

ANÁLISIS DEL DESEMPEÑO DE LOCALIZADOR DE FALLAS BASADO EN SVM ANTE LA VARIACIÓN DE CARGA EN EL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN

RESUMEN

La localización de fallas en sistemas de distribución no es un problema de fácil solución, debido a que éstos incluyen cargas intermedias, ramales laterales trifásicos, bifásicos y monofásicos, múltiples calibres de conductor, entre otros. Una de las mejores alternativas de solución, son los métodos basados en el análisis de la información obtenida de las medidas. Estos métodos estiman una zona del sistema dentro de la cual se encuentra el sitio de falla.

En este artículo se presenta un análisis del desempeño de un método de localización de fallas, ante las variaciones de la carga en el sistema de potencia. Esta alternativa de solución se presenta debido a que normalmente no se conoce el estado exacto de la carga en el instante de ocurrencia de la falla, por tanto hay que validar el método con un rango de incertidumbre. Como método de localización basado en la información obtenida de las medidas de tensión y corriente, se utilizan las máquinas de soporte vectorial (SVM).

Los resultados obtenidos con el método entrenado en condiciones de carga nominal, y los resultados de prueba ante variaciones de la carga en el sistema del 60 %, 80%, 125% y 140 % de la carga nominal, muestran el buen desempeño del localizador, el cual responde adecuadamente a nuevas situaciones de carga del sistema.

PALABRAS CLAVES: Localización de fallas, variación de carga, sistemas de distribución, máquinas de soporte vectorial.

ABSTRACT

Fault location in power distribution systems is not a straightforward solvable problem, due the special characteristics of these electrical networks, which include intermediate tapped loads, single, double and three phase laterals, multiple conductor gauges, among others. One of the best analyzed alternatives to solve this problem, are the methods based on the knowledge obtained from the measurements. These estimate the probable zone in the power system where the fault is located.

This paper presents the analysis of the performance of a fault location method during load variation in the power system. This approach is presented because normally the exact load of the power system is not well known and that is the reason to validate the method in an uncertainty interval. As current and voltage measurement based fault location method, support vector machines (SVM) are used.

Results obtained by using a method trained with nominal load system data, and the test results considering system load variation of 60%, 80%, 125% and 140% from the nominal system load show the good performance of the proposed fault locator.

KEY WORDS: Fault location, load variation, distribution power systems, support vector machines.

1. INTRODUCCIÓN

El mercado liberalizado de la electricidad ha hecho que se requieran de estándares de calidad, para de esta manera establecer un servicio más confiable [1]. La calidad de energía eléctrica, de forma general se divide en dos grandes tópicos, la calidad del suministro y la calidad de la atención al cliente. En lo relacionado con la calidad del suministro, esta se divide en dos partes, la

forma de onda y la continuidad. Este último aspecto es el que se considera cuando se aborda el problema de localización de fallas. En caso de falla, la restauración del servicio puede ser considerablemente más rápida si puede estimar el sitio donde ésta ocurrió [1] [2].

La localización de fallas en sistemas de distribución es más complicada que en transmisión, por la complejidad debida a la presencia de conductores no homogéneos, cargas intermedias, laterales y desbalance del sistema y

JUAN JOSÉ MORA FLÓREZ *

Ingeniero Electricista, Ph.D.(c)
Profesor auxiliar
Universidad Tecnológica de Pereira
jjmora@ohm.utp.edu.co

GERMÁN MORALES

ESPAÑA**

Ingeniero Electricista, M.Sc. (c)
Universidad Industrial de Santander
gmorales@uis.edu.co

SANDRA MILENA PÉREZ LONDOÑO*

Ingeniera Electricista, M.Sc.
Profesor asistente
Universidad Tecnológica de Pereira
saperez@utp.edu.co

*Universidad Tecnológica de Pereira
Grupo de Investigación en Calidad de Energía Eléctrica y Estabilidad - ICE³

Grupo de Planeamiento de Sistemas Eléctricos - GPE

**Universidad Industrial de Santander.

Grupo de Investigación en Sistemas Eléctricos - GISEL

de la carga. Adicionalmente, en estos sistemas solo se cuenta con medidas en la subestación, y algunas veces, del modelo simplificado del sistema [3] [4].

Los métodos clásicos de localización de falla emplean las medidas de tensión y corriente en la subestación, para estimar la reactancia, ya que ésta se relaciona con la distancia al sitio de falla. Los problemas de estos métodos, son la necesidad de un buen modelo del sistema y la múltiple estimación del sitio de falla, debido a que la distancia puede coincidir con muchos sitios en un sistema ramificado [3].

