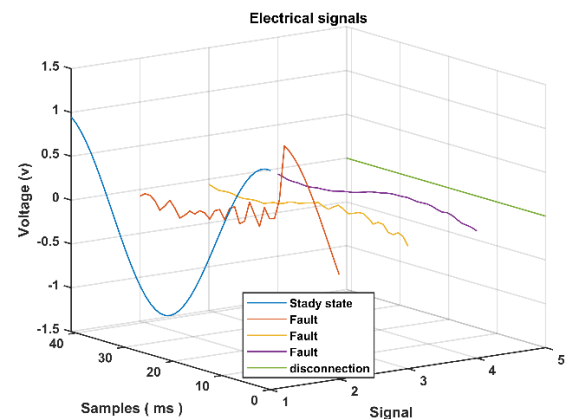


Figura 13. Señales eléctricas de Cortocircuito trifásico

En la figura 14 donde la señal se representa en forma de átomos también podemos ver un cambio significativo, la primera señal que se representa en forma de átomos, se observa que el átomo número tres se sigue manteniendo en el rango de ser mayor a cuatro esto es debido a que la primera señal de color celeste se mantiene en estado estable, el patrón de los átomos también se sigue manteniendo con respecto a cuando se encuentra en estado estable.

En la segunda señal donde ocurre la falla, podemos observar que el tercer átomo que se tomó como característica importante para determinar si la señal está en falla, se encuentra por debajo del límite establecido y esto determina que la señal se encuentra en falla. La otra forma para determinar si la señal está en falla es por el patrón que

muestra la segunda señal donde los dos primeros átomos son positivos y después los demás átomos hasta el quinto son negativos esto hace que sea algo característicos de esta falla de Cortocircuito trifásico, cuando fue simulada esta misma falla en otras líneas de transmisión lo único que cambio fue la amplitud de los átomos por otro lado los patrones se mantuvieron iguales, las señales 3, 4 y 5 de átomos toman el patrón que sucedes después de a ver detectado la falla hasta el fin de la simulación.

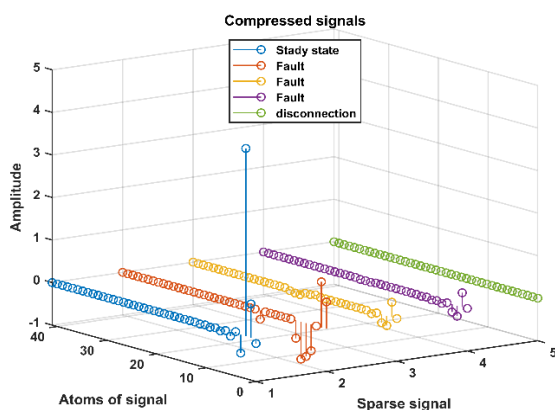


Figura 14. Señales comprimidas en forma de átomos de Cortocircuito trifásico

Los demás tipos de fallas también tienen sus propias características de su amplitud como de los picos de falla, cuando ocurre la falla de Cortocircuito bifásico que se muestra figura 15, se puede observar el cambio que sufren las señales.

En la primera señal se puede observar que se encuentra en estado estable, por otro lado, la segunda señal cambia teniendo una forma diferente de la señal estable, esta falla de Cortocircuito bifásico hace que tenga una característica única aun cuando se simule la misma falla en otras líneas de transmisión, ya que al simular esta falla en otras líneas en cambio fue mínimo y siguió mostrando una similitud muy notoria con respecto a los picos que tiene esta falla.

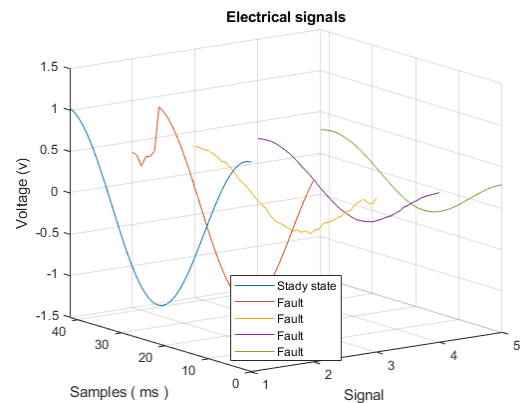


Figura 15. Señales eléctricas de Cortocircuito bifásico

De igual forma los átomos de la segunda señal hacen que los patrones cambien y también su amplitud al estar en falla de Cortocircuito bifásico, haciendo que los átomos 1, 2 y 5 sean negativos y los átomos 3, 4 y 6 sean positivos, este tipo de comportamiento se aprecia en las demás líneas que tienen este tipo de falla.

