



REPÚBLICA DE CUBA

MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR

INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO

“Dr. Antonio Núñez Jiménez”

FACULTAD DE METALURGIA - ELECTROMECAÁNICA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA.

Trabajo de Diploma

En opción al título de

Ingeniero Eléctrico.

Tema: Implementación de una herramienta de monitoreo online (HYDROCAL 1003), en los transformadores principales, de la Empresa Termoeléctrica “Lidio Ramón Pérez”.

Autor: Yasmany Castañeda Cruz.

Tutor(es): Ing. Yetsy Silva Cala.

Moa, 2014

Año 56 de La Revolución.

DECLARACIÓN DE AUTORIDAD.

Yo:

Diplomante: Yasmany Castañeda Cruz.

Y

Tutor: Ing. Yetsy Silva Cala.

Autores de este Trabajo de Diploma titulado:

- Implementación de una herramienta de monitoreo online (HYDROCAL 1003), en los transformadores principales, de la Empresa Termoeléctrica “Lidio Ramón Pérez”.

Certificamos su propiedad intelectual a favor del Instituto Superior Minero Metalúrgico (ISMM) de Moa “Dr. Antonio Núñez Jiménez”, el cual podrá hacer uso del mismo para fines docentes y educativos.

_____ Yasmany Castañeda
Cruz. Ing. Yetsy Silva Cala. (Diplomante) (Tutor)

PENSAMIENTO

“Para ser exitoso no tienes que hacer cosas extraordinarias, haz cosas ordinarias extraordinariamente bien”.

Ernesto Che Guevara

DEDICATORIA.

Dedico mi Trabajo de Diploma con todo amor y cariño.

A mis padres Jesús Castañeda Vargas y Walma Ester Cruz Añel que con su dedicación apoyaron mi larga carrera universitaria.

A mis amigos y compañeros de clase que me alentaron a seguir mis estudios.

A mi hermano Yadian Castañeda Cruz y su esposa por su ayuda extraordinaria.

A mi tutor Yetsy Silva Cala y consultante Osmany Pérez Avallé que sin su ayuda no hubiese sido posible la realización de este trabajo.

A los profesores del departamento de Eléctrica por forjarme como un profesional.

A la Revolución Cubana que me dio la oportunidad de realizar estudio superiores.

AGRADECIMIENTOS

Deseo agradecer de todo corazón a todas aquellas personas que de una forma u otra dedicaron parte de su empeño en mi formación profesional.

RESUMEN.

El presente trabajo muestra un nuevo sistema de monitoreo online de los transformadores principales 1 y 2 de alta tensión (AT) en la Empresa Termoeléctrica Lidio Ramón Pérez, en la localidad de Felton, municipio Mayarí, provincia de Holguín, el cual permite conocer en tiempo real, las condiciones de operación actual y el estado del sistema aislante de estos. Con la monitorización en tiempo real de los principales gases de defecto como hidrógeno (H_2), monóxido de carbono (CO) y la humedad en el aceite pueden llevarse a cabo mejoras de seguridad y rendimientos de estas máquinas. Teniendo en cuenta que estos transformadores son imprescindibles en el proceso de generación y transmisión de la energía eléctrica que entrega al Sistema Electroenergético Nacional la Termoeléctrica de esta localidad, se hace más que necesario el análisis regular cromatográfico y el análisis periódico "off line" de la humedad en el aceite aislante.

ABSTRACT

The present work shows a new system the monitory online of the transformers main 1 and 2 of high tension (AT) in the Thermoelectric Company I Fight Ramón Pérez, in the town of Felton, municipality Mayarí, county of Holguin, which allows knowing in real time, the conditions of current operation and the state of the insulating system of these. With the monitoritation in real time of the main defect gases like hydrogen (H₂), monoxide of carbon (CO) and the humidity in the oil can be taken to end improvements of security and yields of these machines. Keeping in mind that these transformers are indispensable in the generation process and transmission of the electric power that he/she gives to the System National Electroenergético the Thermoelectric of this town, it is made more than necessary the analysis regular cromatográfico and the periodic analysis "off line" of the humidity in the insulating oil.

Índice

Introducción General.....	1
Capítulo 1: Marco Teórico conceptual.....	5
1. Transformadores principales 1AT y 2AT.....	5
1.1 Transformador principal de salida (1AT-01).	5
1.1.1 Agregados del transformador 1AT.....	7
1.1.2 Sistema de refrigeración del 1AT.....	7
1.2 Transformador principal de Salida (2AT-01).....	9
1.2.1 Agregados del transformador 2AT.	11
1.2.2 Sistema de refrigeración del 2AT-01.	11
1.2.3 Transformador baja tensión (1BT-01).....	12
1.2.4 Transformador de Arranque (OAT-01).....	14
1.2.5 Transformador de Baja Tensión (2BT-01).	15
1.3 Mantenimiento a los transformadores en la Empresa Termoeléctrica Lidio Ramón”. ..	20
1.3.1 Pruebas eléctricas de campo	22
1.3.2 Pruebas Físico-Químicas	22
1.3.3 Análisis de gases disueltos	22
1.4 Conclusiones del capítulo.....	23
Capítulo 2. Materiales y métodos.....	24
2.1 Causas principales de la formación de gases	24
2.1.1 Descomposición térmica del aceite	25
2.1.2 Descomposición térmica de la celulosa.....	25
2.1.3 Corona en aceite.....	26
2.1.4 Arcos en aceite.....	27
2.2 Análisis de los gases disueltos y la humedad en el aceite.....	27
2.2.1 Procedimiento para detección de los gases disueltos en el aceite.	28
2.2.2 Deficiencias de este procedimiento.....	31
2.2.3 Análisis de la humedad.	31
2.2.4 Prueba de ensayo.	32
2.2.5 Descripción de la herramienta de monitoreo HIDROCAL 1003.....	32

Implementación de una herramienta de monitoreo en línea (HYDROCAL 1003), en los transformadores principales, de la Empresa Termoeléctrica “Lidio Ramón Pérez”.

2.2.6	Datos técnicos HYDROCAL 1003.....	35
2.2.7	Unidad de medición del HYDROCAL 1003	36
2.3	Herramienta de Servicio del HYDROCAL 1003.....	36
2.4	Instalación en los transformadores.	37
2.5	Prueba de ensayo.....	38
2.6	Conclusiones del capítulo.....	39
Capítulo 3. Resultados y valoración.....		40
3.1	Introducción.	40
3.2	Mejoras en el funcionamiento de los transformadores 1 y 2AT de la Termoeléctrica Lidio Ramón Pérez.	40
3.3	Beneficios que se obtienen al implementar el HIDROCAL 1003.	40
3.3.1	Implementación del HYDROCAL 1003.	40
3.4	Ventajas principales (HYDROCAL 1003).....	41
3.5	Comparación de los resultados obtenidos.....	41
3.6	Diagnóstico a transformadores.....	42
3.7	Valoración económica.....	42
3.8	Importancia del estado actual del sistema de aislamiento.....	43
3.9	Valoración ecológica.	44
3.10	Valoración Social.	45
3.11	Conclusiones del capítulo.....	45
Conclusiones generales.		46
Recomendaciones.....		47
Bibliografía:		48
Anexo		49

Introducción General.

El cambio de política de muchas empresas ha ejercido una considerable influencia en los apartados de mantenimiento y operación de sus máquinas eléctricas. Estas han visto en muchos casos reducidas las labores activas de mantenimiento consiguiendo reducir costos a corto plazo, pero generando un mayor riesgo de uso de las mismas a medio y largo plazo. Las condiciones de operación también han cambiado en el sentido de sacar el máximo partido a cada máquina funcionando las mismas a los máximos regímenes posibles y en ocasiones por encima de la nominal. Este marco de trabajo tiende a envejecer prematuramente el parque de máquinas y si estas no son objeto de un mínimo programa de mantenimiento, que detecte situaciones de riesgo o de limitación de uso, la situación resultante conducirá a medio plazo a un irregular campo de maniobra (averías, paradas no programadas, interrupciones por suministro...) que hoy en día son tan habituales y negativas ante el cliente final.

El transformador de potencia es una máquina eléctrica diseñada alrededor de un ciclo de vida útil de unos 30 años. Esto no quiere decir que no se pueda continuar su explotación más allá de este tiempo, de hecho, gran parte del parque de operación eléctrica e industrial viene operando con máquinas fiables más allá de este límite. Lo realmente importante es conocer el estado y evolución del transformador para estar en condiciones de poderlo operar con la máxima seguridad y saber si es apropiado continuar su uso, conocer la capacidad de sobrecarga, limitar la potencia, reacondicionarlo o en su caso, retirarlo del servicio activo.

La Empresa Termoeléctrica Lidio Ramón Pérez de la localidad de Felton, cuenta con 2 transformadores elevadores de potencia principales 1 AT y 2 AT, cuya función esencial es elevar el voltaje de salida de los generadores de 15,7 Kv a 240,0 Kv $\pm 2 * 2.5 \%$ que es el voltaje nominal de distribución del Sistema Electroenergético Nacional.

El análisis de los gases disueltos en aceite está reconocido como la herramienta más útil para la detección y diagnóstico precoz de las faltas incipientes en los transformadores. Estos sistemas de monitoreo en línea permiten conocer en tiempo

real las condiciones de operación y el estado del sistema aislante de los transformadores principales. Con la monitorización en línea de los principales gases (hidrógeno (H₂), monóxido de carbono (CO)) y la humedad pueden llevarse a cabo mejoras de seguridad. Independientemente de que existe el análisis regular cromatográfico y el análisis periódico "off line" de la humedad en el aceite aislante, la monitorización en línea de los transformadores de potencia gana cada vez más importancia a nivel mundial.

Situación Problemática.

Los transformadores de potencia 1AT y 2AT de la Empresa Termoeléctrica Lidio Ramón Pérez, están sujetos a esfuerzos que deterioran su sistema de aislamiento. Las causas principales de degradación son: temperatura excesiva, presencia de oxígeno y humedad, que combinada con los esfuerzos eléctricos, aceleran el proceso de deterioro de estos. Sin embargo en la actualidad no se detectan de forma oportuna, al no emplearse una herramienta de monitoreo en línea que permita diagnosticar el tipo de degradación de los transformadores en tiempo real.

Objeto de investigación.

Transformadores de potencia.

Problema de la investigación.

¿Cómo diagnosticar en tiempo real el tipo de degradación en los transformadores 1AT y 2AT?

Campo de acción.

Sistema de Monitorización de los Transformadores de potencia.

Objetivo General.

Proponer la implementación de una herramienta de monitoreo en línea a transformadores de potencia (HYDROCAL 1003).

Hipótesis.

Con la implementación de una herramienta de monitoreo online (HYDROCAL 1003) en la Empresa Termoeléctrica Lidio Ramón Pérez, se pueden diagnosticar de forma oportuna el tipo de degradación en los transformadores 1AT y 2AT.

Objetivos Específicos.

- Diagnosticar el sistema de monitoreo actual a transformadores de potencia principales de la Empresa.
- Implementar la herramienta de monitoreo (HYDROCAL 1003).
- Detectar degradaciones incipientes en los transformadores de potencia principales.

