

Artículo Original

Proceso Neuronal para Análisis de Descargas Parciales en la empresa CORPOELEC, de  
Ciudad Guayana, Venezuela

Neuronal Process for Analysis of Partial Discharges in the company CORPOELEC, of Ciudad  
Guayana, Venezuela

Franyelit M. Suárez Carreño

Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Sede Esmeraldas.

La correspondencia sobre este artículo debe ser dirigida a Franyelit M. Suárez Carreño.  
Email: frangelits@gmail.com

Fecha de recepción: 12 de enero de 2017.

Fecha de aceptación: 26 de junio de 2018.

¿Cómo citar este artículo? (Normas APA): Suárez Carreño, F.M. (2018). Proceso Neuronal  
para Análisis de Descargas Parciales. *Revista Científica Hallazgos21*. 3(2), 169- 180 .

Recuperado de <http://revistas.pucese.edu.ec/hallazgos21/>

Revista Científica Hallazgos21. ISSN 2528-7915. Indexada en Latindex. Periodicidad: cuatrimestral (marzo, julio,  
noviembre).

Director: José Suárez Lezcano. Teléfono: 2721459, extensión: 163.

Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Sede Esmeraldas. Calle Espejo, Subida a Santa Cruz, Esmeraldas. CP 08  
01 00 65. Email: revista.hallazgos21@pucese.edu.ec. <http://revistas.pucese.edu.ec/hallazgos21/>

## Resumen

Las máquinas rotativas empleadas en la industria suelen presentar fallas en los aislamientos causadas por falta de mantenimiento y desconocimiento del estado de los mismos. Es importante la realización de pruebas periódicas y evaluaciones continuas del estado del aislamiento para garantizar el correcto funcionamiento de las máquinas. Uno de los métodos empleados para la detección de estas fallas es el de Descargas Parciales, las cuales consisten en pequeñas descargas producidas en una porción de gas que queda disuelto en el aceite o dieléctrico que constituye el aislamiento de las máquinas eléctricas. Este artículo presenta el Análisis de Descargas Parciales haciendo un procesamiento neuronal de los diferentes tipos de descargas encontradas en los transformadores de gran potencia del Departamento Eléctrico de la Corporación Eléctrica Nacional, SA (Corpoelec) en la Ciudad de Puerto Ordaz, Venezuela. En este trabajo de investigación se desarrollaron técnicas basadas en un algoritmo neuronal artificial que permitieron analizar las características propias e individuales de cada descarga parcial presente en los transformadores de suministro eléctrico de la empresa Corpoelec, y establecer los contrastes de una descarga con respecto a las otras. Además las técnicas desarrolladas demostraron ser multclasificadoras ya que permiten clasificar y analizar diversas fuentes de datos, independientemente de su naturaleza. Las simulaciones realizadas en el centro de investigaciones de Corpoelec permitieron evaluar las descargas parciales usando la matriz de peso de las mismas; siendo posible su análisis a partir de las tipologías individuales.

**Palabras clave:** clasificación; descargas parciales; red neuronal; tipologías.

## Abstract

The rotating machines used in the industry tend to have failures in the insulation caused by lack of maintenance and lack of knowledge of their condition. It is important to carry out periodic tests and continuous evaluations of the state of the insulation to guarantee the correct functioning of the machines. One of the methods used for the detection of these faults is Partial Discharges, which consist of small discharges produced in a portion of gas that is dissolved in the oil or dielectric that constitutes the insulation of electrical machines. This article presents the Analysis of Partial Discharges by means of a neuronal processing of the different types of discharges found in the high power transformers of the Electrical Department of National Electric Corporation, SA (Corpoelec) in the City of Puerto Ordaz, Venezuela. In this research work techniques based on an artificial neural algorithm were developed that allowed analyzing the own and individual characteristics of each partial discharge present in the electricity supply transformers of the Corpoelec company, and establishing the contrasts of one discharge with respect to the other. In addition, the techniques developed proved to be multi-classifying because they allow to classify and analyze various data sources, regardless of their nature. The simulations carried out in the research center of Corpoelec allowed to evaluate the partial discharges using their weight matrix; being possible its analysis from the individual typologies.

**Keywords:** classification; partial discharge; neural network; typologies.

## Proceso Neuronal para Análisis de Descargas Parciales

En los sistemas eléctricos de potencia, una descarga parcial es una ruptura de la rigidez dieléctrica muy localizada del aislamiento líquido o sólido (Azcárraga, 2004; Torres et al, 2010). Así como el efecto corona se manifiesta en los conductores de una forma relativamente estable, las descargas parciales tienen una naturaleza más esporádica. Las descargas parciales en un material aislante suelen iniciarse en huecos rellenos de gas dentro del dieléctrico. Una vez que empiezan a producirse descargas parciales en el dieléctrico, empieza también el deterioro progresivo de la máquina, pudiendo causar la salida de funcionamiento de la misma.

