

Aplicación conjunta de técnicas de mantenimiento predictivo para la efectiva y oportuna detección de anomalías en transformadores sumergidos en aceite.

Juan Martín Morfin Vázquez

Aplicación conjunta de técnicas de
MANTENIMIENTO PREDICTIVO
Agosto 8, 2006

Objetivo:

Mostrar los beneficios* de la aplicación conjunta de técnicas de mantenimiento predictivo, en la oportuna detección de anomalías en transformadores sumergidos en aceite.

* (1) Prevención de riesgos

- (2) Certidumbre de que el equipo está en condiciones de operación continua, confiable y segura.
- (3) Reducción de tiempos y costos por paros de producción para el desmontaje, desacoplamiento y/o desconexión del equipo para su cambio o reparación.
- (4) Reducción de los costos asociados con paros de emergencia.
- (5) Optimización de los recursos destinados al mantenimiento de los equipos y/o instalaciones.
- (6) Reducción del inventario de refacciones.



Por más de 100 años...

Mundo actual: Tecnología y progreso.

Aplicación conjunta de técnicas de
MANTENIMIENTO PREDICTIVO
Agosto 8, 2006

NFPA 70B [1998] Capítulo 2-1.1

“El deterioro de un equipo eléctrico es normal, sin embargo, una falla **NO** es inevitable. Desde que un equipo es instalado y puesto en operación, un proceso de deterioro normal dará inicio. No vigilar este proceso de deterioro puede provocar un mal funcionamiento y/o la falla del equipo.



¿Cómo podemos vigilarlo?

Aplicación conjunta de técnicas de
MANTENIMIENTO PREDICTIVO

Agosto 8, 2006

Mediante la aplicación conjunta de técnicas de mantenimiento predictivo

Mantenimiento predictivo: Pruebas e inspecciones que se realizan durante la operación normal del equipo, con la finalidad de detectar anomalías y evitar fallas.

¿Cuáles son estas técnicas?

Termografía Infrarroja

Cromatografía de gases

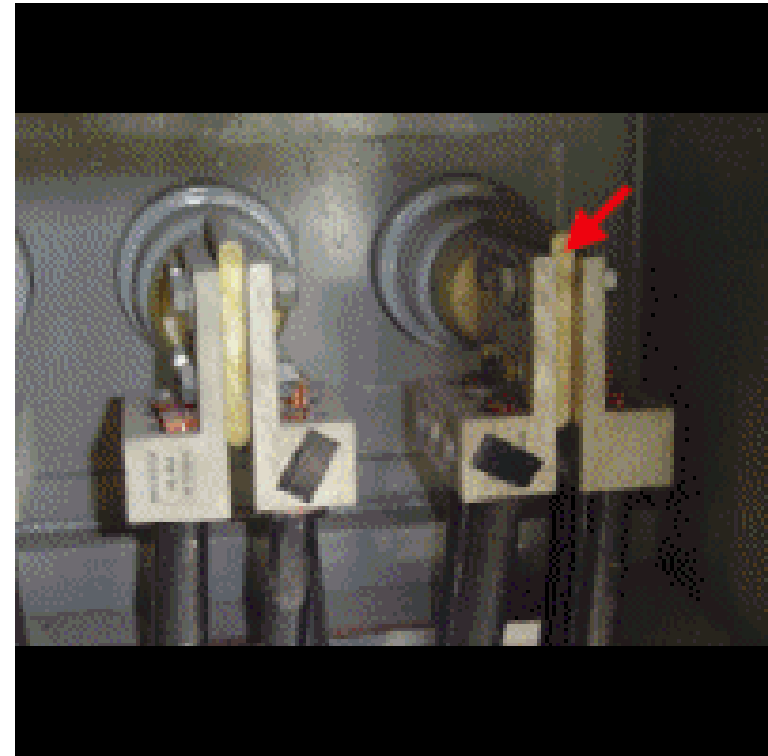
Análisis físico-químico del aceite dieléctrico
(Humedad y Oxidación)

Análisis de furanos

Aplicación conjunta de técnicas de
MANTENIMIENTO PREDICTIVO

¿Qué es Termografía INFRARROJA?

