

Evaluación del Estado de Transformadores de Potencia Mediante la Aplicación de Lógica Difusa al Análisis de Gases Disueltos en Aceite

Alex Javier Chicaiza P., Escuela Politécnica Nacional (EPN), Quito – Ecuador

Fausto Valencia A., Escuela Politécnica Nacional (EPN), Quito – Ecuador

Resumen – Los métodos de análisis de gases disueltos en aceite (DGA) son muy importantes a la hora de predecir o identificar la presencia de fallas incipientes en el interior de un transformador de potencia. En este documento se realiza la aplicación de la lógica difusa a los métodos de Rogers e IEC como una herramienta de análisis inteligente, ya que existen ciertos casos en los que se hace difícil la identificación de fallas. La implementación de estos sistemas de análisis difusos se los realizó en MATLAB® y se comprobó la precisión de cada método difuso mediante el análisis de muestras de aceite con fallas previamente ya identificadas. Se determinó que el uso de la lógica difusa ayuda a mejorar la capacidad de cada método para identificar correctamente averías en un transformador e incluso permite identificar la presencia de múltiples fallas en casos especiales.

Índices – Transformadores de Potencia, Lógica Difusa, Fallas Incipientes, Método de Rogers, Método IEC.

I. INTRODUCCIÓN

Los transformadores de potencia son de gran importancia al ser uno de los equipos más costosos dentro de los procesos de conversión y transmisión de energía eléctrica. La referencia [1] menciona que durante su vida útil estos equipos están expuestos a diferentes condiciones de estrés eléctrico, tales como las descargas eléctricas y las fallas propias de su operación, afectando sus componentes y como consecuencia la confiabilidad y la vida útil del mismo.

Durante la operación y con el transcurso del tiempo el aceite se descompone liberando ciertos gases; la distribución y la tasa de generación de los mismos puede ser útil para determinar el tipo de falla y su severidad, en caso de que alguna existiera.

Es, por lo tanto, importante establecer un plan de mantenimiento eléctrico preventivo y predictivo. En este sentido, tienen especial atención las pruebas fisicoquímicas y cromatográficas aplicadas al aceite aislante, las cuales permiten medir las concentraciones de diferentes tipos de gases de falla presentes en el aceite[1].

Los principales gases de falla son el hidrogeno (H_2), el metano (CH_4), el etano (C_2H_6), el etileno (C_2H_4), el acetileno (C_2H_2), el monóxido de carbono (CO) y el dióxido de carbono (CO_2).

Actualmente existe una gran variedad de métodos de análisis de gases disueltos, tales como: el método de Relaciones de Rogers, IEC y Doernenburg, Gas Clave y la Técnica del Triángulo de Duval, entre los más importantes. Estos métodos, mediante la utilización de las concentraciones

de gases permiten identificar el tipo de falla y su origen, ya sea este térmico o eléctrico y así conocer el mantenimiento correctivo a tomar. Cabe recalcar que los métodos antes citados permiten identificar exclusivamente un tipo de falla presente a la vez, lo cual se convierte en el limitante para la aplicación de estos métodos.

Pero existen ciertos tipos de muestras donde las cantidades de gases presentes no permiten diagnosticar el tipo de falla presente a través de los métodos antes mencionados, y esto se puede deber principalmente a la presencia de múltiples fallas dentro del transformador. Es por esta razón, que se opta por utilizar otro tipo de herramientas que facilitan el análisis de estas muestras, tales como la aplicación de la Lógica Difusa.

En este documento se realiza la aplicación de la Lógica Difusa a los métodos de relaciones de gases de Rogers e IEC, con la ayuda del programa computacional MATLAB®.

II. MARCO TEÓRICO

A. Lógica Difusa

La lógica difusa es una lógica continuamente valuada o multi-valuada que permite la representación matemática de la incertidumbre y la vaguedad, proporcionando herramientas formales para su tratamiento[2].

Los principales elementos que permiten trabajar con la lógica difusa son los conjuntos difusos.

Un conjunto difuso se puede definir como una clase de objetos con continuos grados de pertenencia[3]. Tal conjunto es caracterizado por una función, la cual asigna a cada objeto un grado de pertenencia que varía entre cero y uno [0.0 - 1.0].

De acuerdo con esta definición, un conjunto difuso se constituye por dos partes principales: sus elementos y la función que asigna el grado de pertenencia de estos elementos a su conjunto.