Métodos de investigación.

Para llevar a cabo con éxito esta investigación se utilizaron diferentes métodos, del nivel teórico:

1. Método Inductivo - Deductivo, para realizar el examen y evaluación de los hechos que son objetos de estudio, partiendo de un conocimiento general de los mismos, que permitan una mejor aproximación a la realidad que los originó y luego, mediante un proceso de síntesis, emitir una opinión profesional. Todo esto exigió la utilización de una serie de pasos realizados en forma sistemática, ordenada y lógica, que permitieron luego emitir una crítica objetiva del hecho.
2. Histórico - Lógico, para desarrollar el análisis de las investigaciones anteriores y antecedentes que permitan continuar el estudio.
3. Análisis-Síntesis, para lograr la descomposición de las funciones de control e información y su concreción.

Del Nivel empírico, los métodos utilizados fueron:

4. Análisis de documentos: Revisión de fuentes de información.
5. Observación: Para constatar cómo se manifiestan las indisciplinas e ilegalidades.
6. Conversación informal con los trabajadores, para conocer criterios acerca del proceso.
7. Entrevistas.

Capítulo 1: Marco Teórico conceptual.

Introducción.

El marco teórico del objeto de estudio permite detectar de forma preliminar las diferentes características e interacciones que existen entre los múltiples elementos que están presentes en la investigación.

En este capítulo se hace una descripción de los transformadores principales de salida 1,2 (AT) y de manera general, se brinda información acerca los transformadores de uso de planta así como el de arranque, que es común para los 2 bloques y se analizan los trabajos precedentes, teniendo en cuenta el objeto de estudio.

1. Transformadores principales 1AT y 2AT.

1.1 Transformador principal de salida (1AT-01).

El transformador principal de salida de la unidad 1, es el encargado de elevar la tensión del 15.75kV de salida del generador a 242kV, para su entrega al SEN. Este transformador es de fabricación checa, trifásico, de dos devanados y con enfriamiento por circulación forzada de aceite. El circuito magnético está integrado por cinco núcleos, de láminas orientadas para transformador, laminadas en frío, con aislamiento inorgánico, espesor de la lámina es de 3mm. Los núcleos están conectados mediante juntas horizontales. Tanto los núcleos como las juntas están graduados y conectados entre sí por recubrimiento de 45 grados. El apriete perfecto de los núcleos y de las juntas asegura la rigidez suficiente del circuito magnético. El circuito magnético está afianzado en el fondo de la parte inferior del tanque del transformador por medio de uniones con tornillos y formando un conjunto integrante con el tanque. *Ver anexo # (1)*

El enfriamiento del circuito magnético está asegurado por la circulación de aceite en los canales de enfriamiento y en su superficie. Las bobinas están enrolladas de conductores perfilados confeccionados de cobre electrolítico y provistos de aislamiento de papel. El enfriamiento de los devanados está realizado por la circulación forzada del aceite en los canales axiales y radiales.

En la dirección radial al eje, la secuencia del devanado de cada fase es como sigue:

Devanado de 15.75kV.

Devanado de 242kV.

El devanado de 242kV está provisto de derivaciones que están conectadas con el conmutador de derivaciones de operación en frío. Las bobinas individuales están establecidas y aseguradas contra fuerza de cortocircuito.

El transformador no es regulable bajo carga, posee seis motobombas para la recirculación forzada del aceite, 12 ventiladores para el enfriamiento del aceite, una caja auxiliar para el control de los ventiladores llamada RM1, posee dos tanques de compensación, cada uno con su nivel visual y los relés Buchholz del cuerpo del transformador y el del saco de caucho. A continuación se relacionan los datos técnicos del 1AT- 01. Y se muestra una vista de dicho transformador.

Tabla 1.1 Datos técnicos del transformador Principal (1AT-01).

Potencia nominal	325MVA.
Voltaje nominal de entrada	15.75kV.
Voltaje nominal de salida	242+/- 2*2,5%.
Corriente nominal	775/11914 A.
Conexión	D/Yn.
Frecuencia	60Hz.
Peso con aceite	274,8 t.
Clase de aislamiento	"A".
Tensión auxiliar	380/220V~, 220V-.
Resistencia al cortocircuito	12GVA.



Fig 1.1 Vista del Transformador principal de salida (1AT-01).

1.1.1 Agregados del transformador 1AT.

- B1- Termómetro de resistencia- medición de temperatura a distancia.
- B2- Termómetro de mercurio- indica localmente la temperatura del transformador y ordena el trabajo (automático) de los ventiladores.
- B3- Termómetro que alimenta la señalización de la temperatura máxima en el transformador (80°C).
- B4, B5- Relé buchholz situados entre el cuerpo y el tanque de dilatación del aceite.
- B6a, B6b- Relé buchholz para el control de la hermeticidad del saco.
- B7- B12- Indicadores de flujo de aceite- señalización e interrupción producto a pérdida del paso del aceite.
- M1-M6- Motores de las bombas de circulación del aceite.
- M7-M18- Motores de los ventiladores- enfriamiento.
- T1-T4- Transformadores de corriente- medición y protección.

1.1.2 Sistema de refrigeración del 1AT

En el anexo # 3 se representa el sistema de refrigeración, que está realizada por circulación forzada de aceite en seis enfriadores de aire (radiadores) adosados directamente al tanque del transformador. Existen dos posibilidades de entrada en

servicio (E/S) de la ventilación o sistema de enfriamiento, la primera siempre que se sincronice el 1SP al SEN(Sistema Electroenergético Nacional) o sea siempre que se conecten la FE2011(FE2041) o FE2012(FE2042) más la FE2015(FE2045) y el FE201(FE204). Las bombas del transformador, al alcanzar 40 grados, se activa la primera batería de ventiladores, la segunda entrará normalmente E/S al alcanzar 50 grados, esto sin tener en cuenta el camino de la sincronización. A cada radiador de aceite le pertenece una bomba y dos ventiladores, en la tubería de aceite de los radiadores. En la descarga de las motobombas, están instalados los indicadores de flujo B7 B12. El transformador no puede trabajar sin enfriamiento o sin circulación de aceite.

El aceite del transformador se encuentra dividido en dos para la contención del aceite, de cada parte del mismo se encuentran tres bombas para la circulación del aceite, si fallan tres bombas del mismo lado del transformador se activa la protección de pasaje del aceite y si pasados 10 minutos no se resuelve la falla pone fuera de servicio (F/S) al transformador.

Las protecciones del transformador 1AT están ubicadas en los paneles 1HH01y 02 en el nivel 14.10 del edificio de mando térmico, instaladas en módulos de protecciones SIEMENS, los cuales poseen en su parte frontal unos LED que señalizan la acción de cada protección que dispara, la señal sale también en los PC de OGX . Las protecciones que solo envían señal, tales como Buchholz 1⁰, alta temperatura en el transformador, perdida de hermeticidad del saco de caucho de los tanques de compensación, se reflejan solamente en las computadoras de OGX. Se muestra a continuación el sistema de refrigeración del transformador real instalado en la empresa.



Fig 1.2 Sistema de refrigeración del (1AT-01).

1.2 Transformador principal de Salida (2AT-01).

Es el transformador principal de salida de la unidad 2, el encargado de elevar la tensión del 15.75kV de salida del generador a 242kV, para su entrega al SEN. El transformador modelo TDU250000/220 - 82T1 de fabricación Rusa, trifásico, de dos devanados, con enfriamiento por circulación forzada de aceite y ventilación forzada mediante 9 enfriadores, no es regulable bajo carga. Destinado para operación a la intemperie. El núcleo magnético es de tipo columna compuesto por barras verticales de culatas laterales y extrémiles, formado por placas individuales de acero electrotécnico con una superficie aislante, el prensado de las barras y las culatas verticales se realiza con cinta de vidrio, las culatas horizontales están prensadas con espárragos de acero. Los árboles de las culatas superiores e inferiores están unidos a través de las placas verticales de las barras del núcleo. Los árboles de las culatas poseen suficiente rigidez y permiten realizar el prensado de los devanados, el aseguramiento de las salidas y la elevación de las partes activas. En las barras del núcleo se colocan concéntricamente los devanados de baja y alta tensión. Para el enfriamiento del núcleo y las partes internas de los devanados, están previstos los canales que se encuentran en las barras y culatas. El Anexo # 2 muestra el acta de Ensayo del Transformador (2AT-01).

Las bobinas están enrolladas de conductores perfilados confeccionados de cobre electrolítico y provisto de aislamiento de papel.

Nota: Este transformador no posee igual potencia que el transformador original de este bloque, por lo que durante su explotación es preciso tener en cuenta algunas medidas extraordinarias, debido a que los limitadores del sistema de excitación no han sido regulados para los valores correspondientes a este transformador. Los datos técnicos nominales del mismo se relacionan a continuación y una vista del mismo instalado en la termoeléctrica.

Tabla 1.2 Datos técnicos del transformador Principal (2AT-01).

Potencia Nominal	250 MVA.
Voltaje Nominal entrada	15.75 KV.
Voltaje Nominal salida	242 KV.
Corriente Nominal	596/9164 A.
Frecuencia	60 Hz.
Conexión	D/Yn.
Tensiones Auxiliares	380-220 VCA y 220 VCD.



Fig 1.3 Transformador principal de Salida (2AT-01).

1.2.1 Agregados del transformador 2AT.

- Relé Buchholz.
- Válvula de Corte.
- Válvula de Seguridad.
- Enfriadores.
- Transformadores de Corriente.
- Termómetros.
- Tanque de Compensación con indicador de Nivel.
- Filtro de Silicagel.
- Filtros Termofónicos.
- Bushing del lado de Alta con sus Manómetros.
- Paneles Eléctricos.

1.2.2 Sistema de refrigeración del 2AT-01.

Posee 9 radiadores, cada uno constituye una unidad de refrigeración independiente, integrada por una motobomba, dos ventiladores, el radiador, un filtro para las impurezas mecánicas y un manómetro que indica la operación de la motobomba. Ante la parada total del sistema de refrigeración el transformador puede mantenerse en operación durante 10 min, si está en carga nominal. Si está energizado en vacío al ocurrir esta falla, puede mantenerse E/S durante 30 min. Pasado este tiempo hay que sacar F/S al transformador. Si en ambos casos la temperatura no alcanza los 80°C, entonces el transformador puede mantenerse E/S hasta 1 hora, llegado este tiempo si no se ha resuelto el problema de la refrigeración el fabricante recomienda poner F/S el equipo. En la figura 1.4 se refleja una vista del sistema de refrigeración de este transformador.