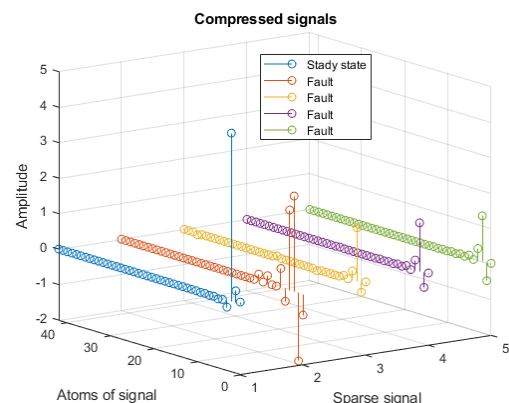


Figura 16. Señales comprimidas en forma de átomos Cortocircuito bifásico

En el caso de falla monofásica a tierra de la figura 17, observamos como vuelve a cambiar la segunda señal, donde el pico de falla que se muestra tiende a ser más pronunciado, este tipo de falla monofásica a tierra asume su característica única frente a los demás tipos de fallas, esta similitud de la señal se mantiene aun cuando se simule el mismo tipo de falla en distintas líneas de transmisión, ya que el cambio que muestran las demás líneas es mínimo.

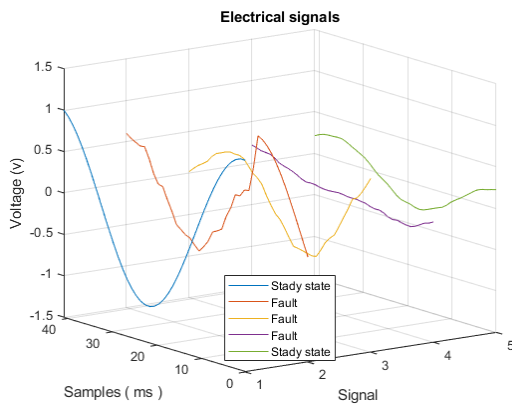


Figura 17. Señales eléctricas de Falla monofásica a tierra

Los átomos de la falla monofásica a tierra de la figura 18, también vuelven a cambiar esto se puede observar en los patrones que tienen los átomos, haciendo que los átomos 1, 2 y 3 sean positivos y los átomos 3,4,5 y 6 sean negativos, este tipo de comportamiento se muestra en las demás líneas de transmisión que tiene este tipo de falla.

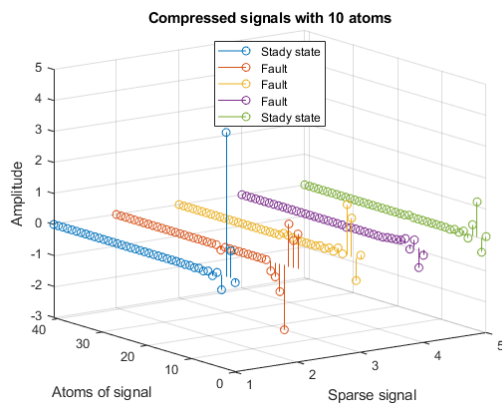


Figura 18. Señales comprimidas en forma de átomos de Falla monofásica a tierra

Para el caso último caso de falla bifásica a tierra de la figura 19, se observa el cambio en la segunda señal, donde se puede observar que existen 2 picos de fallas uno mayor que otro, esta falla bifásica a tierra asume su característica única frente a los demás tipos de fallas anteriores, en cuanto a la similitud de esta señal se sigue manteniendo aun cuando fue simulada en distintas líneas del sistema, ya que el cambio que muestro en las demás líneas fue mínimo.

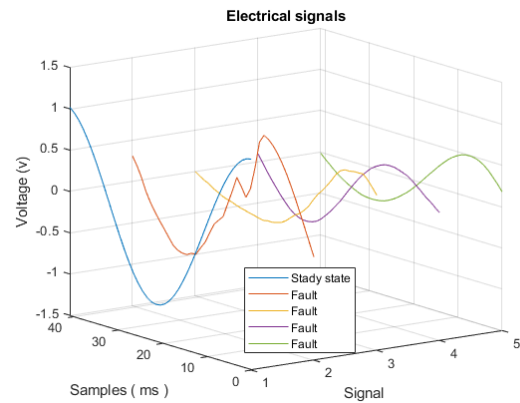


Figura 19. Señales eléctricas de Falla bifásica a tierra

Y como se esperaba de la falla bifásica a tierra de la figura 20, el comportamiento de los átomos vuelve a cambiar esto se puede observar en los patrones que tienen los átomos, haciendo que los átomos 1, 2 sean positivos y los átomos 3, 4, 5 y 6 sean negativos, este tipo de comportamiento se muestra en las demás líneas de transmisión que tiene este tipo de falla.