Entonces un conjunto difuso A en U está definido como un conjunto de pares ordenados.

$$A = \{x, \mu_A(x) | x \in U\} \quad (1)$$

Donde U es el universo de discurso continuo (por ejemplo, todos los reales: $U=R$).

En otras palabras, si A es un conjunto difuso, entonces su función de pertenencia $\mu_A(x)$ mide el grado con el cual el valor x pertenece al conjunto A , de la cual puede tomar diferentes formas, dependiendo de la aplicación en particular.

Las funciones de pertenencia pueden tener diversas formas, tales como: funciones singleton, función trapezoidal, triangular, sigmoidal, entre otras[2].

B. Inferencia Difusa

La inferencia difusa puede definirse como el proceso mediante el cual se obtiene un valor de salida para uno o varios valores de entradas utilizando la teoría de conjuntos difusos.

Entre los principales pasos que conforman este proceso, se tiene: la fusificación de las entradas, la evaluación de reglas y la agregación de las salidas.

1) Fusificación de las Entradas

Este paso consiste en construir las funciones de pertenencia de cada conjunto difuso asociado, con la finalidad de poder asignar un grado de pertenencia de cada una de las variables de entrada a dichos conjuntos.

2) Evaluación de Reglas Difusas

Las reglas difusas describen la acción que se va a tomar en respuesta a varias entradas difusas. Una regla difusa *Si-Entonces* (IF-THEN) simple, puede expresarse de la siguiente manera[2]:

Si (IF) x es A entonces (THEN) y es B

Donde **A** y **B** son valores lingüísticos definidos por conjuntos difusos en los dominios (universos de discurso) **X** e **Y**, respectivamente. Estas reglas se encuentran compuestas por dos partes: la parte Si "**x es A**" y la parte Then "**y es B**", denominadas antecedente o premisa y consecuente o conclusión respectivamente.

Las entradas, una vez fusificadas, se aplican a los antecedentes de las reglas difusas. En ciertos casos, algunas reglas están compuestas por múltiples antecedentes, entonces se debe utilizar un operado difuso AND u OR para así obtener un único valor numérico que represente el resultado de la evaluación.

Cuando se utiliza el operador OR, se puede proceder de dos formas ya sea como *max* (máximo) o *sum* (suma algebraica), de igual manera para la operación AND existen dos formas conocidas como *min* (mínimo) y *prod* (producto algebraico).

En seguida, el resultado de la evaluación de los antecedentes se aplica al consecuente, recordando que el consecuente es un conjunto difuso representado por una función de pertenencia.

Finalmente se obtiene un conjunto difuso (consecuente) cuya función de pertenencia es reconfigurada según el valor de verdad del antecedente.

3) Agregación de Salidas

La agregación es el proceso por el cual los conjuntos difusos que representan las salidas de cada regla son combinados en uno solo.

El método de agregación es conmutativo, es decir el orden en el cual las reglas son ejecutadas no es importante.

C. Tipos de Falla

Las fallas incipientes dentro de un transformador pueden ser clasificadas en dos principales categorías: fallas de tipo térmico y fallas de tipo eléctrico[4].

1) Fallas Térmicas

Las fallas térmicas surgen como consecuencia del sobrecalentamiento de conductores, cortocircuitos, sobrecalentamiento de los devanados debido a corrientes de Eddy, conexiones flojas o a causa de un sistema de enfriamiento deficiente[4]. Las fallas térmicas localizadas se llaman puntos calientes[5].

2) Fallas Eléctricas

- Descargas de baja intensidad

Las descargas de baja intensidad como las descargas parciales y los arcos de muy baja intensidad pueden deberse a huecos o grietas en el aislamiento sólido o la presencia de componentes flotantes como gotas de agua o burbujas de aire. Una descarga parcial aparece como un pequeño pulso que a menudo va acompañado por la emisión de sonido, luz, calor y reacciones químicas [4]- [5].

Este tipo de fallas producen principalmente hidrógeno, con decrecientes cantidades de metano y pequeñas cantidades de acetileno.

- Arcos de alta intensidad

Cuando hay la presencia de altos voltajes se puede dar la formación de un plasma en el aceite a través del cual puede fluir libremente la corriente eléctrica en forma de arco[4].

