

# Análisis y selección de los parámetros de configuración para un localizador de fallas monofásicas aplicado a sistemas de distribución

Analysis and Selection of the Configuration Parameters of a Single Phase Fault Locator Applied to Power Distribution Systems

NÉSTOR J. ESTRADA C

Ingeniero electricista, Universidad Tecnológica de Pereira. Magíster en Ingeniería Eléctrica, Universidad Tecnológica de Pereira. Docente Programa de Ingeniería Eléctrica, Universidad Tecnológica de Pereira. Miembro del grupo de Investigación en Calidad y Estabilidad de Sistemas Eléctricos (ICE<sup>3</sup>). Ciudad universitaria, La Julita, Pereira, Risaralda, Colombia.  
nesju32@utp.edu.co.

JUAN J. MORA.

Ingeniero electricista, Universidad Industrial de Santander. Magíster en Potencia Eléctrica, Universidad Industrial de Santander. Doctor en Ingeniería Eléctrica, Universitat de Girona. Docente Programa de Ingeniería Eléctrica, Universidad Tecnológica de Pereira. Líder del grupo de Investigación en Calidad y Estabilidad de Sistemas Eléctricos ICE<sup>3</sup>. Ciudad universitaria, La Julita, Pereira, Risaralda, Colombia.  
jjmora@utp.edu.co

SANDRA M. PÉREZ L.

Ingeniera electricista, Universidad Tecnológica de Pereira. Magíster en Ingeniería Eléctrica, Universidad Tecnológica de Pereira. Docente Programa de Ingeniería Eléctrica, Universidad Tecnológica de Pereira. Miembro del grupo de Investigación en Calidad y Estabilidad de Sistemas Eléctricos ICE<sup>3</sup>. Ciudad universitaria, La Julita, Pereira, Risaralda, Colombia.  
saperez@utp.edu.co

Fecha de recepción: 14 de septiembre de 2007

Clasificación del artículo: investigación

Fecha de aceptación: 9 de febrero de 2008

**Palabras clave:** análisis estadístico, clasificadores, localización de fallas, sistemas de distribución.

**Key words:** statistical analysis, classifiers, fault location, power distribution systems.

**RESUMEN**

Debido a las regulaciones asociadas con calidad de potencia, el problema de la localización de fallas en sistemas eléctricos ha tomado una gran importancia, principalmente para las empresas dedicadas a la distribución de energía eléctrica. En este artículo se presenta un algoritmo de clasificación estadística basado en una función de probabilidad difusa, que se utiliza para localizar fallas monofásicas en los sistemas de distribución, debido a su alta tasa de ocurrencia. El algoritmo propuesto se prueba en un sistema de distribución real, en el cual se obtienen errores promedio de 3,53% en la identificación de la zona en falla. A partir de los resultados se demuestra la aplicabilidad de este tipo de metodologías en sistemas reales.

**ABSTRACT**

Due to requirements regulatory related to power quality that increases the importance of the problem of fault location in electrical systems, especially in power distribution utilities. In this paper, it was showed a statistical classification algorithm based on a fuzzy probability function is used to locate single phase faults in distribution systems. This algorithm is tested in a real power distribution system, which obtained average errors of 3.53% in the faulted zone identification. From these results, the applicability of the proposed approach is demonstrated.

\* \* \*

**1. Introducción**

Como consecuencia del crecimiento de los sistemas eléctricos de potencia, tanto el número de líneas en operación como su longitud total, se han incrementado significativamente en las últimas décadas. Estas líneas experimentan fallas causadas principalmente por tormentas, descargas atmosféricas, ruptura del aislamiento y corto circuitos debidos al crecimiento de la vegetación u otros objetos externos. En la mayoría de los casos, las fallas son permanentes y se manifiestan como daño mecánico, el cual debe ser reparado para restaurar el servicio a los clientes afectados. El proceso de restauración se puede acelerar si la localización de la falla es conocida o puede ser estimada con una exactitud razonable [1 y 2]. Para el caso de fallas transitorias, con un localizador de fallas, se pueden fortalecer puntos débiles en el sistema y evitar fallas que pueden ser graves en el futuro.

Los métodos usados para la localización de fallas en sistemas de distribución, que usan medidas en un terminal de línea, se clasifican en dos grupos: los métodos basados en las técnicas de clasificación (MBC), y los métodos basados en la estimación de

la reactancia aparente (MBR). Los MBC contienen una base de conocimientos con información de los elementos de protección; estado de los interruptores; sensores de corriente y tensión; registros de llamadas de los clientes afectados por las fallas, y finalmente, información proveniente del procesamiento de los registros de tensión y corriente medidos en la subestación. Los MBR usan el valor de la componente fundamental de las señales de tensión y corriente medidas en la subestación y el modelo del sistema de potencia, para calcular la reactancia aparente vista desde la subestación hasta el sitio de falla [3].

