

## **FORÇA TAREFA RCM**

### **Projeto Piloto: Transformador de Potência**

#### **Sistema Dielétrico Interno:**

##### 1.0 – Descrição:

O sistema dielétrico interno é composto pelo óleo isolante e a celulose (papel). Estes componentes em conjunto, desempenham uma função primordial, que é agir como dielétrico do sistema. Além desta função desempenhada em conjunto, cada um deles tem uma função específica: o óleo tem a finalidade de ser o agente de transferência de calor dissipado pelos enrolamentos, já o papel da a suportabilidade mecânica para os mesmos.

##### 2.0 – Divisão do sistema:

Apesar do óleo isolante e o papel agirem em conjunto para desempenhar a função de isolamento elétrico dos enrolamentos, são afetados por defeitos diferentes que causam conseqüências diferentes para o transformador, com isso será feita a divisão em dois subsistemas distintos: o Óleo Isolante e o Papel, para melhor análise das falhas associadas a cada um deles.

##### 3.0 – Subsistemas:

- Óleo Isolante:

Para que possa atender satisfatoriamente a dupla função de dielétrico e agente de transferência de calor, o óleo isolante deve possuir certas propriedades básicas como: rigidez dielétrica suficiente para suportar as altas tensões, para que sua capacidade de circular e transferir calor não sejam prejudicadas e, além disso, deve ter boa resistência à oxidação para assegurar uma longa vida em serviço.

A deterioração do óleo começa após o contato com o equipamento e é influenciada pelos seguintes fatores: presença de oxigênio, temperaturas elevadas, presença de metais e umidade que atuam como catalisadores das reações de oxidação.

Numa fase inicial da oxidação formam-se produtos solúveis no óleo a quente, porém insolúveis no óleo a frio, podendo precipitar nas partes mais frias do equipamento. Em um estágio mais avançado de oxidação formam-se borras insolúveis que se depositam sobre a isolação sólida, núcleo e paredes do tanque. Essas borras, além de prejudicar a troca de calor e alterar as características dielétricas do óleo, aceleram o envelhecimento do papel, diminuindo a vida útil do equipamento.

Atenção especial deve ser dada para os equipamentos cujos óleos possuam altos teores de umidade, uma vez que, quando a temperatura da parte ativa é inferior à do óleo, haverá migração da umidade do óleo para a isolação sólida. No caso de recondicionamento destes óleos deverá ser feita secagem da parte ativa a fim de se evitar que a água presente na isolação sólida migre de volta para o óleo.

O óleo mineral isolante é um derivado do petróleo, formado por uma mistura de hidrocarbonetos e quando novo é transparente (tem cor amarelo pálido). Para aplicações em equipamentos elétricos são empregados dois tipos de óleo mineral isolante: naftenico e parafínico. Além deste fluido, são também utilizados óleo tipo silicone, R-Temp, ou ainda outros óleos isolantes.

- Papel:

Material celulósico obtido a partir da polpa de madeira tratada pelo processo sulfato. A principal função do papel é suportar mecanicamente os esforços provenientes dos enrolamentos do transformador, em regime de funcionamento normal e sob a ação de um curto-circuito. Logo o papel deverá ser capaz de suportar um estouro, tração ou até mesmo rasgo. O papel mais utilizado e difundido, é o Kraft. A umidade é o principal agente causador da degradação da celulose, logo sua concentração deve ser monitorada para que não traga danos ao sistema. O papel úmido tem sua resistência diminuída e suas propriedades dielétricas, prejudicadas. O papel Kraft é muito poroso (higroscópico), estimando-se que contenha de 80% a 95% de ar, com isso ele absorve cerca de 10% do volume do óleo colocado no transformador.

O papel isolante utilizado em transformadores é, depois de seco, impregnado de verniz ou resina isolantes e posteriormente de óleo isolante. Sua impregnação não impede, mas retarda a penetração de água.

#### 4.0 – Falhas nos Subsistemas:

##### 4.1 – Óleo Isolante:

Antes de se falar de falhas, vale a pena relembrar dois conceitos:

- **Óleo deteriorado:** É aquele que contém produtos resultantes de sua oxidação, o processo de oxidação do óleo tem início quando o oxigênio entra em combinação com hidrocarbonetos instáveis contidos no óleo, na presença dos catalisadores (aceleradores do processo) existentes no transformador (cobre, ferro, água, etc.). Esses hidrocarbonetos são considerados impurezas do óleo. Os principais produtos da oxidação são: água e ácido.
- **Óleo contaminado:** É aquele que contém água e outras substâncias estranhas, mas que não são os produtos de sua decomposição (oxidação).

Além dos catalisadores apresentados acima, agem como aceleradores do processo de oxidação: o calor, a tensão elétrica, a vibração, os surtos de tensão e os choques mecânicos e de carga. O calor é um dos principais catalisadores, ou seja, quanto maior a temperatura do óleo, maior será a velocidade de oxidação do mesmo.

Logo, um óleo em condição crítica de oxidação, produzirá uma grande concentração de água e ácido. A umidade em excesso comprometerá também o papel, pois o mesmo por ser muito higroscópico, agirá como um secador eficaz para o óleo isolante. Já o ácido aumentará ainda mais a velocidade de oxidação, além de comprometer algumas características físicas do óleo.