Es una técnica electrónica que nos permite ver la energía térmica que emiten los objetos –calor-.



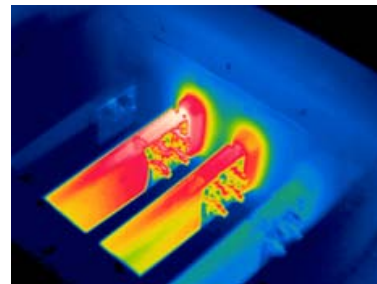
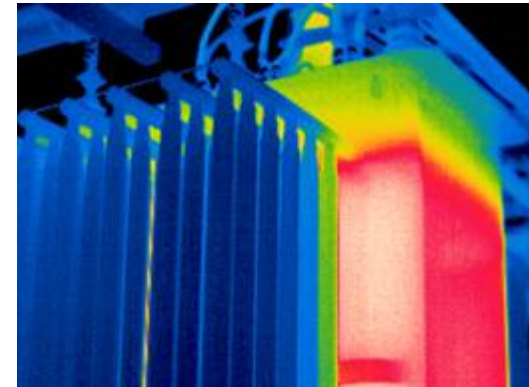
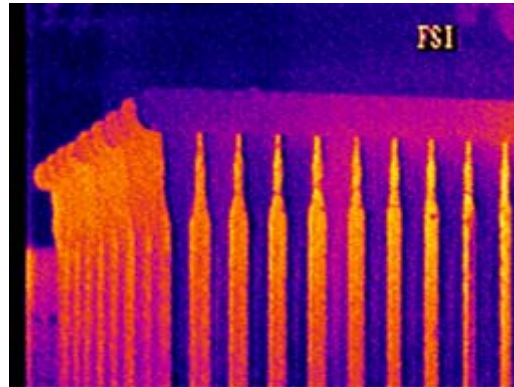
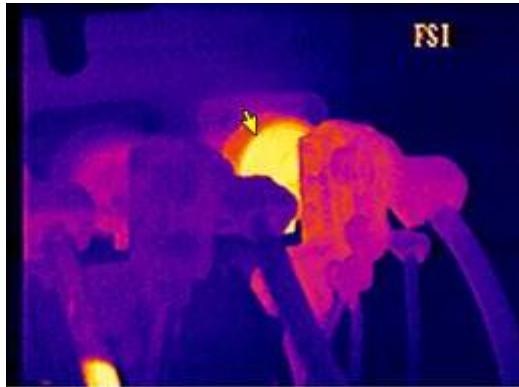
¿Cómo saber con certeza qué es lo que está sucediendo en el interior de este transformador?

Aplicación conjunta de técnicas de
MANTENIMIENTO PREDICTIVO

Agosto 8, 2006

Termografía Infrarroja

Tres primeros termogramas tomados de www.snellinfrared.com y www.flirt.com



... y, conexiones flojas...

Aplicación conjunta de técnicas de
MANTENIMIENTO PREDICTIVO
Agosto 8, 2006

Cromatografía para la detección de gases combustibles disueltos en el aceite.

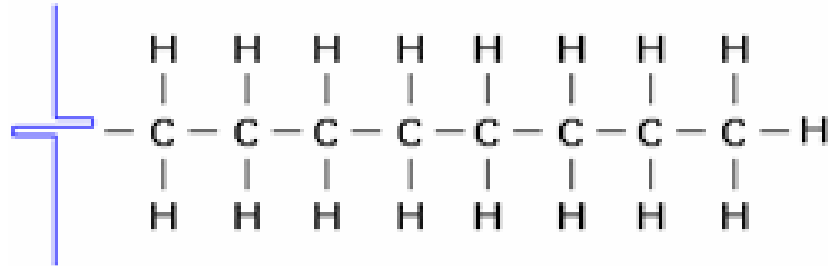


Desde que un TR es puesto en operación... sobrecarga, ciclos de trabajo forzados...