Este tipo de descargas eléctricas generan elevadas temperaturas, que pueden alcanzar desde los 800°C hasta los 1800°C, produciendo importantes cantidades de acetileno.

En forma general en[1] se establece que las fallas eléctricas se pueden clasificar en cinco tipos:

- Fallas térmicas a baja temperatura (**TF** por sus siglas en ingles)
- Sobrecalentamiento y Chisporroteo (**OH**)
- Arco (**ARC**)
- Descargas Parciales y Corona (**PD**)
- Normal

En la Tabla I se muestra la clasificación de fallas según los métodos de Rogers e IEC y la técnica de Duval[1]-[6].

TABLA I
AGrupación de Fallas de Acuerdo a Cada Método.

Método	TF	OH	ARC	PD	Normal
Rogers	Ligero sobrecalentamiento <150°C Sobrecalentamiento de 150°C – 200°C Sobrecalentamiento de 200°C – 300°C	Sobrecalentamiento de Conductores Circulación de corrientes en devanados Circulación de corrientes entre tanque y núcleo	Flasheo Arco Chisporroteo Continuo	PDs PDs con huella	Normal
IEC	Falla Térmica <150°C Falla térmica de 150°C – 300°C	Falla Térmica de 300°C – 700°C Falla Térmica >700°C	Descargas de baja energía Descargas de alta energía	PDs de baja densidad de energía PDs de alta densidad de energía	Normal
Duval	Falla térmica bajo los 300°C	Falla térmica entre 300°C y 700°C Falla térmica a más de 700°C	Descargas de baja energía Descargas de alta energía	Descargas Parciales Mezcla de fallas térmicas y eléctricas	Normal

D. Métodos de Análisis de Gases Disueltos (DGA)

Existe una gran variedad de métodos de análisis, siendo los métodos de relaciones de gases los más utilizados. En este documento se trabajará fundamentalmente con dos métodos de análisis de gases: método de Rogers y método IEC.

1) Método de Rogers

Este método se basa en la correlación de los resultados de un número mucho mayor de investigaciones de fallas con el análisis de gases para cada caso. De acuerdo con Rogers, estas relaciones son aplicables tanto para gases obtenidos del espacio del gas (o relé), como para gases extraídos del aceite[4].

Este método utiliza 4 relaciones de gases: CH₄/H₂, C₂H₆/CH₄, C₂H₄/C₂H₆ y C₂H₂/C₂H₄. Para facilitar la identificación de cada relación, así como el intervalo, se utiliza una base de códigos como se indica en la Tabla II y Tabla III; Las fallas de Rogers se observan en la Tabla IV.

TABLA II
CÓDIGOS DE RELACIONES DE GASES.

Relación de Gas	Código de la Relación
CH ₄ /H ₂	i
C ₂ H ₆ /CH ₄	j
C ₂ H ₄ /C ₂ H ₆	k
C ₂ H ₂ /C ₂ H ₄	l

TABLA III
CÓDIGO DE RELACIONES DE GASES DE ROGERS.

Código de la Relación	Intervalo	Código
i	x < 0.1	5
	0.1 ≤ x ≤ 1.0	0
	1.0 ≤ x ≤ 3.0	1
	x > 3.0	2
j	x < 1.0	0
	x ≥ 1.0	1
k	x < 1.0	0
	1.0 ≤ x ≤ 3.0	1
	x > 3.0	2
l	x < 0.1	0
	0.1 ≤ x ≤ 3.0	1
	x > 3.0	2

TABLA IV
CLASIFICACIÓN DE FALLAS SEGÚN ROGERS.

i	j	k	l	Diagnostico	Falla
1-2	0	0	0	Ligero Sobrecalentamiento <150°C	TF_1
1-2	1	0	0	Sobrecalentamiento de 150°C – 200°C	TF_2
0	1	0	0	Sobrecalentamiento de 200°C – 300°C	TF_3
0	0	1	0	Sobrecalentamiento de conductores	OH_1
1	0	1	0	Corrientes circulantes en devanados	OH_2
1	0	2	0	Corrientes circulantes entre tanque y núcleo, uniones calientes	OH_3
0	0	0	1	Flashco con bajo flujo	ARC_1
0	0	1-2	1-2	Arco con alto flujo	ARC_2
0	0	2	2	Chisporroteo continuo a potenciales flotantes	ARC_3
5	0	0	0	Descargas parciales	PD_1
5	0	0	1-2	Descargas parciales con huella (observar CO)	PD_2
0	0	0	0	Deterioro Normal	Normal

2) Método IEC

El método de IEC es una versión mejorada del método de Rogers, pues sólo utiliza tres relaciones. La relación de etano sobre metano (C₂H₆/CH₄) es eliminada, pues sólo indica el rango de la temperatura de descomposición, mas no ayuda a la identificación de la falla[7]. Además, sólo considera tres intervalos para el uso de la relación CH₄/H₂, como se indica en la Tabla V y Tabla VI.