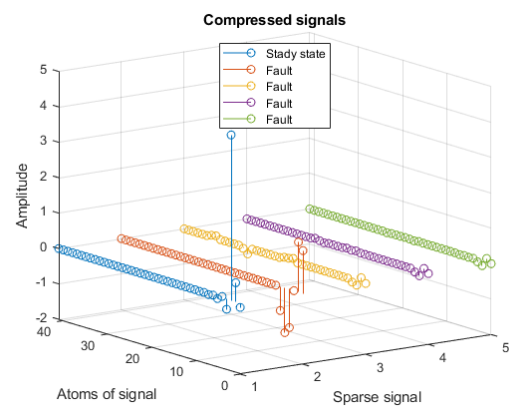


Figura 20. Señales comprimidas en forma de átomos de Falla bifásica a tierra

La recopilación de datos que fueron utilizados para las distintas fallas será descrita en la tabla número 1, donde se detalla los resultados obtenidos, los distintos tiempos de simulación que realizó para tipo de falla, así como en que las líneas de transmisión se generó la falla y en qué sistema de barras se usó.

Por medio del algoritmo de árbol de decisiones se pudo determinar cuándo una

línea estuvo en falla o no falla, este análisis lo llevo a cabo con las condiciones que fueron establecidas para el algoritmo.

Tabla 1. Datos de simulación de fallas en el sistema IEEE de 39 barras

Tipo de falla	Líneas de Transmisión	Tiempo de duración de falla	Señal con falla	Detección de la Falla con el Algoritmo
Cortocircuito trifásico	LT04_14	0,1s a 0,2s	SI	SI
	LT01_02	0,2s a 0,3s	SI	SI
	LT02_03	0,3s a 0,4s	SI	SI
	LT28_29	0,1S a 0,4s	NO	NO
	LT05_08	0,15s a 0,25s	SI	SI
	LT07_08	0,25s a 0,35s	SI	SI
Cortocircuito bifásico	LT17_18	0,35s a 0,45s	SI	SI
	LT06_11	0,2s a 0,3s	SI	SI
	LT26_27	0,1S a 0,4s	NO	NO
	LT10_11	0,1s a 0,2s	SI	SI
	LT10_13	0,3s a 0,4s	SI	SI
Falla monofásica a tierra	LT13_14	0,15s a 0,25s	SI	SI
	LT26_25	0,35s a 0,45s	SI	SI
	LT02_25	0,1S a 0,4s	NO	NO
	LT16_19	0,15s a 0,35s	SI	SI
	LT16_21	0,25s a 0,35s	SI	SI
Falla bifásica a tierra	LT21_22	0,1s a 0,2s	SI	SI
	LT22_23	0,3s a 0,4s	SI	SI
	LT26_29	0,15s a 0,25s	SI	SI
	LT16_24	0,35s a 0,45s	SI	SI
	LT16_21	0,25s a 0,35s	SI	SI
	LT16_19	0,1s a 0,2s	SI	SI
	LT01_39	0,1S a 0,4s	NO	NO
	LT23_24	0,2s a 0,3s	SI	SI

Como se muestra en la tabla 1 el algoritmo de árbol decisión detecto de manera muy acertada cuando se generó una falla, esto por las condiciones que fueron impuestas para la detección una falla, donde la condición principal fue que el tercer átomo estuviera por encima del límite de la amplitud de 4 de 3 o más señales esto

indicaría automáticamente que la línea se encontraba en estado estable, por el contrario si los átomos 1 o más señales se encontraban por debajo del límite, automáticamente el algoritmo detectaría que existe una falla dentro de la línea, este resultado se evidencio en las demás líneas aun cuando las fallas se encontraban en distintas líneas del sistema y eran de distinto tipo, también se analizó las simulaciones donde no existían ningún tipo falla, esto para comprobar que el algoritmo tuviera un correcto análisis sobre estas líneas que no se encontraban en falla y no arrojara falsos resultados.

En la siguiente tabla se muestran los datos de las simulaciones del sistema IEEE de 118 barras, donde se realizó el mismo procedimiento y análisis en cada una de las líneas.

Tabla 2. Datos de simulación de fallas en el sistema IEEE de 118 barras.