Aplicación conjunta de técnicas de
MANTENIMIENTO PREDICTIVO

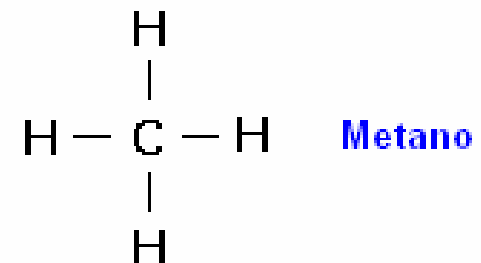
Agosto 8, 2006

El aceite dieléctrico.

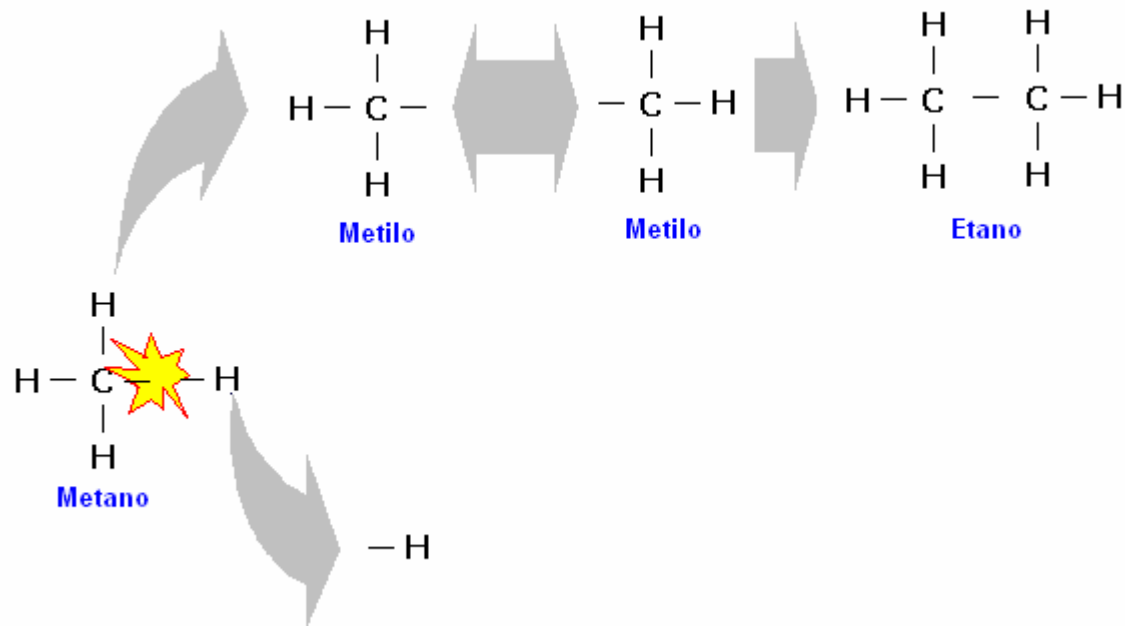


Cadenas de hidrocarburos saturados. Átomos de carbono e hidrógeno unidos por valencias simples. También conocidos como hidrocarburos alifáticos, parafinas o alcanos.