Hasta ahora, los métodos más documentados para los sistemas de distribución son los MBR, debido a que su implementación y operación normalmente no es tan costosa como los MBC. Sin embargo, su alta dependencia de un buen modelo y la múltiple estimación de la posible localización de la falla –estiman una distancia eléctrica desde la subestación hasta el sitio de falla y el número de estimaciones es igual al número de laterales que existan en el circuito y cumplan con esa distancia– son sus grandes desventajas. Asimismo, las desventajas de los MBC están asociadas a su alto costo, debido a la gran

cantidad de información que utilizan, y también que la precisión de la mayoría de aplicaciones no es tan alta como la de los MBR [4].

En este artículo se propone un método de localización de fallas basado en una técnica de clasificación estadística, como solución de bajo costo, tanto económico como computacional, para reducir el problema de la múltiple estimación del sitio de fallas monofásicas en sistemas de distribución. El localizador propuesto, usa como información los atributos extraídos de las señales de tensión y corriente medidos en la subestación de distribución. Como contenido de este artículo, en el numeral 2 se presenta la propuesta metodológica para el diseño del localizador. La caracterización y extracción de atributos de la señal se presenta en el numeral 3. Las pruebas del localizador se presentan en la sección 4; y finalmente, en la sección 5 se presentan las conclusiones más importantes derivadas de esta investigación.

## 2. Propuesta metodológica para la localización de fallas en sistemas de distribución

### 2.1. Análisis del localizador como un problema de clasificación

La propuesta aquí presentada se fundamenta en la concepción del problema de localización de fallas, como un problema típico de clasificación. En la figura 1 se presenta gráficamente el principio de solución aplicado, considerando un sistema de distribución típico [3]. Para una falla en la fase b ( $F$ ), los métodos comunes de localización de fallas basados en la estimación de la impedancia (MBR) pueden determinar cuatro posibles localizaciones ( $F_1, F_2, F_3$  y  $F_4$ ), que corresponden todas a la misma reactancia vista desde la subestación [5]. Estas reactancias, se convierten posteriormente, en distancias equivalentes para cada una de las ramificaciones, tal como se presenta en la figura 1.a.

En la figura 1.b se presenta la división de zonas, que pueden ser identificadas utilizando un algoritmo de clasificación. Para este caso, la zona que debe ser

determinada como la zona en falla, es la zona 4, y ésta debe ser identificada como una clase especial por el clasificador (MBC).

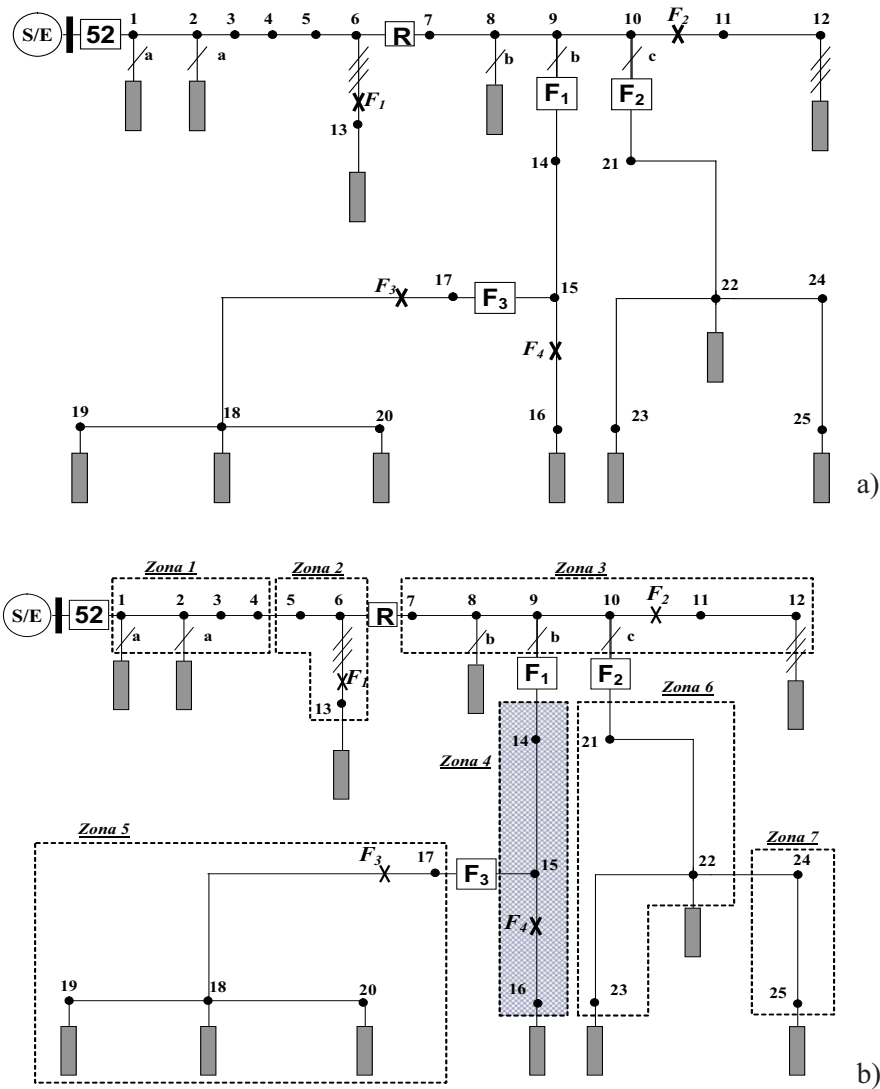
La intersección de la zona bajo falla identificada con el clasificador y los diferentes puntos identificados como bajo falla por el método basado en la estimación de la impedancia, elimina el problema de la múltiple estimación, tal como se presenta en la figura 1.b. Para este caso y por la presencia de laterales en el circuito, a partir de la activación de la zona 4, se reduce el problema de la múltiple localización del sitio de falla, reduciendo así el tiempo de restauración del circuito. Para el ejemplo gráfico aquí presentado, el equipo de mantenimiento debe buscar una distancia medida desde la subestación y que está localizada entre los nodos 15 y 16.