Tipo de Falla	Líneas de transmisión	Tiempo de duración de falla	Señal con Falla	Detección de la Falla con el Algoritmo
Cortocircuito trifásico	LT89_92	0,35s a 0,45s	SI	SI
	LT8_9	0,2s a 0,3s	SI	SI
	LT8_30	0,1S a 0,4s	NO	NO
	LT17_31	0,1s a 0,2s	SI	SI
	LT28_29	0,3s a 0,4s	SI	SI
	LT27_32	0,15s a 0,25s	SI	SI
Cortocircuito bifásico	LT100_111	0,35s a 0,45s	SI	SI
	LT32_114	0,35s a 0,45s	SI	SI
	LT114_115	0,25s a 0,35s	SI	SI
	LT27_115	0,1s a 0,2s	SI	SI
	LT25_27	0,1S a 0,4s	NO	NO
	LT17_113	0,2s a 0,3s	SI	SI
Falla monofás	LT38_65	0,1s a 0,2s	SI	SI
	LT23_25	0,2s a 0,3s	SI	SI
	LT20_21	0,3s a 0,4s	SI	SI
	LT26_30	0,1S a 0,4s	NO	NO

Falla a tierra	LT_24_70	0,15s a 0,25s	SI	SI
	LT23_24	0,25s a 0,35s	SI	SI
Falla bifásica a tierra	LT42_49	0,1S a 0,4s	NO	NO
	LT19_20	0,15s a 0,35s	SI	SI
	LT70_71	0,25s a 0,35s	SI	SI
	LT47_69	0,1s a 0,2s	SI	SI
	LT69_75	0,3s a 0,4s	SI	SI
	LT47_49	0,15s a 0,25s	SI	SI

En la tabla número 2 se muestran los valores utilizados para la simulación las distintas líneas de transmisión para el sistema IEEE de 118 barras, para este análisis se utilizó las mismas condiciones de la tabla 1, donde se generó cada una de las fallas en distintas líneas de sistema según su tipo y como el algoritmo de árbol de decisión analiza cada una de las señales para determinar manera muy acertada si la línea se encontraba en falla o no, este análisis también se realizó en las distintas líneas de transmisión y para los distintos tipos de fallas, también se generó simulaciones donde no existían fallas para comprobar que el algoritmo tuviera el correcto análisis de las señales, no se generan falsos resultados sobre estas líneas que se no encontraban en falla.

## 6 Conclusiones

Los métodos utilizados para la clasificación de falla fueron de gran utilidad, por una parte, la Transformada de Wavelet y el Sensado Comprimido ayudó en la reconstrucción de las señales originales que fueron simuladas, esto hizo que la gran cantidad de datos de voltaje y corriente de que fueron exportados fueran reducidos en una menor cantidad, esto se puede considerar como una ventaja ante muchos otros métodos que existen para la clasificación de fallas.

El de reconocimiento de patrones es un método muy acertado, ya sea por su flexibilidad el cual permite que se lo utilice

de muchas maneras y para el caso de la clasificación de falla fue se suma importancia debido a que ayudó al reconocimiento de cada tipo de falla, aun con las variaciones que tenían los voltajes y las corrientes dependiendo el tipo de falla, el reconocimiento de patrones ayudó a que cada falla simulada tuviera diferentes patrones y fuera más eficiente realizar la clasificación de las fallas.

También el algoritmo de árbol de decisión fue importante para la decisión final del estado de las líneas ya que al tener definidas sus limitantes y parámetros pudo analizar cada una de las señales que fueron simuladas, esto hizo que al final pudiera identificar con una línea de transmisión estaba o no está en falla. Este algoritmo es confiable en un 90% para la clasificación de falla lo cual lo hace sumamente confiable.

Todo esto ayuda a tener una mejor forma de clasificación de fallas, haciendo que en situaciones reales se puede implementar este estudio, ya que se podrá conseguir una mejor forma de contrarrestar estas fallas, se busca mejorar la seguridad de quienes día a día buscan la manera más segura y eficiente de solucionar estos tipos de fallas en las líneas de transmisión.

### 6.1 Trabajos futuros

Implementar en otros sistemas de transmisión para poder conocer el tipo de patrones que se pueden generar y que forman toman las señales en los otros sistemas de transmisión.

Poder llevar este método de clasificación de fallas a otros sistemas eléctricos como los de distribución.

