

11126
77



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN**

**PROGRAMA PARA DIAGNOSTICO DE POSIBLES FALLAS EN
TRANSFORMADORES INMERSOS EN ACEITE**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
P R E S E N T A :
PEDRO RODRIGUEZ ESCALONA

ASESOR: ING. JOSE JUAN CONTRERAS ESPINOSA

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEXICO

2003

A

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES**

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES CUAUTITLAN



DEPARTAMENTO DE
EXAMENES PROFESIONALES

ATN: Q. Ma. del Carmen García Mijares,
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la FES Cuautitlán

DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN
P R E S E N T E

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS:

Programa para diagnóstico de posibles fallas en transformadores
inmersos en aceite.

que presenta el pasante: Pedro Rodríguez Escalona
con número de cuenta: 8103377-9 para obtener el título de :
Ingeniero Mecánico Electricista

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

A T E N T A M E N T E

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 24 de Abril de 2003

PRESIDENTE	<u>Ing. José Juan Contreras Espinosa</u>	
VOCAL	<u>Ing. Oscar Cervantes Torres</u>	
SECRETARIO	<u>Ing. Jaime Fuentes Sánchez</u>	
PRIMER SUPLENTE	<u>Ing. Albino Arteaga Escamilla</u>	
SEGUNDO SUPLENTE	<u>Ing. Maricela Serrano Fragoso</u>	

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

B

"Don't ever look behind at the work that you have done, for your work has just begun. There will be the evening in the end, until that time arrives you can rest your eyes and begin again."

CAT STEVENS.

"Nunca mires atrás, al trabajo que has hecho, pues tu trabajo solamente ha comenzado. Vendrá la noche al final, hasta que llegue ese momento podrán descansar tus ojos para comenzar de nuevo."

CAT STEVENS.

A MIS PADRES

**MIGUEL RODRÍGUEZ NORIEGA +
ADALBERTA ESCALONA HERNÁNDEZ**

A quienes les debo, no solo la vida, sino todo lo que soy.

A MIS HERMANOS

**TERE
MIGUE
TACHO
JUSTI
CONCHA
INÉS
LUPE**

Quienes influyeron en mi formación y seguirán influyendo en mi vida.

A MI FAMILIA

**ELIZABETH (Mi Reina)
BARUCH (Bar)
ILIANA (Güera)**

Por su apoyo, cariño y comprensión. De no ser por ellos este trabajo no se hubiera concretado. Gracias, muchas Gracias.

Agradezco de manera especial por su participación en la realización de este proyecto a:

Ing. José Juan Contreras Espinosa
Ing. Alvaro Cancino Quiroz
Ing. Ramón Romo
Ing. Rafael Alvarez

ÍNDICE

OBJETIVO	1
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO PRIMERO "Antecedentes"	
1.1. Antecedentes generales	2
1.2. Características del aceite para transformador	2
1.3. Características del papel y cartón usado en el transformador	5
1.4. Importancia de las relaciones entre los gases generados	6
CAPÍTULO SEGUNDO "Métodos a desarrollar"	
2.1. Nomograma de Church	10
2.2. Código de dos relaciones (MORGAN & SCHAFFER)	18
2.3. Código de cuatro relaciones-1978 (ANSI/IEEE C57.104-1978 y Método Westing-House/1978)	22
2.4. Código de tres relaciones-1991 (ANSI/IEEE C57.104-1991 y Método ABB-1991)	24
2.5. Orden de severidad y Patrón básico de falla (Método ABB-1991)	26
CAPÍTULO TERCERO "Desarrollo del programa"	
3.1. Identificación e inicialización de variables	27
3.2. Presentación del programa y elección del MENÚ	28
3.3. Entrada de datos	29
3.4. Cálculo de relaciones dominantes	30
3.5. Asignación de códigos y toma de decisión de falla	31
3.5.1. Asignación de códigos para el método de cuatro relaciones de ABB-1991	31
3.5.2. Toma de decisión de falla presentada por el método de cuatro relaciones de ABB-1991	32
3.5.3. Toma de decisión de falla presentada por el método Dornenberg de cuatro relaciones ANSI/IEEE C57.104-1978	33
3.5.4. Toma de decisión de falla presentada por el método de cuatro relaciones ANSI/IEEE C57.104-1978 (Método Rogers)	34
3.5.5. Asignación de códigos para los métodos de tres relaciones	36
3.5.6. Toma de decisión de falla presentada por el método de tres relaciones de ANSI/IEEE C57.104-1991	36
3.5.7. Toma de decisión de falla presentada por el método de tres relaciones de ABB-1991 y asignación de No. para orden de severidad y patrón básico de falla de ABB-1991	37

3.5.8. Toma de decisión del Orden de severidad y Patrón básico de falla (Método ABB-1991)	38
3.5.9. Toma de decisión de falla presentada por el método de dos relaciones (Morgan & Shaffer)	39
3.6. Relaciones y asignación de falla por nomograma de Church	40
3.7. Impresión de reporte en pantalla o papel	49
CAPÍTULO CUARTO "Uso del programa"	
4.1. Programa completo	53
4.2. Ejemplos de diagnósticos	64
CAPÍTULO QUINTO "Conclusiones y Trabajos posteriores"	
5.1. Conclusiones	82
5.2. Trabajos posteriores	83
APÉNDICES	84
GLOSARIO	89
BIBLIOGRAFÍA	90

OBJETIVO

E

INTRODUCCIÓN

OBJETIVO

Debido al alto costo de los transformadores de mediana potencia, potencia y extra alta tensión así como la necesidad de que estén trabajando sin interrupciones, es necesario contar con herramientas que permitan evaluar su funcionamiento y en un momento dado tomar la decisión de sacarlo de operación en forma programada para poderles dar el servicio que requieran.

De esta necesidad surgió la idea de generar un programa de computadora que corriera de manera sencilla y que los resultados fueran fáciles de interpretar, para poder tomar decisiones de la operación o intervención de los transformadores de potencia.

INTRODUCCIÓN

La detección de fallas incipientes en transformadores por medio del análisis de gases disueltos, se basa en que el sistema aislante del transformador (aceite aislante y celulosa) al ser sometido a una disipación anormal de energía genera productos de degradación. Los productos volátiles son gases que se pueden determinar, así como su concentración.

Los gases producidos son altamente solubles en el aceite del transformador y continuarán disolviéndose indefinidamente. Puesto que los tres tipos principales de procesos de falla difieren en la energía que se libera y como la producción de gases generados por la degradación dependen directamente de la energía disipada, cada tipo de falla dará por resultado la formación de una diferente mezcla de gases. Por lo tanto, un análisis de los gases presentes en el aceite puede ser usado para identificar la naturaleza del proceso de falla. De la información cuantitativa obtenida y particularmente por la observación de las velocidades de cambio en las concentraciones de los gases disueltos, es posible determinar la severidad de la falla. Esta información puede ser de gran valor en la determinación de la acción necesaria a tomar para corregir los problemas conocidos. Además dado que las fallas más severas son el resultado de la degradación continua del medio aislante en un periodo de tiempo, los métodos proporcionan un instrumento de monitoreo del desarrollo de fallas incipientes como una rutina fundamental. Frecuentemente pueden tomarse medidas correctivas antes de que una falla resulte en una avería catastrófica del equipo. El análisis de gases disueltos proporciona también un medio de evaluación tanto para equipo nuevo como reparado. Por el monitoreo de la generación de gases, el equipo nuevo puede ser evaluado durante su periodo de garantía y el equipo reparado puede ser probado para determinar la eficiencia de la reparación.

CAPÍTULO

PRIMERO

Antecedentes

1.1. Antecedentes generales

El análisis de gases disueltos (DGA) ha ganado aceptación mundial en la industria eléctrica como una herramienta de diagnóstico para la detección de fallas incipientes en equipo eléctrico inmerso en aceite, particularmente transformadores de potencia. Esta aceptación está basada en la singular habilidad del procedimiento para detectar fallas en la más temprana etapa posible y distinguir entre tres mecanismos de falla: Arqueo, Pirolysis y Corona.

La determinación experimental del gas generado durante la falla, frecuentemente consiste de dos pasos: la extracción de los gases disueltos dentro de un sistema de vacío seguido por un análisis cromatográfico de los gases extraídos. Este proceso permite que los gases generados sean determinados con la máxima sensibilidad.

La sensibilidad en la detección es una característica importante del DGA. La detección de gases de falla puede hacerse a niveles de centésimas de partes por millón usando técnicas de extracción e instrumentos cromatográficos. La existencia de algún problema o falla en el transformador puede ser establecida por el uso del DGA antes que haya indicación de un problema por otro método.

El DGA proporciona análisis cuantitativos y cualitativos de los gases producidos en el transformador. El problema en la interpretación de estos datos es complejo dada la gran variedad de transformadores inmersos en aceite ya que varían en tamaño, capacidad, edad y en otros aspectos importantes como condiciones de operación (carga).

1.2. Características del aceite para transformador

El aceite para transformador está hecho de la refinación de una fracción del hidrocarburo colectado durante la destilación del petróleo crudo. El rango de ebullición de la fracción colectada, la calidad y el grado de refinación durante su proceso dan como resultado las características del aceite que debe cumplir los parámetros establecidos para ser usado en los transformadores. Las fracciones colectadas en las torres de destilación con otro punto de ebullición se usan para otros productos.

La cantidad de aceite contenido en el transformador varía significativamente con la carga del aparato y su tamaño físico. Un transformador de distribución de 25 KVA puede contener 20 galones, y un transformador en una planta de generación de 400 MVA puede contener más de 10,000 galones.

Alrededor de 30 millones de transformadores están en servicio en USA, lo que representa que decenas o centenas de miles de millones de galones de

aceite están en uso. En 1996 se vendieron en USA 74 millones de galones de aceite para transformador el cual fue requerido por empresas manufactureras de equipo eléctrico y por operadores de este equipo. El 10-15% del aceite nuevo para transformador es usado para reemplazar parcial o totalmente el aceite de transformadores en operación. Normalmente en las pruebas de fábrica de los transformadores de potencia el aceite usado es drenado a contenedores donde se regenera y es reutilizado constantemente, pero al llegar los equipos al sitio donde van a funcionar son llenados con aceite nuevo.

Las características Físicas, Químicas y Eléctricas del aceite para transformador producido deben ser similares independientemente del fabricante. Los valores medidos en las características relevantes son comparados con límites definidos en especificaciones (ASTM Standard Specification D 3487-93), en esta norma se encuentran definidas las características así como los métodos de medición de cada parámetro.

El la Tabla 1 están mencionadas las características físicas, químicas y eléctricas del aceite para transformador.

La viscosidad del aceite aislante es el parámetro principal para el cálculo de la transferencia de calor por convección natural o por convección forzada. Esta propiedad es de suma importancia dado que las pérdidas en el núcleo y en las bobinas durante su operación ocasionan una generación extrema de calor y si esta energía no se disipa adecuadamente acelerará el envejecimiento en el sistema aislante del transformador y por lo tanto disminuirá su vida útil. Los hidrocarburos del aceite de transformador son térmicamente estables a las temperaturas de operación del transformador.

El punto de escurrimiento es la temperatura por debajo de la cual el líquido no tiene la posibilidad de tener movimiento, es decir es la temperatura de congelación.

El punto de inflamación es la temperatura a la cual el gas se evapora en la superficie del líquido caliente en una capa abierta al aire y además estos vapores pueden inflamarse en presencia de una chispa.

El rango de ebullición al destilar, el promedio del peso molecular y el promedio de carbonos por molécula son características determinadas por su composición molecular. Todos los hidrocarburos que componen el aceite para transformador pertenecen a tres clases; aromáticos, parafínicos y nafténicos y dependiendo de la composición y cantidad de estos hidrocarburos serán las propiedades antes mencionadas.

Si el aceite de transformador tiene contaminantes de cualquier índole las siguientes características son modificadas; factor de potencia, tensión interfacial, número de acidez, azufre corrosivo, color, estabilidad a la oxidación, humedad, rigidez dieléctrica, tendencia de gasificación y rigidez dieléctrica al impulso. Por lo que es necesario controlar todos los posibles contaminantes para poder lograr los valores planteados en la Tabla 1. Esto se logra con un

control estricto en la destilación, chequeo de los contenedores finales del aceite, un adecuado almacenaje y transporte.

Tabla 1. Límites de parámetros del aceite para transformador nuevo

Característica	Límite	Método de prueba ASTM
Viscosidad cinemática cSt @ 100 °C @ 40 °C @ 0 °C	< 3.0 < 12.0 < 76.0	D 445
Punto de escurrimiento °C	> -40	D 97
Punto de inflamación °C	> 145	D 92
Rango de ebullición al destilar		
Punto de ebullición inicial °C	239	
Temp. al 5% de recuperación °C	306	D 2887
Temp. al 50% de recuperación °C	372	
Temp. al 95% de recuperación °C	419	
Punto de ebullición inicial °C	531	
Promedio del peso molecular g/mol	419	D 2887
Promedio de carbonos por molécula	21	D 2887
Factor de potencia % @ 25 °C @ 100 °C	< 0.05 < 0.30	D 3487
Tensión Interfacial dinas/cm	> 40	D 3487
Número de Acidez mg KOH/g	< 0.03	D 3487
Azufre corrosivo	Nulo	D 3487
Color	< 0.5	D 3487
Estabilidad a la oxidación @ 164 h Lodos, peso % Número de Acidez mg KOH/g	< 0.3 < 0.6	D 3487
Humedad ppm	< 35	D 3487
Rigidez dieléctrica KV rms Electrodos VDE-0.08" dist. Electrodos VDE-0.04" dist.	> 56 > 28	D 1816
Rigidez dieléctrica KV rms Electrodos esféricos-0.01" dist.	> 30	D 877
Tendencia de gasificación µL/min (Método Pirelli modificado)	+ 15 + 30	D 2300 A D 2300 B
Rigidez dieléctrica KV en pico al impulso – NNS	> 145	D 3300

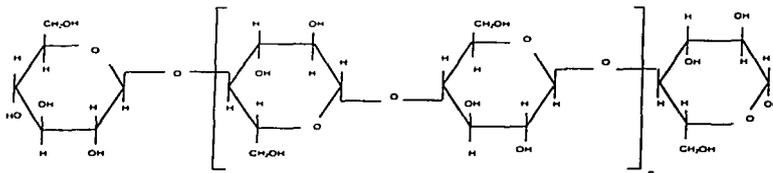
Otra propiedad importante del aceite es su capacidad aislante en el transformador, aunque solo se usan sus propiedades aislantes en lugares de, relativamente, baja diferencia de potencial.

1.3. Características del papel y cartón usado en el transformador

El papel y cartón son hojas hechas de fibras de celulosa vegetal dispersas en agua y drenada para su formación. La cohesión de las fibras de una a otra se da cuando de seca y es una propiedad exclusiva de las fibras de celulosa. La principal fuente de fibras de celulosa es la madera. A la preparación de la pulpa de madera que se usa para el papel y cartón se le deben remover (ligninas, carbohidratos, etc.).

La celulosa es un polisacárido constituido de unidades anhídrido D-glucopiránas unidas por enlaces β . Estas son largas cadenas de fibras sencillas de celulosa (Figura 1).

Figura 1. Estructura molecular de la celulosa.



La rigidez de una hoja depende de varios factores, pero los más significativos son las condiciones y la rigidez de las fibras y de la composición físico-química así como los vínculos del hidrogeno entre las moléculas de celulosa. Las características y valores de los materiales celulósicos están dados en la Tabla 2.

Tabla 2. Valores del material nuevo (hojas de cartón)

Característica	Unidades	Valor
Espesor	mm	3.0
Densidad	g/cm ³	1.18
Contenido de agua	%	5.8
Absorción de aceite	%	14
Contenido de cenizas	%	0.35
Grado de polimerización	--	1770
Conductividad	mS/m	3.0
Resistencia a la tensión MD	N/mm ²	127
Resistencia a la tensión CMD	N/mm ²	92

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Los mecanismos de la degradación de la celulosa son complicados pero dependen de las condiciones de ambiente que la rodea y esta degradación se presenta de la siguiente forma:

- a). Degradación por hidrólisis (Concentración de agua); Ruptura química de la cadena macromolecular que origina la formación de grupos de cetona o funciones aldehído, con pérdida en el grado de polimerización.
- b). Degradación por oxidación; El oxígeno ataca los átomos de carbón en la molécula de celulosa formando aldehídos y ácidos, liberando agua, CO y CO₂ con pérdida del grado de polimerización.
- c). Degradación por temperatura; con temperaturas elevadas la degradación es similar al envejecimiento normal de la celulosa pero acelerada. La degradación por oxidación y por hidrólisis ocurre y genera cambios severos reduciendo el grado de polimerización. Esto reduce su rigidez y abre los enlaces glucosídicos. Los productos de la descomposición son agua y óxidos de carbón.

En los puntos de alta diferencia de potencial dentro del transformador se utilizan refuerzos aislantes de material sólido (papel, cartón y madera). Estos materiales normalmente son impregnados con aceite de transformador para eliminar aire, humedad e incrementar su rigidez dieléctrica.

Los aislamientos celulósicos son los más vulnerables térmicamente, estos pueden degradarse rápidamente expuestos a temperaturas de 150 °C

1.4. Importancia de las relaciones entre los gases generados

Evaluación estadística de los gases de falla disueltos permitió establecer concentraciones de gases para transformadores considerados en operación normal. Transformadores con niveles más altos de lo normal son sospechosos de tener fallas.

Por otro lado, la predicción termodinámica de los productos de la descomposición del aceite sometido a altas temperaturas muestra un incremento en la relación de hidrocarburos no saturados e hidrocarburos saturados, específicamente, las relaciones de acetileno a etileno y etileno a etano. Ambas aumentan con la temperatura a la cual es sometido el aceite para su descomposición. También es predecible el incremento de hidrogeno producido en función del incremento de temperatura.

Para un gas en particular, la generación del gas varía con respecto a la temperatura. Cada gas de falla a su vez alcanzará una velocidad máxima de producción a medida que la temperatura de descomposición se incrementa.

Los gases de falla se producirán con el incremento de temperatura con la siguiente secuencia: Metano, Etano, Etileno y finalmente acetileno.

El Hidrógeno puede ser producido por dos mecanismos. La producción de hidrógeno a baja temperatura esta asociada con corona y descargas parciales. A temperatura elevada, el hidrógeno es producido por el fraccionamiento de las moléculas del aceite aislante.

En base a esto se puede aceptar que el acetileno solo se produce bajo condiciones de alta disipación de energía lo que ocurre en la presencia de un arco. Todos los hidrocarburos de bajo peso molecular cuando se producen junto con el hidrógeno indican pirolisis. Elevada producción de hidrógeno indica corona o descargas parciales. Debe enfatizarse que una falla no produce un único producto de descomposición. Sin embargo, el patrón de la combinación de gases producidos es único para cada uno de los tres tipos principales de falla. El arqueo produce todos lo gases de falla, la pirolisis produce todos los gases de falla excepto acetileno y el corona produce solo significativas cantidades de hidrógeno.

La conceptualización teórica y la experiencia práctica indican que las velocidades de producción de gases de falla pueden correlacionarse con la severidad de la falla. Pero si se realiza la comparación de los gases para un transformador en particular debe tenerse cuidado de no mezclar las unidades de reporte; por ciento de volumen (ppv) o partes por millón (ppm) y además es necesario considerar el volumen total del aceite contenido en el transformador. Por lo que la mejor forma para el análisis de posibles fallas es medir la relación de una concentración de gas con otra. Los métodos de comparación entre gases tienen claras ventajas, puesto que las relaciones de concentración de gas son independientes del volumen de aceite en el transformador y de las unidades de concentración. Dornenberg y Rogers demostraron que estas relaciones pueden ser correlacionadas con el tipo de falla además de proporcionar un método para normalizar los datos de unidades disímiles.

Las relaciones de concentraciones de gas de falla por pares de gases en particular tienden a agruparse conforme a la forma de la falla cuando se dibujan en una gráfica log-log. Dibujando las relaciones de ciertos pares de gases se observa la localización de las tres formas de falla como muestra la Figura 2 (2a, 2b y 2c).

Figura 2. Correlación del arque, corona y pirolisis de acuerdo a las relaciones de pares de gases de falla

Figura 2a. Relación de (Metano/Hidrógeno) Vs. (Acetileno/Etileno)

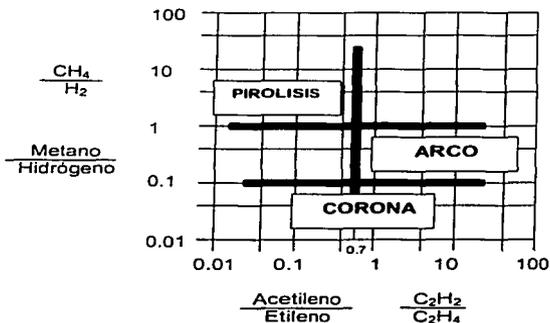


Figura 2b. Relación de (Metano/Hidrógeno) Vs. (Etano/Acetileno)

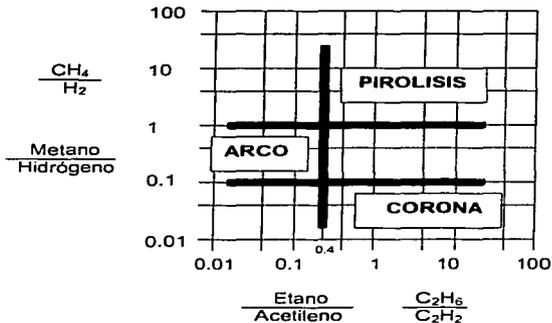
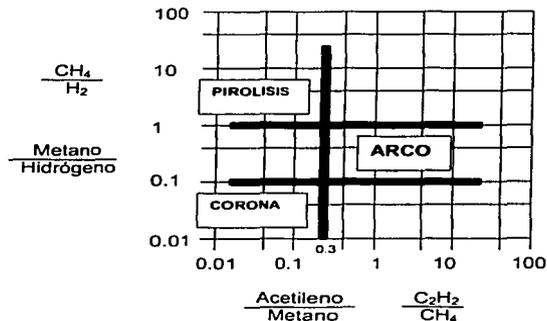


Figura 2c. Relación de (Metano/Hidrógeno) Vs. (Acetileno/Metano)



Por otro lado es necesario recordar que para transformadores que han estado en operación por algunos años pueden ser considerados sin problemas si las concentraciones de gas no exceden los niveles mostrados en la Tabla 3.

Tabla 3. Concentración máxima de gases permitida

Gas	For. Qím.	Límite (ppm)
Hidrógeno	H ₂	100
Metano	CH ₄	120
Etano	C ₂ H ₆	65
Etileno	C ₂ H ₄	50
Acetileno	C ₂ H ₂	35
Monóxido de carbono	CO	350
Dióxido de carbono	CO ₂	2500

Fuente: ANSI C57.104-1991

CAPÍTULO

SEGUNDO

***Métodos a
desarrollar***

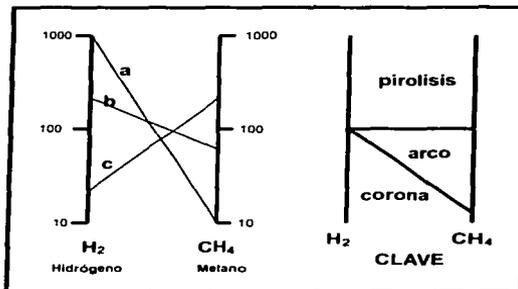
2.1. Nomograma de Church

El Nomograma fue diseñado para proporcionar una presentación gráfica de los datos del gas de falla y disponer de un medio para interpretar su significado. El nomograma, consiste de una serie de escalas logarítmicas verticales en las cuales las concentraciones de los gases individuales pueden ser señaladas. Segmentos de línea recta son usados para unir los puntos que representan las concentraciones de los gases individuales y las pendientes de estas líneas son usadas como el criterio de diagnóstico para determinar el tipo de falla. La comparación visual de las pendientes de los segmentos de línea con las claves proporcionadas en la parte inferior del nomograma es todo lo que se necesita para identificar el proceso de falla.

La relación de metano e hidrogeno pueden ser relacionadas con los tres tipos de fallas principales; pirolisis, arqueo y corona. Si esta relación es mayor que 1 indica pirolisis, una relación entre 0.1 y 1 indica arqueo y una relación menor que 0.1 es indicativo de corona. De modo que la pendiente de la línea de conexión de la concentración de hidrógeno a la concentración de metano indicará el tipo de falla. Es decir que si se usan escalas logarítmicas idénticas para el hidrógeno y el metano, el resultado de la pendiente indicará el tipo de falla. Así la conexión de los puntos correspondientes a una concentración de hidrógeno de 100 ppm con una concentración de 100 ppm de metano forma una línea horizontal. La línea horizontal que corresponde a una relación metano a hidrógeno de 1 y una relación mayor que 1 indica que el tipo de falla es pirolisis. Pendientes negativas en el rango de 0 a -1 correspondiendo a una relación de hidrógeno a metano en el rango de 1 a 10, indica arqueo. Pendientes negativas menores que -1 correspondiendo a una relación de hidrógeno a metano mayor que 10, indica corona o descargas parciales.

La Figura 3 ilustra estas condiciones. Por ejemplo si el aceite contiene 1000 ppm de hidrógeno y 10 ppm de metano (línea a) la modalidad de la falla es corona. Aceite conteniendo 200 ppm de hidrógeno y 70 ppm de metano (línea b) produce una línea con pendiente que indica arqueo. Finalmente, una muestra de aceite conteniendo 200 ppm de metano y 20 ppm de hidrógeno da una línea de pendiente positiva e indica pirolisis.

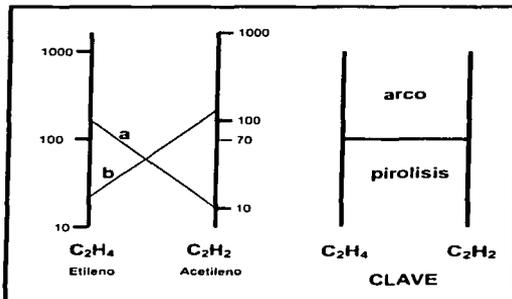
Figura 3. Fallas posibles usando valores cuantitativos de hidrógeno y metano (la línea "a" indica corona, la línea "b" indica arqueo y la línea "c" indica pirolisis).