De otra parte, en las últimas décadas han sido desarrolladas muchas técnicas y aplicaciones en el campo de la computación suave y la inteligencia artificial (AI). Cada técnica pretende aprovechar sus ventajas para la solución de los problemas reales, generalmente complejos [1] [5].

En este artículo se presenta un análisis de un método basado en máquinas de soporte vectorial (SVM), para la localización de fallas, que utiliza las medidas de tensión y corriente tomadas en la subestación. Debido a que la carga de un sistema varía considerablemente durante la operación, el desempeño del método se prueba bajo una condición de carga nominal y se analiza su sensibilidad ante variaciones $\pm 40\%$ de la carga.

Como contenido del artículo, en la sección dos se presenta la descripción general de las máquinas de soporte vectorial. En el numeral tres, se describe la metodología desarrollada para implementar y probar el localizador de fallas, mientras que las pruebas y el análisis de los resultados se muestran en el numeral cuatro. Finalmente, en la sección cinco se presentan las conclusiones.

2. MÁQUINAS DE SOPORTE VECTORIAL (SVM)

Las SVM son un algoritmo de aprendizaje ("learning machine"), basado en procedimientos de estimación de parámetros a partir de un conjunto de datos ("Training"), el cálculo del valor de la función ("Testing"), y la evaluación de la precisión ("Performance") [6].

Asumiendo que existen dos clases $y = \pm 1$ que se quieren separar, la idea principal es obtener dos hiperplanos paralelos, de tal forma que se separen los datos de las dos clases, tal como se presenta en la figura 1. La condición básica es que no existan puntos entre $H1$ y $H2$, y que la distancia entre $H1$ y $H2$ (el margen), sea máxima [7].

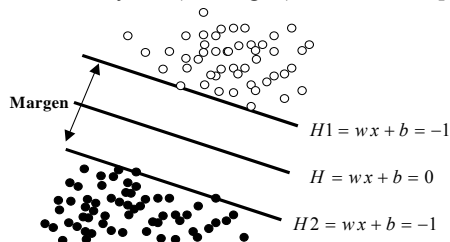


Figura 1. Hiperplanos de decisión generados por una SVM lineal

De la figura 1, w y b son los parámetros que controlan la función y se denominan vector de pesos y "bias" [6]. Este es un problema de programación cuadrática, convexo, en un conjunto convexo (w , b), resuelto mediante los multiplicadores de Lagrange y el teorema de la dualidad [7]. Al determinar el máximo margen (hiperplanos que maximizan el margen), sólo los puntos que se encuentren más cercanos a los hiperplanos tendrán valores de α_i positivos. Estos puntos constituyen los Vectores de Soporte (VS), o elementos críticos del conjunto de datos. Todos los demás puntos tendrán $\alpha_i = 0$. Esto significa que si se repite el proceso de entrenamiento conservando sólo los VS, se obtendrán los mismos hiperplanos.

Los problemas con un conjunto pequeño de datos se pueden resolver con cualquier programa de optimización cuadrática estándar con restricciones. Para problemas con muchos datos, se han desarrollado técnicas especiales [7].

Si la superficie que separa las dos clases no es lineal, el conjunto de datos se puede transformar en un nuevo espacio dimensional, tal que los puntos sean separables linealmente. La figura 2 muestra tal transformación [6].

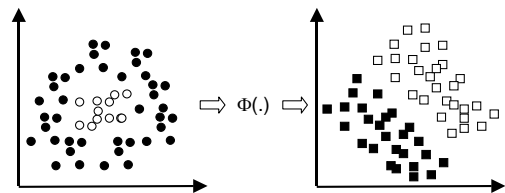


Figura 2. Transformación de un espacio donde los datos no son linealmente separables, en uno de mayor dimensión y separable linealmente.

Este nuevo espacio de mayor dimensión se define en términos de un vector en el espacio original y una función de transformación $\Phi(\cdot)$, no es necesario especificar la transformación $\Phi(\cdot)$, ya que ésta se define como un producto escalar en el nuevo espacio de representación [7].

Finalmente, existe la alternativa de crear un clasificador de margen débil que acepta errores, y una constante (C), que permite penalizar la función del margen a optimizar.