Las descargas parciales en máquinas de gran potencia pueden presentarse de cuatro tipos fundamentalmente; descargas de ranura, descargas superficiales, descargas barra a barra y descargas internas (Bapt et al., 1978; Boggs y Stone, 1983). Cada una de estas descargas presenta características propias que la distinguen de las otras. También es posible encontrar en una máquina dos fallas simultáneamente; presentando de esta manera un patrón mixto.

La empresa CORPOELEC de Venezuela, utiliza operadores humanos para la clasificación de los patrones de descargas parciales, consisten en un grupo de profesionales que basados en su experiencia logran realizar la clasificación de manera empírica. Este tipo de procedimientos para la categorización podría arrojar notorios errores en la clasificación, sobre todo si se trata de renovar el personal. Esto conduce a la necesidad de buscar operadores automatizados que ofrezcan mejores prestaciones a la hora de clasificar las fallas de los transformadores y poder realizar las labores de mantenimiento respectivo.

Además de ofrecer un margen de error reducido y permitir mejoras continuas.

En este artículo se presentan dos procedimientos para clasificar y analizar fallas en transformadores de potencia; uno de los procedimientos ofrece un análisis a partir de las matrices de pesos de los patrones de descargas parciales mientras que el otro procedimiento realiza el proceso a través del análisis de la imagen del patrón en particular. Los datos fueron obtenidos a partir del software de adquisición de datos ICMsystem, que aporta una plataforma de visualización de variables con históricos para llevar el control de la planta eléctrica. Finalmente, se muestran ambos resultados como posibles clasificadores y se evalúa el porcentaje de error para cada caso.

Se presenta el diseño de un sistema basado en redes neuronales artificiales que permita el análisis de las fallas de los transformadores de gran potencia de la central hidroeléctrica de CORPOELEC, a partir de las descargas parciales que éstos arrojan. Este sistema utiliza la herramienta MATLAB<sup>®</sup> para el procesamiento de datos.

El toolbox de redes neuronales artificiales de Matlab<sup>®</sup> ofrece una amplia versatilidad para la implementación de este tipo de sistemas. Además es una herramienta que permite realizar varios tipos de redes neuronales para determinar el menor error del sistema, ofreciendo una convergencia con los valores establecidos.

Los detalles de construcción del diseño de este sistema se especifican en el desarrollo de este trabajo, se exponen los resultados de las simulaciones y finalmente se encuentran las conclusiones más importantes de esta investigación.

## Método

### Tipos de Descargas Parciales

Atendiendo a la definición de descargas parciales como un proceso de ruptura

dieléctrica, en el cual el arco que se forma entre dos electrodos es de carácter parcial y transitorio, con un tiempo de duración muy corto y de un bajo contenido energético. Las descargas parciales se pueden caracterizar en cuatro tipos dependiendo de las propiedades del medio existente entre los electrodos. Estos cuatro tipos de descargas parciales se pueden presentar dentro de la máquina, en diversas partes del aislamiento. La caracterización de las descargas está asociada con la ubicación de las mismas dentro de la máquina (Carvajal et al, 2008, Kurtz et al, 1995). En la Tabla 1 se muestra una descripción sintetizada de los diferentes tipos de descargas parciales, el lugar donde se generan y las características principales de cada una de ellas.

de datos estadísticos (Magrashi, 1997, García-Colón, 2001) y por tanto, para poder estudiarlo y analizarlo se debe obtener las distribuciones estadísticas de sus principales características en función del ángulo de fase del voltaje en que ocurren.

Existen tres distribuciones estadísticas básicas:

1) La distribución  $H_{qmax}(\phi)$  que muestra el valor máximo del pulso (pC) producido en cada ángulo de fase.

2) La distribución  $H_{qn}(\phi)$  que muestra el valor medio de la magnitud de los pulsos (pC) producidos en cada ángulo de fase.

3) La distribución  $H_n(\phi)$  que muestra el número de descargas producidas en cada ángulo de fase.