En función de la Figura 2a se pueden interpretar las modalidades de falla de la siguiente manera; cuando la relación de acetileno a etileno es < 0.7 representa pirolisis y cuando la relación es > 0.7 representa arqueo. La Figura 4 muestra esta relación. Es necesario hacer notar que la escala del acetileno está un poco movida hacia arriba para lograr que la línea de relación entre etileno y acetileno sea horizontal. La línea se hizo horizontal para facilitar la determinación de la modalidad de la falla, esto es, relaciones de acetileno a etileno mayores que 0.7 están indicadas por líneas con pendientes positivas (arqueo) y relaciones menores que 0.7 están indicados con pendientes negativas (pirolisis). Aceite conteniendo 10 ppm de acetileno y 200 ppm de etileno, indicara pirolisis (línea "a", Figura 4) dado que la línea que conecta estos dos puntos da una pendiente negativa. Si por otro lado, la pendiente es positiva (línea "b"), la modalidad de falla es más probablemente arqueo.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Figura 4. Fallas posibles usando valores de etileno y acetileno (la línea "a" indica pirolisis y la línea "b" indica arqueo).



Las Figuras 5 y 6 muestran las modalidades de falla para combinaciones etano-acetileno y acetileno-metano. Nótese que en las Figuras 2b y 2c, la relación crítica separando las modalidades de falla es 0.4 para la relación de etano a acetileno y 0.3 para la relación de acetileno a metano. Las escalas para el etano en la Figura 5 y el acetileno en la Figura 6 están ajustadas hacia arriba para hacer horizontales las respectivas líneas de relación.

Figura 5. Posibles fallas interpretando los valores de etano y acetileno (la línea "a" indica pirolisis o corona y la línea "b" indica arqueo).

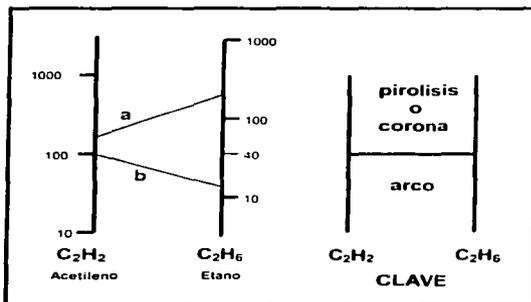
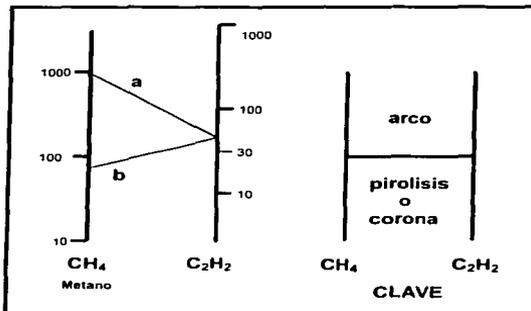


Figura 6. Modalidades de falla usando los valores de acetileno y metano (la línea "a" indica pirolisis o corona y la línea "b" indica arqueo).



El desarrollo de la relación entre hidrógeno y acetileno no es tan exacto como las relaciones anteriores. De la Figura 2c se pueden obtener las propiedades de cada tipo de falla.

Para arqueo:

$$1.0 > (\text{CH}_4 / \text{H}_2) > 0.1 \quad \text{y} \quad (\text{C}_2\text{H}_2 / \text{CH}_4) > 0.3$$

$$(\text{H}_2) > (\text{CH}_4) > 0.1 (\text{H}_2) \quad \text{y} \quad (\text{C}_2\text{H}_2) > 0.3 (\text{CH}_4)$$

$$3.3 (\text{C}_2\text{H}_2) > (\text{CH}_4)$$

$$10 (\text{H}_2) > 10 (\text{CH}_4) > (\text{H}_2) \quad \text{y} \quad 33 (\text{C}_2\text{H}_2) > 10 (\text{CH}_4)$$

$$33 (\text{C}_2\text{H}_2) > 10 (\text{CH}_4) > (\text{H}_2)$$

Por lo tanto:

$$33 (\text{C}_2\text{H}_2) > (\text{H}_2) \quad \text{o} \quad (\text{C}_2\text{H}_2) > 0.3 (\text{H}_2)$$

Para corona:

$$\begin{aligned}
 (\text{CH}_4 / \text{H}_2) < 0.1 & \quad \text{y} \quad (\text{C}_2\text{H}_2 / \text{CH}_4) < 0.3 \\
 (\text{CH}_4) < 0.1 (\text{H}_2) & \quad \text{y} \quad (\text{C}_2\text{H}_2) < 0.3 (\text{CH}_4) \\
 10 (\text{CH}_4) < (\text{H}_2) & \quad \text{y} \quad 3.3 (\text{C}_2\text{H}_2) < (\text{CH}_4) \\
 3.3 (\text{C}_2\text{H}_2) < (\text{CH}_4) & \quad \text{y} \quad 10 (\text{CH}_4) < (\text{H}_2) \\
 33 (\text{C}_2\text{H}_2) < 10 (\text{CH}_4) < (\text{H}_2)
 \end{aligned}$$

Por lo tanto:

$$33 (\text{C}_2\text{H}_2) < (\text{H}_2) \quad \text{o} \quad (\text{C}_2\text{H}_2) < 0.03 (\text{H}_2)$$

Para pirolisis:

$$\begin{aligned}
 (\text{CH}_4 / \text{H}_2) > 1.0 & \quad \text{y} \quad (\text{C}_2\text{H}_2 / \text{CH}_4) < 0.3 \\
 (\text{CH}_4) > (\text{H}_2) & \quad \text{y} \quad (\text{C}_2\text{H}_2) < 0.3 (\text{CH}_4) \\
 (\text{H}_2) < (\text{CH}_4) & \quad \text{y} \quad 3.3 (\text{C}_2\text{H}_2) < (\text{CH}_4)
 \end{aligned}$$

Como ambos (H_2) y $3.3 (\text{C}_2\text{H}_2)$ son menores que (CH_4) , una relación entre (C_2H_2) y (H_2) NO PUEDE SER DETERMINADA.

Es claro que niveles elevados de acetileno están asociados con arqueo; niveles elevados de hidrógeno con la presencia de bajos niveles de otros hidrocarburos son indicativos de corona; y elevados niveles de hidrógeno con la presencia de otros hidrocarburos son indicativos de pirolisis. Considerando estos comentarios, se han podido establecer las relaciones mostradas en la Figura 8, que no fue desarrollada de la Figura 2, sino que fue planteada en base a conocimientos empíricos de fallas conocidas.

Figura 7. Fallas posibles usando valores de hidrógeno y acetileno (la línea "a" indica pirolisis, la línea "b" indica pirolisis o corona y la línea "c" indica arqueo).

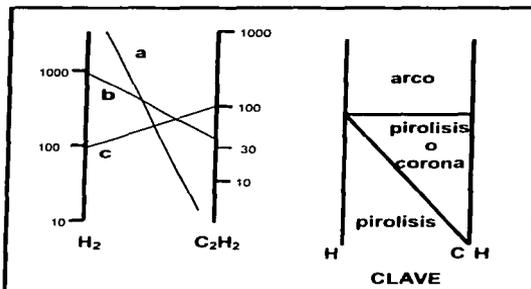
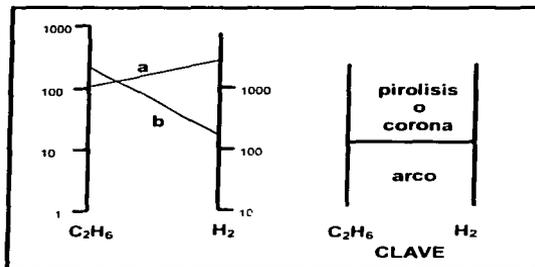


Figura 8. Modalidades de falla usando valores de hidrógeno y etano (la línea "a" indica pirolisis o corona, la línea "b" indica arqueo).



De la Figura 3 a la Figura 8 se muestran las modalidades de falla en términos de grupos de pares de los siguientes gases clave:

Hidrogeno a Metano
 Acetileno a Etileno
 Etano a Acetileno

Acetileno a Metano
Hidrógeno a Acetileno
Hidrógeno a Etano

Estos grupos de pares se pueden arreglar de manera de usar un gas común en dos grupos de pares. Un arreglo de esta forma puede ser:

Hidrógeno-Acetileno, Acetileno-Etano, Etano-Hidrógeno, Hidrógeno-Metano, Metano-Acetileno y Acetileno-Etileno.

Para completar este arreglo se requieren las relaciones inversas de los pares de gases: Etano-Acetileno, Acetileno-Metano e Hidrógeno-Etano.

Combinando el gas común entre los grupos de pares se produce:

Hidrógeno—Acetileno—Etano—Hidrógeno—Metano—Acetileno—Etileno.

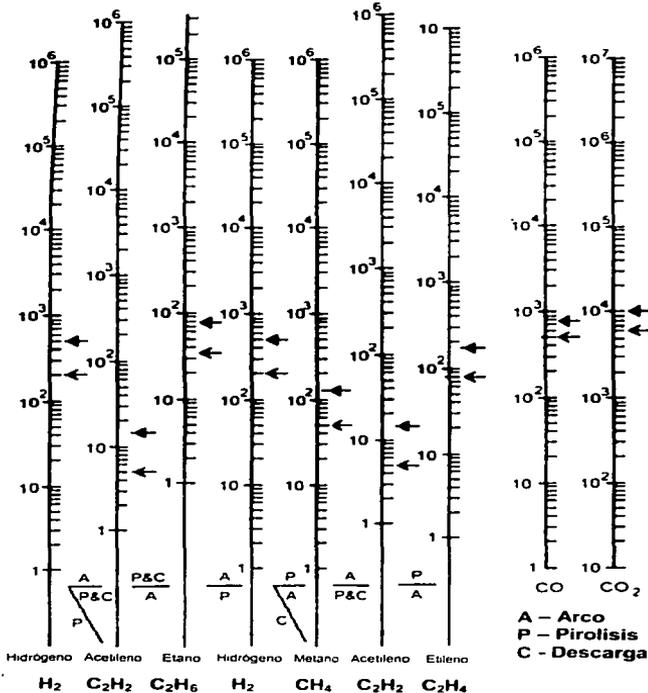
Este es el orden escogido y generalizado en la presentación del Nomograma de Church mostrado en la Figura 9 (usado para el diagnóstico de fallas incipientes).

En el nomograma se puede observar que los valores de hidrógeno y acetileno deben ser considerados dos veces. Las relaciones Etileno-Hidrógeno, Etileno-Etano y Etileno-Metano no proporcionan información adicional o significativa para realizar el diagnóstico y por lo tanto no son incluidas en el nomograma.

La presencia de Monóxido De Carbono y Dióxido De Carbono en la muestra de aceite puede indicar cuando el material celulósico está siendo deteriorado. Se considera que concentraciones de 1,000 ppm de monóxido de carbono y 11,000 ppm de dióxido de carbono no deben ser consideradas como posible falla en transformadores que han estado en servicio por algunos años. Concentraciones superiores a estos límites indican que el aislamiento sólido está involucrado en el proceso de falla. Una pendiente negativa entre las escalas para monóxido y dióxido de carbono indica una relación de monóxido a dióxido mayor de 0.1. Esta condición significa una acelerada velocidad de descomposición de la celulosa que puede ser atribuida a las altas temperaturas asociadas con una falla.

Para usar el nomograma, los valores en partes por millón (ppm) obtenidos del análisis de gases disueltos (DGA) son dibujados en las escalas verticales para el gas correspondiente. Las claves de diagnóstico localizadas en la parte inferior de las escalas son usadas para interpretar la modalidad de falla de acuerdo a la pendiente de la línea que conecta los puntos dibujados. Los límites de las concentraciones para transformadores considerados "operando normalmente", después de haber estado en servicio por un año o más están marcados con símbolos. Además se localizan otros símbolos en valores que la experiencia a mostrado no ser críticos a esos niveles.

Figura 9. Nomograma de Church



El uso del nomograma ofrece algunas ventajas en el análisis de gases disueltos en aceite. Estas ventajas se mencionan a continuación:

- + Los datos pueden ser fácil y rápidamente interpretados.
- + Altos contenidos de gas son identificados inmediatamente.
- + Cambios relativos en las concentraciones son fácilmente observados.
- + La velocidad de cambio en la evolución del gas puede ser observada cuando subsiguientes pruebas son dibujadas en el mismo nomograma.
- + El método es independiente del volumen de aceite en el transformador.
- + La evaluación de datos es menos sensible a la variación en los procedimientos de laboratorio, tales como la eficiencia de la extracción de gas y la calibración de los instrumentos, ya que las relaciones de las concentraciones de gas son la base de los diagnósticos.

2.2. Código de dos relaciones (Morgan & Schaffer)

El código de dos relaciones ha sido desarrollado por Morgan & Schaffer Corp., basado en el planteamiento de que los gases generados se deben a la pérdida de la capacidad de aislamiento eléctrico del papel y aceite, y los tipos de falla características son:

- Degradación Térmica.
- Arco.
- Descargas Parciales (Corona).

Existen, por supuesto, algunas sobreposiciones entre estas tres clasificaciones, diferentes tipos de los procesos de degradación pueden ocurrir simultánea o consecutivamente. Por ejemplo, un sobrecalentamiento en las uniones, generará un típico proceso de degradación térmica, pero si esta falla continúa, puede ser seguida de un punto de chisporroteo, el que puede degenerar en una falla por arco. Por otro lado, una falla que inició como arco puede ser complementada con productos de degradación térmica si existe una significativa disipación de energía. Estos dos casos pueden distinguirse como una falla por arco, por la rápida liberación de los gases que indican arco. Pero el primer ejemplo tendrá una caracterización donde predominarán los productos de falla térmica, y en el segundo ejemplo predominarán los productos de degradación generados por el arco.

Degradación térmica:

Los gases característicos en esta falla son C_2H_4 (Etileno), CH_4 (Metano), H_2 (Hidrógeno), C_2H_6 (Etano). La degradación térmica puede ser dividida en dos categorías.

- De Baja Temperatura con grandes áreas de sobrecalentamiento (por ejemplo, problemas en el flujo de energía).
- De Alta Temperatura en pequeñas áreas (por ejemplo, puntos calientes localizados en aristas puntiagudas de alta resistencia en la unión o cortos circuitos).

Es importante notar que las relaciones en los gases de falla generados son muy sensibles a la temperatura de falla. Por reacciones químicas como la pirolisis, la relación se incrementa exponencialmente con la temperatura, como una regla, la relación se duplica con cada incremento de $10^\circ C$. Una falla de baja temperatura debe generarse, necesariamente, en un área grande para producir una relación significativa.

A baja temperatura la mayor cantidad de productos de degradación por pirolisis son; Metano y Etano y una menor cantidad de Etileno e Hidrógeno. Así como se incrementa la temperatura se acelera rápidamente la relación, generación y la concentración de hidrocarburos insaturados (C_2H_4 y C_3H_6), y se incrementa marcadamente con respecto a hidrocarburos saturados (CH_4 y C_2H_6). Por otro lado las fallas de alta temperatura (hot spot) son caracterizadas por Etileno como el gas de falla, con una menor concentración de Metano. Etano es considerablemente menor con los incrementos de temperatura. Significativa generación de Hidrógeno (pero menor que el Metano) es producido.

Degradación por arco:

Los gases característicos en esta falla son H_2 (Hidrógeno) y C_2H_2 (Acetileno). Además se generan cantidades menores de C_2H_4 (Etileno), C_2H_6 (Etano) y CH_4 (Metano).

Un arco generado en el aceite para transformador genera Hidrógeno y Acetileno como gases característicos de falla. Y son acompañados de Etileno y menores cantidades de otros gases generados por degradación térmica, dependiendo del grado de la energía disipada en el arco

Degradación por descargas parciales:

El gas característico de esta falla es el H_2 (Hidrógeno).

Normalmente el único gas generado durante el fenómeno de descargas parciales es el Hidrógeno y este es generado normalmente por la reacción entre la humedad (particularmente agua libre) y el acero. Muestras de aceite son tomadas frecuentemente de los transformadores por las válvulas puestas para esta función, las cuales están libres de acumulación de agua y por lo tanto no generan Hidrógeno. Otro planteamiento importante es la consideración de que el Hidrógeno es solamente disipado por difusión, por lo que es muy lento y las altas concentraciones locales se pueden mantener indefinidamente. Este fenómeno no ocurre normalmente, pero es importante que transformadores que muestren altos niveles de Hidrógeno y que no se diagnostique alguna otra falla, debe ser muestreado nuevamente después de una limpieza adecuada que elimine aceite estancado.

Degradación del papel aislante:

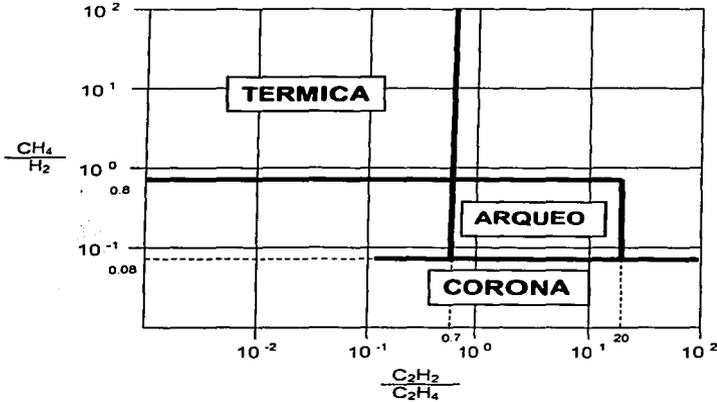
La rigidez dieléctrica de la celulosa es afectada por los tres tipos de falla mencionados con anterioridad y los productos de falla son varios.

Existe evidencia que el Hidrógeno y el Metano pueden ser producidos con una degradación de baja temperatura tanto en el papel como en el aceite, pero los gases característicos de una degradación en el papel y cartón son el Monóxido de Carbono (CO) y el Dióxido de Carbono (CO₂). La celulosa se puede carbonizar a temperaturas de 150°C, por lo que existe una degradación a las temperaturas normales de operación de los transformadores. La degradación pirolítica, combinada con temperaturas anormales de operación de los transformadores, genera variaciones en la relación de producción de CO y CO₂. Estas cantidades varían dependiendo de la relación Papel-Aceite en el sistema aislante del transformador y depende también de los diferentes tipos y tamaños de transformadores. La degradación térmica del papel o su presencia en fallas de arco o descargas parciales tienden a incrementar la relación de CO a CO₂. Altos niveles de estos gases combinado con la relación CO/CO₂ es el indicativo de que el papel está involucrado en la falla. Desafortunadamente en muchas de las fallas que se diagnostican no se puede precisar la degradación de la celulosa, ya que la circulación continua del aceite disuelve estos gases por todo el aceite y entonces las cantidades de CO y CO₂ no parecen significativas, y la relación CO/CO₂ no se incrementa en demasía. Una relación anormal es una buena evidencia del involucramiento de la celulosa en la falla pero una relación relativamente normal no es necesariamente un indicativo de que el papel no está presente en la falla.

Diagnóstico por el código de dos relaciones:

La información planteada hasta ahora en el punto 2.2. está resumida en la Figura 10, que corresponde al diagrama para diagnóstico de transformadores inmersos en aceite por gases disueltos en el aceite, por código de dos relaciones.

Figura 10. Representación gráfica del tipo de falla por código de dos relaciones



Es importante hacer notar que el área marcada como 'CORONA' no está limitada a la izquierda ni a la derecha, ya que la generación de C_2H_2 y C_2H_4 son producidos en pequeñas cantidades y la relación puede tener grandes variaciones, esta representación está basada en los trabajos desarrollados por Dornenberg, el cual es muy realista en la clasificación de fallas dentro de los tres principales tipos de falla.

Para realizar un diagnóstico más refinado se puede hacer uso de los otros métodos marcados en este trabajo (código de tres o cuatro relaciones, nomograma, etc.).

Se debe enfatizar que este método se puede utilizar solo para caracterizar fallas en transformadores que indican de alguna forma condiciones anormales de operación.

Para reconocer una operación anormal del transformador, se recomienda la siguiente frecuencia de muestreo:

- a).- Transformadores nuevos; antes y después de las pruebas de fábrica.

b).- Transformadores de transmisión nuevos entre 250KV y 400KV; la primera muestra al iniciar su operación y después cada tres meses durante el primer año y después cada año.

c).- Transformadores generadores de 300MVA y superiores; cada mes.

d).- Todos los transformadores con resultados anormales; debe ser muestreado con mayor frecuencia hasta determinar el tipo y severidad de la falla, y que la generación de gases sea perfectamente entendido. Aquellos transformadores que estén identificados con condiciones críticas deben ser muestreados cada día durante una semana y comparar los resultados.

e).- Transformadores de 230 KV y superiores, operando normalmente;

Reactores, muestrear anualmente.

Transformadores de potencia, muestrear cada dos o tres años.

Transformadores para instrumentos, muestrear cada cuatro o cinco años.

Transformadores en periodo de garantía, muestrear cada dos meses los primeros nueve meses de operación.

Transformadores después de una falla, tomar dos muestras, una de la parte superior y otra de la parte inferior, lo mas pronto posible, dentro de las seis horas siguientes al incidente.

Los beneficios de un programa sistemático de muestreo se podrán notar al evitar fallas catastróficas en los transformadores. Es necesario mencionar que un mal diagnóstico de falla puede ser tan costoso como el no diagnosticarlo a tiempo.

2.3. Código de cuatro relaciones-1978 (ANSI/IEEE C57.104-1978 y Método Westing-House/1978)

Para el método de cuatro relaciones, los tipos de falla característicos son los mismos que en el punto 2.2. Por lo que en base a los principios de falla planteados, agregamos que en la interpretación de los resultados del análisis de gases en este método es suficiente utilizaran solo 5 gases de falla (H_2 , CH_4 , C_2H_6 , C_2H_4 y C_2H_2) y de acuerdo con el desarrollo de ROGERS cuatro relaciones de gases definen una condición de falla dada. A cada rango específico de las relaciones se les asigna un código, ya sea 0, 1, 2 o 5 (Tabla 4) y una vez teniendo el código se hace uso de la Tabla 5 para identificar la falla.

Tabla 4. Asignación de códigos para el método de cuatro relaciones de 1978

Relación	Rango de la Relación	Código
CH ₄ / H ₂	</= 0.1	5
	0.1 - 1.0	0
	1.0 - 3.0	1
	>/= 3.0	2
C ₂ H ₆ / CH ₄	< 1.0	0
	>/= 1.0	1
C ₂ H ₄ / C ₂ H ₆	< 1.0	0
	1.0 - 3.0	1
	> 3.0	2
C ₂ H ₂ / C ₂ H ₄	< 0.50	0
	0.5 - 3.0	1
	> 3.0	2

Tabla 5. Diagnóstico de falla para el método de cuatro relaciones de 1978

CH ₄ / H ₂	C ₂ H ₆ / CH ₄	C ₂ H ₄ / C ₂ H ₆	C ₂ H ₂ / C ₂ H ₄	Diagnóstico
0	0	0	0	Deterioro normal
5	0	0	0	Descarga parcial
1 / 2	0	0	0	Sobrecalentamiento menor a 150 °C
1 / 2	1	0	0	Sobrecalentamiento entre 150 - 200 °C
0	1	0	0	Sobrecalentamiento entre 200 - 300 °C
0	0	1	0	Sobrecalentamiento general de conductores
1	0	1	0	Circulación de corriente en bobinas
1 / 2	0	2	0	Corriente circulante en núcleo y tanque, juntas sobrecargadas
0	0	0	1	Descarga sin potencia
0	0	1 / 2	1 / 2	Arco eléctrico
0	0	2	2	Chisporroteo continuo por potencial flotante
5	0	0	1 / 2	Descarga parcial con arrastre

Además en la ANSI/IEEE C57.104-1978 se plantea la identificación general de la falla en base a la Tabla 6, y el diagnóstico sugerido en base al código de cuatro relaciones mostrado en la Tabla 7.

Tabla 6. Tipo de Falla por el método Dornenberg de cuatro relaciones

Tipo de falla	CH₄ / H₂	C₂H₂ / C₂H₄	C₂H₆ / C₂H₂	C₂H₂ / CH₄
Descomposición térmica (Hot Spot)	> 1.0	< 0.75	> 0.4	< 0.3
Descarga eléctrica (Excepto corona)	> 0.1	> 0.75	< 0.4	> 0.3
Corona	< 0.1	Insignificante	> 0.4	< 0.3

Tabla 7. Diagnóstico sugerido del método de cuatro relaciones de 1978 (Método de Rogers)

CH₄ / H₂	C₂H₆ / CH₄	C₂H₄ / C₂H₆	C₂H₂ / C₂H₄	Diagnóstico sugerido
0	0	0	0	Deterioro Normal
5	0	0	0	Descarga parcial - Corona
5	0	0	1 / 2	Descarga parcial - Corona, con arrastre
0	0	2	2	Descarga continua
0	0	1 / 2	1 / 2	Arco eléctrico con flujo
0	0	0	1	Arco eléctrico sin flujo
1 / 2	0	0	0	Sobrecalentamiento menor a 150 °C
1 / 2	1	0	0	Sobrecalentamiento entre 150 - 200 °C
0	1	0	0	Sobrecalentamiento entre 200 - 300 °C
0	0	1	0	Sobrecalentamiento general de conductores
1	0	1	0	Circulación de corriente en las bobinas
1	0	2	0	Corriente circulante en núcleo y tanque, juntas sobrecargas

2.4. Código de tres relaciones-1991 (ANSI/IEEE C57.104-1991 y Método ABB-1991)

Este método de diagnóstico de falla al igual que el punto 2.3. se basa en el procedimiento general de Dornenberg, pero aquí se consideran solo tres relaciones para poder emitir un diagnóstico de falla. Su conceptualización es en base a los principios de la degradación térmica planteada en los puntos 2.1 y 2.2 de este trabajo. El método se valida en base a la correlación de los resultados de un gran número de investigaciones de fallas en transformadores. Pero como en los otros métodos hay relaciones que no permiten encontrar un adecuado diagnóstico de falla, y se debe hacer uso de la experiencia del analizador para poder definirla.

La Tabla 8 nos da los valores de las relaciones correspondientes al diagnóstico sugerido. Algunos de los diagnósticos han sido cambiados y combinados con respecto a las sugerencias originales de Rogers.