TABLA V
CÓDIGO DE RELACIONES DE GASES DE IEC[1].

Código de Relación	Intervalo	Código
l	x < 0.1	0
	0.1 ≤ x ≤ 3.0	1
	x > 3.0	2
i	x < 0.1	1
	0.1 ≤ x ≤ 1.0	0
	x > 1.0	2
k	x < 1.0	0
	1.0 ≤ x ≤ 3.0	1
	x > 3.0	2

TABLA VI
CLASIFICACIÓN DE FALLAS SEGÚN IEC[1].

l	i	k	Diagnostico	Falla
0	0	1	Falla Térmica <150°C	TF_1
0	2	0	Falla Térmica de 150°C-300°C	TF_2
0	2	1	Falla Térmica de 300°C-700°C	OH_1
0	2	2	Falla Térmica >700°C	OH_2
1-2	0	1-2	Descargas de baja energía	ARC_1
1	0	2	Descarga de alta energía	ARC_2
0	1	0	PDs de baja densidad de energía	PD_1
1	1	0	PDs de alta densidad de energía	PD_2
0	0	0	Normal	Normal

E. Aplicación

En esta parte del documento se realizará la aplicación del análisis de lógica difusa a dos de los métodos de análisis de gases disueltos antes mencionados (Rogers e IEC) utilizando las herramientas de Lógica Difusa presentada por MATLAB®, y así obtener una mejor interpretación de las relaciones de gases.

1) Relaciones Difusas de Rogers

Para el análisis difuso del método de Rogers se han implementado las funciones de pertenencia para cada conjunto difuso asociado a las variables i, j, k y l. Estas funciones de pertenencia están limitadas por los intervalos de cada relación.

En la Tabla VII, se ha asignado a cada intervalo una variable lingüística Lo (Low), Med (Medium), Hi (High) o Vhi (Veryhigh).

TABLA VII
RELACIONES DIFUSAS DE ROGERS[1].

Código de la Relación	Intervalo	Código
i	x < 0.1	5 (Lo)
	0.1 ≤ x ≤ 1.0	0 (Med)
	1.0 ≤ x ≤ 3.0	1 (Hi)
	x > 3.0	2 (Vhi)
j	x < 1.0	0 (Lo)
	x ≥ 1.0	1 (Hi)
k	x < 1.0	0 (Lo)
	1.0 ≤ x ≤ 3.0	1 (Med)
	x > 3.0	2 (Hi)
l	x < 0.1	0 (Lo)
	0.1 ≤ x ≤ 3.0	1 (Med)
	x > 3.0	2 (Hi)

Para la construcción de las funciones de pertenencia de las variables de entrada y salida se utilizan funciones del tipo trapezoidal y triangular respectivamente, como se puede observar en las siguientes figuras.

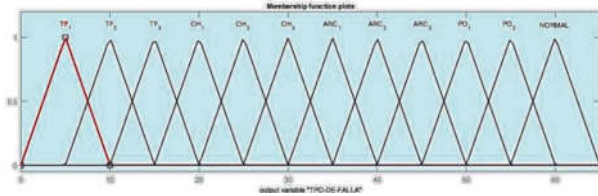


Fig. 1 Funciones de pertenencia de tipo de falla (salida) para Rogers.