## 7 Referencias

- [1] P. A. M. Almeida and D. F. C. Galarza, “Estado del Arte de conmutación de líneas de transmisión con análisis de contingencias,” *Revista de I+ D Tecnológico*, vol. 15, no. 2, pp. 98–106, 2019.
- [2] C. A. Jimenez-Carballo, “Ondas estacionarias,” 2018.
- [3] Y. Gervais and D. Mukhedkar, “Estudio del problema de contaminación en los aisladores para líneas de transmisión de alto voltaje,” 2017.
- [4] E. D. U. Berrones and J. S. Q. Gaibor, “Ética aplicada a la detección de fallas en líneas de transmisión utilizando la tecnología TDOA y Sensado comprimido,” *Observatorio de la Economía Latinoamericana*, no. 12, p. 56, 2019.
- [5] E. D. U. Berrones and J. S. Q. Gaibor, “Ética aplicada a la detección de fallas en líneas de transmisión utilizando la tecnología TDOA y Sensado comprimido,” *Observatorio de la Economía Latinoamericana*, no. 12, p. 56, 2019.
- [6] J. P. Bohórquez Muñoz, “Algoritmo de ubicación de fallas de un terminal basado en modelos de machine learning,” 2018.
- [7] J. Palacios, “Estado del arte de la planeación de expansión de sistemas de transmisión,” *I+ D Tecnológico*, vol. 16, no. 2, pp. 78–85, 2020.
- [8] P. E. Delgado and D. Carrión, “Expansión de un sistema de transmisión mediante LOPF-AC,” *Inge Cuc*, vol. 14, no. 2, pp. 116–125, 2018.
- [9] V. M. Polo, J. B. Peña, and L. Pacheco, “Calidad de la energía eléctrica bajo la perspectiva de los sistemas de puesta a tierra,” *Ciencia e Ingeniería*, vol. 38, no. 2, pp. 167–176, 2017.
- [10] J. D. Cunha and M. K. Jacob, “Análise biográfica e perfilológica de Nicola Tesla: sob a ótica da Proexologia,” *Proexologia*, vol. 5, no. 5, pp. 20–29, 2019.
- [11] M. Josephson, *Edison: A biography*. Plunkett Lake Press, 2019.
- [12] J. María and J. Luis, “Control digital,” 2018.
- [13] J. Blancas and J. Noel, “Pronóstico de la demanda eléctrica a corto plazo con lógica difusa,” *ENERLAC. Revista de energía de Latinoamérica y el Caribe*, vol. 2, no. 1, pp. 8–27, 2018.
- [14] J. E. Miranda-Vega, M. Rivas-López, W. Flores-Fuentes, O. Sergiyenko, L. Lindner, and J. C. Rodríguez-Quiñonez, “Reconocimiento de patrones aplicando LDA y LR a senales optoelectrónicas de sistemas de barrido óptico,” *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial*, vol. 17, no. 4, pp. 401–411, 2020.
- [15] J. Quinteros, P. Masache, and D. Carrión, “Revisión para la restauración optima de la operación del sistema eléctrico basado en criterios de calidad de energía y estabilidad,” *I+ D Tecnológico*, vol. 17, no. 1, pp. 87–95, 2021.
- [16] O. Hanco Cruz, “Coordinación de sistema de protecciones de la línea de transmisión de 220 KV Tintaya-Constancia,” 2018.
- [17] A. J. M. Peralta *et al.*, “Protecciones eléctricas en subestaciones eléctricas: análisis documental,” *Sapienza: International Journal of Interdisciplinary Studies*, vol. 3, no. 1, pp. 1004–1021, 2022.
- [18] X. D. Wang, X. Gao, Y. M. Liu, and Y. W. Wang, “WRC-SDT based on-line detection method for offshore



- wind farm transmission line,” *IEEE Access*, vol. 8, pp. 53547–53560, 2020.
- [19] C. Cortés-García and A. Ramírez-Fierro, “Solución tipo onda viajera en un Modelo Difusivo Depredador-Presa tipo Holling II,” *Revista de Matemática: Teoría y Aplicaciones*, vol. 28, no. 2, pp. 209–236, 2021.
- [20] J. Castanedo Lavin, “Aplicación de la transformada wavelet en la caracterización de señales eléctricas,” 2018.
- [21] V. Puliafito, S. Vergura, and M. Carpentieri, “Fourier, wavelet, and Hilbert-Huang transforms for studying electrical users in the time and frequency domain,” *Energies (Basel)*, vol. 10, no. 2, p. 188, 2017.
- [22] E. I. Quiroga Ruiz, “Evaluación comparativa entre algoritmos utilizados para la localización de fallas en líneas de transmisión de energía,” 2020.
- [23] A. Escallón Botero, “Análisis de arco eléctrico en fallas de alta impedancia con la transformada de Clarke,” 2021.
- [24] Z. Tan *et al.*, “Combined electricity-heat-cooling-gas load forecasting model for integrated energy system based on multi-task learning and least square support vector machine,” *J Clean Prod*, vol. 248, p. 119252, 2020.
- [25] E. P. K. Gilbert, B. Kaliaperumal, E. B. Rajsingh, and M. Lydia, “Trust based data prediction, aggregation and reconstruction using compressed sensing for clustered wireless sensor networks,” *Computers & Electrical Engineering*, vol. 72, pp. 894–909, 2018.
- [26] S. Zhang, J. Wu, D. Chen, S. Li, B. Yu, and J. Qu, “Fast frequency-domain compressed sensing analysis for high-density super-resolution imaging using orthogonal matching pursuit,” *IEEE Photonics J*, vol. 11, no. 1, pp. 1–8, 2018.
- [27] E. D. U. Berrones and J. S. Q. Gaibor, “Ética aplicada a la detección de fallas en líneas de transmisión utilizando la tecnología TDOA y Sensado comprimido,” *Observatorio de la Economía Latinoamericana*, no. 12, p. 56, 2019.
- [28] J. A. Ramírez Urrego, “Diagnóstico de procesos industriales basado en predicción de estados funcionales con inteligencia artificial para el control y la programación de mantenimiento,” 2018.
- [29] G. E. Chanchí Golondrino, D. F. Durán Dorado, and W. Y. Campo Muñoz, “Herramienta para el análisis de latencia y pérdida de paquetes en redes haciendo uso de algoritmos de clasificación soportados en árboles de decisión,” *Revista ESPACIOS. ISSN*, vol. 798, p. 1015, 2020.
- [30] F. G. Mora, E. H. Davila, and J. C. Villa, “Clasificación de fallas en rodamientos utilizando aprendizaje de máquinas,” *Dominio de las Ciencias*, vol. 7, no. 4, pp. 70–89, 2021.
- [31] R. H. Montes, C. A. M. Pinto, and S. G. N. Jiménez, “Redes neuronales y árboles de decisión para la clasificación de objetos astronómicos,” *Res. Comput. Sci.*, vol. 148, no. 7, pp. 477–489, 2019.
- [32] A. F. Alaminos-Fernández, “Árboles de decisión en R con Random Forest,” 2022.