Tabla 8. Diagnóstico sugerido de falla para el método de tres relaciones de ANSI/IEEE C57.104-1991

C_2H_2 / C_2H_4	CH_4 / H_2	C_2H_4 / C_2H_6	Diagnóstico de falla sugerido
< 0.1	> 0.1 < 1.0	< 1.0	Unidad Normal
< 0.1	< 0.1	< 1.0	Arqueo de baja densidad de energía
0.1 – 3.0	0.1 – 1.0	> 3.0	Arqueo – Descarga de alta energía
< 0.1	> 0.1 < 1.0	1.0 – 3.0	Falla Térmica de baja temperatura
< 0.1	> 1.0	1.0 – 3.0	Falla Térmica < 700 °C
< 0.1	> 1.0	> 3.0	Falla Térmica > 700 °C

Por otro lado, ABB Power T&D Company Inc., publicó en 1992 la corrección de su método de diagnóstico de fallas por el código de tres relaciones con nueve posibilidades de diagnóstico, que se muestran en la Tabla 10 y en la Tabla 9 se plantea la asignación de códigos.

Tabla 9. Códigos para el diagnóstico por tres relaciones (ABB-1991).

Rangos de Relaciones	C_2H_2 / C_2H_4	CH_4 / H_2	C_2H_4 / C_2H_6
< 0.1	0	1	0
0.1 – 1.0	1	0	0
1.0 – 3.0	1	2	1
> 3.0	2	2	2

Tabla 10. Diagnóstico por código de tres relaciones (ABB-1991).

No.	Diagnóstico	C_2H_2 / C_2H_4	CH_4 / H_2	C_2H_4 / C_2H_6
0	No hay falla	0	0	0
1	Descargas parciales de baja energía	0	1	0
2	Descargas parciales de alta energía	1	1	0
3	Descarga de baja energía	1/2	0	1/2
4	Descarga de alta energía	1	0	2
5	Falla térmica < 150 °C	0	0	1
6	Falla térmica 150 °C – 300 °C	0	2	0
7	Falla térmica 300 °C – 700 °C	0	2	1
8	Falla térmica > 700 °C	0	2	2

2.5. Orden de severidad y Patrón básico de falla (Método ABB-1991)

Este último método a desarrollar plantea, en la Tabla 11, un diagnóstico de falla básico así como la severidad de la falla presentada. Esta información fue planteada en 1991 por ABB Power T&D Company Inc..

Tabla 11. Orden de severidad y Patrón básico de falla

Orden de Severidad de falla	Patrón Básico de falla	No. Asignado en Tabla 10
1	Normal	0
2	Sobrecalentamiento del conductor	5
3	Sobrecalentamiento de aceite, mediano	6
4	Sobrecalentamiento de aceite, moderado	7
5	Sobrecalentamiento de aceite, severo	8
6	Descarga parcial de baja energía	1
7	Descarga parcial de alta energía	2
8	Arco	3, 4

CAPÍTULO

TERCERO

Desarrollo

del programa

El programa para diagnosticar posibles fallas en transformadores inmersos en aceite se desarrollo para Industrias IEM y en lenguaje Quick Basic, ya que era la herramienta con que se contaba.

3.1. Identificación e inicialización de variables

Un punto importante en cualquier programa es identificar todas y cada una de las variables utilizadas en el programa para poder revisar y localizarlas en el desarrollo de los cálculos. Para este programa en particular, las variables utilizadas son:

*** IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES (POR ORDEN DE APARICIÓN EN EL PROGRAMA) :**

. HID ; HIDRÓGENO (H2)
 . MON ; MONÍDIO DE CARBONO (CO)
 . BIO ; BIÓXIDO DE CARBONO (CO2)
 . MET ; METANO (CH4)
 . ETA ; ETANO (C2H6)
 . ETI ; ETILENO (C2H4)
 . ACE ; ACETILENO (C2H2)
 . OP ; OPCIÓN DEL MENÚ A EJECUTAR
 . DI\$; FECHA DE MUESTREO
 . D\$; FECHA DE ANÁLISIS
 . LAB\$; LABORATORIO
 . OT\$; ORDEN DE TALLER
 . P ; VARIABLE PARA IMPRESIÓN
 . R1 ; RELACIÓN METANO / HIDRÓGENO (CH4 / H2)
 . R2 ; RELACIÓN ETANO / METANO (C2H6 / CH4)
 . R3 ; RELACIÓN ETILENO / ETANO (C2H4 / C2H6)
 . R4 ; RELACIÓN ACETILENO / ETILENO (C2H2 / C2H4)
 . R5 ; RELACIÓN ETANO / ACETILENO (C2H6 / C2H2)
 . R6 ; RELACIÓN ACETILENO / METANO (C2H2 / CH4)
 . C1 ; CÓDIGO DE LA RELACIÓN METANO / HIDRÓGENO (CH4/H2)
 . T1 ; CÓDIGO DE LA RELACIÓN ACETILENO / ETILENO (C2H2 / C2H4)
 . C2 ; CÓDIGO DE LA RELACIÓN ETANO / METANO (C2H6/CH4)
 . T3 ; CÓDIGO DE LA RELACIÓN METANO / HIDRÓGENO (CH4/H2)
 . C3 ; CÓDIGO DE LA RELACIÓN ETILENO / ETANO (C2H4/C2H6)
 . T4 ; CÓDIGO DE LA RELACIÓN ETILENO / ETANO (C2H4/C2H6)
 . C4 ; CÓDIGO DE LA RELACIÓN ACETILENO / ETILENO (C2H2/C2H4)
 . DGN\$; OPCIÓN DE IDENTIFICACIÓN DE FALLA POR FRC
 . DGN1\$; OPCIÓN DE IDENTIFICACIÓN DE FALLA POR FRC PARA ANSI/IEEE 1978
 . DGN11\$; OPCIÓN DE IDENTIFICACIÓN DE FALLA POR DOERNENBERG PARA ANSI/IEEE 1978
 . FS ; OPCIÓN DE IDENTIFICACIÓN DE FALLA POR TRC
 . BGP ; CÓDIGO DE IDENTIFICACION DE FALLA POR PATRONES BASICOS DE GENERACION DE GASES
 . F1\$; OPCIÓN DE IDENTIFICACIÓN DE FALLA POR TRC PARA IEEE-1991
 . BGP\$; OPCIÓN DE IDENTIFICACIÓN DE FALLA POR PATRONES BASICOS DE GENERACION DE GASES
 . BGP1 ; ORDEN DE IMPORTANCIA DE FALLA POR PATRONES BASICOS DE GENERACION DE GASES
 . MY\$; OPCIÓN DE IDENTIFICACION DE FALLA POR M & S

Capitulo Tercero "Desarrollo del programa"

```
* XHID : COLOCACIÓN DEL HIDRÓGENO (H2) EN NOMOGRAMA DE CHURCH
* XACE1 : COLOCACIÓN DEL ACETILENO (C2H2) EN LA 1ª BARRA DEL NOMO. DE CHURCH
* M1 : PENDIENTE DE LA RELACIÓN H2 - C2H2 EN NOMOGRAMA DE CHURCH
* NC1$ : CARACTERIZACIÓN DE FALLA PARA LA REL. H2-C2H2 DEL NOMO. DE CHURCH
* XETA : COLOCACIÓN DEL ETANO (C2H6) EN NOMOGRAMA DE CHURCH
* M2 : PENDIENTE DE LA RELACIÓN C2H2-C2H6 EN NOMOGRAMA DE CHURCH
* NC2$ : CARACTERIZACIÓN DE FALLA PARA LA REL. C2H2-C2H6 DEL NOMO. DE CHURCH
* M3 : PENDIENTE DE LA RELACIÓN C2H6-H2 EN NOMOGRAMA DE CHURCH
* NC3$ : CARACTERIZACIÓN DE FALLA PARA LA REL. C2H6-H2 DEL NOMO. DE CHURCH
* XMET : COLOCACIÓN DEL METANO (CH4) EN NOMOGRAMA DE CHURCH
* M4 : PENDIENTE DE LA RELACIÓN H2-CH4 EN NOMOGRAMA DE CHURCH
* NC4$ : CARACTERIZACIÓN DE FALLA PARA LA REL. H2-CH4 DEL NOMO. DE CHURCH
* XACE2 : COLOCACIÓN DEL ACETILENO (C2H2) EN LA 2ª BARRA DEL NOMO. DE CHURCH
* M5 : PENDIENTE DE LA RELACIÓN CH4-C2H2 EN NOMOGRAMA DE CHURCH
* NC5$ : CARACTERIZACIÓN DE FALLA PARA LA REL. CH4-C2H2 DEL NOMO. DE CHURCH
* XETI : COLOCACIÓN DEL ETILENO (C2H4) EN NOMOGRAMA DE CHURCH
* M6 : PENDIENTE DE LA RELACIÓN C2H2-C2H4 EN NOMOGRAMA DE CHURCH
* NC6$ : CARACTERIZACIÓN DE FALLA PARA LA REL. C2H2-C2H4 DEL NOMO. DE CHURCH
* XMON : COLOCACIÓN DEL MONÓXIDO (CO) EN NOMOGRAMA DE CHURCH
* XBI0 : COLOCACIÓN DEL BIÓXIDO (CO2) EN NOMOGRAMA DE CHURCH
* M7 : PENDIENTE DE LA RELACIÓN CO-CO2 EN NOMOGRAMA DE CHURCH
* NC7$ : CARACTERIZACIÓN DE FALLA PARA LA REL. CO-CO2 DEL NOMO. DE CHURCH
```

Otro punto importante en cualquier programa es inicializar todas las variables para que no conserven valores de una corrida anterior y generen una salida falsa en algún resultado, para eso y antes de cualquier asignación de valores se colocó la siguiente línea:

```
* INICIALIZACIÓN DE VARIABLES
```

```
100 CLEAR
```

3.2. Presentación del programa y elección del MENÚ

Poner en la pantalla de la computadora los datos generales del programa y dar la opción de elección de lo que se pretende realizar, es la razón por la que se anexó esta presentación del programa, así como la elección del MENÚ y los datos de la corrida a realizar:

```
* PRESENTACIÓN DEL PROGRAMA
```

```
KEY OFF: CLS : SCREEN 1
PSET (60, 50)
DRAW "R210 D80 L210 U80"
PSET (54, 45)
```

Capitulo Tercero "Desarrollo del programa"

```
DRAW "R220 D89 L220 U89"  
PAINT (59, 49), 2, 3  
LOCATE 10, 14: PRINT "ANÁLISIS"  
LOCATE 12, 20: PRINT "D E"  
LOCATE 14, 17: PRINT "GASES"  
200 AS = INKEYS: IF AS = " " THEN 200  
LOCATE 20: FOR P = 1 TO 15: PRINT : NEXT P  
CLS  
LOCATE 5, 5: INPUT "FECHA DE MUESTREO : ", D1$  
LOCATE 7, 5: INPUT "FECHA DE ANÁLISIS : ", D2$  
LOCATE 9, 5: INPUT "LABORATORIO : ", LAB$  
LOCATE 11, 5: INPUT "O.T. : ", OT$  
CLS  
LOCATE 20: FOR P = 1 TO 15: PRINT : NEXT P  
  
* ELECCIÓN DEL MENÚ  
  
300 CLS : SCREEN 2  
PSET (30, 50): DRAW " R250D110L250U110"  
PSET (15, 20): DRAW " R280D150L280U150"  
LOCATE 5, 17: PRINT "MENÚ"  
LOCATE 10, 9: PRINT "1. ANÁLISIS FRC & TRC"  
LOCATE 12, 9: PRINT "2. IMPRESIÓN"  
LOCATE 14, 9: PRINT "3. SALIR"  
LOCATE 23, 25: INPUT "OPCIÓN -> ": OP  
CLS  
400 IF OP = 1 THEN GOTO 500 ELSE IF OP = 2 THEN 1100 ELSE IF OP = 3 THEN 1200 ELSE:  
GOTO 300
```

3.3. Entrada de datos

Una vez que el punto 3.2. se ha cumplido, lo siguiente es dar a la computadora los valores que se van a requerir durante todo el cálculo, para este caso los datos de entrada son los valores en ppm (partes por millón) de los gases requeridos: HIDRÓGENO (H₂), METANO (CH₄), MONÓXIDO DE CARBONO (CO), BIÓXIDO DE CARBONO (CO₂), ETILENO (C₂H₄), ETANO (C₂H₆) y ACETILENO (C₂H₂).

* ENTRADA DE DATOS DE GASES PRESENTES

```
500 LOCATE 2, 23: PRINT "INDUSTRIAS I E M , S.A. DE C.V."  
LOCATE 3, 22: PRINT "  
LOCATE 5, 30: PRINT "FRC & TRC ANALYSIS"  
LOCATE 7, 43: PRINT "[ ppm ]"  
PRINT "  
LOCATE 10, 10: PRINT "HIDROGENO - H2"  
LOCATE 12, 10: PRINT "METANO - CH4"  
LOCATE 14, 10: PRINT "MONOXIDO DE CARBONO - CO"  
LOCATE 16, 10: PRINT "BIOXIDO DE CARBONO - CO2"  
LOCATE 18, 10: PRINT "ETILENO - C2H4"  
LOCATE 20, 10: PRINT "ETANO - C2H6"
```

```

LOCATE 22, 10: PRINT "ACETILENO           - C2H2"
LOCATE 10, 45: INPUT ""; HID: IF HID = 0 THEN HID = .0000001#
LOCATE 12, 45: INPUT ""; MET: IF MET = 0 THEN MET = .0000001#
LOCATE 14, 45: INPUT ""; MON: IF MON = 0 THEN MON = .0000001#
LOCATE 16, 45: INPUT ""; BIO: IF BIO = 0 THEN BIO = .0000001#
LOCATE 18, 45: INPUT ""; ETI: IF ETI = 0 THEN ETI = .0000001#
LOCATE 20, 45: INPUT ""; ETA: IF ETA = 0 THEN ETA = .0000001#
LOCATE 22, 45: INPUT ""; ACE: IF ACE = 0 THEN ACE = .0000001#
LOCATE 20, 54: PRINT "OPRIMA RETURN..."
AS = INKEYS: IF AS = "" THEN 600
    
```

600

3.4. Cálculo de relaciones dominantes

Las relaciones requeridas en general son:

Tabla 12. Relaciones necesarias

Método	Relaciones Necesarias	Variable Asignada	Referencia
Dos Relaciones (Morgan & Shaffer)	CH ₄ / H ₂ C ₂ H ₂ / C ₂ H ₄	R1 R4	Figura 10
Cuatro Relaciones (Westing-House 1978 y C57.104-1978)	CH ₄ / H ₂ C ₂ H ₆ / CH ₄ C ₂ H ₄ / C ₂ H ₆ C ₂ H ₂ / C ₂ H ₄	R1 R2 R3 R4	Tabla 4 Tabla 5 Tabla 7
Cuatro Relaciones (C57.104-1978)	CH ₄ / H ₂ C ₂ H ₂ / C ₂ H ₄ C ₂ H ₆ / C ₂ H ₂ C ₂ H ₂ / CH ₄	R1 R4 R5 R6	Tabla 6
Tres Relaciones (C57.104-1991 y ABB-1991)	C ₂ H ₂ / C ₂ H ₄ CH ₄ / H ₂ C ₂ H ₄ / C ₂ H ₆	R4 R1 R3	Tabla 8 Tabla 9 Tabla 10

Por lo que el cálculo de las relaciones predominantes en las Tablas 4, 5, 6, 7, 8, 9 y 10, así como de la Figura 10, y considerando la definición de variables del Punto 3.1., se reduce al cálculo de seis relaciones:

```

R1 = MET / HID
R2 = ETA / MET
R3 = ETI / ETA
R4 = ACE / ETI
R5 = ETA / ACE
R6 = ACE / MET
    
```

El programa calcula de la forma siguiente, y además si se introdujo un valor negativo de ppm de algún gas, manda un letrero y reinicia el programa ya que no puede haber valores negativos en el contenido de gases.

* CÁLCULO DE RELACIONES DOMINANTES GENERALES

```

R1 = MET / HID; R2 = ETA / MET; R3 = ETI / ETA; R4 = ACE / ETI; R5 = ETA / ACE; R6 = ACE / MET
IF R1 < 0 THEN 700
IF R2 < 0 THEN 700
IF R3 < 0 THEN 700
IF R4 < 0 THEN 700
IF R5 < 0 THEN 700
IF R6 < 0 THEN 700
GOTO 900
700 CLS : LOCATE 10, 15: PRINT " SE TECLEO CON SIGNO NEGATIVO UN VALOR DE [ ppm ] DE GAS"
800 XS = INKEY$: IF XS = "" THEN 800
GOTO 100
    
```

3.5. Asignación de códigos y toma de decisión de falla

3.5.1. Asignación de códigos para el método de cuatro relaciones de ABB-1991

Considerando que:

R1 = MET / HID	R2 = ETA / MET
R3 = ETI / ETA	R4 = ACE / ETI

De la Tabla 4, se deduce que:

Para la relación R1, el código C1 toma los siguientes valores

Si	R1 <= 0.1	entonces	C1 = 5
Si	0.1 < R1 <= 1.0	entonces	C1 = 0
Si	1.0 < R1 < 3.0	entonces	C1 = 1
Si	R1 >= 3.0	entonces	C1 = 2

Para la relación R2, el código C2 toma los siguientes valores

Si	R2 < 1.0	entonces	C2 = 0
Si	R2 >= 1.0	entonces	C2 = 1

Para la relación R3, el código C3 toma los siguientes valores

Si	R3 < 1.0	entonces	C3 = 0
Si	1.0 <= R3 <= 3.0	entonces	C3 = 1
Si	R3 > 3.0	entonces	C3 = 2

Para la relación R4, el código C4 toma los siguientes valores

Si	R4 < 0.5	entonces	C4 = 0
----	----------	----------	--------

Si $0.5 \leq R4 \leq 3.0$ entonces C4 = 1
 Si $R4 > 3.0$ entonces C4 = 2

Lo anterior se indica en el programa como:

***ASIGNACIÓN DE CÓDIGOS PARA FRC CON LAS RELACIONES GENERALES (ABB, TABLA II A)**

```

900  IF (R1 <= .1) THEN C1 = 5 ELSE IF (.1 < R1) AND (R1 <= 1) THEN C1=0 ELSE IF (1 < R1) AND
      (R1 < 3) THEN C1=1 ELSE C1=2
      IF (R2 < 1) THEN C2 = 0 ELSE C2 = 1
      IF (R3 < 1) THEN C3 = 0 ELSE IF (1 <= R3) AND (R3 <= 3) THEN C3 = 1 ELSE C3 = 2
      IF (R4 < .5) THEN C4 = 0 ELSE IF (.5 <= R4) AND (R4 <= 3) THEN C4 = 1 ELSE C4 = 2
    
```

3.5.2. Toma de decisión de falla presentada por el método de cuatro relaciones de ABB-1991

Considerando los códigos asignados, en el punto 3.5.1., a las variables C1, C2, C3 y C4. Y teniendo como base la Tabla 5; se deduce que la asignación de falla presentada por el método de cuatro relaciones (DGNS) de Westing-House de 1978 queda de la siguiente forma:

Si C1=0, C2=0, C3=0, C4=0 entonces la falla presentada es "Deterioro normal"
 Si C1=5, C2=0, C3=0, C4=0 entonces la falla presentada es "Descarga Parcial"
 Si C1=1, C2=0, C3=0, C4=0 entonces la falla presentada es "Sobrecalentamiento menor a 150 °C"
 Si C1=2, C2=0, C3=0, C4=0 entonces la falla presentada es "Sobrecalentamiento menor a 150 °C"
 Si C1=1, C2=1, C3=0, C4=0 entonces la falla presentada es "Sobrecalentamiento entre 150 – 200 °C"
 Si C1=2, C2=1, C3=0, C4=0 entonces la falla presentada es "Sobrecalentamiento entre 150 – 200 °C"
 Si C1=0, C2=1, C3=0, C4=0 entonces la falla presentada es "Sobrecalentamiento entre 200 – 300 °C"
 Si C1=0, C2=0, C3=1, C4=0 entonces la falla presentada es "Sobrecalentamiento general de conductores"
 Si C1=1, C2=0, C3=1, C4=0 entonces la falla presentada es "Circulación de corriente en bobinas"
 Si C1=1, C2=0, C3=2, C4=0 entonces la falla presentada es "Corriente circulante en núcleo y tanque, juntas sobrecargadas"
 Si C1=2, C2=0, C3=2, C4=0 entonces la falla presentada es "Corriente circulante en núcleo y tanque, juntas sobrecargadas"
 Si C1=0, C2=0, C3=0, C4=1 entonces la falla presentada es "Descarga sin potencia"
 Si C1=0, C2=0, C3=1, C4=1 entonces la falla presentada es "Arco eléctrico"
 Si C1=0, C2=0, C3=1, C4=2 entonces la falla presentada es "Arco eléctrico"
 Si C1=0, C2=0, C3=2, C4=1 entonces la falla presentada es "Arco eléctrico"

Si C1=0, C2=0, C3=2, C4=2 entonces la falla presentada es "Arco eléctrico"
Si C1=0, C2=0, C3=2, C4=2 entonces la falla presentada es "Chisporroteo continuo por potencial flotante"
Si C1=5, C2=0, C3=0, C4=1 entonces la falla presentada es "Descarga parcial con arrastre"
Si C1=5, C2=0, C3=0, C4=2 entonces la falla presentada es "Descarga parcial con arrastre"

Lo anterior se representa en el programa como:

*** TOMA DE DECISIÓN DE FALLA PRESENTADA PARA FRC (ABB, TABLA II B)**

```
IF (C1 = 0) AND (C2 = 0) AND (C3 = 0) AND (C4 = 0) THEN DGN$ = "DETERIORO NORMAL"
IF (C1 = 5) AND (C2 = 0) AND (C3 = 0) AND (C4 = 0) THEN DGN$ = "DESCARGA PARCIAL"
IF (C1 = 1) AND (C2 = 0) AND (C3 = 0) AND (C4 = 0) THEN:
DGN$ = "SOBRECALENTAMIENTO < 150 oC"
IF (C1 = 2) AND (C2 = 0) AND (C3 = 0) AND (C4 = 0) THEN:
DGN$ = "SOBRECALENTAMIENTO < 150 oC"
IF (C1 = 1) AND (C2 = 1) AND (C3 = 0) AND (C4 = 0) THEN:
DGN$ = "SOBRECALENTAMIENTO 150-200 oC"
IF (C1 = 2) AND (C2 = 1) AND (C3 = 0) AND (C4 = 0) THEN:
DGN$ = "SOBRECALENTAMIENTO 150-200 oC"
IF (C1 = 0) AND (C2 = 1) AND (C3 = 0) AND (C4 = 0) THEN:
DGN$ = "SOBRECALENTAMIENTO 200-300 oC"
IF (C1 = 0) AND (C2 = 0) AND (C3 = 1) AND (C4 = 0) THEN:
DGN$ = "SOBRECAL.GENERAL DE CONDUCTORES"
IF (C1 = 1) AND (C2 = 0) AND (C3 = 1) AND (C4 = 0) THEN:
DGN$ = "CIRC. CORRIENTE EMOBINADO"
IF (C1 = 1) AND (C2 = 0) AND (C3 = 2) AND (C4 = 0) THEN:
DGN$ = "CRRTE.CIRC.NÚCLEO Y TQE.,JUNTAS SOBRECARG."
IF (C1 = 2) AND (C2 = 0) AND (C3 = 2) AND (C4 = 0) THEN:
DGN$ = "CRRTE.CIRC.NÚCLEO Y TQE.,JUNTAS SOBRECARG."
IF (C1 = 0) AND (C2 = 0) AND (C3 = 0) AND (C4 = 1) THEN DGN$ = "DESCARGA SIN POTENCIA"
IF (C1 = 0) AND (C2 = 0) AND (C3 = 1) AND (C4 = 1) THEN DGN$ = "ARCO ELÉCTRICO"
IF (C1 = 0) AND (C2 = 0) AND (C3 = 1) AND (C4 = 2) THEN DGN$ = "ARCO ELÉCTRICO"
IF (C1 = 0) AND (C2 = 0) AND (C3 = 2) AND (C4 = 1) THEN DGN$ = "ARCO ELÉCTRICO"
IF (C1 = 0) AND (C2 = 0) AND (C3 = 2) AND (C4 = 2) THEN DGN$ = "ARCO ELÉCTRICO"
IF (C1 = 0) AND (C2 = 0) AND (C3 = 2) AND (C4 = 2) THEN:
DGN$ = "CHISPORROTEO CONTINUO POR POT.FLOTANTE"
IF (C1 = 5) AND (C2 = 0) AND (C3 = 0) AND (C4 = 1) THEN:
DGN$ = "DESCARGA PARCIAL CON ARRASTRE"
IF (C1 = 5) AND (C2 = 0) AND (C3 = 0) AND (C4 = 2) THEN:
DGN$ = "DESCARGA PARCIAL CON ARRASTRE"
IF DGN$ = "" THEN DGN$ = "SIN DIAGNOSTICO"
```

3.5.3. Toma de decisión de falla presentada por el método Dornenberg de cuatro relaciones ANSI/IEEE C57.104-1978

Tomando como base la Tabla 6, se deduce que la asignación de falla presentada por el método Dornenberg de cuatro relaciones (DGN11S) de ANSI/IEEE C57.104-1978 queda de la siguiente forma:

Si $R1 > 1$, $R4 < 0.75$, $R5 > 0.4$, $R6 < 0.3$ entonces la falla presentada es "Descomposición térmica (Hot Spot)"

Si $0.1 < R1 < 1.0$, $R4 > 0.75$, $R5 < 0.4$, $R6 > 0.3$ entonces la falla presentada es "Descarga eléctrica (Excepto corona)"

Si $R1 < 0.1$, $R4 < 0.1$, $R5 > 0.4$, $R6 < 0.3$ entonces la falla presentada es "Corona"

Estos planteamientos, en el programa, quedan de la siguiente forma:

*** TOMA DE DECISIÓN DE FALLA PRESENTADA PARA DOERNENBERG (IEEE-1978, TABLA 5)**

```
IF (R1 > 1) AND (R4 < .75) AND (R5 > .4) AND (R6 < .3) THEN:
DGN11$ = "DESCOM. TÉRMICA (Hot Spot)"
IF (R1 > .1) AND (R1 < 1) AND (R4 >= .75) AND (R5 <= .4) AND (R6 >= .3) THEN:
DGN11$ = "DESC. ELÉCTRICA (Excepto Corona)"
IF (R1 < .1) AND (R4 < .1) AND (R5 > .4) AND (R6 < .3) THEN DGN11$ = "CORONA"
IF DGN11$ = "" THEN DGN11$ = "SIN DIAGNÓSTICO"
```