Pode-se dizer que todo e qualquer defeito ocasionado no óleo, seja por qualquer origem, desde uma partícula condutora flutuando no mesmo até um defeito mecânico externo, geram gases. Através de ensaios e estudos mais aprofundados, chegou-se a algumas correlações que são usadas para análise e diagnóstico de equipamentos, e funcionam com muito êxito.

- **Arco elétrico:** São geradas grandes quantidades de hidrogênio e acetileno, com pequenas porções de metano e etileno. Dióxido e monóxido de carbono serão gerados se a falha envolver o papel.
- **Descargas Parciais:** Descargas elétricas de baixa energia produzem hidrogênio e metano, com pequenas quantidades de etano e etileno. Se o papel estiver envolvido na falha, quantidades comparáveis de monóxido e dióxido de carbono serão geradas.
- **Superaquecimento do óleo:** Os produtos da decomposição incluem etileno e metano, juntamente com quantidades menores de hidrogênio e etano. Traços de acetileno podem ser formados se a falha severa ou se envolve contatos elétricos.

- **Eletrólise:** A decomposição eletrolítica da água ou a decomposição da água associada com a ferrugem resulta na formação de grandes quantidades de hidrogênio, com pequenas quantidades dos outros gases combustíveis.

#### 4.2 – Papel:

As falhas que envolvem a celulose são as que causam mais preocupação, pois a isolamento sólida do transformador é um meio não regenerativo, ou seja, uma vez acontecida a falha degradará o papel. Já o óleo por ser regenerativo, poderá ser tratado (filtrado e/ou secado), até o ponto de poder ser usado novamente, o que não acontece com o papel. Todas as falhas que envolvem o papel geram monóxido e dióxido de carbono. Este primeiro é o produto da deterioração do papel quando este é submetido a uma elevação de temperatura, à medida que a temperatura se eleva ainda mais, o dióxido de carbono será produzido. As falhas no papel podem ser de origem térmicas, elétricas ou mecânicas.

#### 5.0 – Exemplo de falha:

Mesmo sabendo que o equipamento apresentado no exemplo (TC – 300kV) não é o objeto de estudo desta força tarefa, será de grande valia a correlação da análise dos gases retirados com a inspeção visual do defeito, que serão apresentados abaixo.



Retirada do óleo para análise



Esvaziamento do TC



Preparação para retirada da porcelana



Retirada da parte ativa para análise



Preparação para retirada do papel



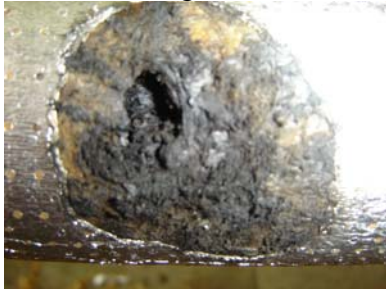
Papel carbonizado em virtude do defeito



Busca da origem do defeito



Conseqüências do defeito – parte I



Conseqüências do defeito – parte II



Caracterização do defeito – Parte I



Caracterização do defeito – Parte II



Confirmação da causa do defeito

Fazendo uma breve descrição do que levou aos ensaios e posterior abertura deste TC, tem-se:

- 1 – Este TC foi enviado por uma empresa para ensaios de descargas parciais, pelo fato de ter sido retirado de operação por possuir pontos quentes. Estes pontos foram localizados pela termografia;
- 2 – Uma vez ensaiado este apresentou valores altos de descargas parciais. Foram realizados testes termográficos e localizados pontos quentes no mesmo local relatado pelo cliente, uma amostra do óleo foi retirada para análise cromatográfica;
- 3 – Optou-se então pela abertura do TC para verificação do defeito. Uma vez aberto, foram constatados os pontos de carbonização no papel;
- 4 – Com a retirada do papel, observou-se que um dos elementos que faz a distribuição do gradiente de potencial no TC (alumínio), estava cortado, ou seja, havia uma interrupção nas linhas do gradiente. O que fazia com que uma parte do alumínio tivesse a tensão diferente da outra, ocasionando assim um diferença de potencial altíssima quando o TC era submetido a um transitório, gerando assim arco elétrico no papel e conseqüentemente a carbonização do mesmo. Esta hipótese foi confirmada pelo fato de que, abaixo do elemento flutuante, o papel estava sem marcas de carbonização. Este característica imperou até a retirada completa do papel, chegando no condutor.

Com o resultado da análise cromatográfica do óleo isolante, foi possível comprovar o que foi observado na análise visual da falha. A análise detectou altos índices de hidrogênio e acetileno, o que significava arco elétrico (comprovado visualmente) e com grandes quantidades de monóxido e

dióxido de carbono, o que indicava envolvimento do papel. Sendo que este último em maior quantidade que o monóxido de carbono, indicando alta severidade no aquecimento do papel.

Como foi mencionado acima, apesar deste equipamento não ser o projeto piloto em questão da força tarefa, indica o quanto é importante um bom funcionamento e supervisão do sistema dielétrico interno, pois uma falha neste, pode variar de meramente indesejável a totalmente catastrófica com perda do equipamento, como foi o caso apresentado.