



## TRABAJO TEORICO EXPERIMENTAL

### El aprendizaje bajo incertidumbre aplicado al mantenimiento de interruptores de potencia

#### *Machine learning applied to the maintenance in high voltage breaker*

Israel – Gondres Torné  
Santiago Eduardo – Lajes Choy

Nervelio – Rodríguez León  
Alfredo – del Castillo Serpa

Recibido: junio de 2013

Aprobado: enero de 2014

#### Resumen/ Abstract

La gestión del mantenimiento en las subestaciones eléctricas, así como en los interruptores de potencia ha evolucionado en el transcurso de los años de acuerdo a los equipos de medición de parámetros eléctricos y a las filosofías de mantenimiento mundial. El presente trabajo trata dichos avances desde una visión diferente, se utiliza la inteligencia artificial, específicamente el aprendizaje bajo incertidumbre para la toma de decisiones en la planificación del mantenimiento a los interruptores de potencia de una subestación. Se determina el índice de deterioro, los coeficientes de importancia del deterioro de cada tipo y del elemento del interruptor con la ayuda de los expertos. Posteriormente se obtienen los índices de membresías con los procesos correspondientes para la fusificación y defusificación; finalmente se realiza la evaluación de las reglas y defusificación para el tiempo de mantenimiento, implementando dicho método en diferentes interruptores de potencia.

**Palabras clave:** aprendizaje bajo incertidumbre, interruptores de potencia, mantenimiento.

*The maintenance management in electrical substations over the years has evolved according to the measurement equipment and the electrical parameters of global maintenance philosophies, and in particular the high voltage breakers have not been left behind. This paper is such advances from a different vision, artificial intelligence, specifically machine learning for decision-making in planning maintenance high voltage breaker sused in a substation. It determines the rate of deterioration, the coefficients of importance of each type of the deterioration and the high voltage breaker element with the help of experts. Subsequently are obtained the membership rates with the corresponding processes for fuzzification and defuzzification; finally the rule evaluation and defuzzification for the time maintenance is performed, the method is appliance in different high voltage breakers.*

**Key Words:** high voltage breakers, machine learning, maintenance.

#### INTRODUCCIÓN

En la actualidad el continuo crecimiento del consumo de energía eléctrica tiene aparejado un incremento en las inversiones; desde la generación hasta la distribución, siendo necesaria su interconexión para asegurar un óptimo suministro de la energía con la calidad requerida [1].

Todo ello conduce a realizar un cambio acelerado en la gestión del mantenimiento, principalmente en aspectos de tipo tecnológico, organizacional, documental y económico; debido a la importancia que se le atribuye en el ámbito industrial por la influencia que ejerce de forma directa sobre la administración de los activos [2]. El Sistema Electroenergético Nacional (SEN) no escapa de ello y dentro de éste, los interruptores de potencia como uno de los elementos principales de una subestación de cualquier tipo, ya sea de transformación, transferencia o enlace, el cual es común a todos los sistemas de energía; del comportamiento de los mismos depende el nivel de confiabilidad que puede tener el sistema eléctrico de potencia [3].

El interruptor debe de ser capaz de interrumpir corrientes eléctricas de capacidades y potencias diferentes, pasando desde las corrientes capacitivas de varios cientos de Amperes y las inductivas de varias decenas de kilo Amperes [4]. Por lo que garantizar su funcionamiento es de vital importancia y para ello un adecuado mantenimiento es una de las vías posibles para cumplir tal objetivo.

Si bien es cierto que las disciplinas y procedimientos relevantes de la gestión de mantenimiento han emergido de industrias como las fuerzas armadas, aerolíneas y sectores nucleares, actualmente se esparcen rápidamente en las industrias de energía, agua y otros servicios.

Desde entonces la gestión del mantenimiento comienza a estar orientada no solo a los resultados técnicos sino a la satisfacción de los clientes, al análisis de los riesgos, consecuencias de las fallas de los equipos, a la seguridad y protección del medio ambiente.