3.5.4. Toma de decisión de falla presentada por el método de cuatro relaciones ANSI/IEEE C57.104-1978 (Método Rogers)

Considerando los códigos asignados, en el punto 3.5.1., a las variables C1, C2, C3 y C4. Y teniendo como base la Tabla 7; se deduce que la asignación de falla presentada por el método de cuatro relaciones (DGN1\$) de ANSI/IEEE C57.104-1978 (Método Rogers) queda de la siguiente forma:

Si $C1=0$, $C2=0$, $C3=0$, $C4=0$ entonces la falla presentada es "Deterioro Normal"

Si $C1=5$, $C2=0$, $C3=0$, $C4=0$ entonces la falla presentada es "Descarga parcial - Corona"

Si $C1=5$, $C2=0$, $C3=0$, $C4=1$ entonces la falla presentada es "Descarga parcial - Corona, con arrastre"

Si $C1=5$, $C2=0$, $C3=0$, $C4=2$ entonces la falla presentada es "Descarga parcial - Corona, con arrastre"

Si $C1=0$, $C2=0$, $C3=2$, $C4=2$ entonces la falla presentada es "Descarga continua"

Si $C1=0$, $C2=0$, $C3=1$, $C4=1$ entonces la falla presentada es "Arco eléctrico con flujo"

Si $C1=0$, $C2=0$, $C3=1$, $C4=2$ entonces la falla presentada es "Arco eléctrico con flujo"

Si $C1=0$, $C2=0$, $C3=2$, $C4=1$ entonces la falla presentada es "Arco eléctrico con flujo"

Si $C1=0$, $C2=0$, $C3=0$, $C4=1$ entonces la falla presentada es "Arco eléctrico sin flujo"

Si $C1=1$, $C2=0$, $C3=0$, $C4=0$ entonces la falla presentada es "Sobrecalentamiento menor a 150 °C"

Si C1=2, C2=0, C3=0, C4=0 entonces la falla presentada es "Sobrecalentamiento menor a 150 °C"
 Si C1=1, C2=1, C3=0, C4=0 entonces la falla presentada es "Sobrecalentamiento entre 150 - 200 °C"
 Si C1=2, C2=1, C3=0, C4=0 entonces la falla presentada es "Sobrecalentamiento entre 150 - 200 °C"
 Si C1=0, C2=1, C3=0, C4=0 entonces la falla presentada es "Sobrecalentamiento entre 200 - 300 °C"
 Si C1=0, C2=0, C3=1, C4=0 entonces la falla presentada es "Sobrecalentamiento general de conductores"
 Si C1=1, C2=0, C3=1, C4=0 entonces la falla presentada es "Circulación de corriente en las bobinas"
 Si C1=1, C2=0, C3=2, C4=0 entonces la falla presentada es "Corriente circulante en núcleo y tanque, juntas sobrecargadas"

El planteamiento de estas condiciones en el programa quedan de la siguiente forma:

* TOMA DE DECISIÓN DE FALLA PRESENTADA PARA FRC (IEEE-1978, TABLA 7)

IF (C1 = 0) AND (C2 = 0) AND (C3 = 0) AND (C4 = 0) THEN DGN1\$ = "DETERIORO NORMAL"
 IF (C1 = 5) AND (C2 = 0) AND (C3 = 0) AND (C4 = 0) THEN:
 DGN1\$ = "DESCARGA PARCIAL-CORONA"
 IF (C1 = 5) AND (C2 = 0) AND (C3 = 0) AND (C4 = 1) THEN:
 DGN1\$ = "DESC.FAR.-CORONA, CON ARRASTRE"
 IF (C1 = 5) AND (C2 = 0) AND (C3 = 0) AND (C4 = 2) THEN:
 DGN1\$ = "DESC.FAR.-CORONA, CON ARRASTRE"
 IF (C1 = 0) AND (C2 = 0) AND (C3 = 2) AND (C4 = 2) THEN:
 DGN1\$ = "DESCARGA CONTINUA"
 IF (C1 = 0) AND (C2 = 0) AND (C3 = 1) AND (C4 = 1) THEN:
 DGN1\$ = "ARCO ELÉCTRICO CON FLUJO"
 IF (C1 = 0) AND (C2 = 0) AND (C3 = 1) AND (C4 = 2) THEN:
 DGN1\$ = "ARCO ELÉCTRICO CON FLUJO"
 IF (C1 = 0) AND (C2 = 0) AND (C3 = 2) AND (C4 = 1) THEN:
 DGN1\$ = "ARCO ELÉCTRICO CON FLUJO"
 IF (C1 = 0) AND (C2 = 0) AND (C3 = 0) AND (C4 = 1) THEN DGN1\$ = "ARCO ELÉCTRICO SIN FLUJO"
 IF (C1 = 1) AND (C2 = 0) AND (C3 = 0) AND (C4 = 0) THEN:
 DGN1\$ = "SOBRECALENTAMIENTO < 150 oC"
 IF (C1 = 2) AND (C2 = 0) AND (C3 = 0) AND (C4 = 0) THEN:
 DGN1\$ = "SOBRECALLENTAMIENTO < 150 oC"
 IF (C1 = 1) AND (C2 = 1) AND (C3 = 0) AND (C4 = 0) THEN:
 DGN1\$ = "SOBRECALLENTAMIENTO 150-200 oC"
 IF (C1 = 2) AND (C2 = 1) AND (C3 = 0) AND (C4 = 0) THEN:
 DGN1\$ = "SOBRECALLENTAMIENTO 150-200 oC"
 IF (C1 = 0) AND (C2 = 1) AND (C3 = 0) AND (C4 = 0) THEN:
 DGN1\$ = "SOBRECALLENTAMIENTO 200-300 oC"
 IF (C1 = 0) AND (C2 = 0) AND (C3 = 1) AND (C4 = 0) THEN:
 DGN1\$ = "SOBRECAL. GENERAL DE CONDUCTORES"
 IF (C1 = 1) AND (C2 = 0) AND (C3 = 1) AND (C4 = 0) THEN:
 DGN1\$ = "CIRC. CORRIENTE EMOBINADO"
 IF (C1 = 1) AND (C2 = 0) AND (C3 = 2) AND (C4 = 0) THEN:
 DGN1\$ = "CRRTE.CIRC.NÚCLEO Y TQE, JUNTAS SOBRECARG."
 IF DGN1\$ = "" THEN DGN1\$ = "SIN DIAGNÓSTICO"

3.5.5. Asignación de códigos para los métodos de tres relaciones

Considerando que:

R1 = MET / HID
R4 = ACE / ETI

R3 = ETI / ETA

De la Tabla 9, se deduce que:

Para la relación R4, el código T1 toma los siguientes valores

Si	R4 < 0.1	entonces	T1 = 0
Si	0.1 <= R4 <= 3.0	entonces	T1 = 1
Si	R4 > 3.0	entonces	T1 = 2

Para la relación R1, el código T3 toma los siguientes valores

Si	R1 < 0.1	entonces	T3 = 1
Si	0.1 <= R1 <= 1.0	entonces	T3 = 0
Si	R1 > 1.0	entonces	T3 = 2

Para la relación R3, el código T4 toma los siguientes valores

Si	R3 < 1.0	entonces	T4 = 0
Si	1.0 <= R3 <= 3.0	entonces	T4 = 1
Si	R3 > 3.0	entonces	T4 = 2

Lo anterior se indica en el programa como:

* ASIGNACIÓN DE CODIGOS PARA TRC CON LAS RELACIONES GENERALES
(ABB, TABLA III, parte superior)

```
IF (R4 < .1) THEN T1 = 0 ELSE IF (.1 <= R4) AND (R4 <= 3) THEN T1 = 1 ELSE T1 = 2
IF (R1 < .1) THEN T3 = 1 ELSE IF (.1 <= R1) AND (R1 <= 1) THEN T3 = 0 ELSE T3 = 2
IF (R3 < 1) THEN T4 = 0 ELSE IF (1 <= R3) AND (R3 <= 3) THEN T4 = 1 ELSE T4 = 2
```

3.5.6. Toma de decisión de falla presentada por el método de tres relaciones de ANSI/IEEE C57.104-1991

Considerando los códigos asignados, en el punto 3.5.5., a las variables T1, T3 y T4. Y teniendo como base la Tabla 8; se deduce que la asignación de

falla presentada por el método de tres relaciones (F1\$) de ANSI/IEEE C57.104-1991 queda de la siguiente forma:

Si T1=0, T3=0, T4=0 entonces la falla presentada es "Unidad normal"

Si T1=0, T3=1, T4=0 entonces la falla presentada es "Arqueo de baja densidad de energía"

Si T1=1, T3=0, T4=2 entonces la falla presentada es "Arqueo - Descarga de alta energía"

Si T1=2, T3=0, T4=2 entonces la falla presentada es "Arqueo - Descarga de alta energía"

Si T1=0, T3=0, T4=1 entonces la falla presentada es "Falla Térmica de baja temperatura"

Si T1=0, T3=2, T4=1 entonces la falla presentada es "Falla Térmica < 700 °C"

Si T1=0, T3=2, T4=2 entonces la falla presentada es "Falla Térmica > 700 °C"

Y en el programa se representara de la siguiente forma:

*** TOMA DE DECISIÓN DE FALLA PRESENTADA PARA TRC (IEEE-1991, TABLA 6)**

```
IF (T1 = 0) AND (T3 = 0) AND (T4 = 0) THEN F1$ = "UNIDAD NORMAL"
IF (T1 = 0) AND (T3 = 1) AND (T4 = 0) THEN F1$ = "ARQUEO DE BAJA DEN. DE ENERGÍA"
IF (T1 = 1) AND (T3 = 0) AND (T4 = 2) THEN F1$ = "ARQUEO-DESCARGA DE ALTA ENERGÍA"
IF (T1 = 2) AND (T3 = 0) AND (T4 = 2) THEN F1$ = "ARQUEO-DESCARGA DE ALTA ENERGÍA"
IF (T1 = 0) AND (T3 = 0) AND (T4 = 1) THEN F1$ = "FALLA TÉRMICA < BAJA TEMPERATURA"
IF (T1 = 0) AND (T3 = 2) AND (T4 = 1) THEN F1$ = "FALLA TÉRMICA < 700 °C"
IF (T1 = 0) AND (T3 = 2) AND (T4 = 2) THEN F1$ = "FALLA TÉRMICA > 700 °C"
IF F1$ = "" THEN F1$ = "SIN DIAGNÓSTICO"
```

3.5.7. Toma de decisión de falla presentada por el método de tres relaciones de ABB-1991 y asignación de No. para orden de severidad y patrón básico de falla de ABB-1991

Considerando los códigos asignados, en el punto 3.5.5., a las variables T1, T3 y T4. Y teniendo como base la Tabla 10: se deduce que la asignación de falla presentada por el método de tres relaciones (FS) de ABB-1991 queda de la siguiente forma, así como el Número para orden de severidad y patrón básico (BGP) de ABB-1991:

Si T1=0, T3=0, T4=0 entonces la falla presentada es "No hay falla", y el Número BGP=0

Si T1=0, T3=1, T4=0 entonces la falla presentada es "Descargas parciales de baja energía", y el Número BGP=1

Si T1=1, T3=1, T4=0 entonces la falla presentada es "Descargas parciales de alta energía", y el Número BGP=2

Si T1=1, T3=0, T4=1 entonces la falla presentada es "Descarga de baja energía", y el Número BGP=3
Si T1=1, T3=0, T4=2 entonces la falla presentada es "Descarga de baja energía", y el Número BGP=3
Si T1=2, T3=0, T4=1 entonces la falla presentada es "Descarga de baja energía", y el Número BGP=3
Si T1=2, T3=0, T4=2 entonces la falla presentada es "Descarga de baja energía", y el Número BGP=3
Si T1=1, T3=0, T4=2 entonces la falla presentada es "Descarga de alta energía", y el Número BGP=4
Si T1=0, T3=0, T4=1 entonces la falla presentada es "Falla térmica < 150 °C", y el Número BGP=5
Si T1=0, T3=2, T4=0 entonces la falla presentada es "Falla térmica 150 °C – 300 °C", y el Número BGP=6
Si T1=0, T3=2, T4=1 entonces la falla presentada es "Falla térmica 300 °C – 700 °C", y el Número BGP=7
Si T1=0, T3=2, T4=2 entonces la falla presentada es "Falla térmica > 700 °C", y el Número BGP=8

Y en el programa se representará de la siguiente forma:

*** TOMA DE DECISIÓN DE FALLA PRESENTADA PARA TRC (ABB, TABLA III parte inferior)**

```
IF (T1 = 0) AND (T3 = 0) AND (T4 = 0) THEN F$ = "NO HAY FALLA": BGP = 0
IF (T1 = 0) AND (T3 = 1) AND (T4 = 0) THEN F$ = "DESCARGA PARC.BAJA ENERGÍA": BGP = 1
IF (T1 = 1) AND (T3 = 1) AND (T4 = 0) THEN F$ = "DESCARGA PARC.ALTA ENERGÍA": BGP = 2
IF (T1 = 1) AND (T3 = 0) AND (T4 = 1) THEN F$ = "DESCARGA DE BAJA ENERGÍA": BGP = 3
IF (T1 = 1) AND (T3 = 0) AND (T4 = 2) THEN F$ = "DESCARGA DE BAJA ENERGÍA": BGP = 3
IF (T1 = 2) AND (T3 = 0) AND (T4 = 1) THEN F$ = "DESCARGA DE BAJA ENERGÍA": BGP = 3
IF (T1 = 2) AND (T3 = 0) AND (T4 = 2) THEN F$ = "DESCARGA DE BAJA ENERGÍA": BGP = 3
IF (T1 = 1) AND (T3 = 0) AND (T4 = 2) THEN F$ = "DESCARGA DE ALTA ENERGÍA": BGP = 4
IF (T1 = 0) AND (T3 = 0) AND (T4 = 1) THEN F$ = "FALLA TÉRMICA < 150 oC": BGP = 5
IF (T1 = 0) AND (T3 = 2) AND (T4 = 0) THEN F$ = "FALLA TÉRMICA 150-300 oC": BGP = 6
IF (T1 = 0) AND (T3 = 2) AND (T4 = 1) THEN F$ = "FALLA TÉRMICA 300-700 oC": BGP = 7
IF (T1 = 0) AND (T3 = 2) AND (T4 = 2) THEN F$ = "FALLA TÉRMICA > 700 oC": BGP = 8
IF F$ = "" THEN F$ = "SIN DIAGNÓSTICO": BGP = 9
```

3.5.8. Toma de decisión del Orden de severidad y Patrón básico de falla (Método ABB-1991)

Assumiendo los números BGP asignados, en el punto 3.5.7., y teniendo como base la Tabla 11; se deduce que la asignación del orden de severidad (BGP1) y patrón básico de falla (BGPS) de ABB-1991 es el siguiente (1 es la menor severidad y 8 la mayor severidad):

Si BGP=0 entonces el patrón básico de falla es "Normal", y el orden de severidad es BGP=1

Si BGP=5 entonces el patrón básico de falla es "Sobrecalentamiento del conductor", y el orden de severidad es BGP=2

Si BGP=6 entonces el patrón básico de falla es "Sobrecalentamiento de aceite, mediano", y el orden de severidad es BGP=3

Si BGP=7 entonces el patrón básico de falla es "Sobrecalentamiento de aceite, moderado", y el orden de severidad es BGP=4

Si BGP=8 entonces el patrón básico de falla es "Sobrecalentamiento de aceite, severo", y el orden de severidad es BGP=5

Si BGP=1 entonces el patrón básico de falla es "Descarga parcial de baja energía", y el orden de severidad es BGP=6

Si BGP=2 entonces el patrón básico de falla es "Descarga parcial de alta energía", y el orden de severidad es BGP=7

Si BGP=3 entonces el patrón básico de falla es "Arco", y el orden de severidad es BGP=8

Si BGP=4 entonces el patrón básico de falla es "Arco", y el orden de severidad es BGP=8

Y en el programa se plantea de la siguiente forma:

*** TOMA DE DECISIÓN DE FALLA POR PATRONES BASICOS DE GENERACIÓN DE GASES (ABB, TABLA IV)**

```
IF (BGP = 0) THEN BGP$ = "NORMAL": BGP1 = 1
IF (BGP = 5) THEN BGP$ = "SOBREC. DEL CONDUCTOR": BGP1 = 2
IF (BGP = 6) THEN BGP$ = "SOBREC. DE ACEITE, MEDIANO": BGP1 = 3
IF (BGP = 7) THEN BGP$ = "SOBREC. DE ACEITE, MODERADO": BGP1 = 4
IF (BGP = 8) THEN BGP$ = "SOBREC. DE ACEITE, SEVERO": BGP1 = 5
IF (BGP = 1) THEN BGP$ = "DESC. PARCIAL DE BAJA ENERGÍA": BGP1 = 6
IF (BGP = 2) THEN BGP$ = "DESC. PARCIAL DE ALTA ENERGÍA": BGP1 = 7
IF (BGP = 3) THEN BGP$ = "ARCO": BGP1 = 8
IF (BGP = 4) THEN BGP$ = "ARCO": BGP1 = 8
IF (BGP = 9) THEN BGP$ = "SIN DIAGNÓSTICO": BGP1 = 0
```

3.5.9. Toma de decisión de falla presentada por el método de dos relaciones (Morgan & Shaffer)

Considerando los valores de las relaciones R1 y R4 obtenidas en el punto 3.4., y teniendo como base la Figura 10, se obtiene la siguiente asignación de falla (MYSS) presentada por el método de dos relaciones (Morgan & Shaffer).

Si $R4 \leq 0.7$, $R4 \geq 0.001$, $R1 \geq 0.8$, $R1 \leq 100.0$ entonces la falla presentada es "Falla Térmica"

Si $R4 \leq 20.0$, $R4 \geq 0.7$, $R1 \geq 0.08$, $R1 \leq 0.8$ entonces la falla presentada es "Falla por arco"

Si $R4 \leq 100.0$, $R4 \geq 0.26$, $R1 \geq 0.01$, $R1 \leq 0.08$ entonces la falla presentada es "Falla por corona"

Y en el programa estas condiciones quedan de la siguiente forma:

* TOMA DE DECISIÓN DE FALLA PRESENTADA PARA M & S

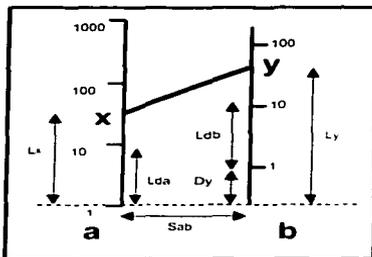
```
IF (R4 <= .7) AND (R4 >= .001) AND (R1 >= .8) AND (R1 <= 100) THEN MYSS = "FALLA TÉRMICA"
IF (R4 <= 20) AND (R4 >= .7) AND (R1 >= .08) AND (R1 <= .8) THEN MYSS = "FALLA POR ARQUEO"
IF (R4 <= 100) AND (R4 >= .26) AND (R1 >= .01) AND (R1 <= .08) THEN:
MYSS = "FALLA POR CORONA"
IF MYSS = "" THEN MYSS = "SIN DIAGNÓSTICO"
```

3.6. Relaciones y asignación de falla por Nomograma de Church.

La Figura 11 muestra la comparación de dos columnas "a" y "b" generales del nomograma de Church (Figura 9) que se encuentran desplazadas una de otra.

Si en la Figura 11 se considera el inicio de la línea logarítmica "a" en 1, por lo tanto, posicionando un valor "X" en la columna "a" se tiene que

Figura 11. Diagrama logarítmico general



$$Lx = [\log_{10}(X)] (Lda) \text{----- Eq. 1}$$

Donde:

Lx : Longitud del punto "X",
teniendo como base el valor
1 de la columna "a".

X : Valor de la variable de la
columna "a".

Lda : Longitud de cada década
de la columna "a".

Y como del Manual de Formulas Técnicas [10], página D2 se tiene que:

$$\log_{10}(X) = [\log_{10}(e)] [\ln (X)] = 0.434294 \ln (X)$$

Dejando la Eq. 1 en función del logaritmo natural (ln), se tiene que:

$$Lx = (Lda) [0.434294 \ln (X)] \text{ ----- Eq. 2}$$

Por otro lado para un punto "Y" de la línea "b", se tiene de la Eq. 2:

$$Ly = (Ldb) [0.434294 \ln (Y)]$$

Pero si se considera que la línea "b" está desplazada una distancia "Dy" de la línea "a", se tiene que:

$$Ly = (Ldb) [0.434294 \ln (Y)] + Dy \text{ -----Eq. 3}$$

Donde:

Ly : Longitud del punto "Y", teniendo como base el valor 1 de la columna
"a".

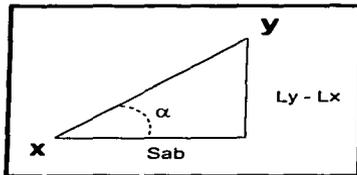
Ldb : Longitud de cada década de la columna "b".

Y : Valor de la variable de la columna "b".

Dy : Longitud del desplazamiento de la columna "b" con respecto a la
columna "a".

Por otro lado analizando el triángulo rectángulo, de la Figura 11, que tiene como hipotenusa la recta que une los puntos "X" e "Y", se tiene de la Figura 12:

Figura 12. Triángulo formado en la Figura 11



Por lo tanto:

$$\text{tg}(\alpha) = (Ly - Lx) / Sab$$

Y como la pendiente "m_{ab}" de la recta esta dada como:

$$m_{ab} = \text{tg}(\alpha)$$

esto implica:

$$m_{ab} = (Ly - Lx) / Sab \text{ ----- Eq. 4}$$

Donde:

m_{ab} : Pendiente de la recta entre las columnas "a" y "b" con puntos localizados como "X" e "Y".

Ly : Longitud del punto "Y", teniendo como base el valor 1 de la columna "a".

Lx : Longitud del punto "X", teniendo como base el valor 1 de la columna "a".

Sab : Separación entre las columnas "a" y "b".

A).- Relación entre Hidrógeno (H₂) - Acetileno (C₂H₂) y asignación de falla por Nomograma de Church

Con la Eq. 2 se puede obtener la localización del Hidrógeno en el Nomograma de la siguiente forma:

$$XHID = (2.7) [0.434294 \ln (HID)]$$

Y con la Eq. 3 se localiza el Acetileno y queda como:

$$XACE1 = (2.7) [0.434294 \ln (ACE)] + 1.4$$

Y la pendiente de la recta entre Hidrógeno y Acetileno esta dada por la Eq. 4 como se muestra a continuación:

$$M1 = (XACE1 - XHID) / 1.6$$

Con el resultado de M1 y el código de falla de la Figura 9 se tiene que la asignación de falla en estas dos columnas es:

Si $M1 > 0$ entonces la falla presentada es "Arco"

Si $-1.8 < M1 < 0$ entonces la falla presentada es "Descarga y/o Pirolysis"

Si $M1 < -1.8$ entonces la falla presentada es "Pirolysis"

Las ecuaciones y el diagnóstico de falla sugerido para la relación Hidrógeno-Acetileno queda en el programa de la siguiente forma:

** RELACIÓN ENTRE HIDRÓGENO (H2) – ACETILENO (C2H2) EN EL NOMOGRAMA DE CHURCH*

```

XHID = 2.7 * .434294 * LOG(HID)
XACE1 = (2.7 * .434294 * LOG(ACE)) + 1.4
M1 = (XACE1 - XHID) / 1.6
IF (M1 > 0) THEN NC1$ = "ARCO"
IF (M1 < 0) AND (M1 > -1.8) THEN NC1$ = "DESCRAGA Y/O PIROLISIS"
IF (M1 < -1.8) THEN NC1$ = "PIROLISIS"
IF (M1 = 0) THEN NC1$ = "SIN DIAGNÓSTICO"
    
```

B).- Relación entre Acetileno (C₂H₂) - Etano (C₂H₆) y asignación de falla por Nomograma de Church

Para localizar el valor 1 del Acetileno como origen, se le resta el desplazamiento considerado en el inciso A), de la siguiente forma:

$$XACE1 = XACE1 - 1.4$$

Y con la Eq. 3 se localiza el Etano:

$$XETA = (2.7) [0.434294 \ln (ETA)] + 1.05$$

Y la pendiente de la recta entre Acetileno y Etano esta dada por la Eq. 4 como se muestra a continuación:

$$M2 = (XETA - XACE1) / 1.5$$

Con el resultado de M2 y el código de falla de la Figura 9 se tiene que la asignación de falla en estas dos columnas es:

Si $M2 > 0$ entonces la falla presentada es "Descarga y/o Pirolysis"

Si $M2 < 0$ entonces la falla presentada es "Arco"

Las ecuaciones y el diagnóstico de falla sugerido para la relación Acetileno-Etano queda en el programa de la siguiente forma:

*** RELACIÓN ENTRE ACETILENO (C₂H₂) – ETANO (C₂H₆) EN EL NOMOGRAMA DE CHURCH**

```
XETA = (2.7 * .434294 * LOG(ETA)) + 1.05
XACE1 = XACE1 - 1.4
M2 = (XETA - XACE1) / 1.5
IF (M2 > 0) THEN NC2$ = "DESCARGA Y/O PIROLISIS"
IF (M2 < 0) THEN NC2$ = "ARCO"
IF (M2 = 0) THEN NC2$ = "SIN DIAGNÓSTICO"
```

C).- Relación entre Etano (C₂H₆) - Hidrógeno (H₂) y asignación de falla por Nomograma de Church

Para localizar el valor 1 del Etano como origen, se le resta el desplazamiento considerado en el inciso B), como se plantea a continuación:

$$XETA = XETA - 1.05$$

Y con la evaluación del inciso A) para el Hidrógeno solo lo desplazamos, considerando como origen el valor 1 del Etano y queda de la siguiente forma:

$$XHID = XHID - 2.7$$

La pendiente de la recta entre Etano e Hidrógeno esta dada por la Eq. 4:

$$M3 = (XHID - XETA) / 1.8$$

Con el resultado de M3 y el código de falla de la Figura 9 se tiene que la asignación de falla en estas dos columnas es:

Si $M3 > 0$ entonces la falla presentada es "Arco"

Si $M3 < 0$ entonces la falla presentada es "Pirolysis"

Las ecuaciones y el diagnóstico de falla sugerido para la relación Etano-Hidrógeno queda en el programa de la siguiente forma:

*** RELACIÓN ENTRE ETANO (C₂H₆) – HIDRÓGENO (H₂) EN EL NOMOGRAMA DE CHURCH**

```

XETA = XETA - 1.05
XHID = XHID - 2.7
M3 = (XHID - XETA) / 1.8
IF (M3 > 0) THEN NC3$ = "ARCO"
IF (M3 < 0) THEN NC3$ = "PIROLISIS"
IF (M3 = 0) THEN NC3$ = "SIN DIAGNÓSTICO"
    
```

D).- Relación entre Hidrógeno (H₂) - Metano (CH₄) y asignación de falla por Nomoograma de Church

Para localizar el valor 1 del Hidrógeno como origen, se le resta el desplazamiento considerado en el inciso C), de la siguiente forma:

$$XHID = XHID - (-2.7) = XHID + 2.7$$

Y con la Eq. 3 se localiza el Metano pero como coinciden los valores 1 del Hidrógeno y Metano, el valor Dy=0, por lo tanto:

$$XMET = (2.7) [0.434294 \ln (MET)]$$

Y la pendiente de la recta entre Hidrógeno y Metano esta dada por la Eq. 4 como se muestra a continuación:

$$M4 = (XMET - XHID) / 1.6$$

Con el resultado de M4 y el código de falla de la Figura 9 se tiene que la asignación de falla en estas dos columnas es:

Si M4 > 0 entonces la falla presentada es "Pirólisis"
 Si -1.8 < M4 < 0 entonces la falla presentada es "Arco"
 Si M4 < -1.8 entonces la falla presentada es "Descarga"

Las ecuaciones y el diagnóstico de falla sugerido para la relación Hidrógeno-Metano queda en el programa de la siguiente forma:

*** RELACIÓN ENTRE HIDRÓGENO (H₂) – METANO (CH₄) EN EL NOMOGRAMA DE CHURCH**

```

XMET = 2.7 * .434294 * LOG(MET)
XHID = XHID + 2.7
M4 = (XMET - XHID) / 1.6
IF (M4 > 0) THEN NC4$ = "PIROLISIS"
IF (M4 < 0) AND (M4 > -1.8) THEN NC4$ = "ARCO"
IF (M4 < -1.8) THEN NC4$ = "DESCARGA"
IF (M4 = 0) THEN NC4$ = "SIN DIAGNOSTICO"
    
```

E).- Relación entre Metano (CH₄) - Acetileno (C₂H₂) y asignación de falla por Nomograma de Church

Como el valor 1 del Metano coincide con el origen en el inciso D), se tiene que:

$$XMET = XMET$$

Por otro lado las décadas del Acetileno en esta relación tienen diferentes medidas (de 0.1 a 1 es 2.7 cm, de 1 a 10 es 3.0 cm, de 10 a 100 es 3.7 cm y de 100 en adelante es 4.4 cm por cada década) por lo que la localización del valor del Acetileno queda dado en 4 rangos que se muestran a continuación.