Las distribuciones son diferentes en el semiciclo positivo y en el semiciclo negativo

**Tabla 1**  
 Tipos de descargas parciales

PATRONES DE DESCARGAS PARCIALES (PATRONES PRPD RECONOCIDOS EN PRUEBAS DE LABORATORIO)	
<b>DESCARGAS INTERNAS</b>	El patrón está caracterizado por tener una forma redondeada de perfecta simetría en ambos medios ciclos, donde la amplitud ( $Q_m$ ) y el número de ciclos ( $N$ ) de las descargas son casi iguales. Estas descargas ocurren en el seno o muro del aislamiento del devanado dentro de huecos o cavidades existentes. Para corregirlas debe cambiarse el aislante.
<b>DESCARGAS DE CORONA</b>	El patrón está caracterizado por tener una forma redonda y asimétrica en ambos ciclos, siendo las descargas positivas las de mayor dominio. Estas descargas ocurren en los extremos o cabezales del devanado, específicamente en la junta de la pintura conductora y la pintura gradiente. Difícil de eliminar, se elimina la fuente de descarga.
<b>DESCARGA BARRA A BARRA</b>	El patrón está caracterizado por tener una forma elíptica achatada en los polos, su amplitud es casi constante y puede ser registrada en ambos ciclos. Estas descargas ocurren en los extremos del devanado entre dos barras de diferentes fases y alto voltaje cuando la distancia es demasiado pequeña o entre una barra de alto voltaje y una cercana al neutro.
<b>DESCARGA DE RANURA</b>	El patrón está caracterizado por una muy aguda inclinación durante el medio ciclo negativo dando una forma de triángulo. Estas descargas son asimétricas y su origen es causado por grandes pulsos de descargas positivas. Estas descargas toman sitio entre el laminado del núcleo magnético del estator y las superficies de las barras de bobina dentro de la ranura.

Fuente: Elaboración propia.

### Distribuciones Estadísticas

Como se ha descrito, el fenómeno de descargas parciales es un fenómeno estocástico. Éste presenta un gran número

del ciclo de la tensión (Pederson, Crichton y McAllister, 1995). Por tanto, las tres distribuciones anteriormente definidas se dividirán en seis:  $H_{qmax} + (\phi)$ ,  $H_{qn} + (\phi)$ ,

$H_n + (\varphi)$  y  $H_{qmax}(\varphi)$ ,  $H_{qn}(\varphi)$ ,  $H_n(\varphi)$ .

### Operadores Estadísticos

Los operadores estadísticos son variables propias de cada descarga parcial y dependen de la forma en que se presenten gráficamente (Carvajal, García-Colón, Asián, 2008).

Skewness: (Sk) Sesgo: describe la asimetría de la distribución con respecto a una normal. Para una distribución normal  $Sk = 0$ , si es asimétrica hacia la izquierda  $Sk > 0$ , y si es hacia la derecha  $Sk < 0$ .

Kurtosis (Ku): Representa lo escarpado de la distribución con respecto a una normal. Si la distribución es similar a una normal  $Ku=0$ , si es más abrupta  $Ku>0$ , y si es más llana  $Ku<0$ .

Número de picos (Pe): Distingue entre las distribuciones de un solo pico o con varios.

Factor de correlación cruzado (cc): Muestra la diferencia de forma entre las distribuciones del semiciclo positivo y negativo Un valor de  $cc = 1$  indica que los 2 semiciclos tienen la misma distribución y  $cc=0$  indica que ambas son totalmente asimétricas.

Asimetría: Es el cociente del nivel medio del semi ciclo negativo y del positivo de las distribuciones. La asimetría varía entre -1 y 1. Si vale 1 (-1) indica que solo se producen descargas en el semi ciclo negativo (positivo). Si vale 0 indica que la distribución en ambos periodos tiene el mismo tamaño (Gleishman, 2002).

Factor de fase: Se utiliza para estudiar la diferencia entre el principio de cada semiciclo de la distribución en cuestión

La huella dactilar es el elemento básico utilizado en ciertos trabajos para el reconocimiento de descargas parciales (Danikas, 2006), ya que representa toda la información comprimida de una fuente particular de descargas parciales y permite ser comparada con otras fuentes (Bartnikas, 2002, Gao et al, 2002).

La Tabla 2 muestra los operadores estadísticos de la descarga de tipo ranura, en ella se observan los valores  $H_{qm}$ ,  $H_m$ ,  $H_n$ , propios de cada descarga, que en este caso corresponden a la de tipo ranura (Martínez-Tarifa et al, 2010).

**Tabla 2**  
 Operadores estadísticos de la descarga de tipo ranura

Estadístico	RANURA		
	Hqm	Hqn	Hn
Sk(U+)	-0,06	-21,32	-2,33
Sk(U-)	0,43	-22,45	1,61
Ku(U+)	-1,58	-23,32	4,02
Ku(U-)	-1,32	-24,45	1,49
Pe(U+)	37	-25,32	31
Pe(U-)	30	-26,45	32
Q(U+)	15,13	-25,32	35,33
Q(U-)	16,25	-26,45	-36,46
cc(U+)	17,13	-27,32	37,33
cc(U-)	18,25	-28,45	-38,46
mcc(U+)	19,13	-29,32	39,33
mcc(U-)	10,25	-20,45	-30,46
Desv-est	12,48	2,77	29,35

Fuente: Empresa Corpoelec.

