

## CARACTERIZACIÓN DE HUECOS DE TENSIÓN PARA LOCALIZACIÓN DE FALLAS EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN - UN PRIMER PASO HACIA UN MÉTODO HÍBRIDO

### RESUMEN

Este artículo está dentro del campo de la calidad de energía eléctrica, y específicamente trata sobre la caracterización de huecos de tensión, basada en la extracción de descriptores cualitativos y cuantitativos. La caracterización aquí discutida, es útil para la clasificación de los huecos de tensión y su asociación con la posible localización del fenómeno que los originó.

Los resultados obtenidos serán útiles para mantener en valores adecuados a los índices que miden el tiempo de interrupción del servicio de energía eléctrica. El principal aporte está asociado con la respuesta rápida para localizar el sitio de falla, así como en la identificación de secciones del sistema que son potencialmente propensas a fallar.

**PALABRAS CLAVES:** Sistemas de potencia, localización de fallas, caracterización, clasificación, descriptores

### ABSTRACT

*This paper is in the field of power quality and deals with the voltage sags or dips characterization based on qualitative and quantitative descriptors. The characterization here presented is used to classify sags and relate these with the possible location of the fault.*

*The results help to develop strategies to maintain the energy unavailability indexes beneath regulatory requirements. This approach helps both, to speed up the fault location, and identify the weak sections of the power network*

**KEYWORDS:** Power systems, fault location, characterization, classification descriptors.

### 1. INTRODUCCIÓN

Como consecuencia del nuevo mercado eléctrico y del aumento en problemas relacionados con la calidad de la energía, las compañías han puesto en marcha programas de supervisión de la red que permitirán identificar los fenómenos que en ella ocurren. El estudio de los datos obtenidos, debe servir para determinar acciones que mejoren la calidad de energía en los sistemas de transmisión y distribución. Según [11], un resultado común de los programas de supervisión es agrupar disturbios en clases, las cuales son obtenidas usando los valores rms mínimos o máximos (tensión o corriente), o simplemente comparando las formas de onda registradas con la ideal. Las clases típicas obtenidas con estas metodologías son: huecos de tensión (sag), aumento de tensión (swells), interrupciones y transitorios.

La gran cantidad de datos almacenados por los programas de supervisión, se pueden utilizar para el diagnóstico de fallas. Esta información contiene conocimiento sobre el funcionamiento del sistema durante los disturbios, pero dada la complejidad de su análisis, generalmente sólo se extraen unos pocos parámetros (magnitud y duración para los huecos de tensión y el valor de la tensión máxima para los transitorios). Actualmente, para realizar la diagnosis del disturbio (aislamiento e identificación), se utilizan técnicas tradicionales como componentes

simétricas [4][5]. Esto generalmente implica tener un modelo del sistema para simular diversas situaciones de falla y comparar los resultados con medidas [2] [12].

Las técnicas de agrupación parecen brindar una ayuda importante, ya que utilizan información adicional de la respuesta del sistema ante situaciones de fallo. En este documento se discute la caracterización y clasificación de huecos de tensión, como primera parte de una aplicación para la localización de fallas en sistemas de distribución de energía eléctrica. La propuesta completa contempla el desarrollo de un algoritmo híbrido que combine las fortalezas de los métodos basados en conocimiento, y de los métodos algorítmicos que se fundamentan en el análisis del modelo del sistema eléctrico.

Los métodos basados en el conocimiento son aquellos que utilizan características significativas tanto en estado permanente como en estado transitorio de las señales de tensión y de corriente, registradas durante una falla. Usando este tipo de métodos es posible detectar la sección del sistema afectada por el evento.

De otra parte, los métodos algorítmicos utilizan la información del modelo de la red y el valor rms en estado estable del fundamental de tensión y corriente, tanto de falla como de prefalla. Estos métodos permiten obtener la distancia eléctrica desde el sitio de medida hasta la ubicación de la falla, pero dada la naturaleza topológica

### JUAN JOSE MORA

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

### JOAQUIM MELENDEZ

Ing. de Telecomunicaciones,  
Ph.D.  
Profesor Titular  
Universitat de Girona  
quimmel@eia.udg.es

de la red, tienen el inconveniente de la múltiple estimación de posibles localizaciones.