Según el ejemplo, se muestra la importancia de una adecuada selección de las zonas, en el momento de entrenar el clasificador estadístico. Las zonas, en lo posible, deben contener un solo circuito radial; sin embargo, esto no siempre es posible por la necesidad de suficientes datos para entrenar adecuadamente el clasificador estadístico. Siempre existe un compromiso entre el tamaño de la zona y la precisión deseada.

En caso que una falla se presente en la zona 5, aún existe la posibilidad de que haya múltiple estimación. Esto se debe a que esta zona contiene dos circuitos radiales, uno entre el nodo 18 y 19 y el otro entre los nodos 18 y 20, donde pueden ocurrir fallas. Es por esto que de forma general y para cualquier circuito, se propone la reducción del problema y no su eliminación completa.

### 2.2. Clasificador basado en un algoritmo de aprendizaje estadístico

La estrategia adoptada se fundamenta en un algoritmo de aprendizaje de naturaleza estadística basado en lógica difusa con estructura conexionista [6]. Una excelente referencia para la comprensión de la lógica difusa, aunque no necesaria para el completo entendimiento del localizador propuesto; está dada en el capítulo dos de [7].



**Figura 1.** Principio de intersección para resolver el problema de la múltiple estimación de la localización de la falla. a) Posibles localizaciones ( $F_1$ ,  $F_2$ ,  $F_3$  y  $F_4$ ), detectadas en diferentes secciones por un método basado en la estimación de la impedancia. b) Activación de la zona 5 como zona de falla.

Las variables de entrada  $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$  del clasificador describen una situación del sistema o un objeto  $x$  que se le asigna una clase  $\{y_1, y_2, \dots, y_n\}$ . Así, cada objeto está descrito por un número finito de atributos y cada atributo  $x_i$  toma su valor de un conjunto de atributos  $D_i$  (espacio de descripción), que estará en un intervalo abierto de  $\mathbf{R}^n$ .

Para esta aplicación particular, los objetos ( $x$ ) están conformados por un conjunto de características o

atributos extraídos de los registros de fallas; y las clases ( $y$ ), corresponden a cada una de las zonas en las que se subdivide el sistema de distribución, tal como se presentó en el numeral anterior.

El algoritmo de aprendizaje propone la representación de un sistema de clases (zonas), por medio de la conexión lógica de toda la información parcial disponible representada a través del índice de similitud parcial (ISP). El ISP es una función de pertenencia

propia de la lógica difusa, y expresa el grado de similitud de un atributo a una clase, (o la diferencia de este atributo a esa clase). Para calcular el ISP se propone una aproximación basada en la función de presencia gaussiana, tal como se presenta en la ecuación (1).

$$ISP = e^{-\frac{(x-\hat{\rho})^2}{2\hat{c}^2}} \quad (1)$$

Donde  $\omega_c$  es el centro y  $\omega_0$  es el parámetro de distancia desde el centro, ambos definen la clase, según (2).

$$\hat{c} = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^T x^i, \quad \hat{\rho} = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{i=1}^T (x^i - \hat{c})^2} \quad (2)$$

Una vez calculado el ISP se debe agregar toda la información parcial para llegar a la similitud total del objeto a esta clase.

El índice de similitud total (IST) de un objeto a una clase es calculado en el contexto de conjuntos difusos, mediante los cuales se desarrollan las operaciones de intersección, unión, negación y de promedio. Según la regla heurística de similitud máxima, el objeto pertenecerá a la clase que presente el mayor índice de similitud total. Los objetos no clasificados son confrontados a un prototipo formado por cada una de las clases existentes, el carácter difuso de los prototipos modela la imprecisión.