**Tabla 3**  
 Operadores estadísticos de la descarga de tipo barra-barra

Estadístico	BARRA-BARRA		
	Hqm	Hqn	Hn
Sk(U+)	0,06	-21,32	1,40
Sk(U-)	0,1	-22,45	0,58
Ku(U+)	-1,15	-23,32	2,16
Ku(U-)	-1,11	-24,45	0,19
Pe(U+)	37	-25,32	32,00
Pe(U-)	36	-26,45	30,00
Q(U+)	15,13	-25,32	35,32
Q(U-)	16,25	-26,45	-36,46
cc(U+)	17,13	-27,32	37,33
cc(U-)	18,25	-28,45	-38,46
mcc(U+)	19,13	-29,32	39,33
mcc(U-)	10,25	-20,45	-30,46
Desv-est	13,26	2,77	29,25

Fuente: Empresa Corpoelec.

Asimismo, se presentan los operadores estadísticos de las descargas de tipo barra-barra, corona e interna (obsérvese las tablas 3 a la 5). Estos datos fueron determinantes para la clasificación de cada uno de los tipos de fallas presentes en las máquinas eléctricas de gran potencia, ya que ofrecen información sustancial de la descarga, propia para el procesado de información (Crishton et al,1989).

**Tabla 4**  
 Operadores estadísticos de la descarga de tipo corona

CORONA			
Estadístico	Hqm	Hqn	Hn
Sk(U+)	-0,02	-20,32	1,75
Sk(U-)	0,55	-23,85	1,89
Ku(U+)	-1,35	-26,92	4,92
Ku(U-)	-0,54	-27,45	5,88
Pe(U+)	23	-25,32	24
Pe(U-)	38	-26,45	36
Q(U+)	19,23	-25,32	35,33
Q(U-)	19,45	-26,45	-36,46
cc(U+)	17,13	-27,32	37,33
cc(U-)	18,25	-29,45	-38,46
mcc(U+)	19,13	-29,32	41,23
mcc(U-)	10,25	-20,45	-30,46
Desv-est	12,08	2,95	29,29

Fuente: Empresa Corpoelec.

### Filtraje de Descargas Parciales

Las descargas parciales poseen patrones gráficos particulares. Estos patrones las caracterizan una de otras (Nelson y Azizi-Ghannad, 2004). Por tanto, cada descarga parcial tiene una imagen propia e individual que contiene información gráfica de ella. Es posible entonces, procesar estas imágenes para establecer comparaciones relevantes entre las descargas (Power Diagnostix Systems, 2007).

Para poder procesar las imágenes es necesario primero conocer la validación de

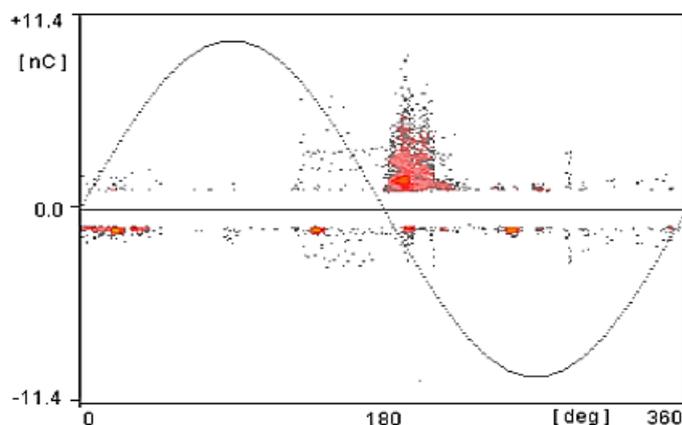
los expertos, y poder discriminar cada uno

**Tabla 5**  
 Operadores estadísticos de la descarga de tipo interna

INTERNA			
Estadístico	Hqm	Hqn	Hn
Sk(U+)	0,4	-21,32	2,55
Sk(U-)	0,45	-22,45	1,78
Ku(U+)	-1,15	-23,32	5,92
Ku(U-)	-0,84	-24,45	5,88
Pe(U+)	42	-25,32	13
Pe(U-)	33	-26,45	17
Q(U+)	15,13	-25,32	35,33
Q(U-)	16,25	-26,45	-36,46
cc(U+)	17,13	-27,32	37,33
cc(U-)	18,25	-28,45	-38,46
mcc(U+)	19,13	-29,32	39,33
mcc(U-)	10,25	-20,45	-30,46
Desv-est	13,61	2,77	27,35