Dadas las condiciones del entorno en el que se desarrollan las empresas en la actualidad se considera que las técnicas organizativas Mantenimiento Productivo Total (TPM por sus siglas en inglés) y el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM por su siglas en inglés) son los que han dado mejores resultados, por ser sistemas integrales que incluyen todos los aspectos relacionados con el mantenimiento, sin olvidar que su implementación no debe ser de forma exclusiva, sino de manera conjunta con otras técnicas, siendo de vital importancia la inclusión en el sistema de gestión de mantenimiento la evaluación de los riesgos operativos que generan las fallas de los equipos en las empresas [5]. Más que tipos o métodos de mantenimiento el TPM y el RCM se consideran por varios autores como filosofías pues contribuyen a aplicar nuevos conceptos y categorías en la "actividad" ya compleja del mantenimiento. Por ello una combinación de ambas filosofías encaminadas al diagnóstico del estado de un elemento determinado es de gran importancia para la gestión adecuada del mantenimiento.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Existe consenso respecto a que fue en el año 1956 durante un congreso en Dartmouth, cuando John McCarthy propuso el término IA para agrupar a todos los métodos y técnicas que se desarrollaban para simular el intelecto humano en la computadora. En el estado actual de desarrollo de la IA existen técnicas para tratar de solucionar problemas complejos mediante el empleo de procesos de búsqueda, formas de representación del conocimiento y aprendizaje.

La IA se divide en dos escuelas de pensamiento, la inteligencia artificial convencional y la inteligencia computacional. La inteligencia artificial convencional basada en análisis formal y estadístico del comportamiento humano ante diferentes problemas y la inteligencia artificial computacional (también conocida como inteligencia artificial subsimbólica) implica desarrollo o aprendizaje iterativo (p.ej. modificaciones iterativas de los parámetros en sistemas conexionistas). El aprendizaje se realiza basándose en datos empíricos [6].

Partiendo de estas consideraciones está el aprendizaje automático, que es la rama de IA que aborda lo relacionado con cualquier proceso de aprendizaje-clasificación-predicción, y tiene sus exponentes principales en las Redes Neuronales Artificiales y los Algoritmos Genéticos [7].

Mientras que el aprendizaje bajo incertidumbre no es más que las técnicas para lograr el razonamiento bajo incertidumbre, las mismas han sido ampliamente usadas en la industria moderna y en productos de consumo masivo. Dichas técnicas están ligadas directamente a la Lógica Difusa, la Teoría de los Conjuntos Aproximados y más recientemente a los Conjuntos Aproximados Difusos, que es la combinación de las dos anteriores y más avanzada que estas porque resuelve algunos problemas de ajustes de parámetros y umbrales de corte [8-9]. En este trabajo usaremos la Lógica

Difusa para el tratamiento de la incertidumbre y vaguedad de la información recolectada en el chequeo visual del estado del interruptor.

Un conjunto clásico, a diferencia de uno difuso, está constituido por un grupo de elementos que se caracterizan por poseer algo en común y la frontera que determina si un elemento pertenece o no a dicho conjunto está perfectamente definida, de modo que se puede afirmar o negar categóricamente dicha pertenencia.

Si definimos un conjunto **U** de objetos (universo de discurso) cuyos elementos genéricos se representan como *u*, la pertenencia a un subconjunto **A** de **U** puede verse como una cierta función característica  $\mu_a$  de  $\mu \{0, 1\}$  tal como se muestra en las ecuaciones (1-2):

$$\mu_a(x) = 1 \quad \text{si} \quad x \in A \quad (1)$$

$$\mu_a(x) = 0 \quad \text{si} \quad x \notin A \quad (2)$$

Esta lógica convencional puede ser interpretada como un caso particular de la Lógica Difusa, digamos que  $\mu$  es el grado de pertenencia a un conjunto que puede tomar valores entre 0 y 1 y representa el grado en que determinada proposición es verdadera. Si hacemos que  $\mu$  sea igual a 0 indicaremos no pertenencia, si la igualamos a 1 indicaremos pertenencia total [10].

Actualmente las empresas tratan de implementar el sistema de mantenimiento por diagnóstico, haciendo esto que en varias ocasiones se presenten problemas sobre todo a la hora de decidir un mantenimiento o el tiempo probable de ejecutarlo, a partir de las pruebas diagnósticas; por lo que la introducción de la lógica difusa puede ayudar en esas decisiones.