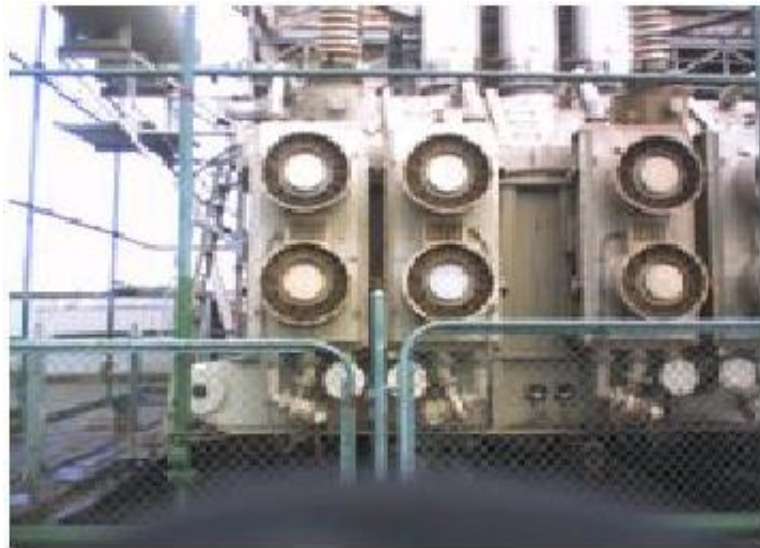


Fig 1.4 Sistema de refrigeración del (2AT-01).

Descripción de transformadores de potencia utilizados en la termoeléctrica: La central termoeléctrica cuenta con dos generadores de corriente alterna de 250MW cada uno, que entregan su energía a través de los transformadores principales 1(2) AT a la Sub Estación (S/E) 220kV para su transmisión y distribución al SEN. El transformador 1AT es de fabricación checa de 325MVA y el 2AT es ruso con una potencia de 250MVA. Para la alimentación de los consumidores propios cada bloque cuenta con un transformador conectado a la salida del generador antes de llegar al transformador de salida, denominados 1(2) BT01. Además está el transformador de reserva que alimenta las secciones comunes OBA y OBB denominado OAT01.

1.2.3 Transformador baja tensión (1BT-01)

Este transformador se encuentra ubicado a la salida del generador 1SP, antes de llegar al transformador principal 1AT, es de tipo intemperie y está destinado para brindarles servicio a los equipos eléctricos del bloque 1. El transformador como se representa en el anexo # 5 es de columnas sumergido en aceite, posee dos tanques de compensación, cada tanque posee su observador visual del nivel del aceite aislante, la ventilación del transformador se produce por el fenómeno de convección producto al cual circula el aceite a través de los 16 radiadores, además cuenta con ventilación

forzada consistente en un grupo de 18 ventiladores que E/S al alcanzar la temperatura 60 grados y aceleran la ventilación haciendo incidir directamente el aire sobre los radiadores. Sus valores nominales se muestran en la tabla 1.3 y en la figura 1.5 una imagen del mismo.

Tabla 1.3 Datos nominales del Transformador baja tensión (1BT-01).

P nominal	25 MVA.
U nominal P	15750 \pm 8 x 2%V.
U nominal S	6300 V.
I nominal	916 / 2292 A.
Conexión	D / D.
U control	220 V~.
U señalización	220V-.



Fig 1.5 Transformador baja tensión (1BT-01).

1.2.4 Transformador de Arranque (OAT-01).

El OAT -01 es el transformador de uso de planta común para ambos bloques, destinado para la disminución del voltaje de 110/6kV, además de suministrar desde el exterior toda la energía necesaria durante la puesta en marcha de la Central. Tiene la función de alimentar permanentemente los objetos comunes para ambos bloques, tales como tratamiento químico del agua (TQA), cloronización, electrolisis, sección común de petróleo 1er impulso, caldera auxiliar, contra incendio, etc. Además de servir como entrada de reserva automática caliente de las secciones de 6 Kv propia, una vez sincronizados los bloques generadores al SEN y realizado el cambio de uso de planta. Sumergido en aceite como es típico en los de potencia de alta tensión, regulable bajo carga, posee dos tanques de compensación, uno conectado al cuerpo del transformador y el otro al cambia taps de cada una de las fases, cada tanque está provisto de protecciones de gas del tipo "Buchholz" y un observador visual del nivel y color del aceite. La ventilación del transformador ocurre por medio del fenómeno físico de convección (conducción) y forzada. Se muestra en la tabla siguiente los datos nominales del transformador seguida de una imagen real del mismo.

Tabla 1.4 Datos técnicos del transformador de arranque OAT 01.

Potencia nominal	50MVA.
Voltaje nominal	110, $\pm 8\%$ /6.3kV.
Corriente nominal	262/4582 A.
Frecuencia	60Hz.
Conexión	Y-Delta.
Peso	87t.



Fig 1.6 Transformador de Arranque o común OAT-01.

1.2.5 Transformador de Baja Tensión (2BT-01).

Este transformador se encuentra ubicado a la salida del generador 2 SP, antes de llegar al transformador principal 2AT, es de tipo intemperie y está destinado a brindarles servicio a los equipos eléctricos del bloque 2. Al igual que él (1BT01) es de columnas sumergido en aceite, posee dos tanques de compensación, cada tanque posee su observador visual del nivel del aceite aislante, la ventilación del transformador se produce por el fenómeno de convección producto al cual circula el aceite a través de los 16 radiadores, además cuenta con ventilación forzada consistente en un grupo de 18 ventiladores que E/S al alcanzar la temperatura 60 grados aceleran la ventilación haciendo incidir directamente el aire sobre los radiadores. Se referencian a continuación sus datos nominales y una representación correspondiente a su instalación en la figura 1.7.

Tabla 1.5 Valores o Datos Técnicos del Transformador 2BT - 01.

P nominal	25 MVA.
U nominal P	15750 \pm 8 x 2%V
U nominal S	6300 V.
I nominal	916 / 2292 A.
Conexión	D / D.
U control	220 V~.
U señalización	220V-.



Fig 1.7 Vista del Transformador 2BT - 01.

Trabajos precedentes.

Con el objetivo de conocer los avances realizados en el tema y tener una idea más objetiva de los logros alcanzados, se tuvo en cuenta para la realización de esta

investigación el resultado de los siguientes trabajos, los cuales de alguna manera reflejan informaciones valiosas que nos dan una visión de las acciones que se realizan para las mejoras en el funcionamiento de los transformadores.

Teniendo en cuenta que el mantenimiento que se realiza en la termoeléctrica está basado en la utilización del software Sistema de Gestión del Mantenimiento por computadoras (SGestMan), **Grethel Aballe (2012), Actualización de la base de datos del software SGestMan para la planificación del mantenimiento preventivo en la Empresa Mecánica del Níquel**, basa su estudio de todos los mantenimientos que se utilizan en la empresa, las ventajas y desventajas que nos ofrece cada uno, así como la planificación y organización para su posterior empleo. Presenta una forma de aumentar la eficiencia del mantenimiento a partir de la utilización del software SGestMan. Se establece un control de los recursos materiales a través de los reportes obtenidos. Se eleva la eficiencia de la planificación y los trabajos de mantenimiento. Se dan a conocer las diferentes opciones que brinda el programa utilizado y los resultados que obtenemos una vez actualizada su base de datos, para de este modo lograr la automatización de la planificación del mantenimiento preventivo, asistido por computadora.

Osmany Marrero Cabrera (2009), **Análisis del mantenimiento de los aceites dieléctricos en los transformadores de las industrias del níquel**, evalúa el ciclo de mantenimiento de los transformadores en explotación, basado en el reanálisis del aceite dieléctrico respecto a sus propiedades físicas, químicas y mecánicas y reorienta un nuevo ciclo de mantenimiento después de 20 años de explotación de dichos equipos. Se logra diagnosticar un sistema de mantenimiento predictivo para los transformadores, propone el completamiento de los análisis químicos más importantes que se le debe realizar al aceite dieléctrico; reducción de los costos de mantenimientos a los transformadores, y bajo costo por regeneración y cambio de aceite.

Logra montar en el laboratorio cuatro métodos de análisis a los aceites, Humedad, Impurezas Mecánicas, Viscosidad, Punto de Inflamación, permitiendo alargar la vida útil del transformador.

En el manual de usuario de la ABB, se realiza un trabajo asociado con las operaciones y los mantenimientos que se le aplican a los transformadores; este trabajo se realizó en el año 2007; aquí encontramos:

- Normas de mantenimiento del aceite aislante.
- Fallas y contra medidas. Cita las causas de la falla, tipos de fallas y soluciones.

El XIII Encuentro Regional Iberoamericano de CIGRÉ (2009), **Mantenimiento moderno en transformadores de potencia** cita los elementos que deben hacer parte de un plan de mantenimiento; y continúa con la descripción de las diferentes pruebas de campo que aportan valiosa información para determinar el comportamiento y estado del transformador, descripción de los métodos utilizados para el análisis de la información obtenida y los diferentes procesos utilizados para la regeneración de las características físico-químicas del aceite dieléctrico. Adicionalmente se expone un caso práctico en el cual se implementan los métodos descritos para el análisis de una falla.

La V Jornada Latinoamericana y II Iberoamericana en Alta Tensión y Aislamiento Eléctrico ALTAE (2001) **Monitoreo en línea para la detección de fallas en transformadores de potencia**. Realiza un análisis en 3 subestaciones de transmisión de la Comisión Federal de Electricidad (CFE). El parámetro más importante que debe monitorear cualquier sistema de monitoreo en línea para transformadores de potencia, es la medición de los gases disueltos en el aceite aislante. Cita la importancia de detectar fallas en proceso durante la instalación de los mismos y dar un seguimiento estrecho del comportamiento de cada una de las variables monitoreadas en función del tiempo y de esta manera conocer la condición del sistema aislante aceite/papel. Se verifican los cambios en las condiciones operativas y del estado del sistema aislante

después de un mantenimiento y de esta manera justifica la realización de mantenimientos a las demás unidades del banco.

Actualmente se aplica la técnica de espectroscopia dieléctrica con el fin de analizar el estado integral del sistema aislante del transformador, el cual está constituido mayormente por papel y aceite dieléctrico, que permiten estimar de manera indirecta el contenido de humedad, y ofrece información sobre los procesos de descomposición de los componentes, según Vega Gómez S., sobre **Diagnóstico de Transformadores de Potencia basado en Espectroscopia dieléctrica**. (ALTAE, 2011 Cuba).

En Cuba se utilizan con muy buenos resultados con el método de Análisis Cromatográfico de Gases Disueltos en el Aceite Aislante (CGDA). Este Ensayo No Destructivo (END) trabaja con pequeñas muestras de aceite, extraído adecuadamente. Según los gases disueltos en él se puede determinar el tipo de falla, descargas eléctricas en el aceite y/o sobrecalentamiento de partes conductoras y otros elementos, presentes en el equipo, este resultado fu expuesto por Pérez Pérez M. Del C., Lescay Despaine D, y Molé Illas J. (ALTAE 2011, Cuba).

Evaluación fisicoquímica y dieléctrica de un aceite biodegradable para la sustitución del aceite mineral en un autotransformador de 230/115/13.8 kV. Guzmán L Arali. Delgado A Filemón. Montes F Ricardo. (ALTAE 2011, Cuba). En la actualidad existen legislaciones en el ámbito de protección ambiental, lo cual, aunado a la crisis petrolera ha dado lugar a la búsqueda de alternativas para sustituir los aceites minerales por fluidos Dieléctricos biodegradables. Este proyecto consistió en evaluar las propiedades físico-químicas y dieléctricas del fluido biodegradable, rellenado y puesta en servicio del autotransformador en una subestación de la red de transmisión de la CFE, y una evaluación del comportamiento mediante AGD y medición de la temperatura en línea. Los parámetros evaluados fueron su compatibilidad con materiales de uso común en transformadores, análisis termo gravimétrico, temperatura de inflamación e ignición, rigidez dieléctrica en función de la temperatura y el contenido

de humedad, rigidez dieléctrica bajo campos eléctricos uniformes y no uniformes y voltaje de impulso.