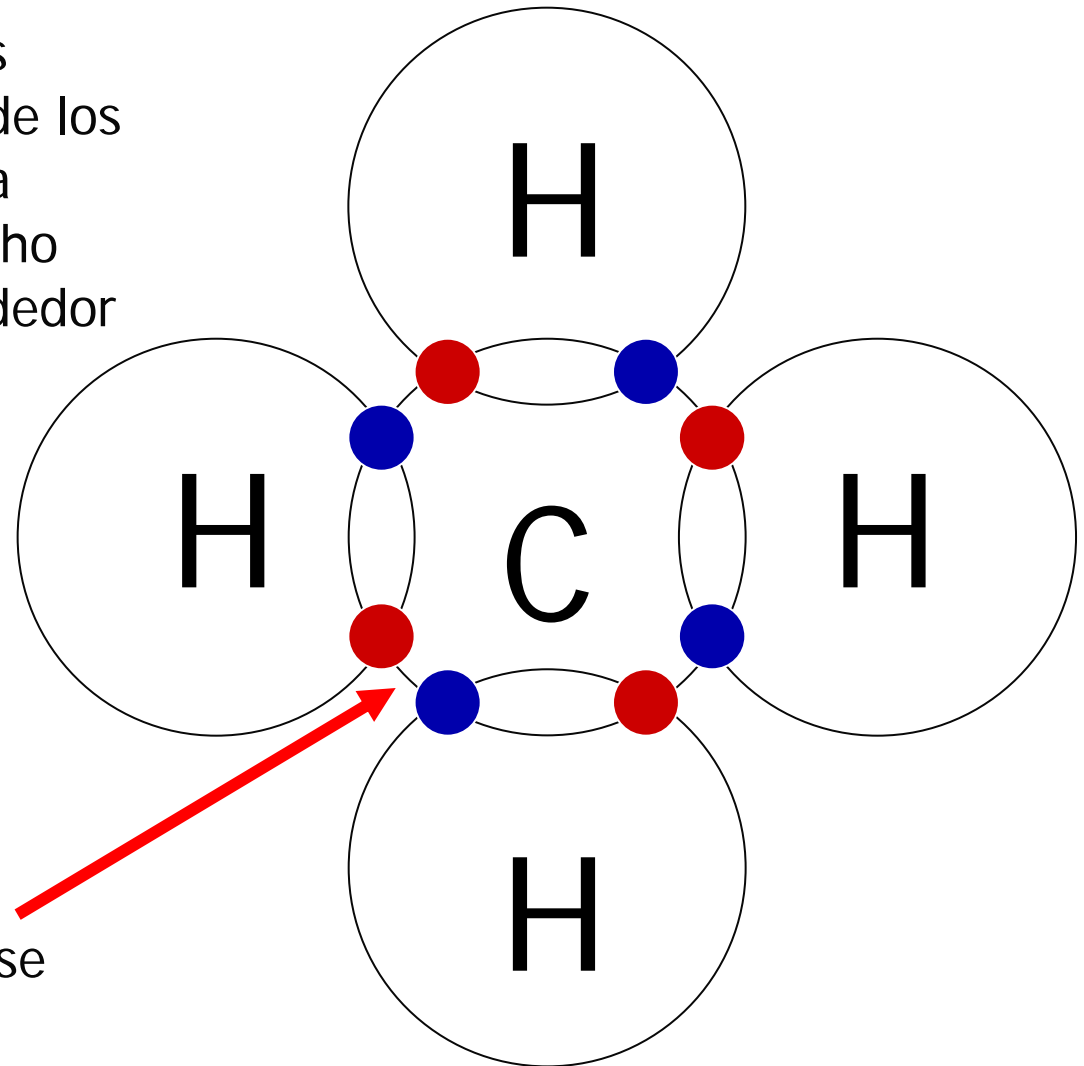
El metano (CH₄) es el primero y el más sencillo de los hidrocarburos. Teóricamente, a partir de él se pueden obtener todos los compuestos orgánicos por sustituciones convenientes.



En un transformador en operación, la formación de nuevos compuestos es favorecida por la energía térmica producida por el funcionamiento del equipo, o bien, por la existencia de alguna posible anomalía.



Durante la formación de las moléculas, la mayor parte de los átomos intenta obtener una configuración estable de ocho electrones de valencia alrededor de él.



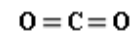
Para romper estos enlaces se necesitan 218 kJ/mol

Los gases que se generan dentro de un transformador se agrupan en los siguientes tres grupos:

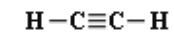
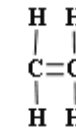
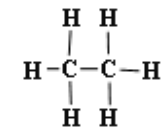
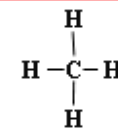
Gases de la atmósfera:



Óxidos de carbono:



Hidrógeno e hidrocarburos:



$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{H} \\ \\ \text{H} \end{array}$	Metano	Alcanos	338 kJ/mol
$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{H} \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array}$	Etano		
$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \\ \text{C}=\text{C} \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array}$	Etileno	Alqueno	607 kJ/mol 500 °C
$\text{H}-\text{C}\equiv\text{C}-\text{H}$	Acetileno	Alquino	960 kJ/mol > 700 °C

Aceite

Celulosa

Efecto corona o descarga parcial –baja energía-

H₂

H₂, CO y CO₂.