## 7.1 Matriz de Estado del Arte

Tabla 3: Matriz de estado del arte.

CLASIFICACIÓN DE FALLAS EN LÍNEAS DE TRANSMISIÓN USANDO SEÑALES DISPERSAS BASADO EN EL RECONOCIMIENTO DE PATRONES PARA MEJORAR LA SEGURIDAD EN LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA																					
ITEM	DATOS			TEMÁTICA					FORMULACIÓN DEL PROBLEMA			RESTRICCIONES DEL PROBLEMA			PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA				SOLUCIÓN PROPUESTA		
	AÑO DE PUBLICACIÓN	TÍTULO DEL ARTÍCULO	CITAS	Señales en tiempo continuo de dos dimensiones	Fallas en los sistemas eléctricos de transmisión	Reconocimiento de patrones	Sensado Comprimido	Árbol de decisiones	Identificación de tipos fallas	Señales dispersas basado en el reconocimiento de patrones	Clasificación de tipos fallas de fallas en líneas de transmisión	Sistemas de transmisión	Falta de información sobre el tema	Sistema de barras	Transformada de Wavelet	Reconstrucción de señales	Identificación de patrones	Determinación de estado de falla	Uso de algoritmos para detección de fallas	Clasificar de manera más optima las fallas	Mejorar la seguridad en los sistemas eléctricos de potencia
1	2019	Estado del Arte de conmutación de líneas de transmisión con análisis de contingencias	19		☒				☒		☒										
2	2018	Ondas estacionarias	1	☒										☒			☒				
3	2017	Estudio del problema de contaminación en los aisladores para líneas de transmisión de alto voltaje	0	☒									☒					☒			
4	2019	Ética aplicada a la detección de fallas en líneas de transmisión utilizando la tecnología TDOA y Sensado comprimido	1		☒				☒		☒			☒			☒				
5	2019	Ética aplicada a la detección de fallas en líneas de transmisión utilizando la tecnología TDOA y Sensado comprimido	5		☒		☒		☒	☒			☒		☒	☒			☒	☒	☒
6	2018	Algoritmo de ubicación de fallas de un terminal basado en modelos de machine learning	6		☒			☒				☒		☒			☒				
7	2020	Estado del arte de la planeación de expansión de sistemas de transmisión	17		☒				☒		☒		☒			☒	☒		☒		
8	2019	Expansión de un sistema de transmisión mediante LOPF-AC	21		☒				☒		☒				☒			☒	☒	☒	☒
9	2018	Calidad de la energía eléctrica bajo la perspectiva de los sistemas de puesta a tierra	14	☒		☒			☒		☒	☒					☒				
10	2019	Análise biográfica e perfilológica de Nicola Tesla: sob a ótica da Proexologia	1	☒			☒			☒				☒			☒				☒
11	2019	Edison: A biography. Plunkett Lake Press	471			☒		☒	☒		☒		☒		☒						
12	2018	“Control digital,”	5	☒		☒							☒					☒			
13	2018	Pronóstico de la demanda eléctrica a corto plazo con lógica difusa	17		☒		☒		☒		☒		☒				☒		☒		☒
14	2020	Reconocimiento de patrones aplicando LDA y LR a senales optoelectrónicas de sistemas de barrido óptico	85		☒			☒	☒		☒		☒		☒			☒			