Análisis de gases disueltos (AGD) para el monitoreo y diagnóstico de los transformadores de potencia. Crespo Sánchez Gustavo (2011); en correspondencia con los niveles y relaciones existentes, es posible monitorear y diagnosticar el proceso de deterioro involucrado, incrementando la confiabilidad y la vida útil de los equipos, con la reducción de los índices de falla. Se hace un recorrido completo por los gases disueltos en el aceite como resultado de la degradación y los posibles diagnósticos asociados a ellos. Se presentan resultados de la aplicación de esta técnica de diagnóstico en la Unidad Cienfuegos, de la Empresa de Construcciones de la Industria Eléctrica (ECIE), utilizando las concentraciones determinadas por el medidor portátil de gases disueltos Transport X (KELMAN LTD).

Aplicación informática para el diagnóstico de transformadores de potencia. Herrera Raidel. Fernández Sergio. García Fidel E. Hernández. (ALTAE 2011, Cuba). El artículo muestra la realización de una aplicación software, para ello son usados los programas LabVIEW, PostgreSQL, Matlab. LabVIEW es la interfaz con los usuarios, los que accederán al sistema con diferentes permisos para poder extraer información contenida en la base de datos de PostgreSQL, o hacer cambios en la misma, Matlab sería usado para hacer determinados cálculos matemáticos. Se consiguió comunicar LabVIEW con PostgreSQL y con Matlab; logrando, desde LabVIEW, leer y escribir en la base de datos gestionada por PostgreSQL; así como ejecutar funciones de Matlab; se puede cambiar de usuario en cualquier momento. Concluye que es posible hacer una aplicación de este tipo, usando estos programas, para ser utilizada en el diagnóstico de transformadores de potencia.

1.3 Mantenimiento a los transformadores en la Empresa Termoeléctrica Lidio Ramón".

La empresa termoeléctrica Lidio Ramón Péres cuenta con el Software Sistema de Gestión de Mantenimiento (SGestMan). Es un sistema informático para la organización

y control de la actividad de mantenimiento, tanto para instalaciones de bienes de producción, como de servicios. Su estructura informática basada en una base de datos con filosofía CLIENTE / SERVIDOR, garantiza una óptima funcionalidad, en redes informáticas y un adecuado almacenamiento y uso de la información que en ella se registra. SGestMan está integrado por módulos, que se encuentran relacionados entre sí, permitiendo una adecuada distribución de la información con que debe contar cualquier organización de mantenimiento.

El mantenimiento adecuado, tiende a prolongar la vida útil de los bienes, a obtener un rendimiento aceptable de los mismos durante más tiempo y a reducir el número de fallas. Decimos que un equipo falla cuando deja de brindarnos el servicio que debía darnos o cuando aparecen efectos indeseables, según las especificaciones de diseño con las que fue construido o instalado el equipo en cuestión.

El mantenimiento no es una función "miscelánea", produce un bien real, que puede resumirse en: capacidad de producir con calidad, seguridad y rentabilidad.

Para nadie es un secreto la exigencia que plantea una economía globalizada, mercados altamente competitivos y un entorno variable donde la velocidad de cambio sobrepasa en mucho nuestra capacidad de respuesta. En este panorama estamos inmersos y vale la pena considerar algunas posibilidades que siempre han estado, pero ahora cobran mayor relevancia.

Uno de los pasos más importantes que hay que tomar cuando se decide iniciar un plan de mantenimiento moderno en los transformadores, es establecer una frecuencia para realizar las diferentes pruebas. En el mantenimiento moderno, se contempla lo siguiente:

- **Pruebas Eléctricas de Campo.**
- **Pruebas Físico-Químicas y de Furanos.**
- **Análisis de gases disueltos.**

Sobre la base de los resultados obtenidos, se determinan las acciones a implementar para proteger y salvaguardar el sistema de aislamiento interno de los transformadores, con el fin de prolongar su funcionabilidad.

1.3.1 Pruebas eléctricas de campo

Las pruebas eléctricas que forman parte del análisis del comportamiento del transformador y de las cuales se pueden llevar una trazabilidad en el tiempo son:

- Factor de potencia y capacitancia de los devanados.
- Relación de transformación.
- Impedancia.
- Resistencia de aislamiento: Se mide la resistencia de aislamiento en cada devanado.
- Resistencia de devanados: Los valores obtenidos deben compararse con los valores de fábrica corregidos a la misma temperatura. Los valores medidos por fase en un transformador trifásico no deben sufrir una variación mayor del 2% entre fases.

1.3.2 Pruebas Físico-Químicas

El análisis físico químico del aceite es uno de los aspectos más relevantes en las inspecciones de transformadores y resulta determinante a la hora de realizar el diagnóstico. Con este tipo de prueba se procura obtener información sobre las propiedades funcionales (físicas, eléctricas y químicas) del aceite mineral aislante utilizado en equipos eléctricos y así poder determinar el estado del sistema de aislamiento del transformador. Se realizan pruebas para recabar la información como: Tensión interfacial, Rigidez dieléctrica, Factor de potencia, Contenido de humedad y Color. Este último regido por la Norma ASTM D1524.

1.3.3 Análisis de gases disueltos

Cuando el transformador presenta problemas o fallas incipientes (conexiones flojas, descargas parciales, arcos, etc.) que no pueden ser detectadas por las pruebas eléctricas de campo, el análisis de gases disueltos en el aceite (Cromatografía de gases) es una herramienta que proporciona información valiosa acerca del tipo de falla presente. Los gases comúnmente detectados durante una condición de falla son: Hidrógeno (H_2), Metano (CH_4), Acetileno (C_2H_2), Etileno (C_2H_4) y Etano (C_2H_6). Cuando la celulosa se ve involucrada, se produce Monóxido de carbono (CO) y Dióxido de carbono (CO_2). La tabla 1.6 muestra los gases generados por las posibles fallas.

Tabla 1.6 Categorías de gases claves y posibles fallas.

Gases claves	Posible falla
Metano, Etano, Etileno y pequeñas cantidades de Acetileno	Condiciones térmicas que involucran al aceite
Hidrógeno, Metano y pequeñas cantidades de Acetileno y Etano	Descargas parciales
Hidrógeno, Acetileno y Etileno	Arqueo
Monóxido de Carbono y Dióxido de Carbono	Condición térmica que involucra al papel

1.4 Conclusiones del capítulo.

1. Se explicó de manera detallada lo referente a la descripción de los transformadores 1 y 2 AT de la Empresa Termoeléctrica de Felton.
2. Se toma referencia de los transformadores de uso de planta y de arranque
3. Se describieron las principales características y las pruebas que se realizan en la empresa para el funcionamiento estable de estos en estado de explotación y su mantenimiento.

Capítulo 2. Materiales y métodos.

Introducción:

En este capítulo se describe la técnica que se efectúa en la Empresa para el análisis de los gases disueltos, así como las principales deficiencias. Se realiza una descripción de la herramienta de monitoreo para el análisis de los gases en los transformadores (Hydrocal 1003), los preparativos para su instalación, y una prueba de ensayo a través de los valores medidos, mostrando los resultados del método que se utiliza con los valores mostrados por la nueva herramienta.

2.1 Causas principales de la formación de gases

Las dos causas principales en la formación de gases dentro de un transformador en operación son las alteraciones térmicas y eléctricas. Las pérdidas Joule en los bobinados y conductores causados por la carga producen gases debido a la descomposición térmica del aceite y de la aislación sólida. También, como dijimos anteriormente, se producen gases por la descomposición térmica del aceite y la aislación cuando se producen arcos de alta energía y generalmente por bombardeo iónico (descargas de muy baja energía y sin calor asociado) debido a descargas parciales o corona en el aceite.

Los gases generados se encuentran disueltos en el aceite, o como burbujas en las trampas de aire que pueda presentar un mal diseño de la cuba y principalmente la tapa del mismo, o en los sistemas de colección de gases que posea. La detección de una condición anormal de funcionamiento depende, además de la evaluación de la cantidad de gases combustibles disueltos presente, de la velocidad de crecimiento en el tiempo de los mismos.

A continuación se realiza una descripción de los casos típicos y más frecuentes de los gases originados por fallas.

2.1.1 Descomposición térmica del aceite.

Los subproductos de descomposición térmica del aceite involucran al etileno (C_2H_4) como gas principal acompañado por metano (CH_4) y etano (C_2H_6) en menor proporción e hidrógeno (H_2) en muy pequeñas cantidades. Trazas de acetileno pueden también encontrarse si la falla es severa o involucra contactos eléctricos. Una relación de proporciones en que aparecen los gases se desarrolla en la tabla 2.1.

Tabla 2.1 Gases y proporción (%)

Gases	Proporción (%)
CO_2	0
CO	0
H_2	2
CH_4	16
C_2H_6	19
C_2H_4	63
C_2H_2	0

2.1.2 Descomposición térmica de la celulosa.

Descomposición de materiales aislantes sólidos provocan grandes cantidades de monóxido de carbono (CO). Si la falla involucra estructuras aislantes impregnadas, pueden aparecer pequeñas trazas de hidrocarburos tales como metano (CH_4) y etileno (C_2H_4). Una relación de proporciones en que aparecen los gases se muestra en la tabla 2.2.

Tabla 2.2 Gases y proporción (%)

Gases	Proporción (%)
CO ₂	8
CO	92
H ₂	0
CH ₄	0
C ₂ H ₆	0
C ₂ H ₄	0
C ₂ H ₂	0

2.1.3 Corona en aceite.

Las descargas de baja energía como las descargas parciales o corona en aceite producen principalmente hidrógeno (H₂) como gas principal y metano (CH₄) con pequeñas cantidades de etano (C₂H₆) y etileno (C₂H₄). La tabla 2.3 muestra la relación de proporciones en que aparecen los gases.

Tabla 2.3 Gases y proporción (%)

Gases	Proporción (%)
CO ₂	0
CO	0
CH ₄	13
H ₂	85
C ₂ H ₆	1
C ₂ H ₄	1
C ₂ H ₂	0

2.1.4 Arcos en aceite.

Descargas continuas en el aceite entre conexiones defectuosas o a partes metálicas a potencial flotante. Grandes cantidades de hidrógeno (H_2) y acetileno (C_2H_2) son producidos en este tipo de descargas. Pequeñas cantidades de metano (CH_4), etano (C_2H_6) y etileno (C_2H_4) acompañan a los gases principales. Una relación de proporciones en que aparecen los gases se muestra en la tabla 2.4.

Tabla 2.4 Gases y proporción (%).

Gases	Proporción (%)
CO_2	0
CO	0
H_2	60
CH_4	5
C_2H_6	2
C_2H_4	3
C_2H_2	30

2.2 Análisis de los gases disueltos y la humedad en el aceite.

La Empresa de Mantenimiento a Centrales Eléctricas de Santiago de Cuba es la encargada de realizar el mantenimiento a los transformadores principales de potencia. El análisis de los gases disueltos en el interior de estos se realiza a través de la técnica de cromatografía.