3. METODOLOGÍA DESARROLLADA

La metodología utilizada para localizar la región probable de falla, a partir de la tensión y la corriente medidas en la subestación y la posterior aplicación de las SVM se presenta en esta sección. El proceso está dividido en cinco etapas generales:

3.1 Zonificación de la red

Para utilizar las SVM, el problema es más sencillo si el sistema de potencia se divide en zonas (clases), a las cuales se asigna cada conjunto de características de tensión y corriente.

El criterio de zonificación está fundamentado en la división del sistema, para que la identificación de una zona como la más probable, permita al equipo de operación y mantenimiento de la red, reducir el tiempo de

restauración del servicio. Como principio fundamental, una zona no debe contener más de un lateral, para evitar el problema de la múltiple estimación, propio de los métodos basados en el cálculo de la reactancia [4].

3.2 Adquisición de datos de falla

Cuando ocurre una falla, se debe tener la posibilidad de registrar las señales de tensión y corriente. A partir de estos registros se crea una base de datos, en la cual, cada registro se identifica con el tipo de falla y su localización.

3.3 Pre-procesamiento de la señal

En esta etapa se obtiene un conjunto de características o descriptores de la señal. Cada conjunto de descriptores tiene una etiqueta que corresponde con la zona donde ocurrió la falla.

En este artículo, las características o descriptores obtenidas de las señales de tensión y corriente corresponden a: la variación del valor eficaz de prefalla y falla de tensión (ΔV), de corriente (ΔI), variación de potencia aparente (ΔS), la reactancia de falla (X_f), y la frecuencia de la señal transitoria de la falla (f). La variación de la corriente y de la tensión se toman para las señales de fase y de línea, éstas últimas identificadas con la letra L.

3.4 Entrenamiento de las SVM

La primera parte de esta etapa es la selección del conjunto de descriptores a emplear en el entrenamiento. Se analizan las diferentes combinaciones de descriptores y se obtiene la localización correcta de la zona donde ocurre la falla.

El tipo de “kernel” empleado, dado su mejor desempeño, es del tipo RBF (Radial basis function), que se presenta en (1),

$$K(\vec{u}, \vec{v}) = e \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{|\vec{u} - \vec{v}|}{\sigma} \right)^2 \right] \quad (1)$$

En el entrenamiento de las SVM se utilizó el método de búsqueda en malla y la validación cruzada para encontrar el mejor valor de la constante de penalización C y del parámetro σ del “kernel” RBF [7].

La arquitectura del localizador de fallas basado en SVM consta de un clasificador general que determina el tipo de falla, en serie con un arreglo de clasificadores por tipo de falla tal como se presenta en la figura 3.

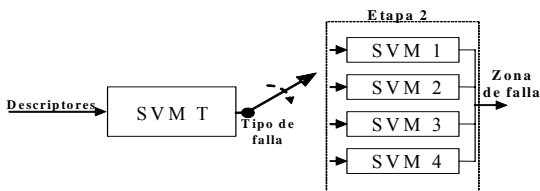


Figura 3. Clasificadores de zona dependiente del tipo de falla.

La SVM T corresponde a la máquina entrenada para reconocer el tipo de fallas. Las SVM 1 al 4 están

encargadas de reconocer las fallas monofásicas, bifásicas, bifásicas a tierra y trifásicas, respectivamente. En este trabajo, se desarrolló el entrenamiento del tipo supervisado, con el cual se obtuvieron resultados adecuados para resolver el problema planteado.

3.5 Pruebas de precisión

Las pruebas de precisión se realizan para estimar el comportamiento futuro de la SVM ante datos que no fueron empleados para el proceso de entrenamiento. Los datos de prueba se obtuvieron con el sistema de potencia ante diferentes condiciones de carga. La precisión se calcula tal como se presenta en (2).

$$\text{Precisión} = \frac{\text{Datos bien clasificados}}{\text{Total de datos}} \times 100\% \quad (2)$$

La medida de la precisión en el reconocimiento de las zonas CON falla, es un buen indicador que permite predecir el comportamiento del localizador de fallas basado en SVM, ante nuevas situaciones.

4. PRUEBAS Y RESULTADOS

4.1 Descripción del sistema de pruebas

El sistema de distribución seleccionado para las pruebas, es el modelo de 25kV utilizado en [2]. Además, este circuito ha sido utilizado para pruebas de distintos métodos de localización de fallas [3] [4] [5]. El diagrama unifilar de este sistema se presenta en la figura 4.