La caracterización de huecos de tensión que aquí se presenta, se fundamenta en la extracción de características que son usadas para dar una descripción cualitativa/cuantitativa, útil para la clasificación de huecos de tensión y su asociación con causas y posible localización del fallo. Se discute aquí por tanto, la utilización de un algoritmo de clasificación automático trabajando bajo una estrategia de aprendizaje no-supervisada.

## 2. HUECOS DE TENSIÓN

El problema de calidad de la energía aquí considerado, se relaciona con las reducciones, de corta duración, del valor rms de tensión. En un ejemplo mostrado en [10], se propone la siguiente situación: "si un cliente está conectado al mismo barraje que alimenta una gran carga compuesta por un motor, puede experimentar una reducción en el valor rms de la tensión ("sag" o "dip"), cada vez que se arranca el motor. Dependiendo de la sensibilidad de la carga, esta reducción de tensión puede conducir a una falla o a una desconexión del cliente. Aunque la fuente no se interrumpe, el consumidor experimenta un disturbio, que causa una interrupción de la planta".

Según [11], un "dip" es una reducción del valor rms de la componente fundamental de la tensión entre 0.1 a 0.9 p.u.(retenido), con duración mayor que medio ciclo y menor de 1 minuto. Éste es a menudo causado por fallas, aumento de la demanda y eventos transitorios tales como arranque de motores grandes o energización de transformadores. Adicionalmente, según la Comisión Electrotécnica Internacional IEC, un "dip" es una reducción repentina de la tensión, seguida por una recuperación de la misma, después de un período de tiempo corto que varía entre medio ciclo y algunos segundos [3]. Por otra parte, el estándar 1346 de IEEE, un "sag" es la disminución del valor rms de la tensión o la corriente a la frecuencia del sistema, de duración de entre 0.5 ciclos a 1 min. [4].

Debido al significado similar, "sag" y "dip" son considerados sinónimos. Mientras el término "sag" es frecuentemente referido en la literatura norteamericana, el de "dip" es usado en la literatura europea.

Para dar un valor numérico al hueco de tensión, la forma recomendada de hacerlo es hablar de "un hueco de tensión hasta el 20%", que significa que la tensión de línea se reduce hasta el 20% del valor normal, no reducida el 20%. En inglés la expresión correcta es "a sag to 20%". Generalmente las frases "a sag of 20%" ó "a 20% sag" son desaprobadas [4]. En la figura 1, se presenta un hueco hasta el 76% y la duración aproximada del 108 ms.

Según [1], los huecos de tensión no son tan perjudiciales para la industria como son las interrupciones. Sin embargo, en vista de que hay más huecos que interrupciones, el daño total será mayor. Puesto que la

carga puede experimentar un hueco debido a una falla de cortocircuito ocurrida muy lejos en el sistema de potencia, este problema se considera como "global". En general, este tipo de disturbio (hueco), conduce a la acción correctiva en varias subestaciones, dependiendo de la región de la influencia en el sistema de potencia.