Es una prueba de trascendental importancia para detectar qué pudo haber pasado o qué puede estar pasando en la parte interna de un transformador. Consiste en analizar qué tipo de gases están disueltos en una muestra de aceite

2.2.1 Procedimiento para detección de los gases disueltos en el aceite.

Actualmente en la Empresa Termoeléctrica durante el mantenimiento a los transformadores de potencia, se detectan los gases disueltos a través de un proceso largo y engorroso, que no permite tener la información en tiempo para resolver posibles averías. Los técnicos destinados toman las muestras teniendo en cuenta las instrucciones y medidas necesarias para que estas no se dañen. Luego la trasladan al Centro de Servicios Químicos (INEL) ubicado en La Habana, donde se realiza la cromatografía. Para esto es necesario conocer las partes principales de un cromatógrafo de gases.

Gas portador

El gas portador cumple básicamente dos propósitos: transportar los componentes de la muestra, y crear una matriz adecuada para el detector. Un gas portador debe reunir ciertas condiciones:

- Ser inerte para evitar interacciones (tanto con la muestra como con la fase estacionaria).
- Ser capaz de minimizar la difusión gaseosa.
- Fácilmente disponible y puro.
- Económico.
- Adecuado al detector a utilizar.

Sistema de inyección de muestra.

La inyección de muestra es un apartado crítico, ya que se debe inyectar una cantidad adecuada, y debe introducirse de tal forma (como un "tapón de vapor") que sea rápida para evitar el ensanchamiento de las bandas de salida; este efecto se da con cantidades elevadas de analito. El método más utilizado emplea una micro jeringa (de capacidades de varios micro litros) para introducir el analito en una cámara de

vaporización instantánea mostrada en la figura 2.1. Esta cámara está a 50 °C por encima del punto de ebullición del componente menos volátil, y está sellada por una junta de goma de silicona.

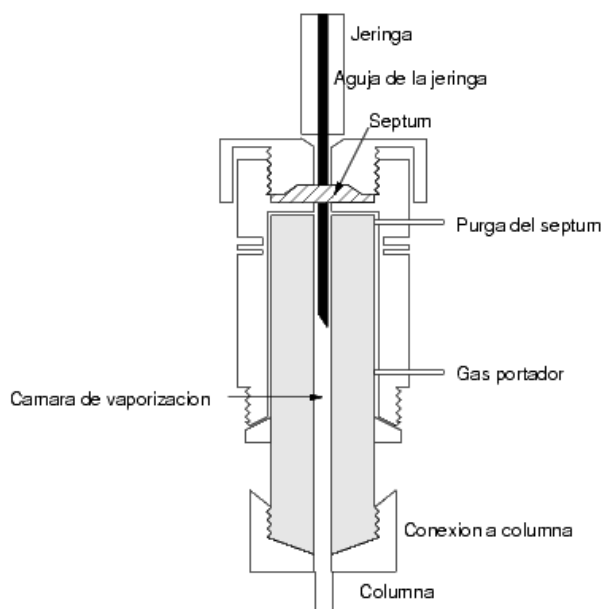


Figura 2.1 Sistema de inyección de muestra.

Columnas y sistemas de control de temperatura.

Estas columnas son tubulares abiertas o capilares variables de 2 a 60 metros, y están construidas en acero inoxidable, vidrio, sílice fundida o teflón. Debido a su longitud y a la necesidad de ser introducidas en un horno, las columnas suelen enrollarse en una forma helicoidal con longitudes de 10 a 30 cm. La temperatura es una variable importante, ya que de ella va a depender el grado de separación de los diferentes analitos. Para ello, debe ajustarse con una precisión de décimas de grado. Dicha temperatura depende del punto de ebullición del analito, como también la máxima temperatura de funcionamiento de la columna (fase estacionaria), y por lo general se ajusta a un valor igual o ligeramente superior a él. Para estos valores, el tiempo de

elución va a oscilar entre 2 y 30 - 40 minutos. Es recomendable utilizar temperaturas bajas para la elución ya que aunque a mayor temperatura la elución es más rápida, se corre el riesgo de descomponer el analito.

Detectores

El detector es la parte del cromatógrafo que se encarga de determinar cuándo ha salido el analito por el final de la columna. Las características principales de un detector ideal son; la sensibilidad, respuesta lineal al analito, tiempo de respuesta corto, intervalo de temperatura de trabajo amplio, estabilidad y reproducibilidad, alta fiabilidad y manejo sencillo, respuesta semejante para todos los analitos, respuesta selectiva y altamente predecible.

Cromatografía de gases.

La cromatografía de gases es una técnica en la que la muestra se volatiliza y se inyecta en la cabeza de una columna cromatográfica. La elución se produce por el flujo de una fase móvil de gas inerte. La figura 2.2 muestra el proceso de un cromatógrafo de gases.

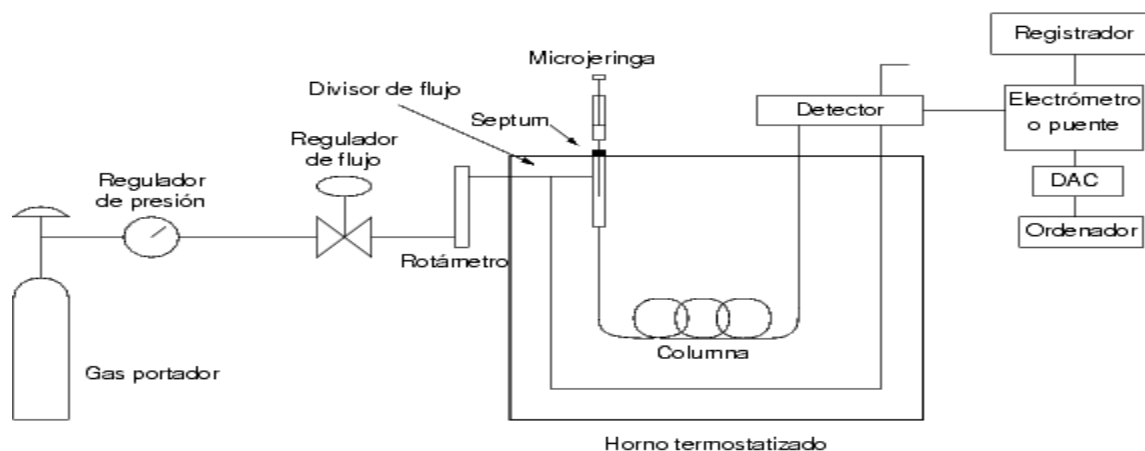


Figura 2.2 Cromatógrafo de gases.

Una vez listos los resultados se le da una evaluación a los transformadores, comparándolos con los del último mantenimiento realizado y se determinan las posibles dificultades que presentan. Se debe resaltar que para cuando estén los resultados ya han pasado varias semanas y si en el tiempo transcurrido ocurrió alguna alteración térmica o eléctrica notables los valores obtenidos por esta cromatografía no serán confiables.

2.2.2 Deficiencias de este procedimiento.

- Los resultados demoran varias semanas, por lo que no se toman en tiempo las medidas adecuadas
- En el momento de la toma de muestra el transformador tiene que estar fuera de servicio.
- Los envases para la toma de la muestra pocas veces cumplen con los requisitos adecuados para este procedimiento.
- Las muestras se pueden afectar durante el traslado al laboratorio.

2.2.3 Análisis de la humedad.

El contenido de agua disuelto en el aceite de transformador proporciona una indicación del contenido de agua en el sistema de aislación sólida (celulosa). Un nivel demasiado alto de agua en el aceite denota un contenido alto de agua en la celulosa, hecho que, junto a la temperatura, afecta drásticamente la vida útil del mismo, provocando su deterioro por la descomposición de las fibras celulósicas y, que si no se corrige, conduce a daños irreversibles en el sistema de aislación sólida y por ende en el transformador. Conociendo la temperatura de extracción de la muestra para el análisis de contenido de agua utilizando la gráfica representada en el anexo # 7 es posible determinar en forma aproximada el contenido de agua que puede llegar a contener la aislación sólida. Se deberá ingresar para ello con el valor de la temperatura

de toma de muestra del aceite más 5°C en el eje de las coordenadas (eje y), obteniéndose en el eje de las abcisas (eje x) el factor multiplicador al cual hay que afectar a las ppm de agua para obtener en % el valor de contenido aproximado de agua en la aislación sólida.

2.2.4 Prueba de ensayo.

Es preciso que el transformador este fuera de servicio. El último mantenimiento que se le realizó a los transformadores 1AT y 2AT fue en el mes de enero. La muestra de aceite que contiene los gases se transportó al laboratorio en La Habana. Los resultados llegaron 28 días después de una compleja cromatografía de gases que arrojó los resultados mostrados en la tabla 2.5.

Tabla 2.5 resultados de la prueba de ensayo.

Gases y humedad (U/M)	Transformador 1AT.	Transformador 2AT.
CO (ppm)	739	785
H ₂ (ppm)	40	6
H ₂ O (ppm)	10	7

2.2.5 Descripción de la herramienta de monitoreo HIDROCAL 1003.

Es una herramienta para los análisis de los gases y la humedad disueltos en el aceite de los transformadores de potencia. Con la monitorización en línea de los principales gases, de defecto como hidrógeno (H₂), monóxido de carbono (CO) y la humedad pueden llevarse a cabo mejoras de seguridad.

En la figura 2.2 aparece una muestra interna de la herramienta de monitoreo así como su instalación para la toma de datos de los transformadores, su sistema de comunicación y el suministro eléctrico y en la tabla siguiente se relacionan los datos técnicos o nominales correspondientes al mismo.

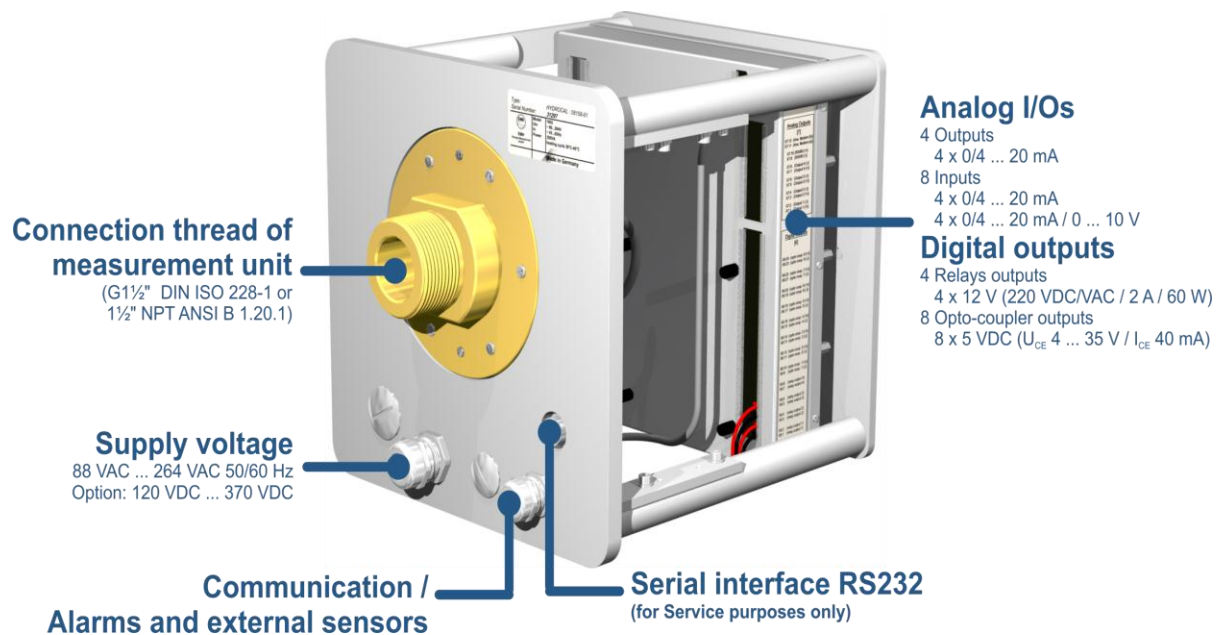


Figura 2.2 (Hydrocal 1003).