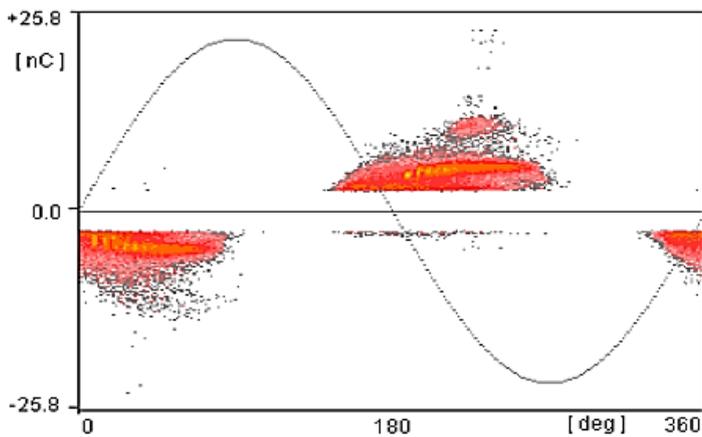
Fuente: Empresa Corpoelec.

de los tipos de descargas a priori. Las figuras 1 a la 4, muestran los tipos de descargas parciales más comunes en los transformadores de gran potencia (Rojas y Robles, 2011). Es importante resaltar que cada una de ellas está presente en diferentes sectores de la máquina, de ahí su clasificación.

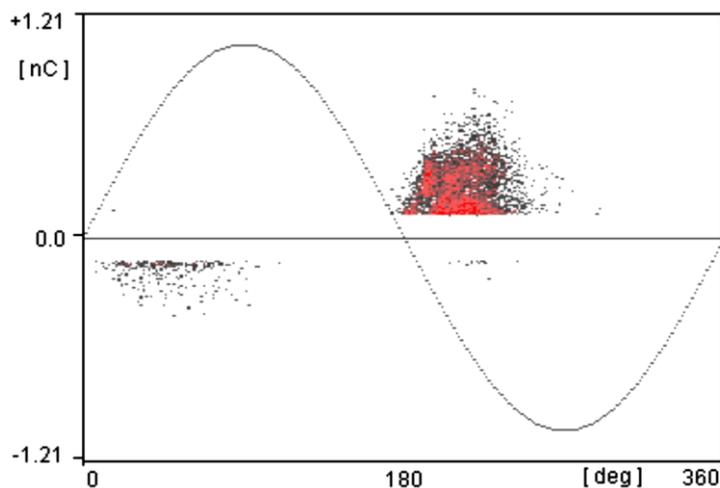


**Figura 1.** Descarga de tipo ranura.

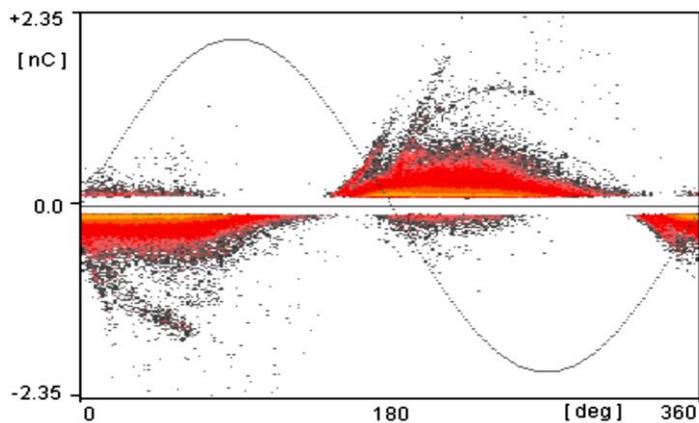
Fuente: Empresa Corpoelec.



**Figura 2.** Descarga de tipo barra-barra.  
 Fuente: Empresa Corpoelec.

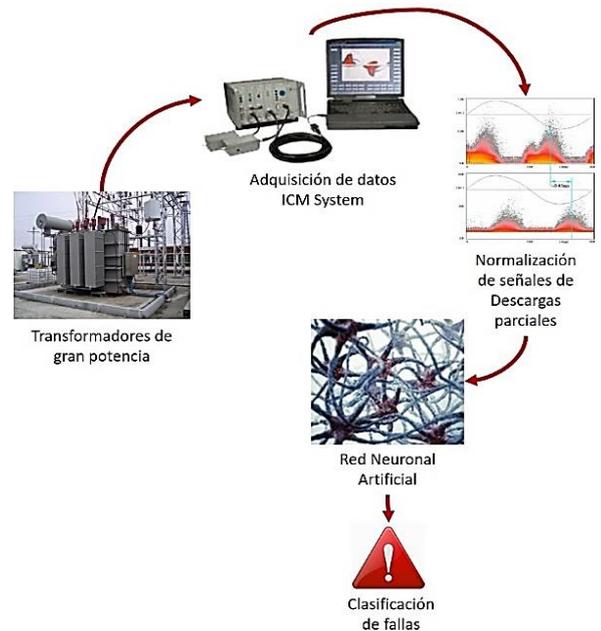


**Figura 3.** Descarga de tipo corona.  
 Fuente: Empresa Corpoelec.



**Figura 4.** Descarga de tipo interna.  
 Fuente: Empresa Corpoelec.

El procesamiento de imágenes en MATLAB© es posible a través de sus herramientas matemáticas (Grimón y Suárez, 2011). Ellas permiten el redimensionamiento, ajuste y