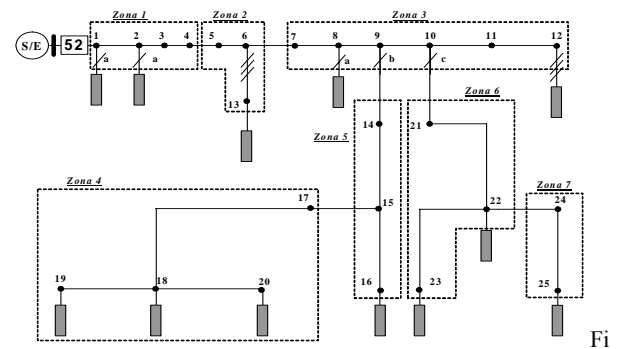


Figura 4. Diagrama unifilar del sistema de pruebas

El circuito se dividió en 7 zonas, para ubicar el punto más probable de localización de falla. Básicamente se busca discriminar la sección donde se encuentra la falla.

Se realizaron pruebas para 19530 fallas, incluyendo todos los nodos y los distintos tipos de fallas (monofásicas, bifásicas, bifásicas a tierra y trifásicas) y las diferentes condiciones de carga (60%, 80%, 100%, 125% y 140% de la carga nominal). Se emplearon 21 resistencias de falla que varían entre $0,05\Omega$ y 40Ω [8]. Para la obtención de los datos, el sistema se implementó en ATP (Alternative Transient Program) [9].

4.2 Definición de las pruebas

Para las pruebas se definen diferentes escenarios. El primer escenario está asociado con el entrenamiento del localizador de fallas basado en SVM para la condición de

carga nominal. La precisión del método se prueba utilizando datos diferentes a los empleados en el entrenamiento, ante diferentes condiciones de carga, tal como el 60%, 80%, 100%, 125% y 140%.

4.3 Resultados de las pruebas

A continuación se presentan los resultados para las pruebas realizadas al localizador de fallas propuesto, ante las circunstancias expuestas en el numeral anterior.

4.3.1 Prueba del localizador de fallas para el sistema de potencia bajo carga nominal.

El sistema se entrena en condición de carga nominal, con datos de cinco resistencias de falla, distribuidas uniformemente entre 0,05Ω y 40Ω. Las 16 resistencias restantes se utilizaron para prueba. La tabla 1 presenta los datos de entrenamiento y prueba para carga nominal.

Tipo de falta	Cantidad de datos de entrenamiento	Cantidad de datos de prueba
SVM 1	225	846
SVM 2	180	639
SVM 3	180	639
SVM 4	60	213

Tabla 1. Cantidad de datos de entrenamiento y prueba para carga nominal

Para las pruebas del sistema con carga nominal, en la tabla 2 se presentan los resultados para las combinaciones con precisión perfecta (100 %), en la prueba (con datos que no se utilizaron en el entrenamiento).