## CLASIFICACIÓN DE FALLAS EN LÍNEAS DE TRANSMISIÓN USANDO SEÑALES DISPERSAS BASADO EN EL RECONOCIMIENTO DE PATRONES PARA MEJORAR LA SEGURIDAD EN LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA

ITEM	DATOS		TEMÁTICA					FORMULACIÓN DEL PROBLEMA			RESTRICCIONES DEL PROBLEMA			PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA				SOLUCIÓN PROPUESTA			
	AÑO DE PUBLICACIÓN	TÍTULO DEL ARTÍCULO	CITAS	Señales en tiempo continuo de dos dimensiones	Fallas en los sistemas eléctricos de transmisión	Reconocimiento de patrones	Sensado Comprimido	Árbol de decisiones	Identificación de tipos fallas	Señales dispersas basado en el reconocimiento de patrones	Clasificación de tipos fallas de fallas en líneas de transmisión	Sistemas de transmisión	Falta de información sobre el tema	Sistema de barras	Transformada de Wavelet	Reconstrucción de señales	Identificación de patrones	Determinación de estado de falla	Uso de algoritmos para detección de fallas	Clasificar de manera más óptima las fallas	Mejorar la seguridad en los sistemas eléctricos de potencia
15	2021	Revisión para la restauración óptima de la operación del sistema eléctrico basado en criterios de calidad de energía y estabilidad	10	☒								☒	☒			☒					☒
16	2018	Coordinación de sistema de protecciones de la línea de transmisión de 220 KV Tintaya-Constancia	1		☒				☒		☒					☒		☒			
17	2022	Protecciones eléctricas en subestaciones eléctricas: análisis documental	1		☒			☒		☒			☒	☒		☒		☒	☒		
18	2020	WRC-SDT based on-line detection method for offshore wind farm transmission line	15		☒				☒			☒			☒					☒	
19	2021	Solución tipo onda viajera en un Modelo Difusivo Depredador-Presa tipo Holling II	2		☒			☒							☒		☒			☒	
20	2018	Aplicación de la transformada wavelet en la caracterización de señales eléctricas	1					☒			☒		☒	☒				☒			
21	2017	Fourier, wavelet, and Hilbert-Huang transforms for studying electrical users in the time and frequency domain	27		☒				☒	☒		☒		☒		☒				☒	
22	2020	Evaluación comparativa entre algoritmos utilizados para la localización de fallas en líneas de transmisión de energía	0					☒		☒		☒	☒	☒			☒				
23	2021	Análisis de arco eléctrico en fallas de alta impedancia con la transformada de Clarke	1			☒		☒		☒					☒			☒			
24	2020	Combined electricity-heat-cooling-gas load forecasting model for integrated energy system based on multi-task learning and least square support vector machine	131		☒			☒				☒	☒		☒		☒			☒	
25	2018	Trust based data prediction, aggregation and reconstruction using compressed sensing for clustered wireless sensor networks	66			☒				☒	☒			☒		☒				☒	☒
26	2018	Fast frequency-domain compressed sensing analysis for high-density super-resolution imaging using orthogonal matching pursuit,	11			☒			☒			☒		☒		☒		☒			
27	2019	Ética aplicada a la detección de fallas en líneas de transmisión utilizando la tecnología TDOA y Sensado comprimido	1			☒	☒								☒		☒	☒			
28	2018	Diagnóstico de procesos industriales basado en predicción de estados funcionales con inteligencia artificial para el control y la programación de mantenimiento	2					☒	☒						☒			☒	☒		

## CLASIFICACIÓN DE FALLAS EN LÍNEAS DE TRANSMISIÓN USANDO SEÑALES DISPERSAS BASADO EN EL RECONOCIMIENTO DE PATRONES PARA MEJORAR LA SEGURIDAD EN LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA

ITEM	DATOS		TEMÁTICA				FORMULACIÓN DEL PROBLEMA			RESTRICCIONES DEL PROBLEMA			PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA				SOLUCIÓN PROPUESTA				
	AÑO DE PUBLICACIÓN	TÍTULO DEL ARTÍCULO	CITAS	Señales en tiempo continuo de dos dimensiones	Fallas en los sistemas eléctricos de transmisión	Reconocimiento de patrones	Sensado Comprimido	Árbol de decisiones	Identificación de tipos fallas	Señales dispersas basado en el reconocimiento de patrones	Clasificación de tipos fallas de fallas en líneas de transmisión	Sistemas de transmisión	Falta de información sobre el tema	Sistema de barras	Transformada de Wavelet	Reconstrucción de señales	Identificación de patrones	Determinación de estado de falla	Uso de algoritmos para detección de fallas	Clasificar de manera más óptima las fallas	Mejorar la seguridad en los sistemas eléctricos de potencia
29	2020	Herramienta para el análisis de latencia y pérdida de paquetes en redes haciendo uso de algoritmos de clasificación soportados en árboles de decisión	2					☒			☒		☒	☒			☒	☒			☒
30	2021	Clasificación de fallas en rodamientos utilizando aprendizaje de máquinas	1					☒	☒		☒					☒			☒		☒
31	2019	Redes neuronales y árboles de decisión para la clasificación de objetos astronómicos	2					☒		☒	☒			☒		☒			☒	☒	
32	2022	Árboles de decisión en R con Random Forest	1					☒	☒					☒							☒
				5	9	9	7	11	16	6	16	6	14	11	12	11	15	8	15	12	7