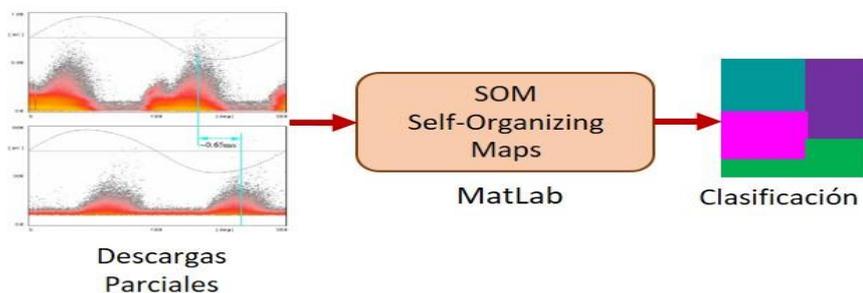
**Figura 5.** Sistema de clasificación.  
 Fuente: Elaboración propia.

acondicionamiento de las imágenes. La Figura 5 muestra el esquema del diseño del sistema de clasificación.

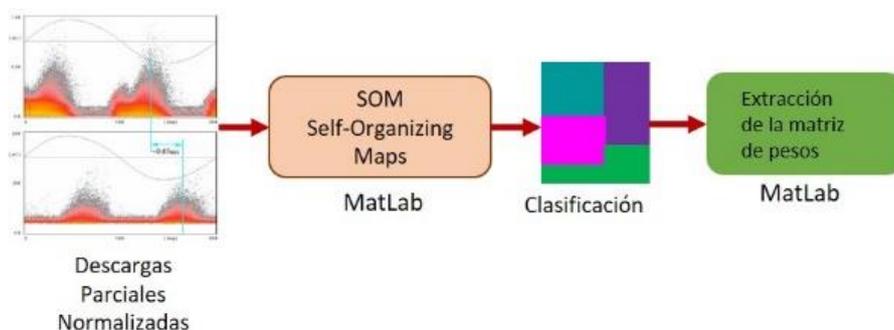
Las descargas parciales procesadas gráficamente en MATLAB© son transformadas a un formato accesible para la red neuronal. Así como a su vez son generalizadas para trabajarlas en un modo estándar dentro de las matrices de la red neuronal.

El filtrado de las imágenes de descargas parciales comprende una parte esencial de este trabajo de investigación. Ello involucra una forma visual de identificar cada descarga parcial producida en las máquinas eléctricas.

Para la implementación de este sistema se tomaron en cuenta tres métodos o procedimientos:



**Figura 6.** Diagrama del método1.  
 Fuente: Elaboración propia.



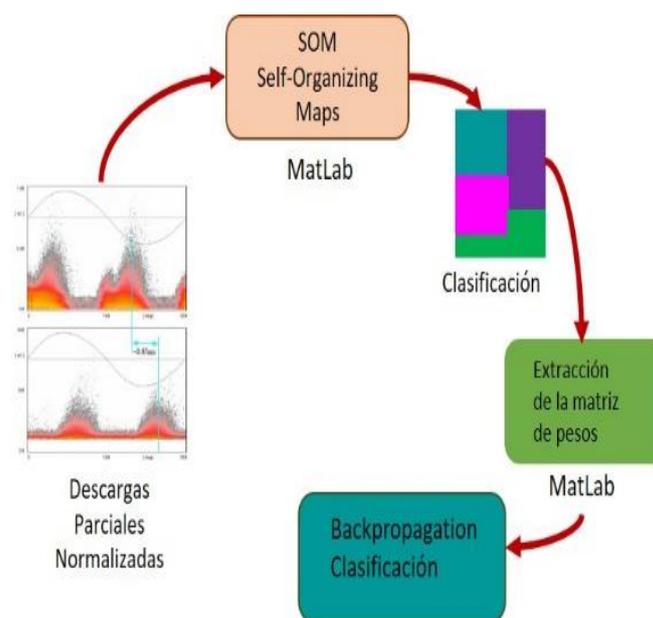
**Figura 7.** Diagrama del método 2.  
 Fuente: Elaboración propia.

Procedimiento 1: una vez normalizadas las imágenes de descargas parciales se procesan a través de un mapa auto organizativo (SOM) y se obtiene la clasificación en un mismo plano bidimensional. La Figura 6 muestra el diagrama del proceso.