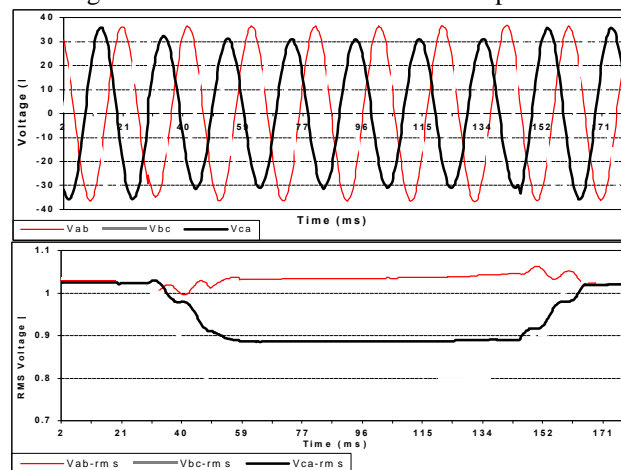


Figura 1. Hueco de tensión de hasta el 76% y duración aproximada de 108 ms

## 3. EXTRACCIÓN DE DESCRIPTORES DE LOS HUECOS DE TENSIÓN

De acuerdo con varias referencias, los huecos han sido caracterizados con dos parámetros: magnitud y duración ([1], [14]). Esto conlleva a limitaciones obvias, por ejemplo, se omite el salto de ángulo de fase ([2], [15]), la tensión de postfallo y el tiempo de caída de la tensión, entre otras. El modelo de caracterización aquí propuesto contempla una tipificación fasorial mediante el tipo de hueco (figura 2), y otra considerando la evolución temporal del mismo en tres etapas (figura 4). Se denominan "descriptores" a las características de los huecos de tensión que permiten su caracterización, según lo propuesto en este artículo.

### 3.1 Caracterización fasorial de huecos de tensión

El método se basa en la descomposición de los fasores de tensión en componentes simétricas [1] [5]. Mediante la relación de magnitudes de secuencia negativa y positiva se puede determinar los tipos de huecos de tensión, tal como se presenta en la figura 2.

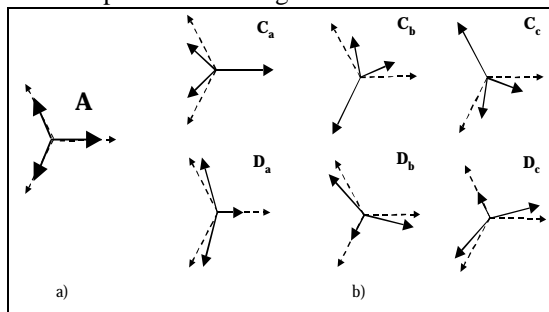


Figura 2. a) Hueco de tensión trifásico balanceado, b) Seis tipos de huecos de tensión trifásicos desbalanceados.

Los huecos balanceados son clasificados como tipo A, y para los desbalanceados el tipo se determina dependiendo

del ángulo entre la secuencia positiva y la secuencia negativa .

$$k = \text{round} \left[ \text{angle} \left( \vec{V}_2, 1 - \vec{V}_1 \right) / 60 \right] \quad (1)$$

Donde: k=0, tipo Ca; k=1, tipo Dc; k=2, tipo Cb; k=3, tipo Da; k=4, tipo Cc y k=5: tipo Db

### 3.2 Abstracción de descriptores temporales

Se obtuvieron descriptores cuantitativos trifásicos y monofásicos de los huecos de tensión, a partir de las formas de onda registradas.

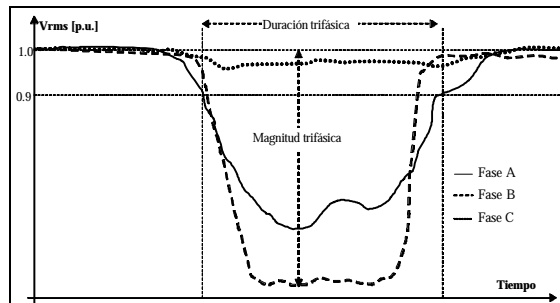


Figura 3. Descriptores trifásicos para un hueco de tensión

Los descriptores trifásicos (figura 3), se definen como:

- Magnitud trifásica: Máxima caída de tensión de un sistema trifásico durante un evento.
- Duración trifásica: Tiempo máximo durante el cual el valor rms de tensión en cualquiera de las fases del sistema trifásico es menor al 0.9 p.u.