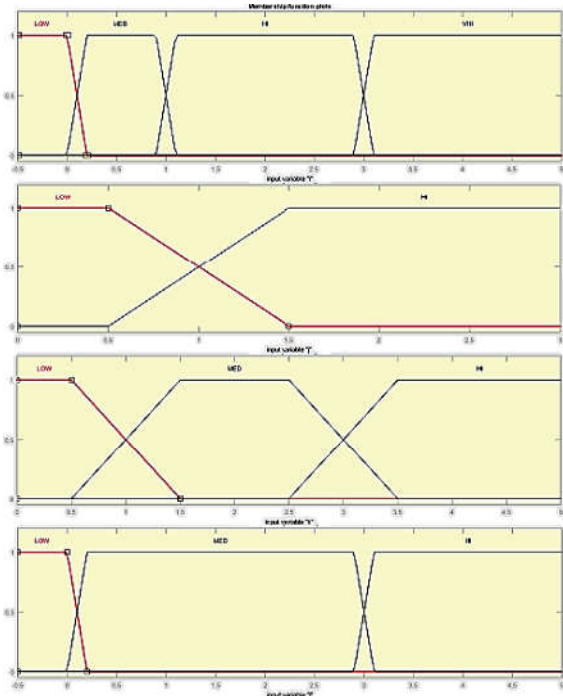


Fig. 2 Funciones de pertenencia de i, j, k y l (entradas).

Otro de los elementos importantes para el análisis difuso son las reglas difusas del tipo **SI-ENTONCES** (If-Then). Estas reglas se construyen en base a la información de la Tabla IV. A continuación, se muestran algunos ejemplos de las mismas.

Regla para TF_3:

SI (If) i es Med AND j es Hi AND k es Low AND l es Low ENTONCES (Then) Tipo de Falla es TF_3

Como se puede observar el operador lógico utilizado para unir los antecedentes es el operador AND, ya que se debe cumplir de manera irrestricta con cada uno de los antecedentes para tener esta falla.

Reglas para TF_1:

SI (If) i es Hi AND j es Low AND k es Low AND l es Low ENTONCES (Then) Tipo de Falla es TF_1

ó

SI (If) es Vhi AND j es Low AND k es Low AND l es Low ENTONCES (Then) Tipo de Falla es TF_1

Cuando se tienen varias reglas para inferir en una sola salida, es recomendable utilizar el operador max (OR).

Finalmente, una vez establecidas las funciones de pertenencia para cada variable y el conjunto de reglas difusas (18 reglas) que rigen el análisis difuso se obtiene la Fig. 3, la cual es el resultado del sistema de inferencia antes mencionado.

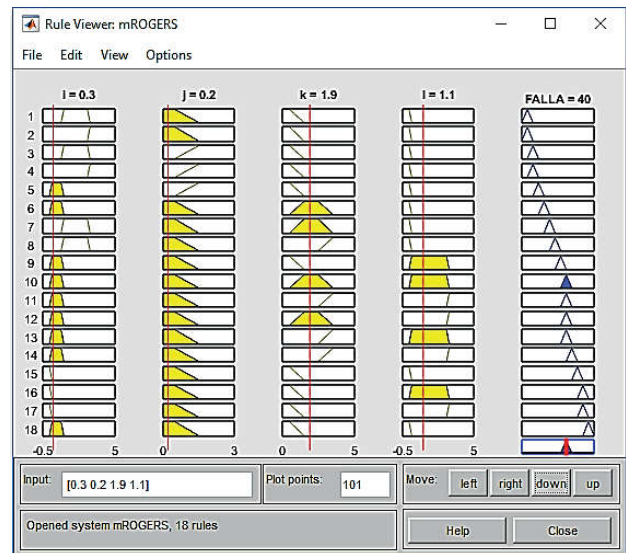


Fig. 3 Vista Gráfica de las Reglas de Rogers

En esta imagen se pueden encontrar 5 columnas y 18 filas.

Las curvas de color amarillo representan los antecedentes de cada regla difusa y las curvas de color azul los consecuentes.

Las curvas se rellenan de color amarillo cuando los valores de las variables de entradas pertenecen total o parcialmente a los conjuntos difusos establecidos para cada variable; de igual manera se colorean de color azul cuando cumplen con las reglas difusas antes establecidas.

1) Relaciones Difusas IEC

Al igual que en el caso anterior se debe realizar el proceso de creación de funciones de pertenencia como se muestra en la Fig. 4 y la implementación de reglas difusas.

La información necesaria para esta implementación se encuentra en la Tabla VIII.

TABLA VIII
RELACIONES DIFUSAS IEC.