Procedimiento 2: En este procedimiento se utilizó la descarga parcial normalizada, para luego ser llevada a un mapa auto organizativo y de ahí extraer matriz de pesos y a partir de ésta realizar un análisis de los valores numéricos de la misma. Este método resultó muy complicado para el operador ya que requería un procesado numérico muy elevado y el error de clasificación resultaba más elevado. La

Figura 7 muestra un diagrama del procedimiento 2 empleado.

Procedimiento 3: Para la realización un tercer procedimiento se llevó a cabo una normalización de las señales de descargas parciales, para luego tomar estas imágenes normalizadas y llevarlas a una clasificación en un SOM, que permite una clusterización gráfica que luego es aprovechada a partir de su matriz de pesos con una red neuronal complementaria de Backpropagation, que arroja finalmente una clasificación más detallada y con un mínimo error. La Figura 8 muestra el diagrama empleado para este procedimiento.



**Figura 8.** Diagrama del método 3.  
 Fuente: Elaboración propia.

### Resultados y Discusión

Se ha realizado un trabajo donde se analizaron los parámetros y operadores estadísticos de las descargas parciales, con el objetivo de determinar las posibles diferencias entre ellas. Sin embargo, este análisis no fue suficiente para lograr tales diferencias. Los operadores estadísticos de las descargas parciales no son suficientemente diferentes entre una descarga y otra, por lo que estas variables no sirven para establecer un criterio viable para clasificarlas con la técnica neuronal especificada.

Las figuras de la 1 a la 4 muestran los patrones de descargas parciales según los tipos mencionados y las tablas de la 2 a la 5 muestran los operadores estadísticos obtenidos de cada una de ellas. Puede observarse en cada uno de ellos que las variables numéricas no son lo suficientemente válidas para la discriminación una de la otra; sin embargo, en los patrones gráficos se observa una importante diferencia entre una y otra, lo cual permite realizar la clasificación a través de ellas.

La extracción de los operadores estadísticos permitió evaluar la similitud intrínseca de estos patrones. Se observó que aun siendo distintos estos patrones; sus diferencias no son relevantes para garantizar un análisis de clasificación de los mismos usando técnicas neuronales. Lo cual indica que estos operadores no pueden ser empleados para diferenciarlas una de la otra y por ende, no pueden ser empleados para una clasificación óptima que garantice el mínimo error.

Para el análisis de las imágenes fue necesario realizar un filtrado previo de las mismas. Con la intención de simplificar los datos, removiendo toda aquella información que no es de interés. La simplificación controla la cantidad y naturaleza de la

información que es preservada. Además los datos simplificados deben contener áreas fáciles de segmentar. En este caso particular, las imágenes se han simplificado eliminando el excedente de los bordes de las imágenes que no contiene información de interés para el procesado, adicional a ello se han extraído los planos RGB para así poder convertirla a binaria para poder emplearlas en MATLAB®.

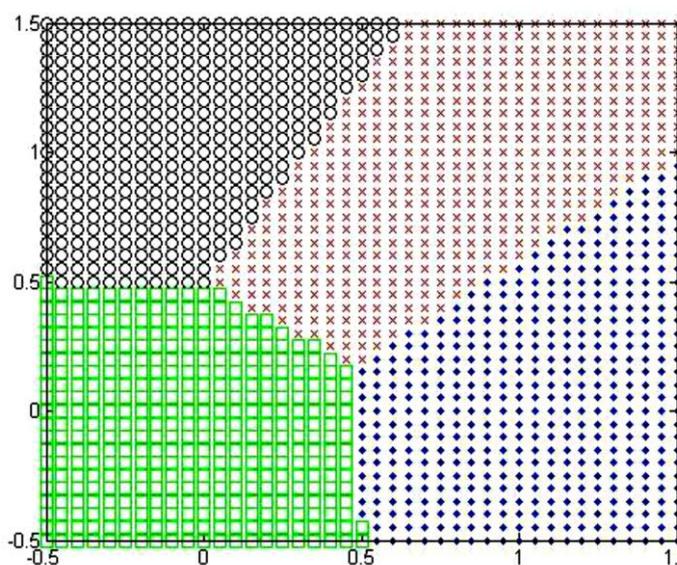


Figura 9. Plano de clasificación.  
Fuente: Elaboración propia.

Para el análisis de las imágenes de descargas parciales se realizaron tres procedimientos distintos:

Procedimiento 1: una vez procesada la imagen, los datos se cargan en un arreglo bidimensional, en el cual se pueden observar los cuatro tipos de descargas parciales en un mismo plano, agrupadas como un conjunto de puntos y rayas, según el tipo de descarga. Este nuevo patrón es cargado al mapa auto organizativo.