El cálculo de los índices de deterioro y el momento apropiado para dar mantenimiento a los interruptores de la subestación se realiza considerando la misma como un sistema compuesto por estos dispositivos, y se necesita determinar los coeficientes de importancia del deterioro de cada tipo y del elemento del interruptor, obtenidos con la ayuda de los expertos seleccionados, según el método de expertización y de las informaciones de las inspecciones a la subestación, así como del análisis cuantitativo y cualitativo de las operaciones de los mismos. Los datos iniciales son los siguientes:

- Estado del elemento e interruptor al que pertenece.
- Tiempo de servicio sin recibir mantenimiento.

La adquisición de las variables de entrada es a través de un modelo que recoge los elementos que intervienen en la valoración por el experto de la necesidad del mantenimiento parcial según se muestra en la tabla 1, las otras variables se obtienen de los procedimientos y normas cubanas para la planificación de los mantenimientos [11].

<b>Tabla 1. Modelo para la inspección visual del interruptor.</b>										
<b>Subestación:</b>			<b>Interruptor:</b>				<b>Fecha:</b>			
<b>Elementos</b>	<b>Bueno</b>			<b>Regular</b>			<b>Malo</b>			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Terminales primarios.										
Porcelanas.										
Calefacción.										
Estado de Gabinetes.										
Aterramiento.										
Borneras.										
Control General.										

Con estos datos se realiza primeramente la expertización del problema con el objetivo de determinar la importancia comparativa entre los elementos según se muestra en la tabla 2 y así desarrollar las diferentes etapas.

<b>Tabla 2. Importancia y peso de cada elemento que interviene en el deterioro del interruptor.</b>		
<b>Elementos</b>	<b>Importancia</b>	<b>Peso</b>
Terminales primarios	6	0,17
Porcelanas	2	0,05
Calefacción	3	0,09
Estado de Gabinetes	5	0,14
Aterramiento	4	0,11
Borneras	8	0,25
Control General	7	0,19

### **Determinación de la Membresía de los Elementos del Interruptor**

En la primera etapa del método se determina las membresías de los elementos defectuosos detectados del modo siguiente: se toma el valor numérico de la tabla 1, en la cual el especialista recoge la valoración del estado del elemento y se evalúa en la función del nivel de deterioro del elemento en cuestión. Esto permite garantizar que el valor de la membresía nunca sobrepase el uno, utilizándose al mismo tiempo la información ofrecida por los expertos. Esta operación se hace para cada uno de los elementos, de este modo cada uno de los siete elementos del interruptor obtiene la membresía correspondiente a su nivel de deterioro, la cual se simboliza como  $\mu_i$ .

### **Determinación de la Membresía Global del Interruptor**

Para globalizar las siete membresías de la primera etapa, se utiliza el método del promedio sopesado, ya que la importancia comparativa de los elementos es un dato de la información primaria suministrada por los expertos ( $\mu_i$ ) como se muestra en la ecuación (3):

$$\mu_G = \sum_{i=1}^{12} K_i * \mu_i \quad (3)$$

Donde  $K_i$  es el coeficiente de la importancia del elemento "i" y  $\mu_i$  es la membresía del elemento "i". En caso de que otro o varios elementos tengan membresías igual a cero (que no presentan deterioro), esta fórmula se sustituye por la siguiente ecuación (4):

$$\mu_G = \frac{\sum K_j \mu_j}{\sum K_j} \quad (4)$$

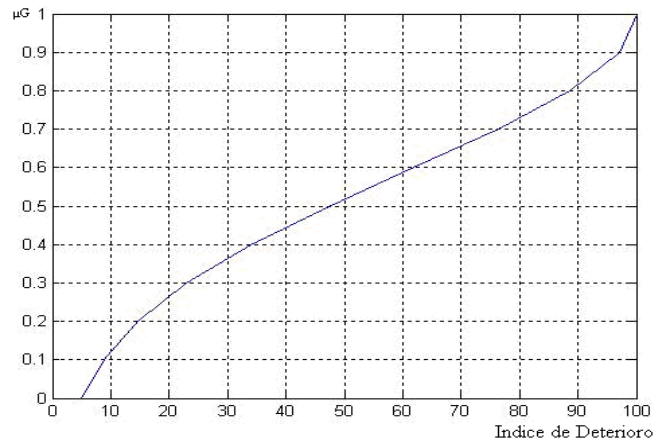
Donde j son los elementos que presentan deterioro.