Como la localización del acetileno (XACE1) se obtuvo en el inciso B), se tiene que para valores menores de 1 solo se desplaza con respecto al valor origen de XMET (según Eq. 3), quedando lo siguiente:

Si $ACE \leq 1$ entonces $XACE2 = XACE1 + 1.25$

Si $1 < ACE \leq 10$ entonces $XACE2 = (3) [0.434294 \ln(ACE)] + 1.25$

Si $10 < ACE \leq 100$ entonces $XACE2 = (3.7) [0.434294 \ln(ACE)]$

y con este valor de XACE2 se desplaza una década hacia abajo y se reincrementa la década de 1 a 10 con valor de 3 y para este caso particular la Eq. 3 se modifica a lo siguiente:

$$XACE2 = XACE2 - 3.7 + 3 + 1.25$$

Si $ACE > 100$ entonces $XACE2 = (4.4) [0.434294 \ln(ACE)]$

y con este valor de XACE2 se desplaza dos décadas hacia abajo y se reincrementan las décadas de 1 a 10 con valor de 3 y de 10 a 100 con valor de 3.7 y para este caso particular la Eq. 3 se modifica a lo siguiente:

$$XACE2 = XACE2 - [(4.4)(2)] + 3.7 + 3 + 1.25$$

Y la pendiente de la recta entre Metano y Acetileno esta dada por la Eq. 4 como se muestra a continuación:

$$M5 = (XACE2 - XMET) / 2$$

Con el resultado de M5 y el código de falla de la Figura 9 se tiene que la asignación de falla en estas dos columnas es:

Si $M5 > 0$ entonces la falla presentada es "Arco"

Si $M5 < 0$ entonces la falla presentada es "Descarga y/o Pirolysis"

Las ecuaciones y el diagnóstico de falla sugerido para la relación Metano-Acetileno queda en el programa de la siguiente forma:

* RELACION ENTRE METANO (CH₄) - ACETILENO (C₂H₂) EN EL NOMOGRAMA DE CHURCH

$$XMET = XMET$$

```

IF (ACE <= 1) THEN XACE2 = XACE1 + 1.25
IF (ACE > 1) AND (ACE <= 10) THEN XACE2 = (3 * .434294 * LOG(ACE)) + 1.25
IF (ACE > 10) AND (ACE <= 100) THEN XACE2 = (3.7 * .434294 * LOG(ACE)):
XACE2 = XACE2 - 3.7 + 3 + 1.25
IF (ACE > 100) THEN XACE2 = (4.4 * .434294 * LOG(ACE)): XACE2 = XACE2 - (4.4*2) + 3.7 + 3 + 1.25
M5 = (XACE2 - XMET) / 2
IF (M5 > 0) THEN NC5$ = "ARCO"
IF (M5 < 0) THEN NC5$ = "DESCARGA Y/O PIROLISIS"
IF (M5 = 0) THEN NC5$ = "SIN DIAGNÓSTICO"
    
```

F).- Relación entre Acetileno (C₂H₂) - Etileno (C₂H₄) y asignación de falla por Nomograma de Church

Para localizar el valor 1 del Acetileno como origen, se le resta el desplazamiento considerado en el inciso E), de la siguiente forma:

$$XACE2 = XACE2 - 1.25$$

Por otro lado las décadas del Etileno en esta relación tienen diferentes medidas (para menores de 1 es 2.7 cm, de 1 a 10 es 3.0 cm, de 10 a 100 es 3.7 cm y de 100 en adelante es 4.4 cm por cada década) por lo que la localización del valor del Etileno se consigue con la Eq. 3 y queda dado en 4 rangos que se muestran a continuación.

Si $ETI \leq 1$ entonces $XETI = (2.7) [0.434294 \ln(ETI)] - 0.6$

Si $1 < ETI \leq 10$ entonces $XETI = (3) [0.434294 \ln(ETI)] - 0.6$

Si $10 < ETI \leq 100$ entonces $XETI = (3.7) [0.434294 \ln(ETI)]$

y con este valor de XETI se desplaza una década hacia abajo y se reincrementa la década de 1 a 10 con valor de 3 y para este caso particular la Eq. 3 se modifica a lo siguiente:

$$XETI = XETI - 3.7 + 3 - 0.6$$

Si $ETI > 100$ entonces $XETI = (4.4) [0.434294 \ln(ETI)]$

y con este valor de XETI se desplaza dos décadas hacia abajo y se reincrementan las décadas de 1 a 10 con valor de 3 y de 10 a 100 con valor de 3.7 y para este caso particular la Eq. 3 se modifica a lo siguiente:

$$XETI = XETI - [(4.4)(2)] + 3.7 + 3 - 0.6$$

Y la pendiente de la recta entre Acetileno y Etileno esta dada por la Eq. 4 como se muestra a continuación:

$$M6 = (XETI - XACE2) / 1.5$$

Con el resultado de M6 y el código de falla de la Figura 9 se tiene que la asignación de falla en estas dos columnas es:

Si $M6 > 0$ entonces la falla presentada es "Pirolisis"

Si $M6 < 0$ entonces la falla presentada es "Arco"

Las ecuaciones y el diagnóstico de falla sugerido para la relación Acetileno-Etileno queda en el programa de la siguiente forma:

*** RELACIÓN ENTRE ACETILENO (C2H2) - ETILENO (C2H4) EN EL NOMOGRAMA DE CHURCH**

```
XACE2 = XACE2 - 1.25
IF (ETI <= 1) THEN XETI = (2.7 * .434294 * LOG(ETI)) - .6
IF (ETI > 1) AND (ETI <= 10) THEN XETI = (3 * .434294 * LOG(ETI)) - .6
IF (ETI > 10) AND (ETI <= 100) THEN XETI = (3.7 * .434294 * LOG(ETI)); XETI = XETI - 3.7 + 3 - .6
IF (ETI > 100) THEN XETI = (4.4 * .434294 * LOG(ETI)); XETI = XETI - (4.4*2) + 3.7 + 3 - .6
M6 = (XETI - XACE2) / 1.5
IF (M6 > 0) THEN NC6$ = "PIROLISIS"
IF (M6 < 0) THEN NC6$ = "ARCO"
IF (M6 = 0) THEN NC6$ = "SIN DIAGNÓSTICO"
```

G).- Relación entre Monóxido de carbono (CO) - Dióxido (CO₂) y asignación de falla por Nomograma de Church

Con la Eq. 2 se puede obtener la localización del Monóxido de carbono en el Nomograma de la siguiente forma:

$$XMON = (2.7) [0.434294 \ln (MON)]$$

Y con la Eq. 3 se localiza el Dióxido de carbono y queda como:

$$XBIO = (2.7) [0.434294 \ln (BIO)] - 1.3$$

Y la pendiente de la recta entre Monóxido y Dióxido de carbono esta dada por la Eq. 4 como se muestra a continuación:

$$M7 = (XBIO - XMON) / 1.7$$

Con el resultado de M7 y el código de falla de la Figura 9 se tiene que la asignación de falla en estas dos columnas es:

Si $M7 > 0$ entonces la falla presentada es "Sin degradación de celulosa"

Si $M7 < 0$ entonces la falla presentada es "Con degradación de celulosa"

Las ecuaciones y el diagnóstico de falla sugerido para la relación Monóxido-Dióxido queda en el programa de la siguiente forma:

*** RELACIÓN ENTRE MONÓXIDO (CO) - BIÓXIDO (CO₂) EN EL NOMOGRAMA DE CHURCH**

```
XMON = 2.7 * .434294 * LOG(MON)
XBIO = (2.7 * .434294 * LOG(BIO)) - 1.3
M7 = (XBIO - XMON) / 1.7
```

```
IF (M7 > 0) THEN NC7$ = "SIN DEGRADACIÓN DE CELULOSA"  
IF (M7 < 0) THEN NC7$ = "CON DEGRADACIÓN DE CELULOSA"  
IF (M7 = 0) THEN NC7$ = "SIN DIAGNÓSTICO"  
IF HID < .0001 THEN HID = 0  
IF MON < .0001 THEN MON = 0  
IF BIO < .0001 THEN BIO = 0  
IF MET < .0001 THEN MET = 0  
IF ETA < .0001 THEN ETA = 0  
IF ETI < .0001 THEN ETI = 0  
IF ACE < .0001 THEN ACE = 0
```

NOTA: Todos los valores usados para calcular desplazamientos y distancias entre las columnas del nomograma están dadas en [cm] y tomadas de la figura original del Nomograma de Church de Industrias IEM anexa en los Apéndices.

Es necesario aclarar que en todos los métodos de diagnóstico de este Capítulo 3 se plantea la asignación de "SIN DIAGNÓSTICO" en todos los análisis que no coinciden con las sugerencias de falla que contiene cada método.

3.7. Impresión de reporte en pantalla o papel

Es necesario aclarar que los números de las tablas mencionadas en los resultados no coinciden con la numeración de tablas en esta tesis ya que se respetaron las asignaciones de tablas de las referencias originales, las cuales se encuentran anexas en los APÉNDICES de esta Tesis.

La presentación de los resultados en la pantalla muestra el método utilizado así como su diagnóstico. Y en el programa la salida de datos por pantalla es de la siguiente manera:

***IMPRESIÓN DEL REPORTE EN PANTALLA**

```
CLS : LOCATE 3, 24 : PRINT "INDUSTRIAS IEM , S.A. DE C.V."  
LOCATE 4, 22 : PRINT "-----"  
LOCATE 6, 26 : PRINT " DIAGNÓSTICO DE FALLAS"  
LINE (55, 80) - (640, 127), 3, B  
LINE (55, 60) - (640, 80), 3, B  
LINE (130, 60) - (130, 127)  
LINE (215, 60) - (215, 127)  
LINE (300, 60) - (300, 127)  
LINE (385, 60) - (385, 127)  
LOCATE 9, 10 : PRINT "CH4/H2"  
LOCATE 9, 19 : PRINT "C2H6/CH4"  
LOCATE 9, 29 : PRINT "C2H4/C2H6"  
LOCATE 9, 39 : PRINT "C2H2/C2H4"  
LOCATE 9, 53 : PRINT "DIAGNÓSTICO"  
LOCATE 12, 12 : PRINT C1
```

LOCATE 12, 22 : PRINT C2
LOCATE 12, 32 : PRINT C3
LOCATE 12, 42 : PRINT C4
LOCATE 12, 3 : PRINT "FRC"
LOCATE 15, 3 : PRINT "TRC"
LOCATE 10, 3 : PRINT "___"
LOCATE 13, 3 : PRINT "___"
LOCATE 16, 3 : PRINT "___"

* IMPRESIÓN EN PANTALLA DE FALLA PRESENTADA POR ANÁLISIS FRC

LOCATE 12, 51
PRINT DGN3
LOCATE 20, 54 : PRINT "OPRIMA RETURN..."

* IMPRESIÓN EN PANTALLA DE FALLA PRESENTADA POR ANÁLISIS TRC

LOCATE 15, 51
PRINT F3

* IMPRESIÓN EN PANTALLA DE CÓDIGO PARA TRC

LOCATE 15, 12 : PRINT T3
LOCATE 15, 32 : PRINT T4
LOCATE 15, 42 : PRINT T1

* IMPRESIÓN EN PANTALLA DE FALLA PRESENTADA POR ANÁLISIS M & S

PRINT MY3\$

* IMPRESIÓN EN PANTALLA DE FALLA PRESENTADA POR ANÁLISIS NOMOGRAMA DE CHURCH

PRINT NC1\$, "m = "; M1
PRINT NC2\$, "m = "; M2
PRINT NC3\$, "m = "; M3
PRINT NC4\$, "m = "; M4
PRINT NC5\$, "m = "; M5
PRINT NC6\$, "m = "; M6
PRINT NC7\$, "m = "; M7

* IMPRESIÓN EN PANTALLA DE FALLA PRESENTADA POR ANÁLISIS TRC-1991

PRINT "DIAG. DE FALLA POR TRC-IEEE 1991"; F1\$

* IMPRESIÓN EN PANTALLA DE FALLA PRESENTADA POR ANÁLISIS FRC-1978

PRINT "DIAG. DE FALLA POR FRC-IEEE 1978"; DGN1\$

* IMPRESIÓN EN PANTALLA DE FALLA PRESENTADA POR ANÁLISIS DOERNENBERG-IEEE-1978

PRINT "DIAG. DE FALLA POR DOERNENBERG-IEEE 1978"; DGN11\$

* IMPRESIÓN EN PANTALLA DE PATRÓN BÁSICO DE GENERACIÓN DE GASES Y ORDEN DE FALLA

PRINT "DIAG. DE FALLA POR PATRONES BAS. DE GEN. DE GASES"; BGPS;
PRINT "ORDEN DE FALLA (1 menor, 8 mayor) "; BGP1
1000 AS = INKEY\$: IF AS = "" THEN 1000
CLS
GOTO 300

Capítulo Tercero "Desarrollo del programa"

La presentación de los resultados en impresión muestra el Titulo, Fecha de muestreo, Fecha de análisis, Laboratorio que realizó la cromatografía, Orden de taller, contenido de gases, relaciones obtenidas, códigos asignados, método utilizado así como su diagnóstico. Y en el programa, la salida de datos por impresión es de la siguiente manera:

'IMPRESIÓN DE RESULTADOS

```
1100  LPRINT "          INDUSTRIAS IEM , S.A. DE C.V."
      LPRINT "          "
      LPRINT : LPRINT "          ANÁLISIS FRC & TRC          FILE : MAR2596.BAS"
      LPRINT "          "
      LPRINT : LPRINT "FECHA DE MUESTREO :"; TAB(25);D1$
      LPRINT : LPRINT "FECHA DE ANÁLISIS :"; TAB(25);D2$
      LPRINT : LPRINT "LABORATORIO :"; TAB(25);LAB$
      LPRINT : LPRINT "ORDEN DE TALLER :"; TAB(25);OT$
      LPRINT : LPRINT : LPRINT : "CONTENIDO DE GASES :          PPM-VOL/VOL (MUESTRA ACEITE)"
      LPRINT "          "
      LPRINT "HIDRÓGENO          - H2 "; TAB(40);H1D
      LPRINT "METANO          - CH4 "; TAB(40);MET
      LPRINT "MONÓXIDO DE CARBONO - CO "; TAB(40);MON
      LPRINT "BIÓXIDO DE CARBONO - CO2 "; TAB(40);BIO
      LPRINT "ETILENO          - C2H4 "; TAB(40);ETI
      LPRINT "ETANO          - C2H6 "; TAB(40);ETA
      LPRINT "ACETILENO          - C2H2 "; TAB(40);ACE
      LPRINT "          "
      LPRINT : LPRINT "RELACIONES : "
      LPRINT : LPRINT "CH4 / H2"; TAB(20);R1
      LPRINT "C2H6 / CH4"; TAB(20);R2
      LPRINT "C2H4 / C2H6"; TAB(20);R3
      LPRINT "C2H2 / C2H4"; TAB(20);R4
      LPRINT "          "
      LPRINT : LPRINT TAB(25); "CH4/H2"; TAB (35) ; "C2H6/CH4"; TAB(47) ; "C2H4/C2H6"; TAB(59) ;
      "C2H2/C2H4"
      LPRINT : LPRINT "CÓDIGO DE CUARTO REL. -"; TAB(27) ; C1 ; TAB(38) ; C2 ; TAB(50) ; C3 ;
      TAB(61) ; C4
      LPRINT : LPRINT TAB(25) ; "C2H2/C2H4"; TAB(38) ; "CH4/H2"; TAB(48) ;
      "C2H4/C2H6"
      LPRINT : LPRINT "CÓDIGO DE TRES REL. -"; TAB(28) ; T1 ; TAB(40) ; T3 ; TAB(51) ; T4
      LPRINT "          "
      LPRINT : LPRINT "DIAGNÓSTICO POR CODIGOS DE TRES RELACIONES : "
```

'IMPRESIÓN DE FALLA PRESENTE EN TRC

```
LPRINT TAB(15) : FS
```

'IMPRESIÓN DE FALLA PRESENTE EN FRC

```
LPRINT : LPRINT "DIAGNÓSTICO POR CÓDIGO DE CUATRO RELACIONES : "
LPRINT TAB(15) : DGN$
```

'IMPRESIÓN DE FALLA PRESENTE EN M & S

```
LPRINT : LPRINT "DIAGNÓSTICO POR CÓDIGO DE M & S : "
LPRINT TAB(15) : MYSS
```

Capitulo Tercero "Desarrollo del programa"

* IMPRESIÓN DE FALLA PRESENTE EN NOMOGRAMA DE CHURCH

LPRINT : LPRINT "DIAGNÓSTICO POR CÓDIGO DE NOMOGRAMA DE CHURCH :"
LPRINT TAB(15) ; NC1\$, "m = "; M1
LPRINT TAB(15) ; NC2\$, "m = "; M2
LPRINT TAB(15) ; NC3\$, "m = "; M3
LPRINT TAB(15) ; NC4\$, "m = "; M4
LPRINT TAB(15) ; NC5\$, "m = "; M5
LPRINT TAB(15) ; NC6\$, "m = "; M6
LPRINT TAB(15) ; NC7\$, "m = "; M7

* IMPRESIÓN DE FALLA PRESENTE POR CÓDIGO TRC-IEEE 1991 (TABLA 6)

LPRINT : LPRINT " DIAGNÓSTICO POR CÓDIGO TRC-IEEE 1991 (TABLA 6) : "
LPRINT TAB(15) ; F1\$

* IMPRESIÓN DE FALLA PRESENTE POR CÓDIGO FRC-IEEE 1978 (TABLA 7)

LPRINT : LPRINT " DIAGNÓSTICO POR CÓDIGO FRC-IEEE 1978 (TABLA 7) : "
LPRINT TAB(15) ; DGN1\$

* IMPRESIÓN DE FALLA PRESENTE POR CÓDIGO DORNENBERG-IEEE 1978 (TABLA 5)

LPRINT : LPRINT " DIAGNÓSTICO POR CÓDIGO DORNENBERG-IEEE 1978 (TABLA 5) : "
LPRINT TAB(15) ; DGN11\$

* IMPRESIÓN DE DIAGNÓSTICO DE FALLA POR PATRONES BASICOS DE GENERACIÓN DE GASES Y
ORDEN DE FALLA

LPRINT : LPRINT " DIAG. DE FALLA POR PATRONES BAS. DE GEN. DE GASES Y ORDEN DE:
FALLA (1 menor, 8 mayor) : "
LPRINT TAB(15) ; BGP\$; "("; BGP1; ")"
LPRINT CHR\$(12);
GOTO 300

* FIN DEL PROGRAMA

1200 END

CAPÍTULO

CUARTO

Uso del programa

4.1. Programa completo

IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES (POR ORDEN DE APARICIÓN EN EL PROGRAMA) :

* HID : HIDRÓGENO (H2)
 * MON : MONÓXIDO DE CARBONO (CO)
 * BIO : BIÓXIDO DE CARBONO (CO2)
 * MET : METANO (CH4)
 * ETA : ETANO (C2H6)
 * ETI : ETILENO (C2H4)
 * ACE : ACETILENO (C2H2)
 * OP : OPCIÓN DEL MENU A EJECUTAR
 * D1\$: FECHA DE MUESTREO
 * D\$: FECHA DE ANÁLISIS
 * LAB\$: LABORATORIO
 * OT\$: ORDEN DE TALLER
 * P : VARIABLE PARA IMPRESIÓN
 * R1 : RELACIÓN METANO / HIDRÓGENO (CH4 / H2)
 * R2 : RELACIÓN ETANO / METANO (C2H6 / CH4)
 * R3 : RELACIÓN ETILENO / ETANO (C2H4 / C2H6)
 * R4 : RELACIÓN ACETILENO / ETILENO (C2H2 / C2H4)
 * R5 : RELACIÓN ETANO / ACETILENO (C2H6 / C2H2)
 * R6 : RELACIÓN ACETILENO / METANO (C2H2 / CH4)
 * C1 : CÓDIGO DE LA RELACIÓN METANO / HIDRÓGENO (CH4/H2)
 * C17 : CÓDIGO DE LA RELACIÓN ACETILENO / ETILENO (C2H2 / C2H4)
 * C2 : CÓDIGO DE LA RELACIÓN ETANO / METANO (C2H6/CH4)
 * T3 : CÓDIGO DE LA RELACIÓN METANO / HIDRÓGENO (CH4/H2)
 * C3 : CÓDIGO DE LA RELACIÓN ETILENO / ETANO (C2H4/C2H6)
 * T4 : CÓDIGO DE LA RELACIÓN ETILENO / ETANO (C2H4/C2H6)
 * C4 : CÓDIGO DE LA RELACIÓN ACETILENO / ETILENO (C2H2/C2H4)
 * DGN\$: OPCIÓN DE IDENTIFICACIÓN DE FALLA POR FRC
 * DGN1\$: OPCIÓN DE IDENTIFICACIÓN DE FALLA POR FRC PARA ANS/IEEE 1978
 * DGN11\$: OPCIÓN DE IDENTIFICACIÓN DE FALLA POR DOERNENBERG PARA ANS/IEEE 1978
 * F\$: OPCIÓN DE IDENTIFICACIÓN DE FALLA POR TRC
 * BGP : CÓDIGO DE IDENTIFICACIÓN DE FALLA POR PATRONES BASICOS DE GENERACIÓN DE GASES
 * F1\$: OPCIÓN DE IDENTIFICACIÓN DE FALLA POR TRC PARA IEEE-1991
 * BGP\$: OPCIÓN DE IDENTIFICACIÓN DE FALLA POR PATRONES BASICOS DE GENERACIÓN DE GASES
 * BGP1 : ORDEN DE IMPORTANCIA DE FALLA POR PATRONES BASICOS DE GENERACIÓN DE GASES
 * MYS\$: OPCIÓN DE IDENTIFICACIÓN DE FALLA POR M & S
 * XHID : COLOCACIÓN DEL HIDRÓGENO (H2) EN NOMOGRAMA DE CHURCH
 * XACE1 : COLOCACIÓN DEL ACETILENO (C2H2) EN LA 1ª BARRA DEL NOMO. DE CHURCH
 * M1 : PENDIENTE DE LA RELACIÓN H2 - C2H2 EN NOMOGRAMA DE CHURCH
 * NC1\$: CARACTERIZACIÓN DE FALLA PARA LA REL. H2-C2H2 DEL NOMO. DE CHURCH
 * XETA : COLOCACIÓN DEL ETANO (C2H6) EN NOMOGRAMA DE CHURCH
 * M2 : PENDIENTE DE LA RELACIÓN C2H2-C2H6 EN NOMOGRAMA DE CHURCH
 * NC2\$: CARACTERIZACIÓN DE FALLA PARA LA REL. C2H2-C2H6 DEL NOMO. DE CHURCH
 * M3 : PENDIENTE DE LA RELACIÓN C2H6-H2 EN NOMOGRAMA DE CHURCH
 * NC3\$: CARACTERIZACIÓN DE FALLA PARA LA REL. C2H6-H2 DEL NOMO. DE CHURCH
 * XMET : COLOCACIÓN DEL METANO (CH4) EN NOMOGRAMA DE CHURCH
 * M4 : PENDIENTE DE LA RELACIÓN H2-CH4 EN NOMOGRAMA DE CHURCH
 * NC4\$: CARACTERIZACIÓN DE FALLA PARA LA REL. H2-CH4 DEL NOMO. DE CHURCH
 * XACE2 : COLOCACIÓN DEL ACETILENO (C2H2) EN LA 2ª BARRA DEL NOMO. DE CHURCH
 * M5 : PENDIENTE DE LA RELACIÓN CH4-C2H2 EN NOMOGRAMA DE CHURCH
 * NC5\$: CARACTERIZACIÓN DE FALLA PARA LA REL. CH4-C2H2 DEL NOMO. DE CHURCH
 * XETI : COLOCACIÓN DEL ETILENO (C2H4) EN NOMOGRAMA DE CHURCH
 * M6 : PENDIENTE DE LA RELACIÓN C2H2-C2H4 EN NOMOGRAMA DE CHURCH