Tipo de falla	Combinaciones de descriptores		
Línea – tierra SVM 1	Xf	Xf, f	$\Delta S, \Delta I, Xf, f$
	$\Delta S, Xf$	$\Delta V, \Delta I, Xf$	$\Delta S, \Delta V, \Delta I, Xf, f$
	$\Delta V, Xf$	$\Delta V, Xf, f$	$\Delta S, \Delta I, Xf$
	$\Delta VL, Xf$	$\Delta S, \Delta V, \Delta I, Xf$	$\Delta S, Xf, f$
Fase – fase SVM 2	$\Delta I, Xf$	$\Delta S, \Delta V, Xf, f$	
	ΔI	$\Delta V, Xf$	$\Delta S, \Delta V, \Delta I$
	f	$\Delta VL, \Delta I$	$\Delta S, \Delta V, Xf$
	$\Delta S, \Delta V$	$\Delta VL, \Delta IL$	$\Delta S, \Delta I, Xf$
Fase – tierra SVM 3	$\Delta S, \Delta I$	$\Delta VL, Xf$	$\Delta S, Xf, f$
	$\Delta S, Xf$	$\Delta I, \Delta IL$	$\Delta V, \Delta I, Xf$
	$\Delta S, f$	$\Delta I, Xf$	$\Delta S, \Delta V, \Delta I, Xf$
	$\Delta V, \Delta VL$	$\Delta IL, Xf$	$\Delta S, \Delta V, \Delta I, f$
Trifásica SVM 4	$\Delta V, \Delta I$	Xf, f	$\Delta V, \Delta I, Xf, frec$
	$\Delta V, \Delta IL$		
	ΔV	$\Delta VL, \Delta I$	$\Delta S, Xf, f$
	Xf	$\Delta VL, \Delta IL$	$\Delta V, \Delta I, Xf$
Fase - fase - tierra SVM 3	f	$\Delta VL, Xf$	$\Delta V, \Delta I, f$
	$\Delta S, \Delta V$	$\Delta I, f$	$\Delta V, Xf, f$
	$\Delta S, \Delta I$	$\Delta IL, Xf$	$\Delta I, Xf, f$
	$\Delta S, Xf$	Xf, f	$\Delta S, \Delta V, \Delta I, Xf$
Trifásica SVM 4	$\Delta S, f$	$\Delta S, \Delta V, \Delta I$	$\Delta S, \Delta V, \Delta I, f$
	$\Delta V, \Delta VL$	$\Delta S, \Delta V, Xf$	$\Delta S, \Delta V, Xf, f$
	$\Delta V, \Delta I$	$\Delta S, \Delta V, f$	$\Delta S, \Delta I, Xf, f$
	$\Delta V, \Delta IL$	$\Delta S, \Delta I, Xf$	$\Delta V, \Delta I, Xf, f$
Trifásica SVM 4	$\Delta V, Xf$	$\Delta S, \Delta I, f$	
	$\Delta S, \Delta V, \Delta I$	$\Delta V, Xf$	$\Delta S, \Delta V, Xf, f$
	$\Delta V, \Delta I$	$\Delta VL, Xf$	$\Delta S, \Delta I, Xf, f$
	$\Delta V, \Delta IL$	$\Delta S, \Delta V, Xf$	$\Delta S, \Delta V, \Delta I, Xf, f$
Trifásica SVM 4	$\Delta VL, \Delta I$	$\Delta S, \Delta I, Xf$	$\Delta I, Xf$
	$\Delta VL, \Delta IL$	$\Delta V, \Delta I, Xf$	$\Delta IL, Xf$
	$\Delta S, Xf$	$\Delta S, \Delta V, \Delta I, Xf$	

Tabla 2. Resultados de combinación de descriptores que

presentan una precisión del 100%.

4.3.2 Prueba del localizador de fallas para el sistema con carga diferente de la nominal.

En el caso de todas las situaciones diferentes a la carga nominal, se presentan los mejores resultados de precisión obtenidos. Los resultados para 60%, 80%, 125% y 140 % de la carga nominal se presentan en la tabla 3 (al final del documento).

4.4 Análisis de resultados

En la tabla 4 se muestran los mejores resultados promedios por conjunto de descriptores obtenidos para las diferentes condiciones de carga (60%, 80%, 125% y 140% de la carga nominal).

Tipo de falta	Descriptores seleccionados	Precisión de la SVM en la prueba %
Línea – tierra SVM 1	$\Delta V, f$	94,0476191
	f	93,2275132
	$\Delta I, f$	91,6666667
	$\Delta V, \Delta I, f$	90,8730159
	$\Delta S, \Delta V, f$	88,6772487
	$\Delta S, \Delta V, \Delta I, f$	88,3068783
	ΔS	88,1481481
	$\Delta S, f$	87,7248677
	$\Delta S, \Delta I, f$	87,2486772
	$\Delta VL, \Delta IL$	85,6349206
Fase – fase SVM 2	ΔV	84,6825397
	f	99,4378307
	$\Delta V, f$	99,3386243
	$\Delta I, f$	99,3055556
	$\Delta S, \Delta I, f$	99,0410053
	$\Delta S, f$	97,6851852
	$\Delta V, \Delta I, f$	95,5687831
	ΔV	95,2380952
	$\Delta V, \Delta VL$	95,2380952
	$\Delta I, f$	97,5859788
Fase – tierra SVM 3	$\Delta S, f$	96,8584656
	$\Delta V, f$	96,5608466
	$\Delta V, \Delta I, f$	95,3373016
	ΔI	94,7420635
	$\Delta S, \Delta I, f$	94,5767196
	$\Delta V, \Delta I$	94,5767196
	$\Delta V, \Delta VL$	94,5436508
	$\Delta VL, \Delta I$	94,510582
	ΔV	94,1137566
	$\Delta S, \Delta V, \Delta I$	99,4047619
Trifásica SVM 4	$\Delta V, \Delta I$	92,7579365
	$\Delta V, \Delta IL$	92,7579365
	$\Delta VL, \Delta I$	92,7579365
	$\Delta VL, \Delta IL$	92,7579365

Tabla 4. Resultados de precisión promedio para distintos tipos de carga.