Una vez encontrada la similitud parcial (ISP), se calcula la similitud total de un objeto a una clase (IST) en el contexto de conjuntos difusos como se muestra en (3).  $T$  y  $C$  representan la norma T y conorma T respectivamente,  $\alpha$  es el grado de exigencia que varía entre cero y uno, y los  $z_i$  corresponden a los ISP calculados previamente.

$$IST(z_1, \dots, z_n) = \alpha T(z_1, \dots, z_n) + (1 - \alpha) C(z_1, \dots, z_n)$$

Las diferentes formas propuestas para el cálculo del IST se presentan en la tabla 1.

Nombre	Norma T $C(z_1, \dots, z_n)$	Conorma T $C(z_1, \dots, z_n)$
Mínimo (IST=1)	$\min\{z_1, \dots, z_n\}$	$\max\{z_1, \dots, z_n\}$
Producto (IST=2)	$\prod_{i=1}^n z_i$	$1 - \prod_{i=1}^n (1 - z_i)$
Hammacher (IST=3)	$Z_i = 0.1795532 \times Z_{i,a} + \alpha_i - 0.0162852 \times \alpha_i$ $\frac{1}{1 + \sum_{i=1}^n \left( \frac{1 - z_i}{z_i} \right)}$	$Z_i = 0.1795532 \times Z_{i,a} + \alpha_i - 0.0162852 \times \alpha_i$ $\frac{\sum_{i=1}^n \left( \frac{z_i}{1 - z_i} \right)}{1 + \sum_{i=1}^n \left( \frac{z_i}{1 - z_i} \right)}$

Tabla 1. Normas y conormas para el cálculo del IST.

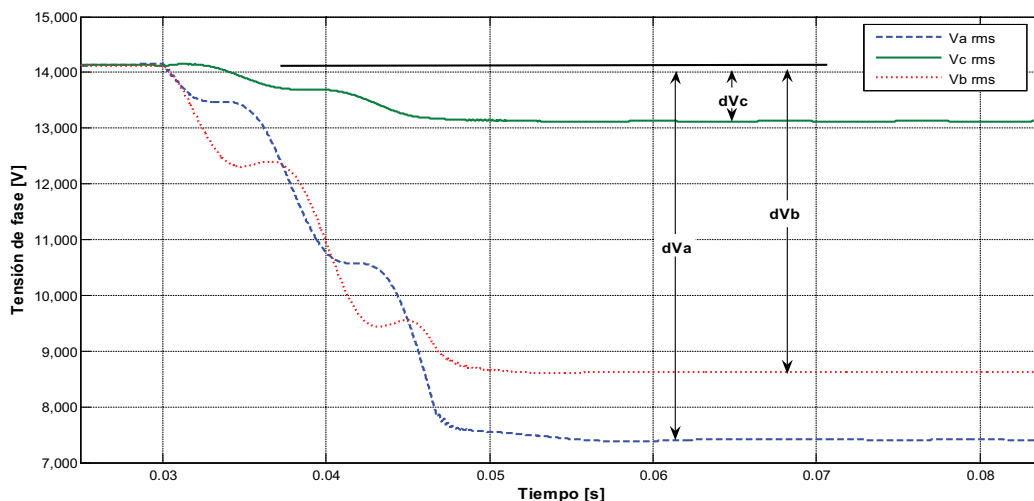
La selección del valor de  $\alpha$  y el método de cálculo del IST se realiza a partir del uso de la técnica de validación cruzada [8]

### 3. Caracterización del sistema mediante la obtención de atributos

En esta sección se presenta la caracterización de las señales de tensión y de corriente medidas en la subestación antes, durante y después de una falla en el sistema de distribución. La caracterización se fundamenta en la utilización de la señal transitoria y en estado estable [6]. Como resultado de esta caracterización es posible obtener atributos para usarlos como entradas para el clasificador basado en un algoritmo de aprendizaje estadístico. Mediante el uso de estos atributos el clasificador se pretende localizar la zona de falla en el sistema de distribución.

#### 3.1. Profundidad del hueco de tensión ( $\Delta V$ )

El atributo asociado a la variación del valor eficaz entre los estados estables de falla y pre-falla se le conoce como hueco, cuando se trata de la señal de tensión [2]. Para obtener esta variación se requiere del valor eficaz del fundamental de pre-falla y de falla, y el atributo corresponde a la diferencia de estas magnitudes. En la gráfica 1 se presentan los atributos para cada una de las fases. Para estimar el valor eficaz se utiliza una ventana deslizante de un ciclo de señal, con actualización muestra a muestra.