Los descriptores monofásicos se presentan en la figura 4 y se definen como:

- Magnitud monofásica (h): Máxima caída de tensión en cada una de las fases del sistema.
- Duración monofásica: Tiempo máximo durante el cual el valor rms de tensión es menor a 0.9 p.u. en cada una de las fases de un sistema trifásico.
- Duración de estado mínimo: Tiempo durante el cual el valor rms de tensión se mantiene en la banda del 2% sobre el mínimo valor de tensión.
- Pendiente de caída: Pendiente de la primera parte de un hueco de tensión monofásico.
- Pendiente de recuperación: Pendiente de la última parte de un hueco de tensión monofásico.

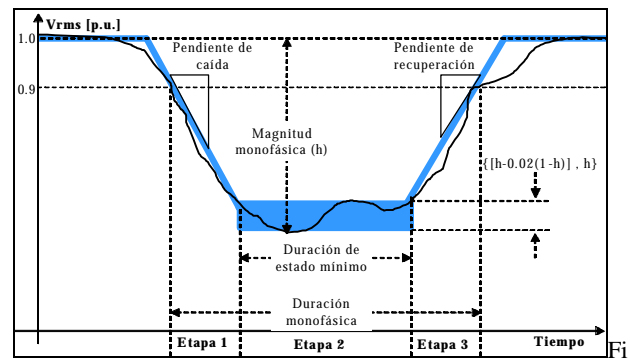


Figura 4. Descriptores monofásicos

La evolución temporal de un hueco presenta tres etapas de acuerdo con los diferentes estados temporales del fallo (Figura 4). La etapa 1 define el inicio del hueco y está relacionada con la respuesta transitoria como consecuencia del fallo. La etapa 2 está asociada con el sistema bajo falla pero en estado estable y corresponde al tiempo en el cual el transitorio ha terminado pero aún no ha actuado el sistema de protecciones. La etapa 3 esta asociada con el despeje de la falla y como consecuencia la tensión retorna a su valor nominal de 1.0 p.u.

## 4. CLASIFICACIÓN DE LOS HUECOS DE TENSIÓN

La clasificación se realiza con base en los descriptores temporales de los huecos de tensión y se utiliza un algoritmo para análisis de datos multivariantes (Learning Algorithm for Multivariate Data Analysis-LAMDA), utilizado una estrategia de aprendizaje no supervisada.

### 4.1. Algoritmo para el análisis de datos multivariantes – Clasificador LAMDA

El método combina algoritmos de clasificación simbólicos y numéricos, aprovechando los conectivos lógicos [7][8]. LAMDA es usado como técnica de clasificación para obtener los modelos de falla con base en los descriptores temporales de los huecos de tensión. El hueco de tensión a clasificar (objeto X), debe ser caracterizado con un determinado número de “descriptores”. En el proceso de clasificación, cada uno de los objetos es asignado a una “clase” (Ci), la cual está definida como el universo de descriptores, que caracteriza un conjunto de objetos (huecos). El MAD (Marginal Adequacy Degree), es una medida que relaciona con el grado de similitud entre un descriptor del objeto y el mismo descriptor de una clase determinada. El GAD (Global Adequacy Degree) está definido como la medida de pertinencia de un objeto a una clase determinada [9][13].