Calentamiento térmico o pirólisis

Baja energía: CH₄, C₂H₆

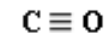
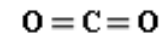
Baja energía: CO₂ (CO)

Alta energía: C₂H₄, H₂ (CH₄, C₂H₆)

Alta energía: CO (CO₂)

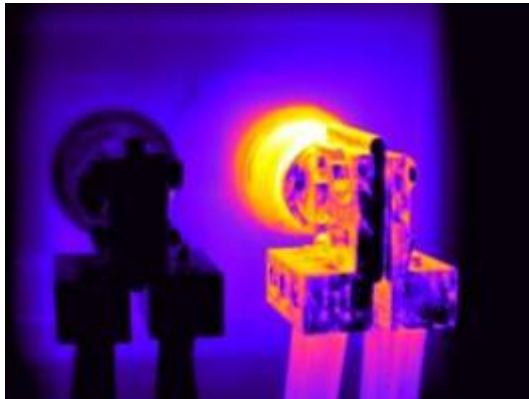
Arqueo –alta energía-

H₂, C₂H₂ (CH₄, C₂H₆, C₂H₄)



CO₂/CO < 3 [IEC 60599]

Caso documentado en [2003]

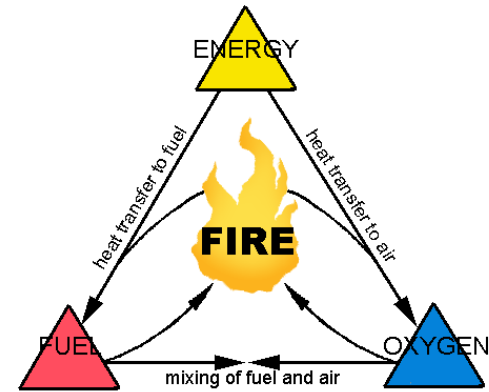
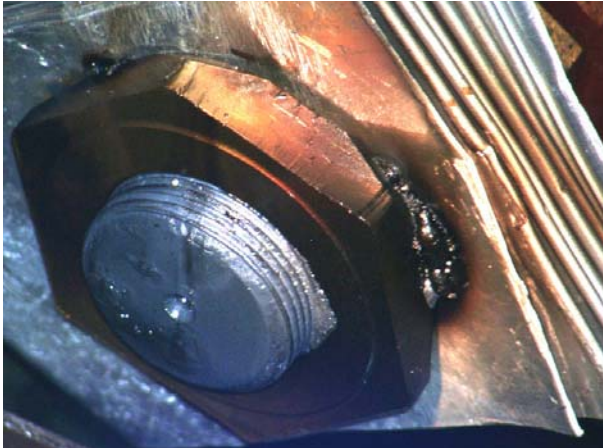


GAS	Jun. 07, 2003		Sep. 03, 2003	
	% vol.	ppm	% vol.	Ppm
Nitrógeno (N ₂)	78.56	46,706	69.18	63,030
Oxígeno (O ₂)	19.74	11,734	15.87	14,461
Dióxido de carbono (CO ₂)	1.30	771	1.52	1,388
Monóxido de carbono (CO)	0.11	67	0.10	88
Hidrógeno (H ₂)	0.06	35	2.39	2,176
Metano (CH ₄)	0.09	55	2.17	1,973
Etano (C ₂ H ₆)	0.02	14	3.25	2,958
Etileno (C ₂ H ₄)	0.11	67	4.86	4,430
Acetileno (C ₂ H ₂)	0.01	5	0.66	601
Total de gases disueltos		59,454		91,105
Total de gases combustibles		243		12,226
% de gases combustibles		0.409		13.42

Aplicación conjunta de técnicas de
MANTENIMIENTO PREDICTIVO

Agosto 8, 2006

Hallazgo...