El anexo # 4 muestra una vista del menú principal Firmware del sensor, citando las diferentes opciones de este como se describe a continuación:

Menú del usuario.

- Datos administrativos del transformador
- Datos administrativos del cliente / lugar

Menú externo.

- Medida de tensión y corriente
- Medida más baja y más alta del aceite
- Medida de la humedad de la temperatura

Menú del gas en aceite.

- Diagrama H2 y CO
- Tabla de resultados H2 y CO

Menú de alarma

- Tabla de reportes
- Reconocimiento de alarmas

Menú del transformador

- Tarifa de envejecimiento
- Temperatura del punto caliente
- Fallo

Menú de configuración

- Ajuste del nivel de alarma
- Ajuste de comunicación
- Instalación de los ajustes del transformador

Es muy importante conocer que si las lecturas de el contenido de hidrogeno, monóxido de carbono y la humedad en el aceite aislante no están en el rango de medida aceptable para los valores correspondientes a los transformadores, en el menú aparecerá una alarma mostrando cuanto por encima varió el resultado.

Menú del transformador

- Tarifa de envejecimiento
- Temperatura del punto caliente
- Fallo

Menú de configuración

- Ajuste del nivel de alarma

- Ajuste de comunicación
- Instalación de los ajustes del transformador

2.2.6 Datos técnicos HYDROCAL 1003.

A continuación le daremos una breve relación de los datos técnicos del HYDROCAL

Tabla 2.6 Relación de los datos técnicos o nominales correspondientes al mismo.

<u>Cantidades medidas</u>	<u>Rangos de medida</u>	<u>Precisión de medida</u>
Hidrógeno H ₂	0 ppm ... 2.000 ppm	± 15 % del valor medido ± 25 ppm
Monóxido de Carbono CO	0 ppm ... 2.000 ppm	± 20 % del valor medido ± 25 ppm (en relación a la temp del aceite a + 55°C)
Humedad en aceite H ₂ O	Relativo 0%...100% Absolut0ppm...100pm	± 3 % del valor medido ±3 ppm
Temperatura de operación	Temp del aceite Temp ambiente Coeficiente Temp	-20°C ... +90°C -20°C ... +55°C 1 % / K
Salidas	salidas analógicas: 1 x salidas analógicas: 12 x salidas digitales	0/4..20mA(H ₂ concentración) 0/4...20mA(COconcentración) 0/4..20mA(H ₂ Oconcentración) 0/4...20 mA (programable) 4 x 12 V salidas de rele Valores máximos de conmutación: 220 V DC, 220 V AC, 2 A, 60 W 8 x salidas opto-coupler.
Entradas	entradas analógicas:	0/4 ... 20 mA 0/4 ... 20 mA / 0 ... 10 V
Gas en aceite	3 x sensores de gas internos (sistema redundante)	2 x H ₂ , 1 x CO

2.2.7 Unidad de medición del HYDROCAL 1003

La unidad de medición del HYDROCAL 1003, mostrada en la figura 2.3 es el corazón de la herramienta. Aquí se encuentran los sensores para las lecturas de los gases y la humedad en aceite. A continuación detallamos las conexiones que se establecen entre las partes de que consta y su respectiva unidad de medición:

- 1-Engrase de la unidad con el hilo de conexión, tornillo de aeración y humedad en el aceite, los sensores de temperatura de aceite
- 2-Unidad del gas con el plato de protección de la membrana, membrana del Teflón y plato de metal.
- 3- La unidad del sensor con el sensor de gas, la tabla electrónica dentro de H2 y sensores de CO.

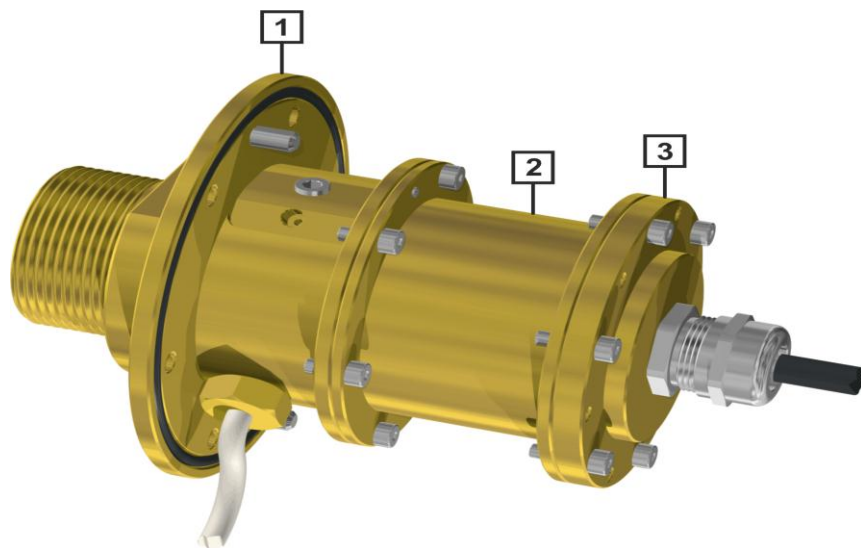


Figura 2.3 unidad de medición del HYDROCAL 1003.

2.3 Herramienta de Servicio del HYDROCAL 1003

La herramienta de servicio del HydroCal (HCalServTool.exe) es un software auxiliar para el sistema de monitoreo del contenido de gas y humedad en el aceite del transformador.

Puede ser usado para:

- Actualizar el firmware y realizar la parametrización del equipo HydroCal 100x.
- La lectura de los datos de servicio, o sea los datos de configuración, de parametrización y de diagnóstico de un equipo HydroCal 100x.

Requisitos previos

Para utilizar la herramienta de servicio del HydroCal, deben cumplirse los siguientes requisitos de hard y de software:

- Una computadora personal (PC) con sistema operativo Microsoft Windows como Windows 98SE, Windows 2000, XP, Vista o Windows 7
- Un puerto de comunicación RS232 (el RS232 interno o un dispositivo USB RS232).
- Opcional: Una interfaz de internet.
- Observación: Un puerto virtual COM por conexión módem no puede ser utilizado

2.4 Instalación en los transformadores.

El sistema de refrigeración de los transformadores se realiza mediante la circulación forzada de aceite. El sensor del HYDROCAL 1003 debe de estar montado en la posición donde ocurra la circulación de retorno del sistema de refrigeración. Para el caso del transformador 2AT fue necesaria la fabricación de una brida para su posterior conexión con el equipo. La figura 2.3 muestra algunas posiciones donde debe estar instalado el sensor para un buen funcionamiento.

Las posiciones 2 y 3 son para los transformadores sin el sistema refrescante activo. La posición 1 es la indicada en el lado de presión de salida del sistema refrescante para el transformador con el sistema refrescante activo. El transformador que aparece en la figura 2.4 no es como los que se utilizan en la Empresa, sino que fue el idóneo para mostrar las posiciones adecuadas en la instalación del HYDROCAL 1003.

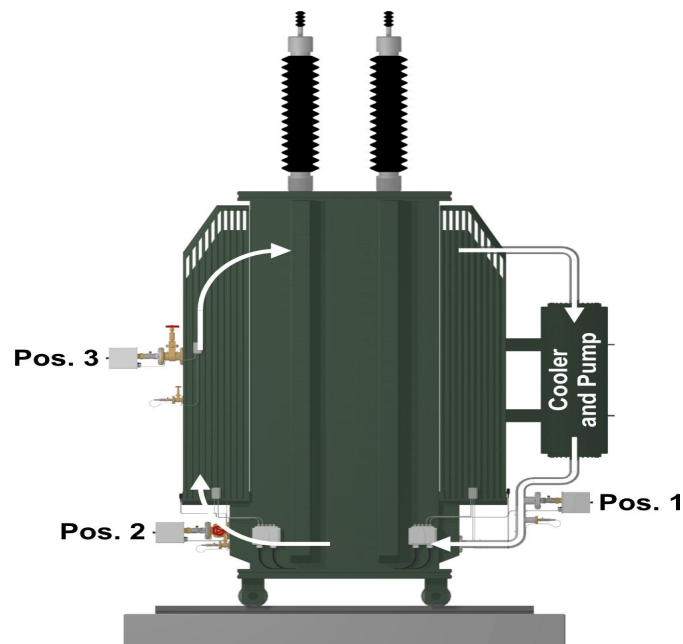


Figura 2.4 posición de la instalación del HYDROCAL 1003 en el transformador.

2.5 Prueba de ensayo.

Las lecturas tomadas fueron realizadas a principio del mes de junio y los valores correspondientes los muestra la tabla 2.5. La variación de los resultados obtenidos se debe a que existe una diferencia de 5 meses entre las 2 pruebas de ensayo.

Tabla 2.5 resultados

Gases y humedad (U/M)	Transformador 1AT.	Transformador 2AT.
CO (ppm)	759	805
H ₂ (ppm)	45	9
H ₂ O (ppm)	15	12

Los resultados son evaluados por las normas IEC 60599/99 e IEEE C57 104-1991 y se le da la condición de operación a los transformadores como se representa en la tabla 2.6.

Tabla 2.6 Evaluación absoluta de gases.

Estado	H ₂	CO	Acción
1	100	350	Condición saludable
2	100-700	350-570	Tendencia.
3	700-1.800	570-1.400	Probabilidad de falla
4	> 1.800	> 1.400	Riesgo operacional

Para un mejor monitoreo y darle la condición de saludable a los transformadores se hace imprescindible que los resultados que muestre el HYDROCAL 1003 este en el rango de medida siguiente:

Hidrógeno H₂.....60-150ppm
Monóxido de carbono CO..... 400-900ppm
Humedad en el aceite H₂O..... <10ppm

2.6 Conclusiones del capítulo

Determinando el contenido de cada gas y la relación entre las concentraciones de los diferentes gases y su evolución, se puede conocer no solamente la existencia de un defecto, sino también el tipo del mismo y su importancia.

Capítulo 3. Resultados y valoración.