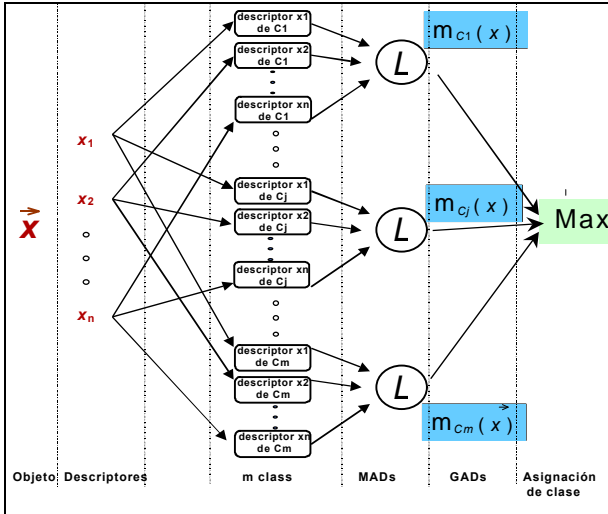


Figura 5. Metodología básica de reconocimiento de LAMDA

La clasificación con LAMDA, se desarrolla de acuerdo con el criterio de similitud calculado en dos etapas. Primero se calcula el MAD de cada uno de los descriptores del objeto para cada una de las clases existentes. Seguidamente, estos resultados parciales son agregados para obtener un GAD de cada objeto a la clase tal como se presenta en la figura 5. La implementación de LAMDA incluye la función de probabilidad para estimar la distribución de descriptores basado en una “fuzificación” de la función binomial presentada en la ecuación 2

$$MAD_{c,d} = r_{c,d}^{X_{i,d}} (1 - r_{c,d})^{(1-X_{i,d})} \quad (2)$$

Donde:

$r_{c,d}$  = Parámetro de aprendizaje (Ro) para la clase  $c$  y el descriptor  $d$

$X_{i,d}$  = Descriptor  $d$  del objeto  $i$

El cálculo del GAD se hace como la interpolación entre una t-norma y una t-conorma por medio del parámetro  $\beta$ , de tal manera que  $\beta = 1$  representa la intersección y  $\beta = 0$  representa la unión.

$$GAD = \beta T(MAD) + (1 - \beta) S(MAD) \quad (3)$$

La t-norma usada es la mínimo/máximo. Adicionalmente en la tabla 1, se presentan otros conectores para el cálculo del GAD.

Name	S- Conorm
Min-max	$S = \max \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$
Product	$S = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - x_i)$
Frank	$S = 1 - \log_s \left( 1 + \frac{\prod_{i=1}^n (s^{x_i} - 1)}{(s - 1)^{n-1}} \right)$

Tabla 1. T-normas y S-conormas

#### 4.2 Análisis de los resultados de la clasificación

Este análisis considera el comportamiento individual de la clasificación en cada etapa (Análisis Individual), y el comportamiento del hueco en sus tres etapas (Análisis Transversal)

**4.2.1. Selección de los descriptores:** Para cada una de las etapas, se seleccionan descriptores que caracterizan el hueco de tensión, así:

Etapa 1 (Causa de la falla): Magnitud trifásica, las magnitudes del hueco de cada fase y el perfil de caída de la tensión eficaz de cada fase.

Etapa 2 (Sistema bajo falla): La magnitud y duración trifásica, la magnitud y la duración del hueco en cada una de las fases, y el tiempo de duración del estado mínimo.

Etapa 3 (recuperación de la falla): Magnitud trifásica, la magnitud del hueco y la pendiente del perfil de recuperación de cada una de las fases

Se espera que la clasificación obtenida para la etapa 1 está directamente relacionada con el tipo de falla (monofásica a tierra, trifásica, fase-fase, etc.), y la distancia eléctrica desde el punto de falla hasta el punto de medida. Para la etapa 2, las clases resultantes están relacionadas con el sistema de protección. Finalmente la etapa 3 permite distinguir entre diferentes tipos de cargas (motores, transformadores, etc.)

**4.2.2. Análisis individual:** De acuerdo con la clasificación en la primera etapa se obtuvieron cinco clases. Las clases 1 y 2 únicamente están relacionadas con los huecos originados en el sistema de transmisión. Las clases 3 y 5 corresponden tanto en los huecos originados en transmisión como en distribución. La clase 4 se relaciona con huecos originados en el sistema de distribución.

En la clasificación desarrollada usando los datos de la etapa 2, se encuentran seis clases. Las clases 1, 2, 3, y 5 aparecen para los datos del sistema de transmisión y de distribución. La clase 4 únicamente aparece para los datos del sistema de transmisión. La clase 6 únicamente aparece para los datos del sistema de distribución

Finalmente, en la etapa 3 aparecen 5 clases con los siguientes resultados: La clase 1 aparece para los datos de transmisión, la clase 2 no contiene datos. Las clases 3, 4 y 5 aparecen para los datos correspondientes al sistema de transmisión y de distribución.