## 7.2 Resumen de Indicadores

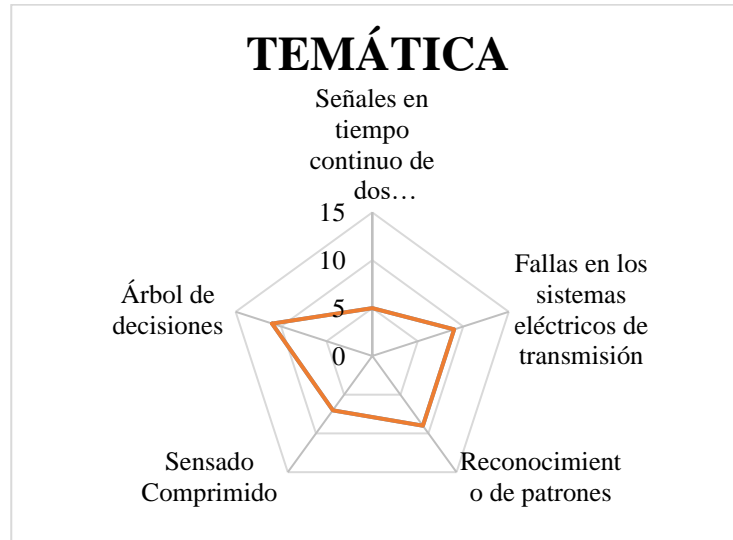


Figura 21. Resumen e indicador de la temática - Estado del arte.

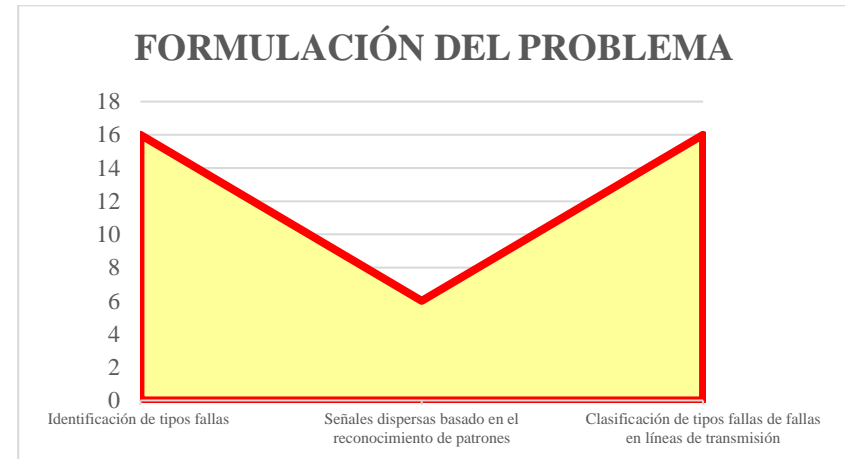


Figura 22. Indicador de formulación del problema - Estado del arte.

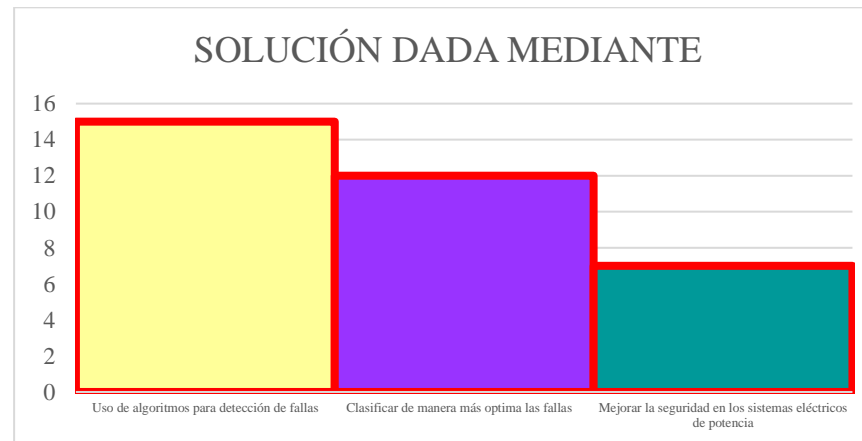


Figura 23. Indicador de solución - Estado del arte.