Capítulo Cuarto "Uso del programa"

```
* NC6$ : CARACTERIZACIÓN DE FALLA PARA LA REL. C2H2-C2H4 DEL NOMO. DE CHURCH
* XM0N : COLOCACIÓN DEL MONÓXIDO (CO) EN NOMOGRAMA DE CHURCH
* XBIO : COLOCACIÓN DEL BIÓXIDO (CO2) EN NOMOGRAMA DE CHURCH
* M7 : PENDIENTE DE LA RELACIÓN CO-CO2 EN NOMOGRAMA DE CHURCH
* NC7$ : CARACTERIZACIÓN DE FALLA PARA LA REL. CO-CO2 DEL NOMO. DE CHURCH
```

* INICIALIZACIÓN DE VARIABLES

```
100 CLEAR
```

%%%%%%%%%

* PRESENTACIÓN DEL PROGRAMA

```
KEY OFF; CLS : SCREEN 1
PSET (60, 50)
DRAW "R210 D80 L210 U80"
PSET (54, 45)
DRAW "R220 D89 L220 U89"
PAINT (59, 49), 2, 2
LOCATE 10, 14: PRINT "ANÁLISIS"
LOCATE 12, 20: PRINT "DE"
LOCATE 14, 17: PRINT "GASES"
200 A$ = INKEY$: IF A$ = " " THEN 200
LOCATE 20: FOR P = 1 TO 15: PRINT : NEXT P
CLS
LOCATE 5, 5: INPUT "FECHA DE MUESTREO : ", D1$
LOCATE 7, 5: INPUT "FECHA DE ANÁLISIS : ", D2$
LOCATE 9, 5: INPUT "LABORATORIO : ", LAB$
LOCATE 11, 5: INPUT "O.T. : ", OT$
CLS
LOCATE 20: FOR P = 1 TO 15: PRINT : NEXT P
```

* ELECCIÓN DEL MENÚ

```
300 CLS : SCREEN 2
PSET (30, 50): DRAW " R250D110L250U110"
PSET (15, 20): DRAW " R280D150L280U150"
LOCATE 5, 17: PRINT "MENU"
LOCATE 10, 9: PRINT "1. ANÁLISIS FRC & TRC"
LOCATE 12, 9: PRINT "2. IMPRESIÓN"
LOCATE 14, 9: PRINT "3. SALIR"
LOCATE 23, 25: INPUT "OPCIÓN -> ", OP
CLS
400 IF OP = 1 THEN GOTO 500 ELSE IF OP = 2 THEN 1100 ELSE IF OP = 3 THEN 1200 ELSE:
GOTO 300
```

%%%%%%%%%

* ENTRADA DE DATOS DE GASES PRESENTES

```
500 LOCATE 2, 23: PRINT "INDUSTRIAS IEM . S.A. DE C.V."
LOCATE 3, 22: PRINT "_____"
```

Capitulo Cuarto "Uso del programa"

```

LOCATE 5, 30: PRINT "FRC & TRC ANALYSIS"
LOCATE 7, 43: PRINT "[ ppm ]"
PRINT "
LOCATE 10, 10: PRINT "HIDRÓGENO          - H2"
LOCATE 12, 10: PRINT "METANO             - CH4"
LOCATE 14, 10: PRINT "MONÓXIDO DE CARBONO - CO"
LOCATE 16, 10: PRINT "BIÓXIDO DE CARBONO - CO2"
LOCATE 18, 10: PRINT "ETILENO            - C2H4"
LOCATE 20, 10: PRINT "ETANO             - C2H6"
LOCATE 22, 10: PRINT "ACETILENO          - C2H2"
LOCATE 10, 45: INPUT "", HID: IF HID = 0 THEN HID = .000001#
LOCATE 12, 45: INPUT "", MET: IF MET = 0 THEN MET = .000001#
LOCATE 14, 45: INPUT "", MON: IF MON = 0 THEN MON = .000001#
LOCATE 16, 45: INPUT "", BIO: IF BIO = 0 THEN BIO = .000001#
LOCATE 18, 45: INPUT "", ETI: IF ETI = 0 THEN ETI = .000001#
LOCATE 20, 45: INPUT "", ETA: IF ETA = 0 THEN ETA = .000001#
LOCATE 22, 45: INPUT "", ACE: IF ACE = 0 THEN ACE = .000001#
LOCATE 20, 54: PRINT "OPRIMA RETURN..."
600  AS = INKEY$: IF AS = "" THEN 600

```

%%%%%%%%%%

* CÁLCULO DE RELACIONES DOMINANTES GENERALES

```

R1 = MET / HID: R2 = ETA / MET: R3 = ETI / ETA: R4 = ACE / ETI: R5 = ETA / ACE: R6 = ACE / MET
IF R1 < 0 THEN 700
IF R2 < 0 THEN 700
IF R3 < 0 THEN 700
IF R4 < 0 THEN 700
IF R5 < 0 THEN 700
IF R6 < 0 THEN 700
GOTO 900
700  CLS : LOCATE 10, 15: PRINT " SE TECLEO CON SIGNO NEGATIVO UN VALOR DE [ ppm ] DE GAS"
800  X$ = INKEY$: IF X$ = "" THEN 800
GOTO 100

```

%%%%%%%%%%

* ASIGNACIÓN DE CODIGOS PARA FRC CON LAS RELACIONES GENERALES (ABB, TABLA II A)

```

900  IF (R1 <= .1) THEN C1 = 5 ELSE IF (.1 < R1) AND (R1 <= 1) THEN C1=0 ELSE IF (1 < R1):
AND (R1 < 3) THEN C1=1 ELSE C1=2
IF (R2 < 1) THEN C2 = 0 ELSE C2 = 1
IF (R3 < 1) THEN C3 = 0 ELSE IF (1 <= R3) AND (R3 <= 3) THEN C3 = 1 ELSE C3 = 2
IF (R4 < .5) THEN C4 = 0 ELSE IF (.5 <= R4) AND (R4 <= 3) THEN C4 = 1 ELSE C4 = 2

```

%%%%%%%%%%

* ASIGNACIÓN DE CODIGOS PARA TRC CON LAS RELACIONES GENERALES

(ABB, TABLA III, parte superior)

```

IF (R4 < .1) THEN T1 = 0 ELSE IF (.1 <= R4) AND (R4 <= 3) THEN T1 = 1 ELSE T1 = 2
IF (R1 < .1) THEN T3 = 1 ELSE IF (.1 <= R1) AND (R1 <= 1) THEN T3 = 0 ELSE T3 = 2

```

Capitulo Cuarto "Uso del programa"

IF (R3 < 1) THEN T4 = 0 ELSE IF (1 <= R3) AND (R3 <= 3) THEN T4 = 1 ELSE T4 = 2

%%%%%%%%%

* TOMA DE DECISIÓN DE FALLA PRESENTADA PARA FRC (ABB, TABLA II B)

IF (C1 = 0) AND (C2 = 0) AND (C3 = 0) AND (C4 = 0) THEN DGN\$ = "DETERIORO NORMAL"
IF (C1 = 5) AND (C2 = 0) AND (C3 = 0) AND (C4 = 0) THEN DGN\$ = "DESCARGA PARCIAL"
IF (C1 = 1) AND (C2 = 0) AND (C3 = 0) AND (C4 = 0) THEN:
DGN\$ = "SOBRECALENTAMIENTO < 150 oC"
IF (C1 = 2) AND (C2 = 0) AND (C3 = 0) AND (C4 = 0) THEN:
DGN\$ = "SOBRECALENTAMIENTO < 150 oC"
IF (C1 = 1) AND (C2 = 1) AND (C3 = 0) AND (C4 = 0) THEN:
DGN\$ = "SOBRECALENTAMIENTO 150-200 oC"
IF (C1 = 2) AND (C2 = 1) AND (C3 = 0) AND (C4 = 0) THEN:
DGN\$ = "SOBRECALENTAMIENTO 150-200 oC"
IF (C1 = 0) AND (C2 = 1) AND (C3 = 0) AND (C4 = 0) THEN:
DGN\$ = "SOBRECALENTAMIENTO 200-300 oC"
IF (C1 = 0) AND (C2 = 0) AND (C3 = 1) AND (C4 = 0) THEN:
DGN\$ = "SOBRECARGA GENERAL DE CONDUCTORES"
IF (C1 = 1) AND (C2 = 0) AND (C3 = 1) AND (C4 = 0) THEN:
DGN\$ = "CIRC. CORRIENTE EMBOBINADO"
IF (C1 = 1) AND (C2 = 0) AND (C3 = 2) AND (C4 = 0) THEN:
DGN\$ = "CRRTE.CIRC.NÚCLEO Y TQE.,JUNTAS SOBRECARG."
IF (C1 = 2) AND (C2 = 0) AND (C3 = 2) AND (C4 = 0) THEN:
DGN\$ = "CRRTE.CIRC.NÚCLEO Y TQE.,JUNTAS SOBRECARG."
IF (C1 = 0) AND (C2 = 0) AND (C3 = 0) AND (C4 = 1) THEN DGN\$ = "DESCARGA SIN POTENCIA"
IF (C1 = 0) AND (C2 = 0) AND (C3 = 1) AND (C4 = 1) THEN DGN\$ = "ARCO ELÉCTRICO"
IF (C1 = 0) AND (C2 = 0) AND (C3 = 1) AND (C4 = 2) THEN DGN\$ = "ARCO ELÉCTRICO"
IF (C1 = 0) AND (C2 = 0) AND (C3 = 2) AND (C4 = 1) THEN DGN\$ = "ARCO ELÉCTRICO"
IF (C1 = 0) AND (C2 = 0) AND (C3 = 2) AND (C4 = 2) THEN DGN\$ = "ARCO ELÉCTRICO"
IF (C1 = 1) AND (C2 = 0) AND (C3 = 2) AND (C4 = 2) THEN:
DGN\$ = "CHISPORROTEO CONTINUO POR POT.FLOTANTE"
IF (C1 = 5) AND (C2 = 0) AND (C3 = 0) AND (C4 = 1) THEN:
DGN\$ = "DESCARGA PARCIAL CON ARRASTRE"
IF (C1 = 5) AND (C2 = 0) AND (C3 = 0) AND (C4 = 2) THEN:
DGN\$ = "DESCARGA PARCIAL CON ARRASTRE"
IF DGN\$ = "" THEN DGN\$ = "SIN DIAGNÓSTICO"

%%%%%%%%%

* TOMA DE DECISIÓN DE FALLA PRESENTADA PARA FRC (IEEE-1978, TABLA 7)

IF (C1 = 0) AND (C2 = 0) AND (C3 = 0) AND (C4 = 0) THEN DGN1\$ = "DETERIORO NORMAL"
IF (C1 = 5) AND (C2 = 0) AND (C3 = 0) AND (C4 = 0) THEN:
DGN1\$ = "DESCARGA PARCIAL-CORONA"
IF (C1 = 5) AND (C2 = 0) AND (C3 = 0) AND (C4 = 1) THEN:
DGN1\$ = "DESC.PAR.-CORONA, CON ARRASTRE"
IF (C1 = 5) AND (C2 = 0) AND (C3 = 0) AND (C4 = 2) THEN:
DGN1\$ = "DESC.PAR.-CORONA, CON ARRASTRE"
IF (C1 = 0) AND (C2 = 0) AND (C3 = 2) AND (C4 = 2) THEN DGN1\$ = "DESCARGA CONTINUA"
IF (C1 = 0) AND (C2 = 0) AND (C3 = 1) AND (C4 = 1) THEN:
DGN1\$ = "ARCO ELÉCTRICO CON FLUJO"
IF (C1 = 0) AND (C2 = 0) AND (C3 = 1) AND (C4 = 2) THEN:
DGN1\$ = "ARCO ELÉCTRICO CON FLUJO"

IF (C1 = 0) AND (C2 = 0) AND (C3 = 2) AND (C4 = 1) THEN:
 DGN1\$ = "ARCO ELÉCTRICO CON FLUJO"
 IF (C1 = 0) AND (C2 = 0) AND (C3 = 0) AND (C4 = 1) THEN DGN1\$ = "ARCO ELÉCTRICO SIN FLUJO"
 IF (C1 = 1) AND (C2 = 0) AND (C3 = 0) AND (C4 = 0) THEN:
 DGN1\$ = "SOBRECALENTAMIENTO < 150 oC"
 IF (C1 = 2) AND (C2 = 0) AND (C3 = 0) AND (C4 = 0) THEN:
 DGN1\$ = "SOBRECALENTAMIENTO < 150 oC"
 IF (C1 = 1) AND (C2 = 1) AND (C3 = 0) AND (C4 = 0) THEN:
 DGN1\$ = "SOBRECALENTAMIENTO 150-200 oC"
 IF (C1 = 2) AND (C2 = 1) AND (C3 = 0) AND (C4 = 0) THEN:
 DGN1\$ = "SOBRECALENTAMIENTO 150-200 oC"
 IF (C1 = 0) AND (C2 = 1) AND (C3 = 0) AND (C4 = 0) THEN:
 DGN1\$ = "SOBRECALENTAMIENTO 200-300 oC"
 IF (C1 = 0) AND (C2 = 0) AND (C3 = 1) AND (C4 = 0) THEN:
 DGN1\$ = "SOBRECAL.GENERAL DE CONDUCTORES"
 IF (C1 = 1) AND (C2 = 0) AND (C3 = 1) AND (C4 = 0) THEN:
 DGN1\$ = "CIRC. CORRIENTE EMBOBINADO"
 IF (C1 = 1) AND (C2 = 0) AND (C3 = 2) AND (C4 = 0) THEN:
 DGN1\$ = "CRRTE.CIRC.NÚCLEO Y TQE.,JUNTAS SOBRECARG."
 IF DGN1\$ = "" THEN DGN1\$ = "SIN DIAGNÓSTICO"

%%%

* TOMA DE DECISIÓN DE FALLA PRESENTADA PARA DOERNENBERG (IEEE-1978, TABLA 5)

IF (R1 > 1) AND (R4 < .75) AND (R5 > .4) AND (R6 < .3) THEN:
 DGN11\$ = "DESCOM. TÉRMICA (Hot Spot)"
 IF (R1>=1) AND (R1<=1) AND (R4<=.75) AND (R5<=.4) AND (R6>=.3) THEN:
 DGN11\$ = "DESC. ELÉCTRICA (Excepto Corona)"
 IF (R1 < .1) AND (R4 < .1) AND (R5 > .4) AND (R6 < .3) THEN DGN11\$ = "CORONA"
 IF DGN11\$ = "" THEN DGN11\$ = "SIN DIAGNÓSTICO"

%%%

* TOMA DE DECISIÓN DE FALLA PRESENTADA PARA TRC (ABB, TABLA III parte inferior)

IF (T1 = 0) AND (T3 = 0) AND (T4 = 0) THEN F\$ = "NO HAY FALLA": BGP = 0
 IF (T1 = 0) AND (T3 = 1) AND (T4 = 0) THEN F\$ = "DESCARGA PARC.BAJA ENERGÍA": BGP = 1
 IF (T1 = 1) AND (T3 = 1) AND (T4 = 0) THEN F\$ = "DESCARGA PARC.ALTA ENERGÍA": BGP = 2
 IF (T1 = 1) AND (T3 = 0) AND (T4 = 1) THEN F\$ = "DESCARGA DE BAJA ENERGÍA": BGP = 3
 IF (T1 = 1) AND (T3 = 0) AND (T4 = 2) THEN F\$ = "DESCARGA DE BAJA ENERGÍA": BGP = 3
 IF (T1 = 2) AND (T3 = 0) AND (T4 = 1) THEN F\$ = "DESCARGA DE BAJA ENERGÍA": BGP = 3
 IF (T1 = 2) AND (T3 = 0) AND (T4 = 2) THEN F\$ = "DESCARGA DE BAJA ENERGÍA": BGP = 3
 IF (T1 = 1) AND (T3 = 0) AND (T4 = 2) THEN F\$ = "DESCARGA DE ALTA ENERGÍA": BGP = 4
 IF (T1 = 0) AND (T3 = 0) AND (T4 = 1) THEN F\$ = "FALLA TÉRMICA < 150 oC": BGP = 5
 IF (T1 = 0) AND (T3 = 2) AND (T4 = 0) THEN F\$ = "FALLA TÉRMICA 150-300 oC": BGP = 6
 IF (T1 = 0) AND (T3 = 2) AND (T4 = 1) THEN F\$ = "FALLA TÉRMICA 300-700 oC": BGP = 7
 IF (T1 = 0) AND (T3 = 2) AND (T4 = 2) THEN F\$ = "FALLA TÉRMICA > 700 oC": BGP = 8
 IF F\$ = "" THEN F\$ = "SIN DIAGNÓSTICO": BGP = 9

%%%

* TOMA DE DECISIÓN DE FALLA PRESENTADA PARA TRC (IEEE-1991, TABLA 6)

```

IF (T1 = 0) AND (T3 = 0) AND (T4 = 0) THEN F1$ = "UNIDAD NORMAL"
IF (T1 = 0) AND (T3 = 1) AND (T4 = 0) THEN F1$ = "ARQUEO DE BAJA DEN. DE ENERGÍA"
IF (T1 = 1) AND (T3 = 0) AND (T4 = 2) THEN F1$ = "ARQUEO-DESCARGA DE ALTA ENERGÍA"
IF (T1 = 2) AND (T3 = 0) AND (T4 = 2) THEN F1$ = "ARQUEO-DESCARGA DE ALTA ENERGÍA"
IF (T1 = 0) AND (T3 = 0) AND (T4 = 1) THEN F1$ = "FALLA TÉRMICA DE BAJA TEMPERATURA"
IF (T1 = 0) AND (T3 = 2) AND (T4 = 1) THEN F1$ = "FALLA TÉRMICA < 700 oC"
IF (T1 = 0) AND (T3 = 2) AND (T4 = 2) THEN F1$ = "FALLA TÉRMICA > 700 oC"
IF F1$ = "" THEN F1$ = "SIN DIAGNÓSTICO"

```

%%%

* TOMA DE DECISIÓN DE FALLA POR PATRONES BASICOS DE GENERACIÓN DE GASES (ABB, TABLA IV)

```

IF (BGP = 0) THEN BGP$ = "NORMAL"; BGP1 = 1
IF (BGP = 5) THEN BGP$ = "SOBRECAL. DEL CONDUCTOR"; BGP1 = 2
IF (BGP = 6) THEN BGP$ = "SOBRECAL. DE ACEITE, MEDIANO"; BGP1 = 3
IF (BGP = 7) THEN BGP$ = "SOBRECAL. DE ACEITE, MODERADO"; BGP1 = 4
IF (BGP = 8) THEN BGP$ = "SOBRECAL. DE ACEITE, SEVERO"; BGP1 = 5
IF (BGP = 1) THEN BGP$ = "DESC. PARCIAL DE BAJA ENERGÍA"; BGP1 = 6
IF (BGP = 2) THEN BGP$ = "DESC. PARCIAL DE ALTA ENERGÍA"; BGP1 = 7
IF (BGP = 3) THEN BGP$ = "ARCO"; BGP1 = 8
IF (BGP = 4) THEN BGP$ = "ARCO"; BGP1 = 8
IF (BGP = 9) THEN BGP$ = "SIN DIAGNÓSTICO"; BGP1 = 0

```

%%%

* TOMA DE DECISIÓN DE FALLA PRESENTADA PARA M & S

```

IF (R4 <= .7) AND (R4 >= .001) AND (R1 >= .8) AND (R1 <= 100) THEN MYSS$ = "FALLA TÉRMICA"
IF (R4 <= 20) AND (R4 >= .7) AND (R1 >= .08) AND (R1 <= .8) THEN MYSS$ = "FALLA POR ARQUEO"
IF (R4 <= 100) AND (R4 >= .26) AND (R1 >= .01) AND (R1 <= .08) THEN:
MYSS$ = "FALLA POR CORONA"
IF MYSS$ = "" THEN MYSS$ = "SIN DIAGNÓSTICO"

```

%%%

* RELACIÓN ENTRE HIDRÓGENO (H2) – ACETILENO (C2H2) EN EL NOMOGRAMA DE CHURCH

```

XHID = 2.7 * .434294 * LOG(HID)
XACE1 = (2.7 * .434294 * LOG(ACE)) + 1.4
M1 = (XACE1 - XHID) / 1.6
IF (M1 > 0); THEN NC1$ = "ARCO"
IF (M1 < 0) AND (M1 > -1.8) THEN NC1$ = "DESCRAGA Y/O PIROLISIS"
IF (M1 < -1.8) THEN NC1$ = "PIROLISIS"
IF (M1 = 0) THEN NC1$ = "SIN DIAGNÓSTICO"

```

%%%

* RELACIÓN ENTRE ACETILENO (C2H2) – ETANO (C2H6) EN EL NOMOGRAMA DE CHURCH

XETA = (2.7 * .434294 * LOG(ETA)) + 1.05
XACE1 = XACE1 - 1.4
M2 = (XETA - XACE1) / 1.5
IF (M2 > 0) THEN NC2\$ = "DESCARGA Y/O PIROLISIS"
IF (M2 < 0) THEN NC2\$ = "ARCO"
IF (M2 = 0) THEN NC2\$ = "SIN DIAGNÓSTICO"

%%%%%%%%%

* RELACIÓN ENTRE ETANO (C2H6) – HIDRÓGENO (H2) EN EL NOMOGRAMA DE CHURCH

XETA = XETA - 1.05
XHID = XHID - 2.7
M3 = (XHID - XETA) / 1.8
IF (M3 > 0) THEN NC3\$ = "ARCO"
IF (M3 < 0) THEN NC3\$ = "PIROLISIS"
IF (M3 = 0) THEN NC3\$ = "SIN DIAGNÓSTICO"

%%%%%%%%%

* RELACIÓN ENTRE HIDRÓGENO (H2) – METANO (CH4) EN EL NOMOGRAMA DE CHURCH

XMET = 2.7 * .434294 * LOG(MET)
XHID = XHID + 2.7
M4 = (XMET - XHID) / 1.6
IF (M4 > 0) THEN NC4\$ = "PIROLISIS"
IF (M4 < 0) AND (M4 > -1.8) THEN NC4\$ = "ARCO"
IF (M4 < -1.8) THEN NC4\$ = "DESCARGA"
IF (M4 = 0) THEN NC4\$ = "SIN DIAGNÓSTICO"

%%%%%%%%%

* RELACIÓN ENTRE METANO (CH4) – ACETILENO (C2H2) EN EL NOMOGRAMA DE CHURCH

XMET = XMET
IF (ACE <= 1) THEN XACE2 = XACE1 + 1.25
IF (ACE > 1) AND (ACE <= 10) THEN XACE2 = (3 * .434294 * LOG(ACE)) + 1.25
IF (ACE > 10) AND (ACE <= 100) THEN:
XACE2 = (3.7 * .434294 * LOG(ACE)); XACE2 = XACE2 - 3.7 + 3 + 1.25
IF (ACE > 100) THEN XACE2 = (4.4 * .434294 * LOG(ACE)); XACE2 = XACE2 - (4.4*2) + 3.7 + 3 + 1.25
M5 = (XACE2 - XMET) / 2
IF (M5 > 0) THEN NC5\$ = "ARCO"
IF (M5 < 0) THEN NC5\$ = "DESCARGA Y/O PIROLISIS"
IF (M5 = 0) THEN NC5\$ = "SIN DIAGNÓSTICO"

%%%%%%%%%

Capítulo Cuarto "Uso del programa"

* RELACIÓN ENTRE ACETILENO (C2H2) – ETILENO (C2H4) EN EL NOMOGRAMA DE CHURCH

```
XACE2 = XACE2 - 1.25
IF (ETI <= 1) THEN XETI = (2.7 * .434294 * LOG(ETI)) - .6
IF (ETI > 1) AND (ETI <= 10) THEN XETI = (3 * .434294 * LOG(ETI)) - .6
IF (ETI > 10) AND (ETI <= 100) THEN XETI = (3.7 * .434294 * LOG(ETI)): XETI = XETI - 3.7 + 3 - .6
IF (ETI > 100) THEN XETI = (4.4 * .434294 * LOG(ETI)): XETI = XETI - (4.4*2) + 3.7 + 3 - .6
M6 = (XETI - XACE2) / 1.5
IF (M6 > 0) THEN NC6$ = "PIROLISIS"
IF (M6 < 0) THEN NC6$ = "ARCO"
IF (M6 = 0) THEN NC6$ = "SIN DIAGNÓSTICO"
```

* RELACIÓN ENTRE MONÓXIDO (CO) – BIÓXIDO (CO2) EN EL NOMOGRAMA DE CHURCH

```
XMON = 2.7 * .434294 * LOG(MON)
XBIO = (2.7 * .434294 * LOG(BIO)) - 1.3
M7 = (XBIO - XMON) / 1.7
IF (M7 > 0) THEN NC7$ = "SIN DEGRADACIÓN DE CELULOSA"
IF (M7 < 0) THEN NC7$ = "CON DEGRADACIÓN DE CELULOSA"
IF (M7 = 0) THEN NC7$ = "SIN DIAGNÓSTICO"
IF HID < .0001 THEN HID = 0
IF MON < .0001 THEN MON = 0
IF BIO < .0001 THEN BIO = 0
IF MET < .0001 THEN MET = 0
IF ETA < .0001 THEN ETA = 0
IF ETI < .0001 THEN ETI = 0
IF ACE < .0001 THEN ACE = 0
```

* IMPRESIÓN DEL REPORTE EN PANTALLA

```
CLS : LOCATE 3, 24 : PRINT "INDUSTRIAS IEM, S.A. DE C.V."
LOCATE 4, 22 : PRINT " "
LOCATE 6, 26 : PRINT "DIAGNÓSTICO DE FALLAS"
LINE (55, 80) - (640, 127), 3, B
LINE (55, 60) - (640, 80), 3, B
LINE (130, 60) - (130, 127)
LINE (215, 60) - (215, 127)
LINE (300, 60) - (300, 127)
LINE (385, 60) - (385, 127)
LOCATE 9, 10 : PRINT "CH4/H2"
LOCATE 9, 19 : PRINT "C2H6/CH4"
LOCATE 9, 29 : PRINT "C2H4/C2H6"
LOCATE 9, 39 : PRINT "C2H2/C2H4"
LOCATE 9, 53 : PRINT "DIAGNÓSTICO"
LOCATE 12, 12 : PRINT C1
LOCATE 12, 22 : PRINT C2
LOCATE 12, 32 : PRINT C3
LOCATE 12, 42 : PRINT C4
LOCATE 12, 3 : PRINT "FRC"
LOCATE 15, 3 : PRINT "TRC"
LOCATE 10, 3 : PRINT "___"
```

Capítulo Cuarto "Uso del programa"

LOCATE 13, 3: PRINT "___"
LOCATE 16, 3: PRINT "___"

* IMPRESIÓN EN PANTALLA DE FALLA PRESENTADA POR ANÁLISIS FRC

LOCATE 12, 51
PRINT DGNS
LOCATE 20, 54: PRINT "OPRIMA RETURN..."