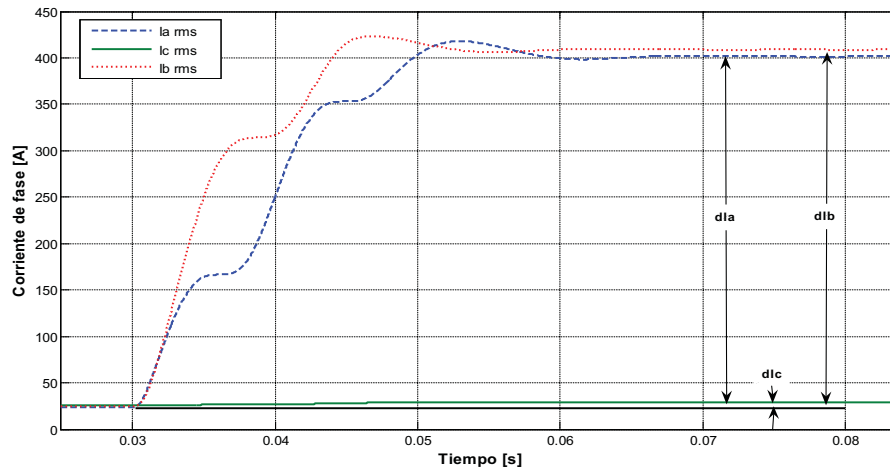
Gráfica 1. Atributos de la variación del valor eficaz de la tensión.

Tal como se presenta en la gráfica 1, se utilizan los tres valores, uno para cada fase. A partir de aquí, y en este documento, siempre que se utilice  $\Delta V$  se está haciendo referencia a la terna conformada por  $\Delta Va$ ,  $\Delta Vb$  y  $\Delta Vc$ . El uso de las tres señales está justificado, ya que la magnitud de la variación del valor eficaz de la tensión puede ser el mismo para fallas en dos sitios diferentes. Así, una falla monofásica lejana del punto de medida con una resistencia de falla baja puede tener la misma variación de tensión en la fase en falla que para el caso que ésta ocurra

en un nodo cercano y con una resistencia de falla alta. Los atributos asociados a la variación del valor eficaz de tensión se pueden obtener para señales de fase ( $\Delta V$ ) y de línea ( $\Delta VL$ ).

#### 3.2. Variación de la magnitud de corriente ( $\Delta I$ )

Al igual que el atributo anterior, la variación de la magnitud de la corriente está definida como la diferencia del valor eficaz, entre los estados estables de falla y pre-falla. En la gráfica 2 se presentan los atributos para cada una de las fases.



Gráfica 2. Atributos de la variación del valor eficaz de la corriente.

Al igual que para los huecos de tensión, se utilizan los tres valores, uno para cada fase. A partir de aquí y en este documento, siempre que se utilice  $\Delta I$  se está haciendo referencia a la terna conformada por  $\Delta I_a$ ,  $\Delta I_b$  y  $\Delta I_c$ . Los atributos asociados a la variación del valor eficaz de la corriente se pueden obtener para señales de fase ( $\Delta I$ ) y de línea ( $\Delta IL$ ).

### 3.3. Variación de la potencia del sistema ( $\Delta S$ )

La variación de la potencia del sistema está asociada a la variación de la carga. La presencia de la falla hace que cambie el circuito visto desde la subestación y, por lo tanto, su nivel de carga. Para el estado estable, la variación de potencia puede ser utilizada para conocer la carga que ha sido desconectada. Adicionalmente, el cambio en el factor de potencia da una indicación adicional de la característica de la carga [8]. Estos dos atributos complementan la localización geográfica de la falla, mediante la identificación de la carga retirada del sistema de distribución.

Al igual que los atributos anteriores, se utilizan los tres valores, uno para cada fase. A partir de aquí, y en este documento, siempre que se utilice  $\Delta S$  se está haciendo referencia a la terna conformada por  $\Delta S_a$ ,  $\Delta S_b$  y  $\Delta S_c$ .

### 3.4. Reactancia de falla ( $X_f$ )

El cambio del sistema como consecuencia del cortocircuito producido por la falla, hace que el valor de la impedancia varíe. Como la naturaleza de la falla se considera típicamente resistiva, se considera que la parte reactiva está asociada a la reactancia de la línea medida desde la subestación hasta el sitio de falla. Este atributo se calcula con los registros de tensión y corriente medidos durante la falla.

### 3.5. Frecuencia del transitorio ocasionado por la falla ( $f$ )

En un sistema de potencia existe una relación entre los parámetros  $R$ ,  $L$ ,  $C$ , y el tiempo de amortiguamiento y la frecuencia de la señal transitoria. Estas características están directamente relacionadas con la distancia desde la subestación hasta al sitio de falla. Los parámetros  $L$  y  $C$  definen la frecuencia natural de la oscilación transitoria, mientras que los parámetros  $R$ ,  $L$  y  $C$  definen el tiempo de amortiguamiento de la señal [10]. Debido a que la frecuencia sólo depende de  $L$  y  $C$ , éstos se pueden usar para encontrar la distancia al punto de falla, sin importar el valor de la resistencia de falla.