3.1 Introducción.

Para tener total certeza de la fiabilidad de un proyecto, es necesaria la realización de cálculos e indicaciones que validen la veracidad de la obra realizada. Por esto la tarea de este capítulo es realizar un análisis crítico de los resultados obtenidos por los dos métodos utilizados para el análisis de gases disueltos y humedad en el aceite aislante de los transformadores de potencia.

3.2 Mejoras en el funcionamiento de los transformadores 1 y 2AT de la Termoeléctrica Lidio Ramón Pérez.

Como solución a los problemas fundamentales que presentan estos transformadores en cuanto a la eficiencia y efectividad en el servicio de generación, se propone la instalación o implementación de este dispositivo o herramienta que permite una supervisión controlada y actualizada en tiempo real del estado técnico de estas máquinas. Se propone solamente esta variante que se puede decir que es de acomodo para la determinación o caracterización en cuanto a las pruebas que se realizan en la entidad para controlar o determinar la calidad del aceite, la humedad y los gases de dichos transformadores. Esta supervisión aumenta considerablemente la flexibilidad y confiabilidad de la generación de energía eléctrica. Para realizarla se tuvo en cuenta la necesidad de conocer a tiempo los resultados de estas pruebas que de no ser así se demoran, por no disponer en la empresa de los mecanismos o instalaciones que permiten realizar los estudios pertinentes en cada uno de los transformadores.

3.3 Beneficios que se obtienen al implementar el HIDROCAL 1003.

3.3.1 Implementación del HYDROCAL 1003.

Teniendo en cuenta que este nuevo sistema de monitoreo en línea para transformadores de potencia solo se ha instalado en 2 Termoeléctricas; Camilo Cienfuegos y Máximo Gómez, se hace necesario contar con un documento que le permita al personal correspondiente conocer de manera detallada el funcionamiento y

los pasos para la instalación de la herramienta de monitoreo para el análisis de gases y humedad en aceite.

3.4 Ventajas principales (HYDROCAL 1003).

- Análisis individual de los contenidos de los gases disueltos: hidrógeno (H₂) y monóxido de carbono (CO).
- Análisis de humedad (H₂O) disuelta en el aceite del transformador (valores de humedad relativa en % y humedad absoluta en ppm).
- Solución simple, ligera y fácil de montar (conexión a válvulas DIN o NPT así como conexión utilizando bridas).
- Instalación en el transformador en servicio sin interrupción de la alimentación.
- Software sofisticado orientado gráficamente (en el equipo o mediante el PC).
- Varias interfaces de comunicación (RS 232, RS 485, MODBUS, módem integrado GSM- y módem analógico).
- Intervalo de medición de 20 minutos.
- No precisa mantenimiento.

3.5 Comparación de los resultados obtenidos.

En las tablas 3.1 y 3.2 se exponen los resultados de las comparaciones, realizadas por los 2 métodos a utilizar como es la cromatografía de gases y la implementación del HYDROCAL 1003. Hay que resaltar que en varias ocasiones para conocer los resultados de las diferentes pruebas se ha tenido que esperar hasta más de 4 semanas.

Tabla 3.1 Comparación de los resultados (gases).

Método a utilizar	Exactitud en (%)	Tiempo de ensayo	Demora de resultados
Cromatografía de gases	85	4 horas	3 semanas (aproximado)
Hydrocal 1003.	100	-----	20 minutos

Tabla 3.2 Comparación de los resultados (Humedad).

Método a utilizar	Exactitud en (%)	Tiempo de ensayo	Demora de resultados
Rigidez dieléctrica	85	3 horas	3 semanas (aproximado)
Sensores del HYDROCAL 1003	100	-----	20 minutos

Como se observa en las tablas los datos obtenidos por el HYDROCAL, son más eficientes y se obtienen en menor tiempo, debido a que es un equipo destinado a realizar estas pruebas de forma continua cada 20 minutos con una mayor exactitud, no como el caso de la cromatografía de gases y la rigidez dieléctrica que son pruebas que se hacen en la capital del país y los resultados demoran en llegar por problemas ajenos a la empresa como tal. De esta forma la prevención de fallas en estas máquinas que a su vez son imprescindibles en la distribución de la energía eléctrica es mayor.

3.6 Diagnóstico a transformadores.

El diagnóstico alude, en general, al análisis que se realiza para determinar cualquier situación y cuáles son las tendencias. Esta determinación se realiza sobre la base de datos y hechos recogidos y ordenados sistemáticamente, que permiten juzgar mejor qué es lo que está pasando. Teniendo en cuenta que el dispositivo o herramienta instalada (HYDROCAL 1003) es una herramienta de diagnóstico y no está vinculada a la generación de energía eléctrica directamente, no se puede esperar que en un tiempo determinado el valor de la inversión sea recuperado y a partir de ese momento se obtenga ganancia de forma monetaria.

3.7 Valoración económica.

En este trabajo se realiza el estudio económico partiendo de las 2 vías para realizar una detallada y minuciosa observación de los gases disueltos, además de la humedad

en el aceite aislante. Partiendo del precio para la estimación del costo existen dos tipos de cálculo económico:

- Pre estimación.
- Estimación firme.

Este trabajo utiliza el estudio de pre estimación ya que requiere de menos detalles que en un estudio de estimación firme, a la vez permite realizar un examen detallado para determinar si es factible o no llevar a cabo el proyecto recomendado.

El análisis de los gases disueltos y la humedad en el aceite lo realiza el laboratorio químico INEL en la provincia de La Habana en la capital del país, con la fuerza de trabajo de un ingeniero químico y tres técnicos. Para el diagnóstico de estos, la empresa paga un servicio, que según datos del departamento de contabilidad y finanzas en los últimos 5 meses se ha invertido un total de \$ 49 293.48 en dicha gestión.

Si se hace una valoración del costo por unidad de la herramienta propuesta en este trabajo (HYDROCAL 1003) que tiene un costo en Alemania € 5 000, y convirtiéndolo en dólar estadounidense resulta 6 250 USD; en peso cubano convertible 5 312.50 CUC y luego en moneda nacional 132 812.50 CUP. El costo total de las dos herramientas sería de 265 625.00 CUP.

La CTE le envía a la cuenta del INEL de 9 500 a 10 000 CUP cada mes, por el servicio que le presta dicha empresa, para el análisis de los gases y el aceite aislante. Estudio que por su demora trae como consecuencia deficiencias en la generación y transmisión de electricidad que es la función principal de estas máquinas extraordinarias.

3.8 Importancia del estado actual del sistema de aislamiento.

Conociendo el estado actual del sistema de aislamiento se puede calcular el tiempo de vida útil de los transformadores. La Empresa Termoeléctrica Lidio Ramón Pérez, entrega al Servicio Electroenergético Nacional 500 MW, a través de los 2 transformadores de potencia principales (1-2 AT), que son producidos por sus 2

generadores de 250 MW cada uno. El envejecimiento y la duración de vida del aislamiento de los transformadores podría describirse, casi exclusivamente, por la degradación térmica de las propiedades del papel aislante ubicado entre el devanado del transformador. Debido a los muchos factores que causan deterioro del aislamiento de los transformadores y que influyen en el efecto acumulativo de la temperatura en un determinado tiempo, se imposibilita predecir con precisión la vida útil del aislamiento en condiciones controladas y mucho menos ante situaciones de servicio sujetas a cambio. Cuando se utiliza el término "vida" se hace referencia a la vida calculada del aislamiento y no a la vida real del transformador. Conociendo el estado actual del sistema de aislamiento se hace una estimación de cuando es necesario cambiar el transformador o someterlo a una reparación capital.

La relación entre la vida del aislamiento y la del transformador es todavía desconocida, debido al hecho que, bajo ciertas condiciones la vida del transformador puede superar la vida del aislamiento, por lo que, estimar el punto final de vida del aislamiento es una variable desconocida todavía, aun más, si se tiene en cuenta el gran debate originado en la comunidad profesional acerca de los valores esperados de "vida normal" y el criterio de "final de vida".

3.9 Valoración ecológica.

La implementación de esta herramienta no traería consigo problemas al hombre ni al medio ambiente, por su funcionamiento propio, no trabaja a alta frecuencia por eso no hay posibilidades de ocurrencias de interferencias en las ondas de radio y televisión ni en los sistemas telefónicos, a pesar de estar en la gama audible del hombre no produce problemas ni molestias al oído por no tener el esquema elementos generadores de sonidos.

No resulta factor de riesgo para el medio ambiente, pues no emite radiación, y los gases que este mide nunca llegan a estar en contacto con él, es una técnica más ecológica aún porque no provoca efectos secundarios ni peligros para el personal del área de trabajo.

3.10 Valoración Social.

Del trabajo realizado se puede llegar a las siguientes conclusiones como impacto social del mismo en nuestras industrias de generación de energía eléctrica. Con la implementación de la herramienta de monitoreo HYDROCAL 1003 se humaniza el trabajo del hombre al disminuir los mantenimientos y las diferentes pruebas de diagnóstico, además al utilizar este método y no el de cromatografía de gases, se gana en operatividad y exactitud brindándole al operador métodos más sencillos y exactos de monitoreo. Es una fuente considerable de ahorro de tiempo, además de aumentar la productividad del trabajo, trae consigo que mejore la calidad de las mediciones y el beneficio tanto para el personal técnico como a la empresa.

3.11 Conclusiones del capítulo.

En el presente capítulo se expuso de manera detallada una comparación de los dos métodos utilizados para el análisis de los gases y el aceite aislante, así como todo lo relacionado con lo que se ha propuesto para la mejora en cuanto a efectividad de generación en el funcionamiento de los transformadores tomados como objeto de estudio, además de su respectiva valoración económica o análisis económico.

Conclusiones generales.

- Con la propuesta se logra un aumento considerable de la gestión a la hora de conocer los resultados de los análisis fundamentales que se realizan en los transformadores elevadores de potencia de la ETE Lidio Ramón Pérez.
- Se demuestra una correlación en cuanto a las ventajas que trae consigo la implementación de esta herramienta (HYDROCAL 1003).
- El cálculo realizado para el ajuste y funcionamiento de este sistema de control y supervisión permite determinar en solo minutos y no en semanas resultados significativos que podrían traer como consecuencia interrupciones significativas en la generación de energía eléctrica en la CTE.
- Se logró conocer el estado del sistema aislante y poder darle una condición a los transformadores 1AT Y 2AT.

Recomendaciones.

1. Se recomienda que se tome el presente trabajo como base de estudio y de análisis para la elaboración de los informes que los operadores deben redactar sobre la condición de los transformadores.
2. Se tome el trabajo como base para la implementación de un Sistema de mantenimiento riguroso en el interior de los transformadores.
3. Se le dé una buena capacitación sobre el HYDROCAL 1003 a los encargados de monitorear los transformadores.
4. Se gestione la posibilidad de instalarle a los transformadores 1 y 2, de baja tensión así como al común para los dos bloques, el HYDROCAL 1003.
5. Se realice una cromatografía de gases y un análisis de la humedad cada dos años para comprobar los resultados de esta con las lecturas del HYDROCAL y así cerciorarse de su buen funcionamiento.
6. Este proyecto da paso a posibles investigaciones científicas por parte del personal universitario.