Código de la Relación	Intervalo	Código
l	$x < 0.1$	0 (Low)
	$0.1 \leq x \leq 3.0$	1 (Med)
	$x > 3.0$	2 (Hi)
i	$x < 0.1$	1 (Low)
	$0.1 \leq x \leq 1.0$	0 (Med)
	$x > 1.0$	2 (Hi)
k	$x < 1.0$	0 (Low)
	$1.0 \leq x \leq 3.0$	1 (Med)
	$x > 3.0$	2 (Hi)

Para las relaciones difusas IEC se establecieron 12 reglas difusas, mediante el mismo procedimiento que se utilizó en el caso anterior (método de Rogers).

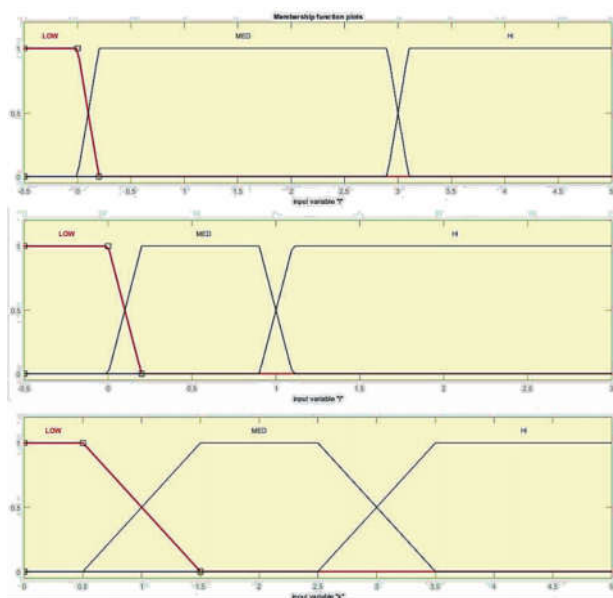


Fig. 4 Funciones de pertenencia de l, i y k respectivamente.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para evaluar las relaciones difusas de Rogers e IEC, se propone utilizar un conjunto de 15 muestras de aceite, las cuales pertenecen a transformadores con fallas comprobadas.

TABLA IX MUESTRAS DE DGA EN PPM[1].

No	H ₄	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₂ H ₄	C ₂ H ₂	Falla Identificada
1	200	700	250	740	1	Sobrecalentamiento y Chisporroteo
2	56	61	75	32	31	Descargas Parciales y Corona
3	33	26	6	5,3	0,2	Desgaste Normal
4	176	205,9	47,7	75,7	68,7	Arco
5	70,4	69,5	28,9	241,2	10,4	Sobrecalentamiento y Chisporroteo
6	345	112,25	27,5	51,5	58,75	Arco
7	172,9	334,1	172,9	812,5	37,7	Sobrecalentamiento y Chisporroteo
8	2587,2	7,882	4,704	1,4	0	Descargas Parciales y Corona
9	1678	652,9	80,7	1005,9	419,1	Arco
10	206	198,9	74	612,7	15,1	Sobrecalentamiento y Chisporroteo
11	180	175	75	50	4	Falla térmica a baja temperatura
12	106	24	4	28	37	Arco
13	180,5	0,574	0,234	0,188	0	Descargas Parciales y Corona
14	27	90	24	63	0,2	Sobrecalentamiento y Chisporroteo
15	138,8	52,2	6,77	62,8	9,55	Arco

En laTabla I, se pueden observar los resultados obtenidos al realizar la evaluación de cada una de las muestras mediante los métodos convencionales y los métodos difusos.

TABLA X ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS RESULTADOS.

N.-	Falla Identificada	Métodos Convencionales			Métodos Difusos Propuestos	
		T. Duval	M. Rogers	M. IEC	Rogers	IE C
1	Sobrecalentamiento y Chisporroteo	√	•	√	√	√
2	Descargas Parciales y Corona	X	•	•	X	X
3	Desgaste Normal	X	√	√	√	√
4	Arco	√	•	•	X	√
5	Sobrecalentamiento y Chisporroteo	√	•	•	√	√
6	Arco	√	√	√	√	√
7	Sobrecalentamiento y Chisporroteo	√	•	√	√	√
8	Descargas Parciales y Corona	X	•	√	√	√
9	Arco	√	•	√	√	√
10	Sobrecalentamiento y Chisporroteo	√	√	•	√	√
11	Falla Térmica a baja temperatura	√	X	X	X	X
12	Arco	√	√	√	√	√
13	Descargas Parciales y Corona	X	√	√	√	√
14	Sobrecalentamiento y Chisporroteo	√	•	√	√	√
15	Arco	X	√	√	√	√
√ Identificación Correcta		X Identificación Incorrecta			• Indistinguible	

Se puede observar que el método que ofrece un mayor grado de confianza al momento de identificar una falla correcta es el método difuso IEC con un 87% de fallas correctas, seguido por el método de Rogers con un 80%. Con los métodos convencionales, técnica de Duval y el Método de relaciones IEC, se tiene un 67% de identificación correcta.