### **Determinación del Índice de Deterioro Global ( $I_G$ )**

Con la ayuda de los expertos se determina la estrategia del mantenimiento y se representa una curva de membresías del conjunto difuso "Interruptor Deteriorado", cuyo atributo es el indicador del deterioro global. Dichas membresías se expresan analíticamente mediante una función de membresía ajustable y esta función se utiliza para el cálculo del índice de deterioro.

En este caso la curva de la membresía del conjunto "Interruptor Deteriorado" la cual define la estrategia a seguir cuando el interruptor tiene diferentes grados de deterioro, la misma se representa en la figura 1 y se expresa en la ecuación (5).

La siguiente curva se obtuvo a través de análisis empíricos de acuerdo a los valores dados por el fabricante en cuanto a su ciclo de mantenimiento y el tiempo de vida útil; todo el tratamiento se hizo en el MatLab 7.0.1.



**Fig. 1. Representación del índice de deterioro.**

$$I_g = 10 - \sqrt{\frac{10 \ln \mu_g}{-K_{mto}}} \quad (5)$$

Donde  $\mu_g$  es la membresía global del interruptor en el conjunto “Interruptor Deteriorado” según sea el caso (Mantenimiento parcial  $\mu_{Gmp}$ ) y  $K_{mto}$  es el coeficiente de estrategia de mantenimiento (durante el análisis con los expertos se comprobó que la estrategia daba buenos resultados con valores entre 0.3 y 0.4).

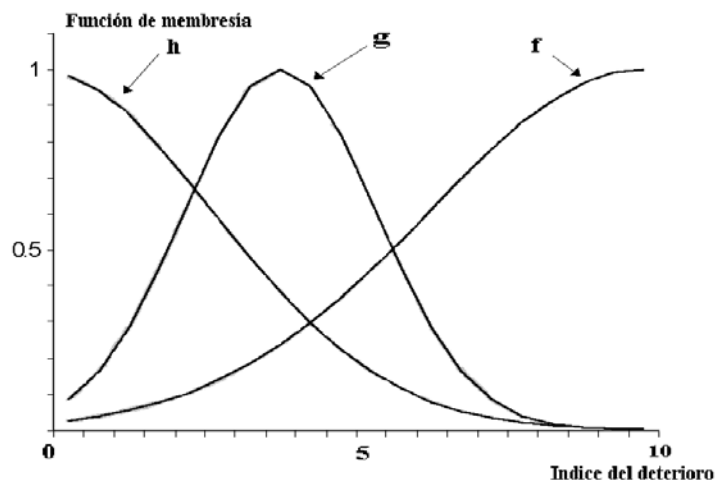
#### **Eta para Fusificar el “Nivel de Deterioro” del Interruptor**

Se definen tres funciones de membresía, cada una de ellas se representó con funciones gaussianas sobre el atributo “Índice del Deterioro”; la forma de cada función es ajustable siguiendo la experiencia del personal de mantenimiento. La forma aproximada de las curvas correspondientes se muestra en la figura 2.

**f(μ)** Nivel Alto de Deterioro.

**g(μ)** Nivel Medio de Deterioro.

**h(μ)** Nivel Bajo de Deterioro.



**Fig. 2. Funciones de membresía de la entrada “Nivel de Deterioro”.**

Y las funciones de membresías que describen estas curvas son las siguientes ecuaciones (6, 7 y 8):

$$f(\mu) = e^{(-0.4((I_g - 10)^2 / 10)} \quad (6)$$

$$g(\mu) = e^{(-2((I_g - 4)^2 / 10)} \quad (7)$$

$$h(\mu) = e^{(-0.6(I_g)^2 / 10)} \quad (8)$$

### Fusificación del Tiempo de Explotación del Interruptor sin Mantenimiento

Las funciones de membresía en las ecuaciones (9,10 y 11) son las siguientes:

$$\mu_B = \begin{cases} 0 < t \leq T/2 & \mu_B = -2t/T + 1 \\ 0 > T/2 & \mu_B = 0 \end{cases} \quad (9)$$

$$\mu_M = \begin{cases} 0 < t \leq T/2 & \mu_M = 2t/T \\ T/2 < t \leq T & \mu_M = -2t/T + 2 \end{cases} \quad (10)$$

$$\mu_A = \begin{cases} T/2 < t \leq T & \mu_A = 2t/T - 1 \\ t > T & \mu_A = 1 \end{cases} \quad (11)$$

Donde T se determina a través de consulta con los expertos, como una vez y medio el tiempo de la norma cubana para cada tipo de mantenimiento.

La representación gráfica de estas ecuaciones la encontramos en la figura 3.

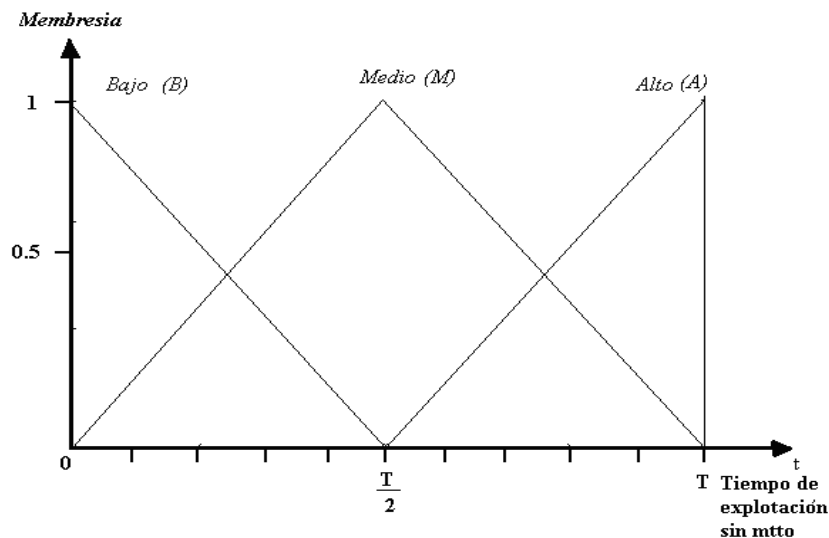


Fig. 3. Funciones de membresía de la entrada "Tiempo de Explotación".

### Evaluación de las reglas que determinaron los expertos para alcanzar la respuesta adecuada:

Las funciones de membresía para la determinación del tiempo restante se muestran en la figura 4 y las reglas utilizadas para el proceso de inferencia son:

- Si  $I_g = F$  y  $T_{exp} = \text{Alto}$  Entonces  $T_{res} = \text{Urgente}$ .
- Si  $I_g = F$  y  $T_{exp} = \text{Medio}$  Entonces  $T_{res} = \text{Urgente}$ .
- Si  $I_g = G$  y  $T_{exp} = \text{Medio}$  Entonces  $T_{res} = \text{Mediano Plazo}$ .
- Si  $I_g = G$  y  $T_{exp} = \text{Alto}$  Entonces  $T_{res} = \text{Corto Plazo}$ .
- Si  $I_g = G$  y  $T_{exp} = \text{Bajo}$  Entonces  $T_{res} = \text{Largo Plazo}$ .
- Si  $I_g = H$  y  $T_{exp} = \text{Bajo}$  Entonces  $T_{res} = \text{Sin Mantenimiento}$ .
- Si  $I_g = H$  y  $T_{exp} = \text{Medio}$  Entonces  $T_{res} = \text{Largo Plazo}$ .
- Si  $I_g = H$  y  $T_{exp} = \text{Alto}$  Entonces  $T_{res} = \text{Corto Plazo}$ .