* IMPRESIÓN EN PANTALLA DE FALLA PRESENTADA POR ANÁLISIS TRC

LOCATE 15, 51
PRINT F3

* IMPRESIÓN EN PANTALLA DE CÓDIGO PARA TRC

LOCATE 15, 12: PRINT T3
LOCATE 15, 32: PRINT T4
LOCATE 15, 42: PRINT T1

* IMPRESIÓN EN PANTALLA DE FALLA PRESENTADA POR ANÁLISIS M & S

PRINT MYSS

* IMPRESIÓN EN PANTALLA DE FALLA PRESENTADA POR ANÁLISIS NOMOGRAMA DE CHURCH

PRINT NC1\$, "m = ": M1
PRINT NC2\$, "m = ": M2
PRINT NC3\$, "m = ": M3
PRINT NC4\$, "m = ": M4
PRINT NC5\$, "m = ": M5
PRINT NC6\$, "m = ": M6
PRINT NC7\$, "m = ": M7

* IMPRESIÓN EN PANTALLA DE FALLA PRESENTADA POR ANÁLISIS TRC-1991

PRINT "DIAG. DE FALLA POR TRC-IEEE 1991": F1\$

* IMPRESIÓN EN PANTALLA DE FALLA PRESENTADA POR ANÁLISIS FRC-1978

PRINT "DIAG. DE FALLA POR FRC-IEEE 1978": DGN1\$

* IMPRESIÓN EN PANTALLA DE FALLA PRESENTADA POR ANÁLISIS DOERNENBERG-IEEE-1978

PRINT "DIAG. DE FALLA POR DOERNENBERG-IEEE 1978": DGN11\$

* IMPRESIÓN EN PANTALLA DE PATRON BASICO DE GENERACIÓN DE GASES Y ORDEN DE FALLA

PRINT "DIAG. DE FALLA POR PATRONES BAS. DE GEN. DE GASES": BGP\$;
PRINT "ORDEN DE FALLA (1 menor, 8 mayor) :": BGP1
1000 A\$ = INKEYS: IF A\$ = "" THEN 1000
CLS
GOTO 300

%%%%%%%%%

Capítulo Cuarto "Uso del programa"

*IMPRESIÓN DE RESULTADOS

```

1100  LPRINT "          INDUSTRIAS IEM , S.A. DE C.V."
      LPRINT "          "
      LPRINT : LPRINT "          ANÁLISIS FRC & TRC          FILE : MAR2596.BAS"
      LPRINT "          "
      LPRINT : LPRINT "FECHA DE MUESTREO :"; TAB(25);D1$
      LPRINT : LPRINT "FECHA DE ANÁLISIS :"; TAB(25);D$
      LPRINT : LPRINT "LABORATORIO :"; TAB(25);LAB$
      LPRINT : LPRINT "ORDEN DE TALLER :"; TAB(25);OT$
      LPRINT : LPRINT : LPRINT : "CONTENIDO DE GASES :          PPM-VOL/VOL (MUESTRA ACEITE)"
      LPRINT "          "
      LPRINT "HIDRÓGENO          - H2 "; TAB(40);HID
      LPRINT "METANO          - CH4 "; TAB(40);MET
      LPRINT "MONÓXIDO DE CARBONO - CO "; TAB(40);MON
      LPRINT "BIÓXIDO DE CARBONO -CO2 "; TAB(40);BIO
      LPRINT "ETILENO          - C2H4 "; TAB(40);ETI
      LPRINT "ETANO          - C2H6 "; TAB(40);ETA
      LPRINT "ACETILENO          - C2H2 "; TAB(40);ACE
      LPRINT "          "
      LPRINT : LPRINT "RELACIONES : "
      LPRINT : LPRINT "CH4 / H2"; TAB(20);R1
      LPRINT "C2H6 / CH4"; TAB(20);R2
      LPRINT "C2H4 / C2H6"; TAB(20);R3
      LPRINT "C2H2 / C2H4"; TAB(20);R4;
      LPRINT "          "
      LPRINT : LPRINT TAB(25); "CH4/H2"; TAB (35); "C2H6/CH4"; TAB(47); "C2H4/C2H6";
      TAB(59); "C2H2/C2H4"
      LPRINT : LPRINT "CÓDIGO DE CUARTO REL. -"; TAB(27); C1; TAB(38); C2 ;
      TAB(50); C3; TAB(61); C4
      LPRINT : LPRINT : LPRINT TAB(25); "C2H2/C2H4"; TAB(38); "CH4/H2";
      TAB(48); "C2H4/C2H6"
      LPRINT : LPRINT "CÓDIGO DE TRES REL. -"; TAB(28); T1; TAB(40); T3; TAB(51); T4
      LPRINT "          "
      LPRINT : LPRINT "DIAGNÓSTICO POR CÓDIGO DE TRES RELACIONES : "
  
```

*IMPRESIÓN DE FALLA PRESENTE EN TRC

LPRINT TAB(15) : F\$

*IMPRESIÓN DE FALLA PRESENTE EN FRC

LPRINT : LPRINT "DIAGNÓSTICO POR CÓDIGO DE CUATRO RELACIONES :"
LPRINT TAB(15) ; DGN\$

*IMPRESIÓN DE FALLA PRESENTE EN M & S

LPRINT : LPRINT "DIAGNÓSTICO POR CÓDIGO DE M & S :"
LPRINT TAB(15) ; MYS\$

*IMPRESIÓN DE FALLA PRESENTE EN NOMOGRAMA DE CHURCH

LPRINT : LPRINT "DIAGNÓSTICO POR CÓDIGO DE NOMOGRAMA DE CHURCH :"
LPRINT TAB(15) ; NC1\$, "m = "; M1
LPRINT TAB(15) ; NC2\$, "m = "; M2
LPRINT TAB(15) ; NC3\$, "m = "; M3
LPRINT TAB(15) ; NC4\$, "m = "; M4
LPRINT TAB(15) ; NC5\$, "m = "; M5
LPRINT TAB(15) ; NC6\$, "m = "; M6

Capítulo Cuarto "Uso del programa"

LPRINT TAB(15) ; NC7\$, "m = "; M7

* IMPRESIÓN DE FALLA PRESENTE POR CÓDIGO TRC-IEEE 1991 (TABLA 6)

LPRINT : LPRINT " DIAGNÓSTICO POR CÓDIGO TRC-IEEE 1991 (TABLA 6) : "
LPRINT TAB(15) ; F1\$

* IMPRESIÓN DE FALLA PRESENTE POR CÓDIGO FRC-IEEE 1978 (TABLA 7)

LPRINT : LPRINT " DIAGNÓSTICO POR CÓDIGO FRC-IEEE 1978 (TABLA 7) : "
LPRINT TAB(15) ; DGN1\$

* IMPRESIÓN DE FALLA PRESENTE POR CÓDIGO DORNENBERG-IEEE 1978 (TABLA 5)

LPRINT : LPRINT " DIAGNÓSTICO POR CÓDIGO DORNENBERG-IEEE 1978 (TABLA 5) : "
LPRINT TAB(15) ; DGN11\$

* IMPRESIÓN DE DIAGNÓSTICO DE FALLA POR PATRONES BASICOS DE GENERACIÓN DE GASES Y
* ORDEN DE FALLA

LPRINT : LPRINT:
"DIAG.DE FALLA POR PATRONES BAS.DE GEN.DE GASES Y ORDEN DE FALLA(1menor,8mayor):"
LPRINT TAB(15) ; BGP\$: "("; BGP1; ")"
LPRINT CHR\$(12);
GOTO 300

* FIN DEL PROGRAMA

1200 END

4.2. Ejemplos de diagnósticos

Se realizó el seguimiento de tres Transformadores con sospecha de falla para tener el diagnóstico y poder decidir acerca del funcionamiento del mismo obteniendo los diagnósticos mostrados en la Tabla 13.

Tabla 13. Ejemplo de diagnósticos obtenidos con la corrida del programa

		EJEMPLO 1			EJEMPLO 2		EJEMPLO 3		
		Muestra A	Muestra B	Muestra C	Muestra A	Muestra B	Muestra A	Muestra B	Muestra C
Hidrógeno	H ₂	8	250	600	720	1930	3	32	230
Metano	CH ₄	20	100	220	2013	3050	9	30	160
Monóxido de Carbono	CO	7	60	86	1080	2136	212	305	2824
Dióxido de Carbono	CO ₂	400	2000	1300	2132	2980	4025	2700	8900
Etileno	C ₂ H ₄	3	38	280	726	3980	40	65	97
Etano	C ₂ H ₆	2	20	100	600	8120	8	18	29
Acetileno	C ₂ H ₂	0	10	420	0	22	18	55	190
Diagnóstico por Tres Relaciones ABB-1991		Falla Térmica 300 - 700 °C	Descarga de Baja Energía	Descarga de Baja Energía	Falla Térmica 300 - 700 °C	Falla Térmica 150 - 300 °C	Falla Térmica 150 - 300 °C	Descarga de Alta Energía	Descarga de Alta Energía
Diagnóstico por Cuatro Relaciones ABB-1991		Circ. Corriente Embobinado	Sobrecal. Gral de Conductores	Arco Eléctrico	Circ. Corriente Embobinado	Sobrecalentam 150 - 200 °C	Corrie Circ Núcleo y Tope Juntas Sobrecal	Arco Eléctrico	Arco Eléctrico
Diagnóstico por Dos Relaciones Morgan-Shaffer		Sin Diagnóstico	Sin Diagnóstico	Falla por Arqueo	Falla Térmica	Falla Térmica	Falla Térmica	Falla Térmica	Falla por Arqueo
Diagnósticos por Nomograma De Church	Protisis	Desc. y/o Piro	Arco	Protisis	Protisis	Protisis	Arco	Arco	Arco
	Desc. y/o Piro	Desc. y/o Piro	Arco	Desc. y/o Piro	Desc. y/o Piro	Desc. y/o Piro	Arco	Arco	Arco
	Protisis	Arco	Protisis	Protisis	Protisis	Protisis	Protisis	Protisis	Protisis
	Desc. y/o Piro	Desc. y/o Piro	Arco	Desc. y/o Piro	Desc. y/o Piro	Desc. y/o Piro	Arco	Arco	Arco
	Protisis	Protisis	Arco	Protisis	Protisis	Protisis	Protisis	Protisis	Arco
Diagnóstico por Tres Relaciones IEEE-1991		Sin Deg. de Cal	Sin Deg. de Cal	Sin Deg. de Cal	Con Deg. de Cal	Con Deg. de Cal	Sin Deg. de Cal	Sin Deg. de Cal	Sin Deg. de Cal
Diagnóstico por Cuatro Relaciones IEEE-1978		Falla Térmica < 700 °C	Falla Térmica < 700 °C	Falla Térmica < 700 °C	Falla Térmica < 700 °C	Arqueo-Descarga de Alta Energía	Arqueo-Descarga de Alta Energía	Arqueo-Descarga de Alta Energía	Arqueo-Descarga de Alta Energía
Diagnóstico por Dornenberg IEEE-1978		Circ. Corriente Embobinado	Sobrecal. Gral de Conductores	Arco Eléctrico con Flujo	Circ. Corriente Embobinado	Sobrecalentam 150 - 200 °C	Sobrecalentam 150 - 200 °C	Arco Eléctrico con Flujo	Arco Eléctrico con Flujo
Diagnóstico por PalBas De Gam De Gases ABB-1991		Descom Térmica (Hot Spot)	Descom Térmica (Hot Spot)	Descarga Eléc (Excepto Corona)	Descom Térmica (Hot Spot)	Descom Térmica (Hot Spot)	Descom Térmica (Hot Spot)	Descarga Eléc (Excepto Corona)	Descarga Eléc (Excepto Corona)
Orden de falla ABB-1991		Sobrecal de Aceite Moderado	Arco	Arco	Sobrecal de Aceite Moderado	Sobrecal de Aceite Moderado	Sobrecal de Aceite Moderado	Arco	Arco
		4	8	8	4	3	3	8	8

El Ejemplo 1 de la Tabla 13, muestra los resultados de un transformador nuevo que fue puesto en servicio, y muestras del aceite se tomaron a intervalos mensuales. Después de unas semanas de operación, el análisis de gases disueltos indicó un problema de sobrecalentamiento (Muestra A, B y C). El transformador fue sacado de operación cuando se excedieron los valores límite de los gases. Al realizar una inspección interna se localizó un perno de sujeción del núcleo que no había sido instalado correctamente. El sobrecalentamiento local fue causado por alta circulación de corriente del núcleo a tierra y el arqueo ocurrió entre el perno de sujeción y su placa de presión.

Las corridas del programa para las tres Muestras A, B y C del Ejemplo 1, están en las páginas 66, 67, 68, 69, 70 y 71 de esta tesis.

Una muestra inicial del Ejemplo 2 de la Tabla 13, muestra sobrecalentamiento severo involucrando material celulósico. El transformador tenía muchos años de operación sin indicativo de falla. Se tomó la decisión de muestrearlo un mes después (Muestra B) lo que confirmó una falla inminente. El transformador fue sacado de operación para inspección y reparación. Se concluyó que el continuo deterioro de una conexión trenzada defectuosa entre el conector de la boquilla y el devanado de alta tensión carbonizó, alrededor de la junta, el material aislante (Papel).

Las corridas del programa para las dos muestras del Ejemplo 2, están en las páginas 72, 73, 74 y 75 de esta tesis.

En el Ejemplo 3 se tiene el último resultado de un transformador muestreado anualmente (Muestra A) y se ordenó tomar otra muestra a los tres meses (Muestra B) y al mes siguiente se tomó la Muestra C. Como se notaba un deterioro continuo debido a arqueo y sobrecalentamiento local, una inspección fue ordenada después del análisis de la tercera muestra. Se descubrió que los contactos del cambiador de derivaciones sin carga fueron severamente erosionados, los soportes aislantes tenían rastros de carbón y los pernos roscados fueron picados por arqueo.

Las corridas del programa para las tres muestras del Ejemplo 3, están en las páginas 76, 77, 78, 79, 80 y 81 de esta tesis.

Capitulo Cuarto "Uso del programa"

INDUSTRIAS I. E. M. S. A. DE C.V.

ANALISIS PRC & TRC

FILE : MAR2596.BAS

FECHA DE MUESTREO : EJEMPLO 1
 FECHA DE ANALISIS : MUESTRA A
 LABORATORIO :
 ORDEN DE TALLER :

CONTENIDO DE GASES :		PPM-VOL/VOL (MUESTRA ACEITE)
HIDROGENO	- H2	8
METANO	- CH4	20
MONOXIDO DE CARBONO	- CO	7
BIOXIDO DE CARBONO	- CO2	420
ETILENO	- C2H4	3
ETANO	- C2H6	2
ACETILENO	- C2H2	0

RELACIONES :

CH4 / H2	2.5
C2H6 / CH4	.1
C2H4 / C2H6	1.5
C2H2 / C2H4	3.333333E-08

	CH4/H2	C2H6/CH4	C2H4/C2H6	C2H2/C2H4
CODIGO DE CUATRO REL. -	1	0	1	0
	C2H2/C2H4	CH4/H2	C2H4/C2H6	
CODIGO DE TRES REL. -	0	2	1	

DIAGNOSTICO POR CODIGO DE TRES RELACIONES :
 FALLA TERMICA, 300-700 OC

DIAGNOSTICO POR CODIGO DE CUATRO RELACIONES :
 CIRC. CORRIENTE EMBOBINADO

DIAGNOSTICO POR CODIGO DE M & S
 SIN DIAGNOSTICO

DIAGNOSTICO POR CODIGO DE NOMOGRAMA DE CHURCH :
 PIROLISIS " = -12.45145
 DESCARGA Y/O PIROLISIS m = 13.84184
 0787370 - - 500000

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

Capítulo Cuarto "Uso del programa"

PIROLISIS m = .6715229
DESCARGA Y/O PIROLISIS m = -10.58138
PIROLISIS m = 13.15423
SIN DEGRADACION DE CELULOSA m = 2.02576

DIAGNOSTICO POR CODIGO TRC-IEEE 1991 (TABLA 6) :
FALLA TERMICA < 700 oC

DIAGNOSTICO POR CODIGO PRC-IEEE 1978 (TABLA 7) :
CIRC. CORRIENTE EMBOBINADO

DIAGNOSTICO POR CODIGO DOERNENBERG-IEEE 1978 (TABLA 5) :
DESCOM. TERMICA (Hot Spots)

DIAG. DE FALLA POR PATRONES BAS.DE GEN. DE GASES Y ORDEN DE FALLA (1 menor. 8 ma
yor) :
SOBRECAL. DE ACEITE, MODERADO (4)

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Capítulo Cuarto "Uso del programa"

INDUSTRIAS I E M , S.A. DE C.V.

ANALISIS FRC & TRC

FILE : MAR2596.BAS

FECHA DE MUESTREO :
 FECHA DE ANALISIS :
 LABORATORIO : Ejemplo 1
 ORDEN DE TALLER : Muestra B

CONTENIDO DE GASES :	PPM-VOL/VOL (MUESTRA ACEITE)
HIDROGENO - H2	250
METANO - CH4	100
MONOXIDO DE CARBONO - CO	60
BIOXIDO DE CARBONO - CO2	2000
ETILENO - C2H4	18
ETANO - C2H6	20
ACETILENO - C2H2	10

RELACIONES :

CH4 / H2	.4
C2H6 / CH4	.2
C2H4 / C2H6	1.9
C2H2 / C2H4	.2631579

	CH4/H2	C2H6/CH4	C2H4/C2H6	C2H2/C2H4
CODIGO DE CUATRO REL. -	0	0	1	0
	C2H2/C2H4	CH4/H2	C2H4/C2H6	
CODIGO DE TRES REL. -	1	0	1	

DIAGNOSTICO POR CODIGO DE TRES RELACIONES :
 DESCARGA DE BAJA ENERGIA

DIAGNOSTICO POR CODIGO DE CUATRO RELACIONES :
 SOBRECARG. GENERAL DE CONDUCTORES

DIAGNOSTICO POR CODIGO DE M & S :
 SIN DIAGNOSTICO

DIAGNOSTICO POR CODIGO DE NOMOGRAMA DE CHURCH :
 DESCARGA Y/O PIROLISIS m = -1.484021
 DESCARGA Y/O PIROLISIS m = 1.241853

ARCO m = .6715225
DESCARGA Y/O PIROLISIS m = .5745559
PIROLISIS m = 1.030134
SIN DEGRADACION DE CELULOSA m = 1.653981

DIAGNOSTICO POR CODIGO TRC-IEEE 1991 (TABLA 6) :
FALLA TERMICA < 700 °C

DIAGNOSTICO POR CODIGO FRC-IEEE 1978 (TABLA 7) :
SOBRECAL. GENERAL DE CONDUCTORES

DIAGNOSTICO POR CODIGO DOERNENBERG-IEEE 1978 (TABLA 5) :
DESCOM. TERMICA (Hot Spots)

DIAG. DE FALLA POR PATRONES BAS.DE GEN. DE GASES Y ORDEN DE FALLA (1 menor, 8 mayor) :

ARCO(8)

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Capítulo Cuarto "Uso del programa"

INDUSTRIAS I E M , S.A. DE C.V.

ANALISIS FRC & TRC

FILE : MAR2596.BAS

FECHA DE MUESTREO :
 FECHA DE ANALISIS :
 LABORATORIO : Ejemplo 1
 ORDEN DE TALLER : Muestra C

CONTENIDO DE GASES :		PPM-VOL/VOL (MUESTRA ACEITE)
HIDROGENO	- H2	600
METANO	- CH4	220
MONOXIDO DE CARBONO	- CO	86
BIOXIDO DE CARBONO	- CO2	1300
ETILENO	- C2H4	280
ETANO	- C2H6	100
ACETILENO	- C2H2	420

RELACIONES :

CH4 / H2	.3666667
C2H6 / CH4	.4545455
C2H4 / C2H6	2.8
C2H2 / C2H4	1.5

	CH4/H2	C2H6/CH4	C2H4/C2H6	C2H2/C2H4
CODIGO DE CUATRO REL. -	0	0	1	1
	C2H2/C2H4	CH4/H2	C2H4/C2H6	
CODIGO DE TRES REL. -	1	0	1	

DIAGNOSTICO POR CODIGO DE TRES RELACIONES :
 DESCARGA DE BAJA ENERGIA

DIAGNOSTICO POR CODIGO DE CUATRO RELACIONES :
 ARCO ELECTRICO

DIAGNOSTICO POR CODIGO DE M & S :
 FALLA POR ARQUEO

DIAGNOSTICO POR CODIGO DE NOMOGRAMA DE CHURCH :

ARCO	m = .613603
ARCO	m = -.4218473
ARQUEO	m = .3777777

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

Capítulo Cuarto "Uso del programa"

ARCO m = -.7352912
ARCO m = 2.18388
ARCO m = -.9165244
SIN DEGRADACION DE CELULOSA m = 1.138548

DIAGNOSTICO POR CODIGO TRC-IEEE 1991 (TABLA 6) :
FALLA TERMICA < 700 oC

DIAGNOSTICO POR CODIGO FRC-IEEE 1978 (TABLA 7) :
ARCO ELECTRICO CON FLUJO

DIAGNOSTICO POR CODIGO DOERNENBERG-IEEE 1978 (TABLA 5) :
DESC. ELECTRICA (Excepto Corona)

DIAG. DE FALLA POR PATRONES BAS.DE GEN. DE GASES Y ORDEN DE FALLA (1 menor. 8 ma
yor) :

ARCO(8)

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Capítulo Cuarto "Uso del programa"

INDUSTRIAS I E M , S.A. DE C.V.

ANALISIS PRC & TRC

FILE : MAR2596.BAS

FECHA DE MUESTREO :
 FECHA DE ANALISIS :
 LABORATORIO : EJEMPLO 2
 ORDEN DE TALLER : MUESTRA A

CONTENIDO DE GASES :	PPM-VOL/VOL (MUESTRA ACEITE)
HIDROGENO - H2	720
METANO - CH4	2813
MONOXIDO DE CARBONO - CO	1080
BIOXIDO DE CARBONO - CO2	2132
ETILENO - C2H4	726
ETANO - C2H6	600
ACETILENO - C2H2	0

RELACIONES :

CH4 / H2	2.795833
C2H6 / CH4	.2980626
C2H4 / C2H6	1.21
C2H2 / C2H4	1.377411E-10

	CH4/H2	C2H6/CH4	C2H4/C2H6	C2H2/C2H4
CODIGO DE CUATRO REL. -	1	0	1	0
	C2H2/C2H4	CH4/H2	C2H4/C2H6	
CODIGO DE TRES REL. -	0	2	1	

DIAGNOSTICO POR CODIGO DE TRES RELACIONES :
 FALLA TERMICA, 300-700 OC

DIAGNOSTICO POR CODIGO DE CUATRO RELACIONES :
 CIRC. CORRIENTE EMBOBINADO

DIAGNOSTICO POR CODIGO DE M & S :
 FALLA TERMICA

DIAGNOSTICO POR CODIGO DE NOMOGRAMA DE CHURCH :
 PIROLISIS m = -15.75923
 DESCARGA Y/O PIROLISIS m = 18.30065
 PIROLISIS m = -1.381228

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

Capitulo Cuarto "Uso del programa"

PIROLISIS m = .7534868
DESCARGA Y/O PIROLISIS m = -13.26517
PIROLISIS m = 19.19206
CON DEGRADACION DE CELULOSA m = -.2955998

DIAGNOSTICO POR CODIGO TRC-IEEE 1991 (TABLA 6) :
FALLA TERMICA < 700 GC

DIAGNOSTICO POR CODIGO FRC-IEEE 1978 (TABLA 7) :
CIRC. CORRIENTE EMBOBINADO

DIAGNOSTICO POR CODIGO DOERNENBERG-IEEE 1978 (TABLA 8) :
DESCOM. TERMICA (Hot Spots)

DIAG. DE FALLA POR PATRONES BAN. DE GEN. DE GASES Y ORDEN DE FALLA (1 menor, 8 ma
yor) :
SOBRECAL. DE ACEITE, MODERADO(4)

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Capítulo Cuarto "Uso del programa"

INDUSTRIAS I E M , S.A. DE C.V

ANALISIS FRC & TRC

FILE : MAR2596.BAS

FECHA DE MUESTREO :
 FECHA DE ANALISIS :
 LABORATORIO : EJEMPLO 2
 ORDEN DE TALLER : MUESTRA B

CONTENIDO DE GASES :	PPM-VOL/VOL (MUESTRA ACEITE)
HIDROGENO - H2	1930
METANO - CH4	3050
MONOXIDO DE CARBONO - CO	2136
BIOXIDO DE CARBONO - CO2	2980
ETILENO - C2H4	1980
ETANO - C2H6	8120
ACETILENO - C2H2	22

RELACIONES :

CH4 / H2	1.580311
C2H6 / CH4	2.662295
C2H4 / C2H6	4901478
C2H2 / C2H4	5.527638E-03

	CH4/H2	C2H6/CH4	C2H4/C2H6	C2H2/C2H4
CODIGO DE CUATRO REL. -	1	1	0	0
	C2H2/C2H4	CH4/H2	C2H4/C2H6	
CODIGO DE TRES REL. -	0	2	0	

DIAGNOSTICO POR CODIGO DE TRES RELACIONES :
 FALLA TERMICA, 150-300 OC

DIAGNOSTICO POR CODIGO DE CUATRO RELACIONES :
 SOBRECALENTAMIENTO 150-200 OC

DIAGNOSTICO POR CODIGO DE M & S :
 FALLA TERMICA

DIAGNOSTICO POR CODIGO DE NOMOGRAMA DE CHURCH :
 PIROLISIS m = -2.404037
 DESCARGA Y/O PIROLISIS m = 5.320636
 PROTECTO m = 2.35007

Capítulo Cuarto "Uso del programa"

PIROLISIS m = .3353775
DESCARGA Y/O PIROLISIS m = .1.945318
PIROLISIS m = .5.51501
CON DEGRADACION DE CELULOSA m = .5352236

DIAGNOSTICO POR CODIGO TRC-IEEE 1951 (TABLA 6) :
ARQUEO-DESCARGA DE ALTA ENERGIA

DIAGNOSTICO POR CODIGO FRC-IEEE 1978 (TABLA 7) :
SOBRECALENTAMIENTO 150-200 °C

DIAGNOSTICO POR CODIGO DOERNENBERG-IEEE 1978 (TABLA 5) :
DESCOM. TERMICA (Hot Spots)

DIAG. DE FALLA POR PATRONES BAS.DE GEN. DE GASES Y ORDEN DE FALLA (1 menor, 8 ma
yor) :
SOBRECAL. DE ACEITE, MEDIANO (3)

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Capítulo Cuarto "Uso del programa"

INDUSTRIAS I E M , S.A. DE C.V.