En la tabla 4 se observa que la frecuencia es el descriptor que más aporta información de la localización de la falla, a excepción del tipo de falla trifásica. Éste es el descriptor más robusto ante cambios de carga tal como se presenta en la figura 5 para los cinco valores de carga del sistema. Se observa que todas las líneas se traslapan.

De otra parte, también se observa que el descriptor de reactancia no aparece en ninguno de los resultados presentados, se puede decir que este descriptor es poco robusto ante cambios de carga. En las figuras 6 y 7 se

presentan tanto el valor de la reactancia de la fase fallada como la de las fases no falladas, respectivamente, y en el caso de fallas monofásicas.

En la figura 6 se muestra un buen comportamiento de la reactancia en la fase fallada para diferentes condiciones de carga, pero es necesario incluir la información de las otras fases para así poder atacar el problema de la múltiple estimación. En la figura 7 se muestra el comportamiento de una fase no fallada ante una falla monofásica. Se observa que este descriptor varía considerablemente con el cambio de carga, haciendo que la reactancia sea poco robusta ante este tipo de variaciones.

Finalmente se puede observar de la tabla 3, que los descriptores asociados con el cambio de la magnitud de tensión, corriente y potencia aparente, conservan cierta independencia con el cambio en la carga, de tal forma que presentan buenos resultados en la localización de la zona bajo falla.

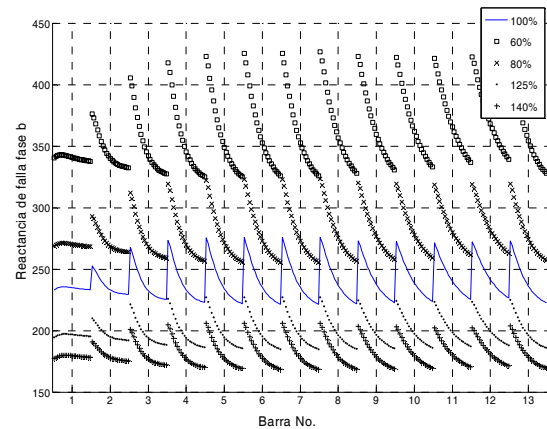


Figura 7. Comportamiento del descriptor reactancia en una fase no fallada, ante una falla monofásica y para diferentes condiciones de carga.

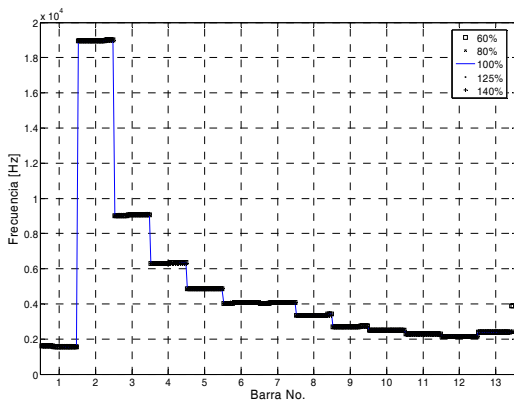


Figura 5. Comportamiento del descriptor de frecuencia en la fase fallada ante una falla monofásica para diferentes condiciones de carga.

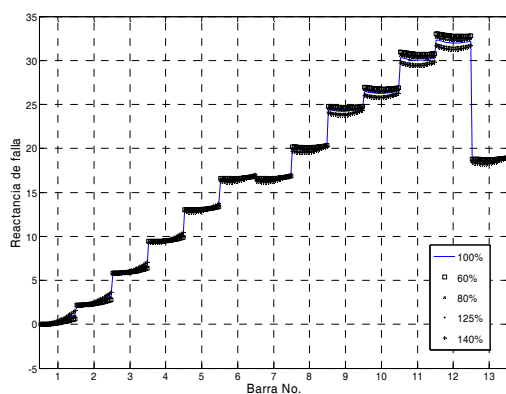


Figura 6. Comportamiento del descriptor de reactancia en la fase fallada ante una falla monofásica y diferentes condiciones de carga

5. CONCLUSIONES

En este artículo se presentó un localizador de fallas para sistemas de distribución basado en la técnica de las máquinas de soporte vectorial. Mediante la adecuada caracterización del sistema, se presentan los descriptores que son utilizados para entrenar y validar el localizador.

Según los resultados obtenidos, se observa el buen desempeño del localizador para la variación de carga en el sistema de potencia. Los resultados muestran que las combinaciones que contienen la frecuencia tienen la mejor precisión para los casos analizados.