Bibliografía:

1. Aquino O. "Programa para el análisis de redes eléctricas de estructura variable. Calidad de energía. Ing. Energética. Vol XV N° 3 pp 83-90. 1994.
2. Colome Arias Rafael. "Eficiencia y Restauración de cargas en las subestaciones de baja tensión en la Empresa CMDTE Gustavo Machin Goush de Beche" 2001.
3. Gabriel Hernandez R. "Eficiencia en los Sistemas Eléctricos Industriales de baja tensión" T.D.T.M 2000.
4. IEC.76. Power Trasformer.1993
5. Ivanov "Máquinas eléctricas" pag 306.
6. McPherson G, Laramore Robert. D. An introduction to electrical machines and transformers, p 98
7. M.Pkostenko, L. M Piotrovski. Máquinas Eléctricas Tomo II. Editorial MIR. URSS, pp. 287-312, 1973
8. Norma IEEE 519
9. S.D. Myers, Transformer Maintenance Guide, 2004
10. Ernesto Gallo Martínez, Diagnóstico y Mantenimiento de Transformadores
11. enCampo, Transequipos, Colombia, 1998
12. Puramin C.A., Conozca el Aceite de su Transformador, 1994
13. www.sdmyers.com
14. www.morganschaffer.com
15. www.fluidex.co.za Manual de aceites de transformador NYNAS.
16. IEEE Transactions on Power Delivery, Vol 7, N° 2 April 1992 "Effect of oil viscosity on transformer loading capability at low ambient temperatures".
17. M. Horning, J. Kelly, S. Myers "Guía para el mantenimiento del transformador", tercera edición,
18. Transformer Maintenance Institute – TMI, 2005.
19. Instituto Investigaciones Eléctricas, "Manual de transformadores y reactores de potencias", tomo II,
20. Comisión Federal de Electricidad, México, diciembre 2007.
21. M. Horning, J. Kelly, S. Myers "Guía para el mantenimiento del transformador", tercera edición, Transformer Maintenance Institute – TMI, 2005.

Anexo

Anexo # 1. Acta de Ensayo del Transformador (IAT-01).

BRATISLAVSKÉ ELEKTROTECHNICKÉ ZÁVODY
NÁRODNÝ PODNIK
BRATISLAVA
BEZ, Bratislava, ul. Februárového víťazstva 14

BEZ

ACTA DE ENSAYO DEL TRANSFORMADOR

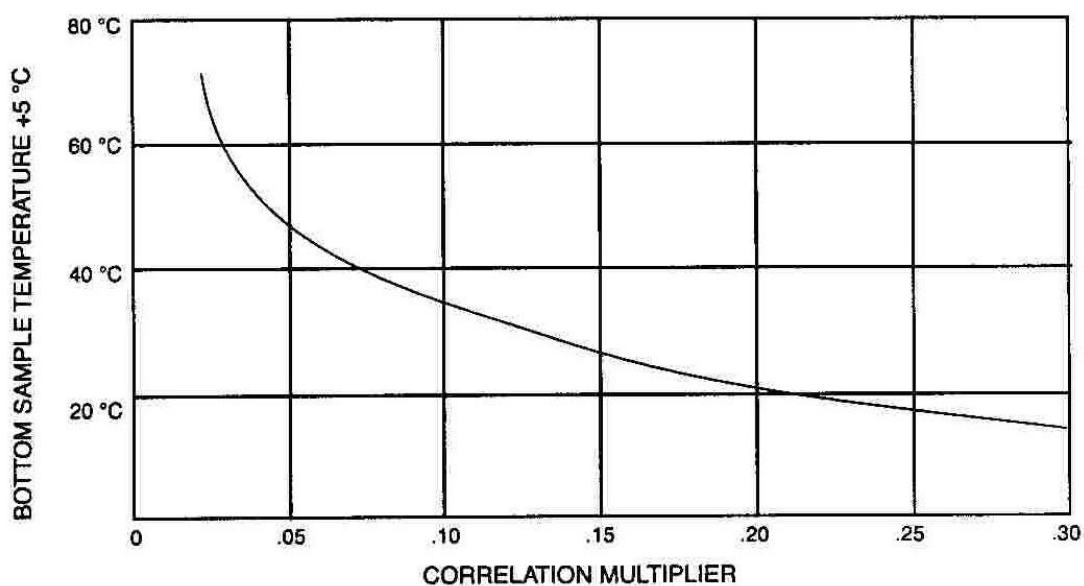
TIPO: : ATO 394/22	NO DEL ACTA : 158627
POTENCIA : 1000 kVA	NO DE TRABAJO : 1411-1375
PLACA DE REGISTRO : 259403	FASE : 3
TENSION	
ALTA : 6000*-2*2,5 0/0 V	CORRIENTE
BAJA : 400/231 V	TENSION ALTA : 96,23 A
CONEXION : DYN11	TENSION BAJA : 1443,38 A
REFRIGACION : ONAN	FRECUENCIA : 60 Hz
AISLAMIENTO : A	CLASE DE CARGA : S1
ANO DE PRODUCCION : 1987	EJECUCION : TH 24
	PESO : 3730 kg
ENSAYO: EN PIEZAS NORMA: CSN 35-1100	
1. RESISTENCIAS DE AISLAMIENTO, 19,0 °C [G Ω]	
T. ALTA/TIERRA: 7	T. ALTA/T. BAJA: 15
T. BAJA/TIERRA: 4	TENS. ALTA: 0,2443 Ω
2. RESIST. OHMICAS DEL ARROLLAMIENTO, 20 °C	
T. BAJA: 0,001244 Ω	
3. ENSAYO POR TENSION ADJUNTO [kV/min]	
T. ALTA-T. BAJA/TIERRA: 52/1	4. ENSAYO POR TENSION INDUCIDA, TIEMPO 20 SEC
T. BAJA-TIERRA: 3/1	TENSION ALTA: 12555 V, 200 Hz
5. EL CONTROL DE CONEXION Y LA MARCHA EN VACIO DE LA RELACION MEDE CON EL PUENTE WNOT-100 CONSIENTE	
POSITION DELA COMMUTATEUR	1.
2.	3.
4.	5.
TENSION ALTA	5700
5850	6000
6150	6300
6. PERDIDAS VACIAS Y CORRIENTE VACIA 50 Hz.	
CORRIENTE VACIA: 4,208 A, 0,292 %	
U [V]	Ia [A]
Ib [A]	Ic [A]
Δ Po [W]	
400	4,750
3,450	4,425
1435,7	
7. PERDIDAS EN CORTECIRCUITO Y TENSION EN CORTECIRCUITO, 50 Hz.	
TEMPERATURA °C	Uk [V]
Ik [A]	Δ Pk [W]
Uk [%]	
20	424,13
96,23	10066,58
7,07	
75	425,10
96,23	11142,32
7,08	
8. EFICIENCIA DEL TRANSFORMADOR:	
CARGA	50 %
75 %	100 %
125 %	
cos φ = 1	99,156
98,973	98,742
98,492	
cos φ = 0,8	98,945
98,716	98,428
98,115	
9. DECRECIMIENTO DEL VOLATJE, CARGA 100 %:	
cos φ = 1 Δ u = 1,36 %	cos φ = 0,8 Δ u = 5,31 %
RESULTADO: CONVENIENTE ACEITE: RESIST-DE AISL- 210 KV/CM	
ACEITE INHIBIDOR	
DATA: 10.2.1987	ENSAYADO POR: ZSE-BEZ BRATISLAVA
koncernový podnik	
RRK 2 funkčná kontrola	

Implementación de una herramienta de monitoreo en línea (HYDROCAL 1003), en los transformadores principales, de la Empresa Termoeléctrica "Lidio Ramón Pérez".

Anexo # 2. Acta de Ensayo del Transformador (2AT-01).

BRATISLAVSKÉ ELEKTROTECHNICKÉ ZÁVODY					NÁRODNÝ PODNIK BRATISLAVA					BEZ, Bratislava, ul. Februárového víťazstva 14									
ACTA DE ENSAYO DEL TRANSFORMADOR																			
TIPO: ATO 414/22					NO DEL ACTA: 158435														
POTENCIA: 1600kVA					NO DE TRABAJO: 1411-1376														
PLACA DE REGISTRO: 259404					FASE: 3														
TENSION					CORRIENTE														
ALTA: 6000+2*2,5 0/0 V					TENSION ALTA: 153,96 A														
BAJA: 400/231 V					TENSION BAJA: 2309,40 A														
CONEXION: DYN11					FRECUENCIA: 60 Hz														
REFRIGACION: ONAN					CLASE DE CARGA: S1														
AISLAMIENTO: A					EJECUCION: TH 24														
ANO DE PRODUCCION: 1987					PESO: 4870 kg														
ENSAYO: EN PIEZAS					NORMA: ČSN 35-1100														
1. RESISTENCIAS DE AISLAMIENTO, 17,0 °C [GΩ]					2. RESIST. OHMICAS DEL ARROLLAMIENTO, 20 °C														
T. ALTA/TIERRA: 7 T. ALTA/T. BAJA: 11 T. BAJA/TIERRA: 5					TENS. ALTA: 0,1181 Ω T. BAJA: 0,0006820 Ω														
3. ENSAYO POR TENSION ADJUNTO [kV/min]					4. ENSAYO POR TENSION INDUCIDA, TIEMPO 20 SEC														
T. ALTA-T. BAJA/TIERRA: 22/1 T. BAJA-TIERRA: 3/1					TENSION ALTA: 12600 V, 200 Hz														
5. EL CONTROL DE CONEXION Y LA MARCHA EN VACIO DE LA RELACION MEDE CON EL PUENTE WNDT-100 CONSIENTE																			
POSITION DELA COMMUTATEUR		1.		2.		3.		4.		5.									
TENSION ALTA		5700V		5850V		6000V		6150V		6300V									
6. PERDIDAS VACIAS Y CORRIENTE VACIA 50. Hz.					CORRIENTE VACIA: 5,072 A, 0,220 %														
U [V]		Ia [A]		Ib [A]		Ic [A]		Δ Po [W]											
400		5,555		4,410		5,250		1999,7											
7. PERDIDAS EN CORTECIRCUITO Y TENSION EN CORTECIRCUITO, 50 Hz.																			
TEMPERATURA °C		Uk [V]		Ik [A]		Δ Pk [W]		Uk [%]											
20		453,39		153,96		14435,98		7,56											
75		453,97		153,96		15670,64		7,57											
8. EFICIENCIA DEL TRANSFORMADOR:																			
CARGA		50 %		75 %		100 %		125 %											
cos φ = 1		99,260		99,099		98,896		98,676											
cos φ = 0,8		99,075		98,873		98,620		98,345											
9. DECRECIMIENTO DEL VOLATJE, CARGA 100 %:																			
cos φ = 1 Δu = 1,26 %, cos φ = 0,8 Δu = 5,53 %																			
RESULTADO: CONVENIENTE ACEITE: RESIST. DE AISL. 210 KV/CM																			
ACEITE INHIBIDOR																			
ZSE-BEZ BRATISLAVA																			
RRK 2 funkčná kontrola																			
DATA: 28.1.1987					ENSAYADO POR:														

Anexo # 3 Contenido de agua.



Anexo #4 Menú principal Firmware del sensor del