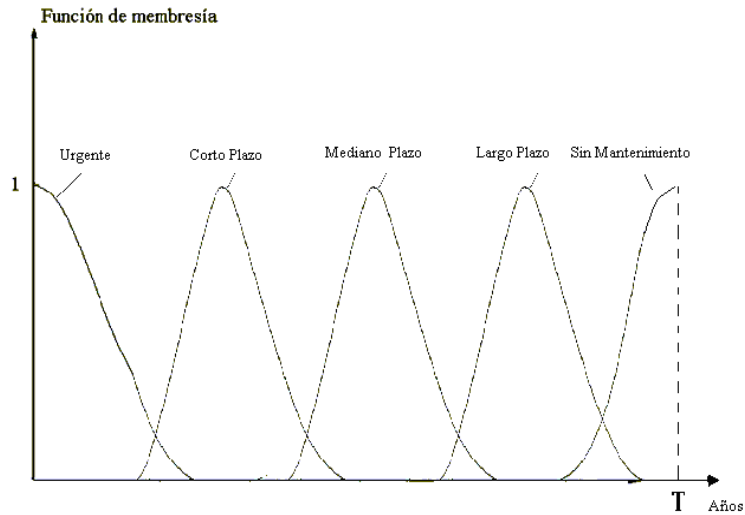


Fig. 4. Funciones de membresía del “Tiempo Restante”.

Para el proceso de inferencia se utilizó el producto algebraico y para la de fusificación se utilizó el método de la media del Máximo para obtener una mayor claridad en la respuesta pues la información que necesitan los expertos es si se da un mantenimiento de inmediato o en qué plazo se debe planificar la ejecución del mismo.

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

La aplicación de este método se realiza de acuerdo a los datos tomados en las inspecciones visuales de la subestación Nuevitás 220kV; a continuación se muestran los resultados en la tabla 3.

Tabla 3. Datos tomados de la inspección visual.											
Elementos	N202	N203	N204	N205	N206	N207	N208	N209	N210	N211	N212
Terminales primarios.	3	2	1	4	2	2	3	5	4	7	3
Porcelanas.	1	3	3	5	3	5	4	9	9	3	6
Calefacción.	2	1	2	2	6	3	3	3	3	3	3
Estado de Gabinetes.	4	3	2	2	3	4	5	5	7	3	2
Aterramiento.	6	2	3	3	3	3	8	8	9	2	5
Borneras.	3	5	2	6	5	3	5	7	7	6	4
Control General.	4	2	5	5	4	2	6	6	5	5	3
Tiempo de Explot. sin Mto (Meses)	10	6	8	12	16	4	9	20	18	5	6

Sustituyendo los datos en la ecuación (3):

**Int N-202:**

$$\mu_{G202} = 0.3 \cdot 0.17 + 0.1 \cdot 0.05 + 0.2 \cdot 0.09 + 0.4 \cdot 0.14 + 0.6 \cdot 0.11 + 0.3 \cdot 0.25 + 0.4 \cdot 0.19$$

$$\mu_{G202} = 0.347$$

El próximo paso consiste en buscar el índice de deterioro de cada interruptor para lo que utilizamos la curva de la estrategia del mantenimiento establecida por la ecuación (5):

**Int N-202:**

$$I_g = 10 - \sqrt{\frac{10 \ln 0.347}{-0.35}}$$

$$I_{g202} = 4.5008$$

Teniendo ya los índices de deterioro de cada interruptor se procede a fusificarlos para obtener los diferentes niveles de deterioro. Para esto se evalúan los índices en las tres funciones de membresía en las ecuaciones (6,7 y 8).

**Int N-202:**

$$f(\mu) = e^{(-0.4 * ((4.5008 - 10)^2 / 10)}$$

$$f(\mu) = 0.2983$$

$$g(\mu) = e^{(-2 * ((4.5008 - 4)^2 / 10)}$$

$$g(\mu) = 0.9511$$

$$h(\mu) = e^{(-0.6 * (4.5008)^2 / 10)}$$

$$h(\mu) = 0.2966$$

En este paso se procede a la fusificación del tiempo a través de las ecuaciones (9, 10 y 11), definidas para ello, en la misma se muestra en la tabla 4.