Name	T-Norm
Min-max	$T = \min \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$
Product	$T = \prod_{i=1}^n x_i$
Frank	$T = \log_s \left( 1 + \frac{\prod_{i=1}^n (s^{x_i} - 1)}{(s - 1)^{n-1}} \right)$

Nivel de tensión	Etapa 1		Etapa 2		Etapa 3	
	Si	No	Si	No	Si	No
Sistema de Transmisión	1(18.5%) 2(22.2%) 3(18.5%) 5(9.26%)	4	1(13%) 4(1.85%) 2(37%) 5(3.7%) 3(13%)	6	1(27.8%) 5(1.85%) 3(16.7%) 4(20.4%)	
Sistema de Distribución	3(1.85%) 5(9.26%) 4(20.4%)	1 2	1(13%) 5(5.56%) 2(1.85) 6(3.7%) 3(7.41%)	4	3(24.1%) 4(5.56%) 5(1.85%)	1

Tabla 2. Análisis individual de los huecos de tensión en sistemas de transmisión y distribución

De acuerdo con este análisis, es posible determinar, para cada etapa, las clases relacionadas con el sistema de transmisión ó de distribución, identificando la posible localización de la falla. La tabla 2, resume estos resultados.

**4.2.3. Análisis Transversal:** Este análisis considera toda la perturbación (hueco), como una secuencia de las clases obtenidas en el análisis individual. Por ejemplo, la clase “123” significa que el hueco fue clasificado como clase 1 en la etapa 1, como clase 2 en la etapa 2 y como clase 3 en la etapa 3. En la tabla 3, se presentan los resultados obtenidos.

Teniendo en cuenta los resultados de este análisis, es posible determinar cual combinación de clases es posible y así definir la posible localización de la falla. Este análisis permite reforzar los resultados del análisis individual

Nivel de tensión \ Presencia	Si				No				
	113	121	123	131	413	433	463	524	533
Sistema de Transmisión	221	223	224	314	555				
Sistema de Distribución	333	413	433	463	113	121	123	131	221
	524	533	554	555	221	223	224	314	321
					322	324	334	333	334
					513	535	544		554

Tabla 3. Análisis transversal de los huecos de tensión en sistemas de transmisión y distribución

## 5. LOCALIZACIÓN DE LA FALLA

**5.1 Esquema de localización de fallas:** El esquema presentado en la figura 6, ayuda a localizar y establecer las relaciones entre las clases y los huecos de tensión del sistema de transmisión y distribución. Como consecuencia de las fallas, el sistema de protección envía la señal de disparo a uno o más interruptores, con lo cual inicia la zona de recuperación del hueco.

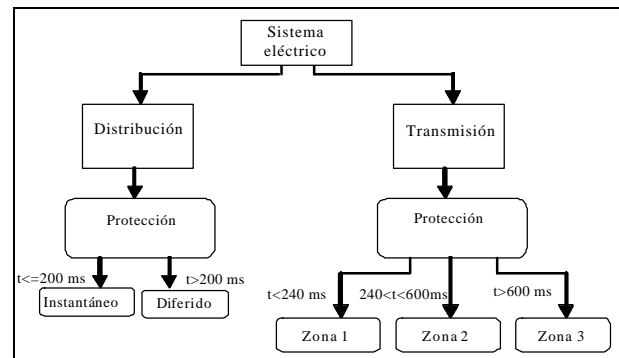


Figura 6. Esquema de localización de fallas

## 5.2 Relación entre clases y el esquema de localización de fallas

En la figura 7, se presenta la relación entre el esquema de localización de fallas y los resultados de la clasificación. Por tanto, es posible determinar algunas de las clases asociadas con las zonas de actuación de la protección (1, 2, 3, diferido e instantáneo). Las clases 1xx, 2xx y 3xx están fuertemente relacionadas con el sistema de transmisión (zonas 1 y 2), mientras que las clases 4xx están relacionadas con el sistema de distribución (diferido e instantáneo)