Entonces, la propuesta se fundamenta en el análisis de la teoría generalizada de transitorios en sistemas

eléctricos [10] y considera que la frecuencia del transitorio causado por la falla está relacionada con los parámetros  $L$  y  $C$ , del circuito desde la subestación o punto de medida hasta el sitio de falla. Para obtener el atributo frecuencia, se emplean dos técnicas diferentes de análisis que son las transformadas de Wavelet y Fourier [11]. Las señales transitorias de tensión son tratadas mediante la Transformada Wavelet Discreta (DWT). Posteriormente, el detalle de máxima energía es transformado en el dominio del tiempo, para ser analizado mediante la transformada rápida de Fourier FFT. Como resultado, se obtienen la frecuencia del transitorio.

## 4. Pruebas y resultados

### 4.1. Descripción del sistema de prueba

Para probar la estrategia propuesta se seleccionó un sistema real ubicado en la ciudad de Saskatchewan (Canadá), que pertenece a la empresa SaskPower & Light, que se muestra en la figura 1. Este circuito se ha utilizado en otras investigaciones, tal como se presenta en [3], [4] y [12].

### 4.2. Definición de las clases o zonas a reconocer

En esta investigación, las zonas en las que se divide el sistema de distribución se presentan en la figura 1.b.

### 4.3. Selección de datos de entrenamiento y prueba

Las fallas monofásicas fueron simuladas en cada nodo del sistema para los valores de resistencia de falla de 0.5, 2, 4, ..., 40 $\Omega$  [13]. El conjunto de entrenamiento se selecciona en forma aleatoria, pero se tiene en cuenta que al localizador se le presentan ejemplos de fallas para todas las zonas del sistema. Se escogieron el 70% de los casos para entrenamiento y el 30% de los casos para prueba de la metodología propuesta, de un total de 945 datos.

### 4.4. Arquitectura del localizador (t3)

La arquitectura del localizador está compuesta por cuatro módulos básicos. Cada módulo contiene

una máquina clasificadora (MC) entrenada para un propósito particular. En el módulo uno la MC-TF se entrena para determinar el tipo de falla, mientras los demás módulos están diseñados para reconocer la zona en la que ocurre la falla monofásica, según la fase fallada (MC-FaT, MC-FbT y MC-FcT).

### 4.5. Resultados

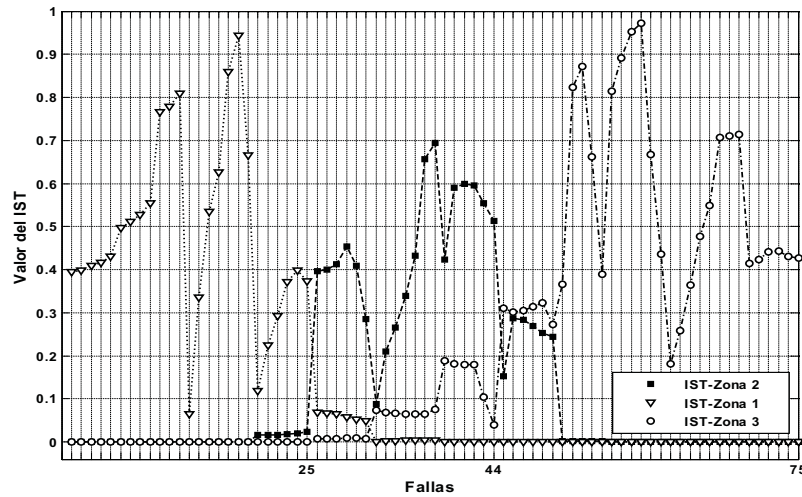
Para el identificador de tipo de falla, se obtienen resultados con un error igual a cero. Los parámetros de configuración del algoritmo encargado de determinar el tipo de falla son el método del producto (IST=2), y con un valor de  $\alpha$  igual a cero (Conorma T). La única entrada requerida para el algoritmo que detecta el tipo de falla es  $X_f$ .

En las gráficas 3 y 4 se presenta el comportamiento del IST para cada uno de los módulos que están diseñados para reconocer la zona en la que ocurre la falla monofásica, según la fase fallada (MC-FaT y MC-FcT).