<b>Tabla 4. Valores de la fusificación del tiempo de explotación de los interruptores.</b>											
<b>Funciones</b>	<b>N202</b>	<b>N203</b>	<b>N204</b>	<b>N205</b>	<b>N206</b>	<b>N207</b>	<b>N208</b>	<b>N209</b>	<b>N210</b>	<b>N211</b>	<b>N212</b>
Tiempo Bajo B( $\mu$ )	0,161	0,497	0,329	0,000	0,000	0,665	0,245	0,000	0,000	0,581	0,497
Tiempo Medio M( $\mu$ )	0,838	0,503	0,671	1,000	0,668	0,335	0,755	0,336	0,502	0,419	0,503
Tiempo Alto A( $\mu$ )	0,000	0,000	0,000	0,000	0,332	0,000	0,000	0,664	0,498	0,000	0,000

La evaluación de las reglas y de fusificación para obtener el diagnóstico de cada interruptor se puede observar en la tabla 5, la cual muestra que en el caso de los interruptores N209 y N210 el mantenimiento debe ser planificado urgente.

A partir de estos resultados se analizarán en próximos trabajos la inclusión de otras variables como el desgaste del interruptor de acuerdo a relación que existe entre la cantidad de operaciones y las corrientes de interrupción, así como las mediciones de parámetros eléctricos, para ello se propone utilizar la herramienta de Conjuntos Aproximados Difusos.



<b>Tabla 5. Evaluación de las reglas y defusificación para el tiempo de mantenimiento.</b>											
<b>Estrategias Planificación Mantenimiento</b>	<b>N202</b>	<b>N203</b>	<b>N204</b>	<b>N205</b>	<b>N206</b>	<b>N207</b>	<b>N208</b>	<b>N209</b>	<b>N210</b>	<b>N211</b>	<b>N212</b>
Planificación Urgente								X	X		
Planificación a corto plazo (menos de 6 meses)											
Planificación a mediano plazo (menos de 12 meses)	X		X	X	X		X				X
Planificación a largo plazo (Menos de 18 meses)		X				X				X	
Planificación a muy largo plazo (Menos de 24 meses)											

## AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer las contribuciones de los especialistas de la Empresa de la Construcción de la Industria Eléctricade Camagüey por apoyar y facilitar los datos para la realización de este trabajo.

## CONCLUSIONES

La determinación del índice y los coeficientes de importancia del deterioro de cada interruptor nos permite tener una valoración real del estado del interruptor a partir de las revisiones visuales. Los resultados obtenidos a través del cálculo de un caso real aplicando el método propuesto corresponden con el punto de vista teórico de los expertos en la planificación de los mantenimientos a interruptores de potencia. Se deben incluir en futuros análisis otras variables relacionadas con la confiabilidad operacional que puedan aportar un resultado más completo al tener en cuenta el desgaste del interruptor debido a las corrientes que circulan a través del mismo durante su operación.

## REFERENCIAS

- [1]. SIERRA, E.; *et al.* "Calidad de la energía en redes eléctricas con penetración eólica. Caso: Parque Eólico de Turiguanó". [en línea], Ingeniería Energética, vol.34, no.2, p. 98-107, Agosto 2013, [consulta: 03 de febrero de 2014], Disponible en: [http://revistascientificas.cujae.edu.cu/Revistas/Energetica/Vol-XXXIV/2-2013/rie\\_2\\_N2\\_2013\\_98-107.pdf](http://revistascientificas.cujae.edu.cu/Revistas/Energetica/Vol-XXXIV/2-2013/rie_2_N2_2013_98-107.pdf), ISSN 1815-5901.
- [2]. LOURIVAL, A.; "Administración Moderna del Mantenimiento". [en línea], Febrero 2000, [consulta: 23 de Enero del 2013], Disponible en: <http://www.mantenimientomundial.com>.
- [3]. LESTER, G. N.; NELSON, J. H., "History of Circuit Breaker Standards". [en línea], No publicado. Presentado en IEEE/PES General Meeting, 24 July 2008, [consulta: 30 de Noviembre del 2012], Disponible en: [IEEE/PES SwitchgearCommittee web site: http://www.ewh.ieee.org/soc/pes/switchgear/Presentations/2008CBtutorial/speaker1paper.pdf](http://www.ewh.ieee.org/soc/pes/switchgear/Presentations/2008CBtutorial/speaker1paper.pdf)
- [4]. BRUNKE, John. H., "Application of power circuit breakers for switching capacitive and small inductive currents," [en línea], No publicado. Presentado en IEEE/PES General Meeting, 24 July 2008, [consulta: 30 de Noviembre del 2012], Disponible en [IEEE/PES SwitchgearCommittee web site: http://www.ewh.ieee.org/soc/pes/switchgear/presentations/2008cbtutorial/Speaker5paper.pdf](http://www.ewh.ieee.org/soc/pes/switchgear/presentations/2008cbtutorial/Speaker5paper.pdf).