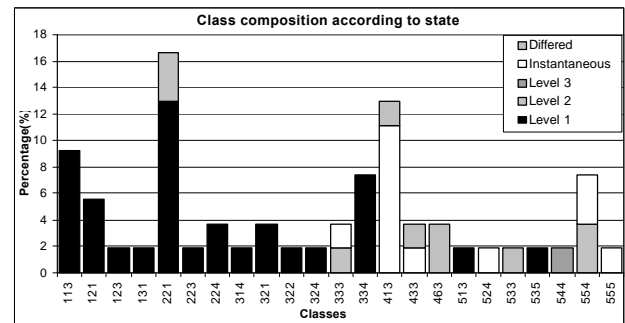


Figura 7. Composición de clases de los huecos de tensión de acuerdo con el esquema de localización de fallas

**5.3 Relación entre el tipo de hueco y la clase:** El porcentaje de huecos de tensión que cumple con la relación propuesta entre el tipo de hueco definido por el análisis factorial y transversal, se presenta en la tabla 4. En esta tabla se muestra cómo el tipo de hueco está fuertemente relacionado con una clase específica. El hueco de tensión tipo Cc no se presenta en el sistema de distribución, en cambio está relacionado con la clase de transmisión 221.

Clase	Tipo	A (%)	Ca (%)	Cb (%)	Cc (%)	Da (%)	Db (%)	Dc (%)
		113	0	3.70	0	0	0	3.70
121	1.85	0	0	1.85	0	1.85	0	
123	0	0	0	0	0	1.85	0	
131	0	0	0	0	0	1.85	0	
221	0	0	3.70	9.26	3.70	0	0	
223	0	0	0	0	1.85	0	0	
224	0	0	0	0	3.70	0	0	
314	0	0	0	0	0	1.85	0	
321	3.70	0	0	0	0	0	0	
322	0	0	0	0	1.85	0	0	
324	0	0	1.85	0	0	0	0	

	333	0	3.70	0	0	0	0	0
	334	3.70	0	3.70	0	0	0	0
	513	0	0	0	0	0	0	1.85
	535	0	0	0	0	0	1.85	0
	544	1.85	0	0	0	0	0	0
	554	0	0	0	0	3.70	3.70	0
Sistema de distribución	333	0	0	0	0	0	0	3.70
	413	0	0	0	0	0	12.96	0
	433	0	0	1.85	0	0	1.85	0
	463	0	0	0	0	0	3.70	0
	524	0	0	0	0	1.85	0	0
	533	0	0	0	0	0	0	1.85
	554	7.41	0	0	0	0	0	0
	555	1.85	0	0	0	0	0	0

Tabla 4. Relación de tipo de huecos con la clase

De otra parte, un bajo porcentaje de las clases está relacionado con uno o más tipos de huecos y en estos casos no es posible asociar el comportamiento del sistema con un determinado tipo de falla. Un mismo tipo de hueco puede ser de diferente clase y esto muestra el comportamiento del sistema de potencia ante diferentes grados de severidad de la misma falla.

**5.4 Tipo de hueco y esquema de localización de falla:** En la figura 8, se presenta la relación entre el esquema de localización de la falla y el tipo de hueco. Basado en la relación observada entre las clases y los estados propuestos en el esquema de localización de la falla, el análisis que aquí se propone puede ser usado como complemento a la clasificación desarrollada.

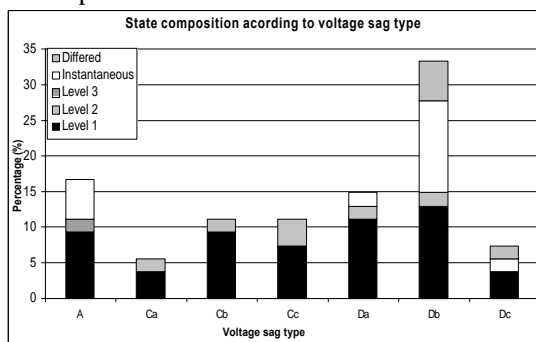


Figura 8: Composición de tipos de huecos de tensión de acuerdo con el esquema de localización de fallas propuesto

De acuerdo con lo anterior, hay algunas clases de huecos de las cuales no es posible determinar la localización de la falla. Por ejemplo en un hueco de clase 333 ó 554 no es posible determinar su localización (transmisión o distribución), pero conociendo que este hueco es por ejemplo del tipo A, el estado de instantáneo es claramente determinado, concluyendo así que es posiblemente una falla en el sistema de distribución.