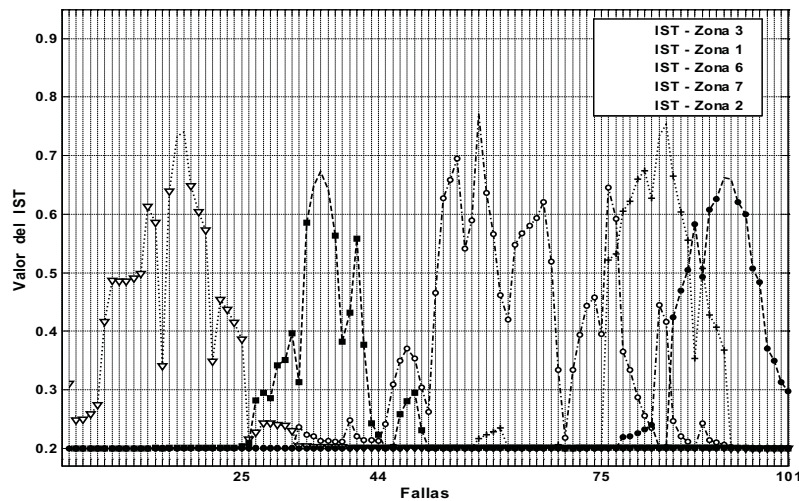
En la gráfica 3 se presenta el comportamiento del IST en caso de tener como atributo de entrada  $\Delta I_L$  y  $X_f$ . El IST se calcula con el método del producto (IST=2). Para este caso, el  $\alpha$  es igual a 0,6. El error en el proceso de identificación de la zona en falla es cero, tal como se aprecia en la gráfica 3, considerando que los primeros veinticinco datos pertenecen a la zona uno, los siguientes diecinueve datos pertenecen a la zona dos, y los últimos 31 datos pertenecen a la zona tres del sistema de prueba zonificado, tal como se muestra en la figura 1.b. Se puede apreciar que siempre el valor del IST correspondiente a la zona respectiva es mayor que el IST de las otras zonas.

El análisis anterior se puede hacer para la gráfica 5, en la que se puede apreciar la presencia de errores en la clasificación, tal como se muestra en la matriz de confusión que se presenta en la tabla 2, para cada una de las zonas el sistema de la figura 1.b. Este caso corresponde al clasificador MC-FcT, ante una entrada correspondiente a  $\Delta S$  y  $X_f$ , con el valor de IST dado por el método del producto (IST=2) y  $\alpha$  de 0.8. El error en clasificación para este caso es de cuatro registros de falla, de un total de 101 registros usados en la fase de prueba.





Gráfica 3. Valores del IST (método del producto), con  $\alpha=0,6$ , y atributos de entrada  $\Delta IL$  y  $X_f$ , para el caso del localizador MC-FaT.



Gráfica 4. Valores del IST (método del producto), con  $\alpha=0,8$ , y atributos de entrada  $\Delta S$  y  $X_f$ , para el caso del localizador MC-FaT.

		Resultado de la asignación de zonas del localizador				
		Z1	Z2	Z3	Z6	Z7
Zona real	Z1	25	0	0	0	0
	Z2	1	18	0	0	0
	Z3	0	0	31	0	0
	Z6	0	0	2	11	0
	Z7	0	0	0	1	12

Tabla 2 Matriz de confusión para el caso del localizador MC-FaT, configurado con el método del producto ( $IST=2$ ), con  $\alpha=0,8$ , y atributos de entrada  $\Delta S$  y  $X_f$ .

En la tabla 3 se muestran los cinco mejores resultados obtenidos en las pruebas, para el caso de los localizadores de falla en la fase A (MC-FaT), fase B (MC-FbT) y fase C (MC-FcT). En esta tabla también se puede apreciar que las mejores soluciones propuestas para el reconocimiento de la zona en falla mostradas en la figura 1.b., se obtienen calcu-

lando el IST con el método del producto (IST=2), con un  $\alpha$  entre valores de 0,6 y 1,0. Los errores máximos equivalen al 5,61% de los registros mal clasificados y corresponde al clasificador MC-FbT. El error total del clasificador monofásico es de diez registros de 283 datos presentados para la prueba, que equivale al 3,53%.