En vista que las descargas parciales proporcionan gran número de datos, se utilizó un Mapa Auto Organizativo (SOM) para realizar una reducción dimensional de la misma y a la vez una clasificación de las

#### PROCESO NEURONAL: ANÁLISIS DE DESCARGAS PARCIALES

características. La salida resultante del procedimiento 1 se observa en la Figura 9.

Una vez realizada la arquitectura del SOM, se procedió a evaluar los resultados del mismo. El mapa auto organizativo permitió caracterizar las descargas y separarlas según el tipo de datos suministrados.

Procedimiento 2: En este método se filtró la imagen, de la misma manera que en el procedimiento 1, pero a diferencia del primero, se cargaron esos datos en el SOM para luego extraer la matriz de pesos del SOM. A diferencia del procedimiento 1, esta toma los pesos del SOM para luego procesarlos. Mientras que el procedimiento 1, toma el arreglo con las cuatro imágenes. Sin embargo, este arrojó resultados aceptables, pero con un margen de error mayor que el primero.

Procedimiento 3: Consistió en filtrar la imagen de la misma forma que los procedimientos anteriores, pero extrae los datos para ser procesados en una red de tipo backpropagation. Este proceso resultó ser el más confiable con el menor porcentaje de error, del 0.02%.

#### Conclusiones

El análisis de las descargas parciales a partir de un procesamiento neuronal permitió establecer una similitud entre los operadores estadísticos de las distintas descargas. Este análisis no logró categorizar de la manera esperada; sin embargo, permitió conocer las congruencias entre ellas.

El estudio de clasificación a partir de un procesamiento neuronal fue posible por tres métodos diferentes. Logrando diferenciar una de la otra a partir de sus matrices de pesos y de sus características gráficas estrictamente.

La clasificación de los patrones de descargas parciales se logró a partir del procesamiento de las imágenes generadas por cada descarga en un transformador de potencia, logrando establecer un determinado algoritmo neuronal apropiado para el procesamiento de imágenes bidimensionales. Para este estudio fue necesario el desglose RGB de cada una de las imágenes.

## Referencias

- Bapt, J., Bui-Ai, A., Mayoux, C. (1978) Corona frequency analysis in artificial cavities in epoxy resins. Annual Report, Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena. 403-407
- Bartnikas, R. (2002) Partial Discharges. Their Mechanism, Detection and Measurement. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, 9(5), 763-808
- Boggs S., Stone G. (1983) Fundamental Limitations in the Measurement of Corona and Partial Discharge, IEEE Transactions E-17. Nº2, 143-150.
- Carvajal, A. García, A., Asaín, V. (2008). Diagnóstico en línea de motores de gran capacidad mediante la detección de descargas parciales utilizando técnicas de banda ultra ancha. *Rev. información tecnológica*, 19 (1), 75-86
- Danikas, M. y Karlis, A. (2006) Diagnostic Techniques in Rotating Machine Insulation: A Diagnostic Technique for Model Stator Bars Based on Maximum Partial Discharge Magnitude, Electric Power Components and Systems 34. Taylor and Francis Group, 905-916
- Gao, K., Tan, K., Li, F. y Wu, C. (2002) PD Pattern Recognition for Stator Bar Models with Six Kinds of Characteristic Vectors Using BP Network. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, 9(3), 381-389
- Grimón, Y.(2011). Algoritmo de clasificación de imágenes usando redes neuronales". Trabajo Especial de Grado, Unexpo

- Kurtz, L., Lyles, M., Stone, G. (1995) Application of PD testing to hydrogenerator maintenance. *IEEE transactions on Power Apparatus Systems*, 103, 2148-2157.
- Magrashi, A. (1997). Pattern recognition of partial discharges using matlab tolos. Sultan Qaboos University, Oman.
- Martínez-Tarifa, J., Robles, G., Rojas-Moreno y Sanz-Feito, J. (2010) Partial discharge pulse shape recognition using an inductive loop sensor. *Measurement Science and Technology*, 21(10), 105-116.
- Pedersen, A., Crichton, S., McAllister, C. (1995) The functional relation between partial discharges and induced charge. *IEEE transactions on dielectrics and electrical insulation*, 2 (4), 535-543
- Rojas, M., Robles, G (2011). Sensor de acoplamiento inductivo para la medida de pulsos de corriente de alta frecuencia; aplicación para la medida y detección de descargas parciales. Repositorio Universidad Carlos III de Madrid.
- Torres, W., Dorbercker, S y Benítez, I. (2010). Variable para la supervisión del envejecimiento del aislamiento principal de grandes hidrogenadores mediante descargas parciales. *Rev. UCT*, 14 (56).