## 6. COMENTARIOS DE CONCLUSIÓN

El uso del método de clasificación aquí analizado, hace posible la determinación de clases que parecen estar estrechamente relacionadas con una situación de falla determinada. Confirmado lo anterior, es posible usar este método para clasificar señales tanto de tensión como de

corriente para determinar la región en la cual ocurre la falla (resultado característico de los métodos basados en el conocimiento). Esta prueba preliminar, augura un resultado alentador, como primer paso para la formulación de un algoritmo híbrido que permita la reducción del conjunto de posibles localizaciones de la falla en un sistema de potencia.

## 7. REFERENCIAS

- [1]. M.H.J. Bollen, 2000, "Understanding Power Quality problems" IEEE Press. New York.
- [2]. M. Kezunovic, 2001, "Automated analysis of voltage sags, their causes and impacts". Power Engineering Society Summer Meeting, Volume: 2.
- [3]. IEC, "Electromagnetic Compatibility (EMC), Part 4. Testing and measurement protocols. Section 11. Voltage dips, short interruptions and voltage variations immunity tests". Document 61000-4-11.
- [4]. IEEE, 1998, "Recommended practice for evaluating electric power system compatibility with electronic process equipment", IEEE Std. 1346.
- [5]. J. Grainger, W. D. Stevenson, 1998, "Power Systems Analysis", McGraw-Hill, México, pp. 441-497.
- [6]. L.D. Zhang, M.H.J. Bollen, 1998, "Characteristics of voltage dips (sags) in power systems", Proceedings 8th International Conference on Power Delivery, pp 555-560, Vol 1.
- [7]. K. Moore, 1995, "Using neural nets to analyse qualitative data". A Marketing Research, vol. 7, n°.1, p.35-39.
- [8]. J. Aguilar-Martin and R. López de Mántaras, 1982. "The process of classification and learning the meaning of linguistic descriptors of concepts". Approximate Reasoning in Decision Analysis. p. 165-175. North Holland.
- [9]. J.C Aguado, 1998, "A Mixed Qualitative-Quantitative Self-Learning Classification Technique Applied to Situation Assessment in Industrial Process Control". Ph.D. Thesis Universitat Politècnica de Catalunya.
- [10]. G. Olguín. 2003 "Stochastic Assesment of Voltage Dips Caused by faults in large transmission Systems". Thesis for the degree of Licentiate of Engineering. Chalmers University of Technology.
- [11]. J. Stones.; A. Collinson; 2001 "Power quality" Power Engineering Journal, Volume: 15 Issue: 2, Pgs: 58 -64
- [12]. P. Jarventausta, P. Verho, J. Partanen, 1994; "Using fuzzy sets to model the uncertainty in the fault location process of distribution networks" IEEE Transactions on Power Delivery, Volume: 9 Issue: 2, Pgs: 954 -960
- [13]. J. Waissman, 2000 "Construction d'un modele comportemental pour la supervision de procedes: Application a une station de traitement des eaux" Doctoral thesis - Institut National Polytechnique de Toulouse., Pgs 17-28.
- [14]. N. Kagan, 2000, "Influence of RMS variation measurement protocols on electrical system performance indices for voltage sags and swells" Proceedings. Ninth International Conference on Power Quality, Vol. III, pp. 790 -795.
- [15]. M.H.J.Bollen, P. Wang, N. Jenkins, 1996, "Analysis and consequences of the phase jump associated with a voltage sag", Power System Computation Conference, Dresden, Germany.