Hechos

- Con la termografía podemos obtener información, rápidamente, sin interferir con los procesos. Pero, en ocasiones, no es suficiente para determinar la causa raíz de una anomalía.
- La cromatografía de gases es a un transformador, como una electrocardiografía es a un ser humano. A partir de ésta podremos saber si el equipo opera normalmente, si está sometido a ciclos de trabajo forzados -sobrecargas-, o si en su interior se está gestando alguna anomalía.
- Ningún equipo está exento de presentar una anomalía. No importa que éste sea nuevo y/o lleve poco tiempo en operación.

Sistema de aislamiento.

(Oxidación y/o humedad)



El envejecimiento y/o deterioro del aceite está relacionado con un proceso de oxidación...

La reacción entre hidrocarburos inestables, la omnipresencia de oxígeno, humedad, y otros elementos, además del calor, favorecen a este proceso.

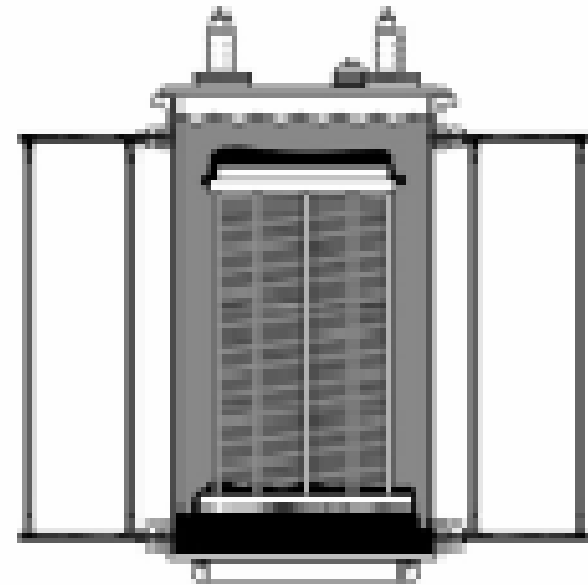


La formación de materiales ácidos...

Alcoholes, ácidos, peróxidos, acetonas, aldehídos, jabones y epóxicos.

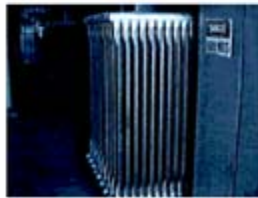
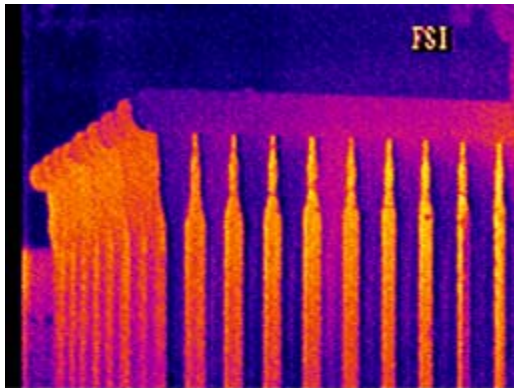
Compuestos que actuarán entre sí, y formarán "lodo".

Está comprobado que bajo la presencia de tensiones eléctricas este proceso se acelera.

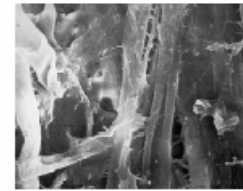


Entre las consecuencias más importantes que la formación de "lodos" puede acarrear se encuentran:

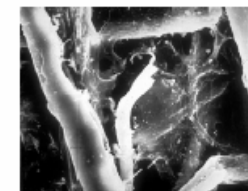
1. La pérdida de la capacidad para disipar calor por la obstrucción de los radiadores debido a la acumulación de "lodo".