IV. CONCLUSIONES

La incorporación de herramientas inteligentes como la lógica difusa en los métodos de análisis de Rogers e IEC permite obtener un panorama mayor del estado interno de un transformador, además de que permite una predicción más acertada del tipo de falla, pues se han identificado un número mayor de fallas que cuando se utilizan los métodos convencionales.

El método que mayor grado de certeza ofrece al momento de identificar una falla es el método difuso IEC, pues ofrece una precisión mayor al 85% en los casos analizados, además fue el único método que permitió identificar dos fallas en un caso real, por lo cual se lo puede usar de preferencia ante casos donde se sospeche de fallas múltiples.

Para el análisis en los casos especiales, se puede observar que la presentación gráfica de la variable de salida es una característica muy beneficiosa, ya que permite estimar la presencia de varias fallas con diferentes grados de importancia mediante la observación de las curvas correspondientes.

El uso de los métodos de análisis de gases disueltos es muy importante, ya que permite al usuario mantener un control continuo del estado del sistema de aislamiento interno de un transformador, además de prevenir posibles daños que puedan afectar la vida útil de este equipo.

V. REFERENCIAS

- [1] R. AFIQAH, I. MUSIRIN, D. JOHARI, M. OTHMAN, T. RAHMAN y Z. OTHMAN , *Fuzzy Logic Application in DGA Methods to Classify Fault Type in Power Transformer*, Shah Alam: University Technology MARA.
- [2] MATLAB, Ayuda de Matlab, 2015
- [3] L. A. ZADEH , *Is There a Need for Fuzzy Logic ?*, Berkeley, California: University of California, 1999.
- [4] IEEE, *IEEE Guide for the Interpretation of Gases Generated in Oil-Immersed Transformers*, New York: IEEE Std C57.104-2008, 2009.
- [5] J. ARAGÓN GÓMEZ, *Experimental Investigations on the Dissolved Gas Analysis Method (DGA) through Simulation of Electrical and Thermal Faults in Transformer Oil*, Essen: Universidad de Duisburg - Essen, 2014.
- [6] A. A. SULEIMAN , N. A. MUHAMAD y N. BASHIR, *Introducing the Hybrid-DGA Interpretation Software as an Effective Power Transformer Management Tool*, Istanbul, Turkey: 4th International Conference on Powering Engineering, Energy and Electrical Drivers, 2013.
- [7] R. R. ROGERS, *IEEE and IEC Codes to Interpret Incipient Faults in Transformers, using Gas in Oil Analysis*, Guildford: C.E.G.B. Transmission Division, 1978.

VI. BIOGRAFÍAS



eléctrica y transformadores de potencia.

Alex Javier Chicaiza Portero. - Nació en Ambato–Ecuador el 28 de enero de 1992. Realizó sus estudios en el Instituto Tecnológico Superior “Bolívar” donde obtuvo el título de bachiller en Ciencias, especialización en Físico–Matemáticas. Se graduó en la Escuela Politécnica Nacional como Ingeniero Eléctrico en 2016. Actualmente se desempeña como Ingeniero Eléctrico en Espe-Innovativa. Sus campos de interés son el alto voltaje, centrales de generación de energía



sistemas de potencia y la aplicación de modelos de campos electromagnéticos en Ingeniería Eléctrica. Fausto Valencia es miembro del IEEE y de las sociedades adscritas: Power&EnergySociety, ElectromagneticCompatibilitySociety and ElectricalInsulationSociety.

Fausto Valencia. - Obtuvo su título de Ingeniero Eléctrico y de Magister en Ingeniería Eléctrica en la Escuela Politécnica Nacional en 1999 y 2013 respectivamente. Es profesor a tiempo completo de la Escuela Politécnica Nacional y al momento se encuentra cursando los estudios en el Programa Doctoral de Ingeniería Eléctrica en la misma universidad. Sus campos de interés son el alto voltaje, transitorios en