ANALISIS PRC 3 TRC

FILE : MAR2596.BAS

FECHA DE MUESTREO :
 FECHA DE ANALISIS :
 LABORATORIO : EJEMPLO 3
 ORDEN DE TALLER : MUESTRA A

CONTENIDO DE GASES :	PPM-VOL/VOL (MUESTRA ACEITE)
HIDROGENO - H2	3
METANO - CH4	9
MONOXIDO DE CARBONO - CO	212
BIOXIDO DE CARBONO - CO2	4025
ETILENO - C2H4	40
ETANO - C2H6	8
ACETILENO - C2H2	18

RELACIONES :

CH4 / H2	3
C2H6 / CH4	.8888889
C2H4 / C2H6	5
C2H2 / C2H4	.45

	CH4/H2	C2H6/CH4	C2H4/C2H6	C2H2/C2H4
CODIGO DE CUATRO REL. -	2	0	2	0
	C2H2/C2H4	CH4/H2	C2H4/C2H6	
CODIGO DE TRES REL. -	1	2	2	

DIAGNOSTICO POR CODIGO DE TRES RELACIONES :
 FALLA TERMICA, 150-300 OC

DIAGNOSTICO POR CODIGO DE CUATRO RELACIONES
 CRRTE.CIRC.NUCLEO Y TOE., JUNTAS SOBRECAL.

DIAGNOSTICO POR CODIGO DE M & S :
 FALLA TERMICA

DIAGNOSTICO POR CODIGO DE NOMOGRAMA DE CHURCH :
 ARCO m = 2.188129
 DESCARGA Y/O PIROLISIS m = 6.607214E-02
 NYBYTGE = 2.138857

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

Capitulo Cuarto "Uso del programa"

PIROLISIS m = .8051413
ARCO m = 1.309028
PIROLISIS m = .4554084
SIN DEGRADACION DE CELULOSA m = 1.26574

DIAGNOSTICO POR CODIGO TRC-IEEE 1991 (TABLA 6)
ARQUEO-DESCARGA DE ALTA ENERGIA

DIAGNOSTICO POR CODIGO FRC-IEEE 1978 (TABLA 7)
SOBRECALENTAMIENTO 150-200 oC

DIAGNOSTICO POR CODIGO DOERNENBERG-IEEE 1976 (TABLA 5)
DESCOM. TERMICA (Hot Spots)

DIAG. DE FALLA POR PATRONES BAS.DE GEN. DE GASES Y ORDEN DE FALLA (1 menor, 8 ma
yor) :

SOBRECAL. DE ACEITE, MEDIANO; 3 ,

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Capítulo Cuarto "Uso del programa"

INDUSTRIAS I E M . S.A. DE C.V

ANALISIS FRC & TRC

FILE : MAR2596.BAS

FECHA DE MUESTREO :
 FECHA DE ANALISIS :
 LABORATORIO : EJEMPLO 3
 ORDEN DE TALLER : MUESTRA B

CONTENIDO DE GASES :	PPM-VOL/VOL (MUESTRA ACEITE)
HIDROGENO - H2	32
METANO - CH4	32
MONOXIDO DE CARBONO - CO	125
BIOXIDO DE CARBONO - CO2	130
ETILENO - C2H4	62
ETANO - C2H6	18
ACETILENO - C2H2	55

RELACIONES :

CH4 / H2	.9375
C2H6 / CH4	.6
C2H4 / C2H6	3.611111
C2H2 / C2H4	.8461539

	CH4/H2	C2H6/CH4	C2H4/C2H6	C2H2/C2H4
CODIGO DE CUATRO REL. -	0	0	2	1
	C2H2/C2H4	CH4/H2	C2H4/C2H6	
CODIGO DE TRES REL. -	1	0	2	

DIAGNOSTICO POR CODIGO DE TRES RELACIONES :
 DESCARGA DE ALTA ENERGIA

DIAGNOSTICO POR CODIGO DE CUATRO RELACIONES :
 ARCO ELECTRICO

DIAGNOSTICO POR CODIGO DE M & S :
 FALLA TERMICA

DIAGNOSTICO POR CODIGO DE NOMOGRAMA DE CHURCH :
 ARCO m = 1.271921
 ARCO m = .1731615
 BROTADO m = 1.122104

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

ARCO m = -4.729837E-02
ARCO m = 1.560558
ARCO m = -2210417
SIN DEGRADACION DE CELULOSA m = .7394527

DIAGNOSTICO POR CODIGO TRC-IEEE 1991 (TABLA 4)
ARQUEO-DESCARGA DE ALTA ENERGIA

DIAGNOSTICO POR CODIGO FRC-IEEE 1978 (TABLA 7) :
ARCO ELECTRICO CON FLUJO

DIAGNOSTICO POR CODIGO DOERNENBERG-IEEE 1978 (TABLA 5) :
DESC. ELECTRICA (Excepto Corona)

DIAG. DE FALLA POR PATRONES BAS.DE GEN. DE GASES Y ORDEN DE FALLA (1 menor, 8 ma
yor) :

ARCO(8)

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Capítulo Cuarto "Uso del programa"

INDUSTRIAS I E M , S.A. DE C.V.

ANALISIS FRC & TRC

FILE : MARIS96.BAS

FECHA DE MUESTREO :
 FECHA DE ANALISIS :
 LABORATORIO : EJEMPLO 3
 ORDEN DE TALLER : MUESTRA C

CONTENIDO DE GASES :	PPM-VOL/VOL (MUESTRA ACEITE)
HIDROGENO - H2	230
METANO - CH4	160
MONOXIDO DE CARBONO - CO	2824
BIOXIDO DE CARBONO - CO2	8900
ETILENO - C2H4	97
ETANO - C2H6	29
ACETILENO - C2H2	190

RELACIONES :

CH4 / H2	.6956522
C2H6 / CH4	.18125
C2H4 / C2H6	3.344828
C2H2 / C2H4	1.958763

	CH4/H2	C2H6/CH4	C2H4/C2H6	C2H2/C2H4
CODIGO DE CUATRO REL. -	0	0	2	1
	C2H2/C2H4	CH4/H2	C2H4/C2H6	
CODIGO DE TRES REL. -	1	0	2	

DIAGNOSTICO POR CODIGO DE TRES RELACIONES :
 DESCARGA DE ALTA ENERGIA

DIAGNOSTICO POR CODIGO DE CUATRO RELACIONES :
 ARCO ELECTRICO

DIAGNOSTICO POR CODIGO DE M & S
 FALLA POR ARQUEO

DIAGNOSTICO POR CODIGO DE NOMOGRAMA DE HURON
 ARCO m = 734982
 ARCO m = 7694364
 HYDRATE m = 1510027

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

ARCO m = -.2659631
ARCO m = 1.612699
ARCO m = -1.250309
SIN DEGRADACION DE CELULOSA m = 2.706864E-02

DIAGNOSTICO POR CODIGO TRC-IEEE 1991 (TABLA 6)
ARQUEO-DESCARGA DE ALTA ENERGIA

DIAGNOSTICO POR CODIGO FRC-IEEE 1978 (TABLA 7)
ARCO ELECTRICO CON FLUJO

DIAGNOSTICO POR CODIGO DOERNENBERG-IEEE 1976 (TABLA 5)
DESC. ELECTRICA (Excepto Corona)

DIAG. DE FALLA POR PATRONES BAS.DE GEN. DE GASES Y ORDEN DE FALLA (1 menor. 8 mayor)

ARCO (8)

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CAPÍTULO

QUINTO

Conclusiones y

Trabajos

posteriores

5.1. Conclusiones

Con la elaboración de este programa y los resultados que se obtienen se puede afirmar que el objetivo planteado al inicio se ha cumplido. Con las corridas del programa mostradas en el punto 4.2. de esta tesis se pudo verificar la correcta asignación de valores, códigos, diagnósticos de falla etc. Por lo que se confirma que este programa es perfectamente utilizable para diagnosticar fallas declaradas así como fallas incipientes en transformadores inmersos en aceite.

Aunque al iniciar este trabajo se intento prever todos los inconvenientes que pudieran presentarse, se tuvieron que hacer modificaciones durante el desarrollo, como fue el eliminar las posibles divisiones por cero que se presentaban cuando alguno de los gases que se requieren para este cálculo no estaba presente en la cromatografía de gases, y se tuvo que realizar una asignación mínima de los gases en estas condiciones, fuera del rango de detección de los cromatógrafos en el mercado. Otro inconveniente presentado en el desarrollo fue la posibilidad de teclear un valor negativo en ppm de cualquiera de los gases, lo cual no puede ser posible ya que el valor extremo es que el gas no exista por lo que su valor sería cero, pero nunca se pudo tener valor negativo de concentración de gases, entonces se opto por parar la corrida y mandar mensaje de error al teclear los valores.

Por otro lado, se consiguieron métodos de diagnóstico de 1958 hasta métodos de diagnóstico de 1991, por lo que se concluye que los cambios en los métodos utilizados en el transcurso del tiempo son mínimos ya que en las 5 décadas recientes el Normograma se usa adecuadamente, así como los métodos de Rogers y Dornenberg y los cambios se refieren principalmente a actualizaciones con ejemplos recientes de los diagnósticos, por lo que la vigencia de este programa es adecuado.

En lo que respecta a la presentación de resultados, se hizo de una forma sencilla y que se pudiera entender fácilmente, así como tener la posibilidad de comparar los resultados de diferentes métodos para poder emitir un diagnóstico general, con lo que se cumplió otro de los objetivos iniciales planteados.

El programa puede correr en disco de 3 ½ donde debe estar incluido el ejecutable y el auxiliar BRUN45. También puede correr si se encuentra en un subdirectorio del disco duro en el que se deben incluir su ejecutable y el auxiliar BRUN45. Esto nos permite cumplir otro de los objetivos planteados ya que para poder tomar las decisiones en la operación de los transformadores, muchas de las veces se requiere tomar decisiones en el campo de aplicación y normalmente se tiene acceso a una computadora, y por sencilla que esta sea, el programa puede correr.

5.2. Trabajos posteriores

Como cualquier trabajo desarrollado este también es perfectible ya que como sugerencias de trabajos posteriores se pueden plantear los siguientes:

A).- Con corridas continuas de este programa se podrían almacenar los datos de los transformadores analizados, así como su diagnóstico de falla sugerido y en caso necesario la falla real que se presentó, para poder tener en algún momento una base de datos que nos permitiera comparar los comportamientos de los transformadores analizados hasta llegar a tener un sistema experto que permita predecir con mayor exactitud las posibles fallas en transformadores.

B).- Pasar este programa a un ambiente Windows que nos permita hacer uso en línea, junto con los nuevos analizadores de gases en línea que se están desarrollando. Lo que permitirá tener resultados de asignaciones de falla instantánea, sin tener que esperar resultados de un laboratorio externo al lugar donde se encuentra trabajando el equipo analizado.

C).- En base a los resultados obtenidos de los incisos A) y B), sería conveniente poder acceder estos resultados de manera remota en los cuartos de control o vía Internet, y que a demás se puedan generar señalizaciones por una detección de falla alarmante en el transformador analizado.

D).- Actualizar el programa con los métodos nuevos que surjan para el análisis de falla en transformadores inmersos en aceite, e incluir los métodos ya usados y que no están incluidos en este programa.

APÉNDICES

APÉNDICES

Información original

**Localización
En Tesis**

Figura original del Nomograma de Church de Industrias IEM.

Figura 9, Pág. 17

Figura 2b
Transformer fault detection service (Bulletin MS-25).
A guide to the interpretation of transformer fault gas data. [11]

Figura 10, Pág. 21

Tabla 6
IEEE Guide for the Interpretation of Gases Generated in Oil-Immersed Transformers. [16]

Tabla 8, Pág. 25

Tabla II A
Gas Generation in Power Transformers.
Theory and Cause. Practical Diagnosis. [17]

Tabla 4, Pág. 23

Tabla II B
Gas Generation in Power Transformers.
Theory and Cause. Practical Diagnosis. [17]

Tabla 5, Pág. 23

Tabla III
Gas Generation in Power Transformers.
Theory and Cause. Practical Diagnosis. [17]

Tablas 9 y 10, Pág. 25

Tabla IV
Gas Generation in Power Transformers.
Theory and Cause. Practical Diagnosis. [17]

Tabla 11, Pág. 26

Tabla 5
Detection and determination of generated gases in Oil-immersed transformers and their relation to the serviceability of the equipment. [15]

Tabla 6, Pág. 24

Tabla 7
Detection and determination of generated gases in Oil-immersed transformers and their relation to the serviceability of the equipment. [15]

Tabla 7, Pág. 24

Figura 2b: Del original de la página 19 del artículo "Transformer fault detection service (Bulletin MS-25). A guide to the interpretation of transformer fault gas data." [11]

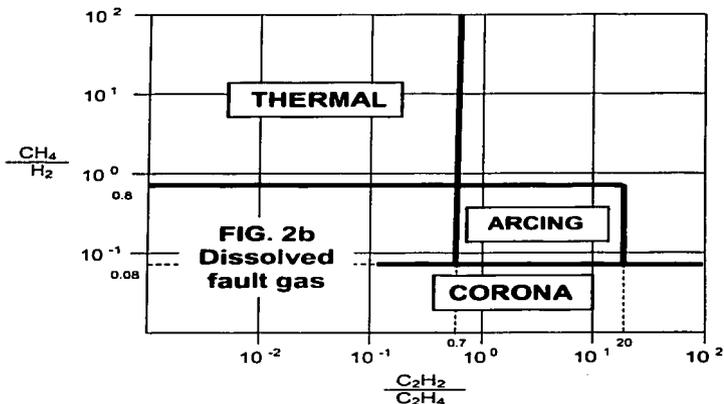


Tabla 6: Del original de la página 26 del artículo "IEEE Guide for the Interpretation of Gases Generated in Oil-Immersed Transformers." [16]

Table 6
Rogers Ratios for Key Gases

Case	R2 C ₂ H ₂ / C ₂ H ₄	R1 CH ₄ / H ₂	R5 C ₂ H ₄ / C ₂ H ₆	Suggested Fault Diagnosis
0	<0.1	>0.1 <1.0	<1.0	Unit normal
1	<0.1	<0.1	<1.0	Low-energy density arcing - PD (See NOTE)
2	0.1- 3.0	0.1- 1.0	>3.0	Arcing-High-energy discharge
3	<0.1	>0.1 <1.0	1.0 3.0	Low temperature thermal
4	<0.1	>1.0	1.0- 3.0	Thermal <700 °C
5	<0.1	>1.0	>3.0	Thermal >700 °C

Tabla II A, Tabla II B, Tabla III y Tabla IV: Del original de la página 5 del artículo "Gas Generation in Power Transformers. Theory and Cause. Practical Diagnosis." [17]

**Tabla II A:
Four Ratio Code**

Ratio	Ratio Range	Code
CH ₄ / H ₂	<=0.1	5
	0.1-1.0	0
	1.0-3.0	1
	>=3.0	2
C ₂ H ₆ / CH ₄	<1.0	0
	>=1.0	1
C ₂ H ₄ / C ₂ H ₆	<1.0	0
	1.0-3.0	1
	>3.0	2
C ₂ H ₂ / C ₂ H ₄	<0.5	0
	0.5-3.0	1
	>3.0	2

**Tabla II B:
Fault Diagnosis**

CH ₄ / H ₂	C ₂ H ₆ / CH ₄	C ₂ H ₄ / C ₂ H ₆	C ₂ H ₂ / C ₂ H ₄	Diagnosis
0	0	0	0	Normal Deterioration
5	0	0	0	Partial Discharge
1/2	0	0	0	Slight Overheating, Below 150°C
1/2	1	0	0	Overheating, 150-200°C
0	1	0	0	Overheating, 200-300°C
0	0	1	0	General Conductor Overheating
1	0	1	0	Winding Circulation Currents
1/2	0	2	0	Core and Tank Circulating Currents Overheated Joints
0	0	0	1	Flashover without Power Follow Through
0	0	1/2	1/2	Arc with Power Follow Through
0	0	2	2	Continuous Sparking to Floating Potential
5	0	0	1/2	Partial Discharge with Tracking

**Tabla III:
Three Ratio Code and Patterns**

Ratio Codes of Characteristic Gases		
C ₂ H ₂ / C ₂ H ₄	CH ₄ / H ₂	C ₂ H ₄ / C ₂ H ₆
0	1	0
1	0	0
1	2	1
2	2	2

Ratio Ranges for Codes

<0.1

0.1-1

1-3

>3

Characteristic Fault

0 No Fault	0	0	0
1 Partial discharges of low energy	0	1	0
2 Partial discharges of high energy density	1	1	0
3 Discharges of low energy	1-2	0	1-2
4 Discharges of high energy	1	0	2
5 Thermal Fault, 150°C	0	0	1
6 Thermal Fault, 150°C-300°C	0	2	0
7 Thermal Fault, 300°C-700°C	0	2	1
8 Thermal Fault, 700°C	0	2	2

**Tabla IV:
Basic Gas Generation Patterns**

Increasing Order of Severity	Fault Patterns	Pattern No. In Table III
1	Normal	0
2	Conductor Overheating	5
3	Oil Overheating, Mild	6
4	Oil Overheating, Moderate	7
5	Oil Overheating, Severe	8
6	Partial Discharge, Low Energy	1
7	Partial Discharge, High Energy	2
8	Arcing	3, 4

Tabla 5 y Tabla 7: Del original de la página 23 del artículo "Detection and determination of generated gases in Oil-immersed transformers and their relation to the serviceability of the equipment." [15]

**Tabla 5
Dissolved Gases (Gas Extracted from Oil)
Dornenberg Method**

Fault Type \ Ratio	CH_4 / H_2	$\text{C}_2\text{H}_2 / \text{C}_2\text{H}_4$	$\text{C}_2\text{H}_6 / \text{C}_2\text{H}_2$	$\text{C}_2\text{H}_2 / \text{CH}_4$
Thermal Decomposition (Hot Spots)	> 1.0	< 0.75	> 0.4	< 0.3
Electrical discharges (Except corona)	> 0.1 < 1.0	> 0.75	< 0.4	> 0.3
Corona	< 0.1	Not significant	> 0.4	< 0.3

**Tabla 7
Suggested Diagnosis from Gas Ratios – Rogers Ratio Method**

CH_4 / H_2	$\text{C}_2\text{H}_6 / \text{CH}_4$	$\text{C}_2\text{H}_4 / \text{C}_2\text{H}_6$	$\text{C}_2\text{H}_2 / \text{C}_2\text{H}_4$	Suggested Diagnosis
>0.1 <1.0	<1.0	<1.0	<0.5	Normal
<= 0.1	<1.0	<1.0	<0.5	Partial discharge – Corona
<= 0.1	<1.0	<1.0	>=0.5 <3.0 or >= 3	Partial discharge – Corona with tracking
>0.1 <1.0	<1.0	>= 3	>= 3	Continuous discharge
>0.1 <1.0	<1.0	>=1.0 <3.0 or >= 3	>=0.5 <3.0 or >= 3	Arc – With power follow through
>0.1 <1.0	<1.0	<1.0	>=0.5 <3.0	Arc – No power follow through
>=1.0 <3.0 or >= 3	<1.0	<1.0	<0.5	Slight overheating – to 150 °C
>=1.0 <3.0 or >= 3	>=1.0	<1.0	<0.5	Overheating 150 – 200 °C
>0.1 <1.0	>=1.0	<1.0	<0.5	Overheating 200 – 300 °C
>0.1 <1.0	<1.0	>=1.0 <3.0	<0.5	General conductor overheating
>=1.0 <3.0	<1.0	>=1.0 <3.0	<0.5	Circulating currents in windings
>=1.0 <3.0	<1.0	>= 3	<0.5	Circulating currents core and tank; overloaded joints

GLOSARIO

GLOSARIO

ABB: Siglas de Asea Brown Boveri Power Technology and Develop Company Inc. (Compañía incorporada de tecnología y desarrollo de Asea Brown Boveri).

ABB Power T&D Company Inc.: Asea Brown Boveri Power Technology and Develop Company Incorporation (Compañía incorporada de tecnología y desarrollo de Asea Brown Boveri).

ANSI/IEEE: Siglas de American National Standards Institute / Institute of Electrical and Electronics Engineers (Instituto Nacional Americano de Normas / Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos).

ASTM Standard Specification: Siglas de American Society for Testing and Materials Standard Specification (Sociedad Americana para Pruebas y Materiales, Normas y Especificaciones).

CMD: Cross Machine Direction (En dirección perpendicular a la fabricación en la maquina).

DGA: Siglas de Dissolved Gas Analysis (Análisis de Gases Disueltos).

Hidrólisis: Concentración de agua.

log-log: escala logarítmica en el eje "x" y escala logarítmica en el eje "y".

MD: Machine Direction (En dirección de la fabricación en la maquina).

Morgan & Schaffer (Compañía Canadiense que como nombre lleva los apellidos de sus fundadores).

M&S: Siglas de Morgan & Schaffer (Compañía Canadiense que como nombre lleva los apellidos de sus fundadores).

Pirólisis: Degradación por temperatura.

ppm: partes por millón.

ppv: porcentaje de partes volumétrico.

Westing-House: Compañía fabricante de equipo eléctrico. casa de occidente.

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA

- 1.- Transformers for the Electric Power Industry
Richard L. Bean
Nicholas Chackan, Jr.
Harold R. Moore
Edward C. Wentz
Ed. MCGRAW-HILL BOOK COMPANY, INC.
1959
- 2.- Termodinámica
Cuarta Edición
Kenneth Wark
Ed. MCGRAW-HILL
1985
- 3.- Métodos numéricos
Rodolfo Luthe
Antonio Olivera
Fernando Schutz
Ed. LIMUSA
Quinta reimpresión: 1985
- 4.- Termodinámica
Tercera Edición
Irving Granet
Ed. PRENTICE HALL
1989
- 5.- Mecánica de fluidos
Segunda Edición
J. A. Roberson
C. T. Crowe
Ed. INTERAMERICANA
1983
- 6.- Apuntes de Termodinámica
José Enrique Larios Canale
Jorge Ruiz de Esparza Calderón
Pedro Sánchez Aldana Pérez
Ed. UNAM, FACULTAD DE INGENIERIA, DIVISION DE CIENCIAS
BASICAS, DEPARTAMENTO DE FISICA
1982
- 7.- Transferencia de calor aplicada a la ingeniería
James R. Welty
Ed. LIMUSA
Primera reimpresión: 1981

- 8.- Transformerboard
H.P. Moser
V. Dahinden
H. Friederich
H. Künast
K. Lennarz
U. Leukens
O. Potocnik
Translated by W. Heidemann
Ed. Special print of SCIENTIA ELECTRICA
Weidmann Lim.
St Johnsbury, Vermont, U.S.A.
1979
- 9.- Transformerboard II, Properties and application of transformerboard of different fibres
H.P. Moser
V. Dahinden
H. Brechna
P. Brupbacher
F. Derler
H. Friederich
G. Heldmaier
H. Hummel
H. Kirch
H. Künast
O. Potocnik
E. Schneider
F. Züger
Graphics DOK Man, Zurich
Ed. Printing Styria, Graz (from discs)
1987
- 10.- Manual de fórmulas técnicas
Kurt Gieck
Ed. REPRESENTACIONES Y SERVICIOS DE INGENIERIA, S.A.
18ª. Edición, 1981
- 11.- Transformer fault detection service (Bulletin MS-25).
A guide to the interpretation of transformer fault gas data.
James E. Morgan. Ph.D.
Morgan Schaffer Corp.
- 12.- Un método nomográfico para la evaluación del desarrollo de fallas en equipo eléctrico lleno de aceite usando el análisis de los gases disueltos.
J.O. Church, P.E.
T.J. Hauptert, Ph.D.
Fredi Jakob, Ph.D.
CFE, 1982
-

Bibliografia

- 13.- Mineral insulating oil in transformers
T.O. Rouse
Feature Article
IEEE Electrical Insulation Magazine (0883-7554/1998)
1998
- 14.- A review of paper aging in power transformers
D.H. Shroff, M.Sc.(Eng.), M.I.E.E.
A.W. Stannett, B.Sc.(Eng.), C.Eng., F.I.E.E.
IEE PROCEEDINGS, Vol. 132, Pt.C. No. 6, November 1985
1985
- 15.- Detection and determination of generated gases in Oil-immersed transformers and their relation to the serviceability of the equipment
Sponsor, Transformers Committee of the IEEE Power Engineering Society
Published by The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.,
345 East 47th Street, New York, Ny 10017
Approved June 2, 1977.
- 16.- IEEE Guide for the Interpretation of Gases Generated in Oil-Immersed transformers
Sponsor, Transformers Committee of the IEEE Power Engineering Society
Published by the Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.,
345 East 47th Street, New York, Ny 10017, USA.
Approved November June 27, 1991
- 17.- Gas Generation in Power Transformers. Theory and Cause. Practical Diagnosis
T.V. Oommen
G.L. Burden
Published by ABB Power T&D Company Inc., Power Transformer Division, 3500 S. Cowan Road, Muncie, IN 47302, USA.
1992