Módulo	Atributos	Parámetros del algoritmo de aprendizaje	Errores de localización del algoritmo							Global
			Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5	Zona 6	Zona 7	
MC-FaT	$Xf$	IST:2; $\alpha$ :1.0	0/25	0/19	0/31	0/0	0/0	0/0	0/0	0/75
	$\Delta IL$	IST:2; $\alpha$ :0.6	0/25	0/19	0/31	0/0	0/0	0/0	0/0	0/75
	$\Delta IL, f$	IST:2; $\alpha$ :0.6	0/25	0/19	0/31	0/0	0/0	0/0	0/0	0/75
	$\Delta IL, Xf$	IST:2; $\alpha$ :0.6	0/25	0/19	0/31	0/0	0/0	0/0	0/0	0/75
	$\Delta IL, Xf, f$	IST:2; $\alpha$ :0.8	0/25	0/19	0/31	0/0	0/0	0/0	0/0	0/75
MC-FbT	$\Delta VL, \Delta IL$	IST:2; $\alpha$ :0.6	0/25	0/19	1/31	0/13	5/19	0/0	0/0	6/107
	$\Delta IL, \Delta S$	IST:2; $\alpha$ :0.6	0/25	0/19	1/31	0/13	5/19	0/0	0/0	6/107
	$\Delta VL$	IST:2; $\alpha$ :0.6	0/25	0/19	1/31	0/13	5/19	0/0	0/0	6/107
	$\Delta VL, \Delta S$	IST:2; $\alpha$ :1.0	0/25	0/19	1/31	0/13	5/19	0/0	0/0	6/107
	$\Delta S, Xf$	IST:2; $\alpha$ :0.8	0/25	0/19	1/31	0/13	5/19	0/0	0/0	6/107
MC-FcT	$\Delta S, Xf$	IST:2; $\alpha$ :0.8	0/25	1/19	0/31	0/0	0/0	2/13	1/13	4/101
	$\Delta IL, \Delta S$	IST:2; $\alpha$ :0.8	0/25	1/19	0/31	0/0	0/0	3/13	0/13	4/101
	$\Delta I$	IST:2; $\alpha$ :0.6	0/25	1/19	0/31	0/0	0/0	3/13	0/13	4/101
	$\Delta VL$	IST:2; $\alpha$ :0.6	0/25	1/19	0/31	0/0	0/0	3/13	0/13	4/101
	$\Delta VL, f$	IST:2; $\alpha$ :1.0	0/25	1/19	0/31	0/0	0/0	3/13	0/13	4/101

**Tabla 3.** Mejores resultados obtenidos con los módulos de reconocimiento de zona de falla.

## 5. Conclusiones

El problema de localización de fallas en circuitos altamente ramificados, usando sólo las medidas tomadas en la subestación, implica un reto, que al resolverse contribuye en gran medida al mantenimiento de los índices de continuidad del suministro de energía eléctrica. En este artículo se presentó y probó en un sistema real, un localizador basado en

una técnica de clasificación estadística. La estrategia planteada permitió desarrollar clasificadores para reconocer el tipo de falla y también la zona en la que ocurre una falla monofásica, dependiendo de la fase afectada. Los resultados obtenidos muestran la validez de la estrategia de localización, para la cual se obtienen errores promedio del 3,53%, en la localización de falla monofásica.

Referencias bibliográficas

- [1] IEEE Std C37.114. (2004) *IEEE Guide for Determining Fault Location on AC Transmission and Distribution Lines*. Power System Relaying Committee.
- [2] Short, T. A. (2003) *Electric Power Distribution Handbook*. CRC Press.
- [3] Das, R. (1998) *Determining the Locations of Faults in Distribution Systems*. Doctoral Thesis. Saskatoon (Canada): University of Saskatchewan.
- [4] Mora, J.; Nuñez, V. and Caicedo, G. (July 2007). Fault Location in Power Distribution Systems Using a Learning Algorithm for Multivariate data Analysis. *IEEE Trans. Power Delivery*, 22, 1715-1721.
- [5] Caicedo, G., Mora, J., Meléndez, J. Comparison of Impedance Based Fault Location Methods for Power Distribution Systems. *Electric Power System Research*. doi:10.1016/j.epr.2007.05.010 Elsevier B.V.
- [6] Mora, J. (2006) *Localización de fallas en sistemas de distribución*. Tesis Doctoral, España: Universidad de Girona.
- [7] Pérez, R. (2005) *Procesado y optimización de espectros Raman mediante técnicas de lógica difusa: aplicación a la identificación de materiales pictóricos*. Tesis Doctoral, España: Universidad Politécnica de Cataluña.
- [8] Aha, D., Kibler, D. and Albert, M. (1991) *Instance-Based Learning Algorithms*. Machine Learning.
- [9] Aggarwal, R. K.; Aslan, Y. and Johns, A.T. (1997) An Interactive Approach to Fault Location on Overhead Distribution Lines With Load Taps. *IEEE Developments in Power System Protection. Conference Publication No. 434*, pp. 184-187.
- [10] Greenwood, A. (1991) *Electrical Transients in Power Systems* (2<sup>nd</sup> edition). Renselarch Polytechnic Institute.
- [11] Oppenheim, A.; Willsky, S. and Hamid Nawab, S. (1997) *Signals and Systems* (International edition). Prentice Hall.
- [12] Seung-Jae, L.; Myeon-Song, C. and Sang-Hee, K. (April 2004) An Intelligent and Efficient Fault Location and Diagnosis Scheme for Radial Distribution Systems. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 524-532.
- [13] Dagenhart, J. B. (January 2000) The 40- Ground-Fault Phenomenon. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 36 (1), pp 30-32.



Palacio de San Francisco, 9 de abril de 1948. Fuente: Foto press, en archivo José Vicente Ortega Ricaurte (Sociedad de mejoras y Ornato de Bogotá).