- [5]. ZHANG, X.; *et al.*, "Life management of SF6 circuit breakers based on monitoring and diagnosis". IEEE Electrical Insulation Magazine, 2009, vol.25, n.3, p. 21-29, ISSN 0883-7554.
- [6]. BOYD, S.; *et al.*, "Distributed optimization and statistical learning via the alternating direction method of multipliers". Foundations and Trends® in Machine Learning. 2011, vol.3, n.1, p. 1-122, ISSN 1935-8237.
- [7]. BORGES, D., "Compensación de potencia reactiva en instalaciones eléctricas del sector terciario con baja penetración de armónicos". Tutor: Pérez Abril, I. Tesis en opción al título de Doctor en Ciencias Técnicas, Camagüey, Cuba, Departamento de Ingeniería Eléctrica. Universidad de Camagüey "Ignacio Agramonte Loynaz", U.C. 2012.
- [8]. YANG, H.; *et al.*, "A New Definition of Intuitionistic Fuzzy Rough Set and Its Similarity Measure.International". En: International Conference on Computer Science & Service System (CSSS). Nanjing, China, 2012, p. 1852-1855.
- [9]. QINGHUA, H.; *et al.*, "On robust fuzzy rough set models". IEEE Transactions on Fuzzy Systems, 2012, vol.20, n.4, p. 636-651, ISSN 1063-6706.
- [10]. HONG, D. H., "A note about operations like TW (the weakest t-norm) based addition on fuzzy intervals". [en línea], Kybernetika, vol.45, n.3, p. 541-547, 2009, [consulta: 15 de junio de 2013], Disponible en: [http://dml.cz/bitstream/handle/10338.dmlcz/140012/Kybernetika\\_45-2009-3\\_12.pdf](http://dml.cz/bitstream/handle/10338.dmlcz/140012/Kybernetika_45-2009-3_12.pdf), ISSN: 0023-5954.

## AUTORES

### **Israel Gondres Torné**

Ingeniero electricista, Master en Ingeniería Eléctrica, Profesor Auxiliar, Departamento de Ingeniería Eléctrica. Universidad de Camagüey "Ignacio Agramonte Loynaz", Camagüey, Cuba.

e-mail: [israel.gondres@reduc.edu.cu](mailto:israel.gondres@reduc.edu.cu)

### **Santiago Eduardo Lajes Choy**

Ingeniero electricista, Doctor en Ciencias Técnicas, Profesor Titular, Departamento de Ingeniería Eléctrica. Universidadde Camagüey "Ignacio Agramonte Loynaz", Camagüey, Cuba.

e-mail: [santiago.lajes@reduc.edu.cu](mailto:santiago.lajes@reduc.edu.cu)

### **Nervelio Rodríguez León**

Ingeniero electricista, Master en Ingeniería Eléctrica, Departamento de Protecciones. Subestación Nuevitas. Empresa de la Construcción de la Industria Eléctrica. Camagüey, Cuba.

### **Alfredo del Castillo Serpa**

Doctor en Ciencias Técnicas, Profesor Titular. Centro de Investigaciones y pruebas Electroenergética (CIPEL).Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría" Cujae, La Habana, Cuba.

e-mail: [acastillo@cemat.cujae.edu.cu](mailto:acastillo@cemat.cujae.edu.cu)