Finalmente, mediante este tipo de aplicaciones, se consigue reducir el tiempo de restauración del sistema fallado y por tanto la mejora de los índices que miden la continuidad del servicio de energía eléctrica.

6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Mora. J. "Voltage Sag Characterization and Classification for Diagnosis in Electric Power Quality Domain", Master dissertation. University of Girona, España. 2003.
- [2] Das, R. "Determining the Locations of Faults in Distribution Systems". Tesis doctoral, University of Saskatchewan. Saskatoon, Canada. 1998.
- [3] Mora J., Perez L., Carrillo G. "Fault location in power distribution systems using ANFIS nets and current patterns" In CD proceedings of 2006 IEEE PES Transmission and Distribution Conference and Exposition: Latin America. IEEE Catalog Number 06EX1340C. ISBN 1-4244-0288-3.
- [4] Mora J., Muñoz S., Carrillo G. "Técnicas algorítmicas de localización de fallas como alternativa para reducir el efecto de las salidas en sistemas de potencia - Una revisión". III Internacional Symposium of Power Quality. Bogotá, Colombia, Nov. 2005.
- [5] Mora J., Meléndez J., Carrillo G. "Una Arquitectura Genérica para el Desarrollo de Sistemas Híbridos.

Propuesta de localizador de fallas para mejorar los índices de calidad”. III Internacional Simposium of Power Quality. Bogotá, Colombia, Noviembre 2005.

- [6] Morales G., Gómez A. “Estudio e implementación de una herramienta basada en máquinas de soporte vectorial aplicada a la localización de fallas en sistemas de distribución”. Universidad Industrial de Santander. 2005.
- [7] Bernhard S., Smola A. “Learning with Kernels Support Vector Machines, Regularization, Optimization and Beyond”. The MIT Press, Cambridge. 2002.

- [8] Mora J., Melendez J., Bedoya J. “Extensive Events Database Development using ATP and Matlab to Fault Location in Power Distribution Systems”. In CD proceedings of 2006 IEEE PES Transmission and Distribution Conference and Exposition: Latin America. IEEE Catalog Number 06EX1340C. ISBN 1-4244-0288-3
- [9] H. W. Dommel, “EMTP Theory Book”, Second Edition. Vancouver, BC: Microtran Power System Analysis Corporation, 1992.