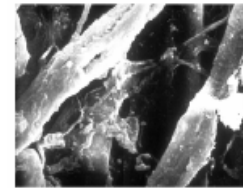
2. La pérdida de resistencia mecánica del sistema de aislamiento sólido.



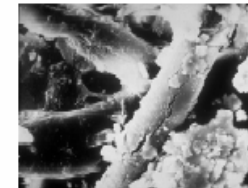
New Oil



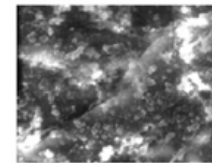
Acid # 0.05



Acid # 0.10



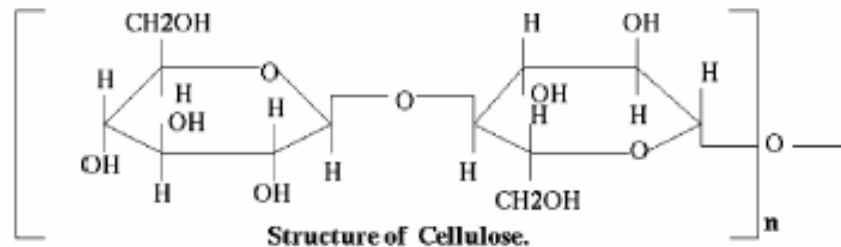
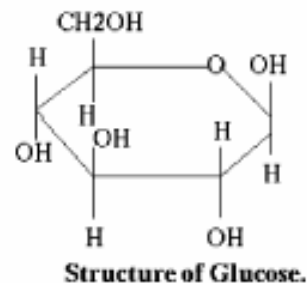
Acid # 0.15



Acid # 0.30

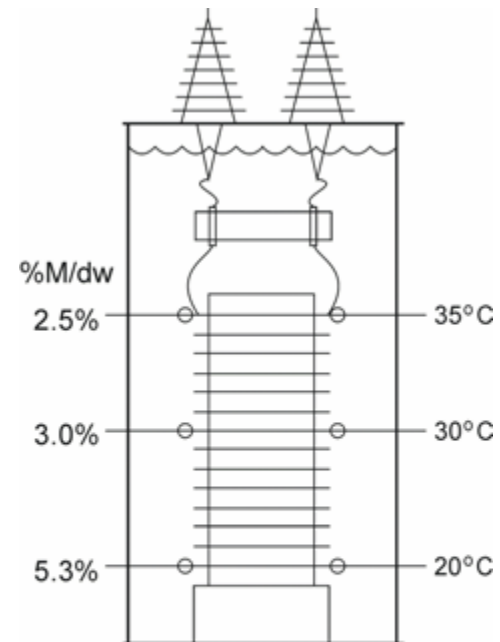
Aislamiento Sólido

El sistema de aislamiento sólido -celulosa- de un transformador tiene una estructura polimérica en forma de cadena.



Otro factor que afecta al aislamiento sólido es el contenido de humedad.

El aislamiento sólido tiene mayor afinidad con la humedad.



Water in Transformer Insulation

Figure 21. -- Water Distribution in Transformer Insulation

Debilitamiento de las propiedades mecánicas de la celulosa...



Hechos

- La vida útil de un transformador depende de las condiciones en las que se encuentre su sistema de aislamiento.
- La falta de mantenimiento, o bien, mantenimientos **no** adecuados, puede llevar al sistema de aislamiento a un estado de deterioro tal que, tarde o temprano, provocará la falla del equipo.
Ejemplo: Casos documentados por la NFPA
- Es absolutamente posible prevenir estos riesgos.

Conclusiones

Cada una de estas técnicas, por sí solas, no ofrecen los medios y/o elementos suficientes para poder emitir un diagnóstico confiable.

En cambio, con la aplicación conjunta se logra:

1. Mayor información y elementos para el diagnóstico,
2. Certidumbre; ayuda para la toma de mejores decisiones,
3. La posibilidad de evitar interrupciones en el suministro de energía eléctrica, daños en equipos, pérdida de materiales, oportunidades e imagen.
4. La posibilidad de prevenir riesgos.

¡Gracias por su atención!