Tipo de falla	Sistema al 60 % de la carga nominal		Sistema al 80 % de la carga nominal		Sistema al 125 % de la carga nominal		Sistema al 140 % de la carga nominal	
	Descriptores seleccionados	Precisión [%]	Descriptores seleccionados	Precisión [%]	Descriptores seleccionados	Precisión [%]	Descriptores seleccionados	Precisión [%]
Línea – tierra SVM 1	$\Delta V, f$	93,756614	$\Delta S, \Delta V, f$	95,8730159	f	94,8148148	f	94,6031746
	f	90,158731	$\Delta V, f$	95,7671958	$\Delta V, f$	94,2857143	$\Delta I, f$	93,1216931
	$\Delta I, f$	86,984127	$\Delta S, \Delta V, \Delta I, f$	94,8148148	$\Delta I, f$	94,1798942	$\Delta V, f$	92,3809524
	$\Delta V, \Delta I, f$	84,761905	$\Delta V, \Delta I, f$	94,7089947	$\Delta V, \Delta I, f$	93,7566138	$\Delta S, f$	90,5820106
	ΔV	83,597884	f	93,3333333	$\Delta S, f$	92,6984127	$\Delta V, \Delta I, f$	90,2645503
	$\Delta VL, \Delta IL$	82,222222	ΔS	93,1216931	$\Delta S, \Delta V, \Delta I, f$	91,6402116		
	ΔS	82,010582	$\Delta S, \Delta I, f$	93,1216931	$\Delta S, \Delta V, f$	90,8994709		
	$\Delta S, \Delta V, f$	80,529101	$\Delta I, f$	92,3809524	ΔS	90,7936508		
		$\Delta VL, \Delta IL$	90,8994709					
Fase – fase SVM 2	f	98,9417989	f	100	f	99,7354497	$\Delta V, f$	99,4708995
	$\Delta I, f$	98,4126984	$\Delta V, \Delta VL$	100	$\Delta V, f$	99,7354497	$\Delta I, f$	99,3386243
	$\Delta V, f$	98,2804233	$\Delta V, f$	99,8677249	$\Delta I, f$	99,7354497	f	99,0740741
	$\Delta S, \Delta I, f$	97,6190476	$\Delta I, f$	99,7354497	$\Delta S, \Delta I, f$	99,7354497	$\Delta S, \Delta I, f$	99,0740741
	$\Delta S, f$	95,1058201	$\Delta S, \Delta I, f$	99,7354497	$\Delta S, f$	99,2063492	$\Delta S, f$	97,8835979
	$\Delta V, \Delta I, f$	91,9312169	$\Delta S, f$	98,5449735	ΔV	98,8095238	$\Delta V, \Delta I, f$	95,6349206
	ΔV	91,9312169	$\Delta VL, \Delta I$	97,3544974	$\Delta V, \Delta I, f$	97,8835979		
	$\Delta VL, \Delta I$	91,7989418	$\Delta V, \Delta I, f$	96,8253968	$\Delta V, \Delta VL$	97,6190476		
	$\Delta S, \Delta V, \Delta I, f$	91,7989418	ΔV	95,8994709	$\Delta S, \Delta V, f$	96,1640212		
	$\Delta V, \Delta VL$	91,6666667	$\Delta V, \Delta I$	95,2380952				
Fase – fase – tierra SVM 3	$\Delta I, f$	98,2804233	$\Delta V, \Delta I, f$	100	$\Delta S, f$	97,3544974	$\Delta S, f$	96,8253968
	$\Delta V, f$	97,0899471	$\Delta V, \Delta I$	99,7354497	$\Delta I, f$	96,957672	$\Delta I, f$	96,8253968
	$\Delta S, f$	96,4285714	$\Delta VL, \Delta I$	99,6031746	$\Delta V, \Delta I, f$	96,6931217	$\Delta V, f$	95,6349206
	ΔI	93,2539683	$\Delta V, \Delta VL$	99,6031746	$\Delta V, f$	96,031746	$\Delta S, \Delta I, f$	93,7830688
	$\Delta V, \Delta I, f$	92,989418	ΔV	98,9417989	$\Delta V, \Delta VL$	95,6349206	ΔI	91,7989418
	$\Delta VL, \Delta I$	92,1957672	ΔI	98,4126984	ΔV	95,6349206	$\Delta S, \Delta V, \Delta I, f$	91,7989418
	$\Delta V, \Delta I$	91,9312169	$\Delta I, f$	98,2804233	ΔI	95,5026455	$\Delta V, \Delta I, f$	91,6666667
	ΔV	91,6666667	$\Delta S, \Delta I, f$	98,2804233	$\Delta V, \Delta I$	95,2380952	$\Delta V, \Delta I$	91,4021164
	$\Delta V, \Delta VL$	91,6666667	$\Delta V, f$	97,4867725			$\Delta VL, \Delta I$	91,4021164
	$\Delta V, \Delta IL$	91,6666667	$\Delta S, \Delta V, \Delta I, f$	97,2222222			f	91,4021164
	$\Delta VL, \Delta IL$	91,6666667						
	$\Delta S, \Delta V, \Delta I$	91,5343915						
	$\Delta S, \Delta I, f$	91,5343915						
f	91,4021164							
Trifásica SVM 4	$\Delta S, \Delta V, \Delta I$	100	$\Delta S, \Delta V, \Delta I$	100	$\Delta S, \Delta V, \Delta I$	99,2063492	$\Delta S, \Delta V, \Delta I$	98,4126984
	$\Delta V, \Delta I$	91,6666667	$\Delta V, \Delta I$	97,6190476	$\Delta V, \Delta I$	91,6666667	$\Delta V, \Delta I$	90,0793651
	$\Delta V, \Delta IL$	91,6666667	$\Delta V, \Delta IL$	97,6190476	$\Delta V, \Delta IL$	91,6666667	$\Delta V, \Delta IL$	90,0793651
	$\Delta VL, \Delta I$	91,6666667	$\Delta VL, \Delta I$	97,6190476	$\Delta VL, \Delta I$	91,6666667	$\Delta VL, \Delta I$	90,0793651
	$\Delta VL, \Delta IL$	91,6666667	$\Delta VL, \Delta IL$	97,6190476	$\Delta VL, \Delta IL$	91,6666667	$\Delta VL, \Delta IL$	90,0793651
			$\Delta S, \Delta I$	90,8730159				

Tabla 3. Resultados de precisión para el caso de carga diferente a la carga nominal