



RESUMEN – TESIS DE GRADO

**AUTORES:** RAFAEL LEONARDO CANAL RAMOS

**FACULTAD:** INGENIERIAS

**PLAN DE ESTUDIOS:** INGENIERA ELECTROMECHANICA

**DIRECTOR:** FABIO ELICEO VILLAMIZAR JAIMES

**TITULO DE LAS TESIS:** ESTRUCTURACION DE UN SOFTWARE PARA EL ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE AISLAMIENTO FISICOQUÍMICAS Y CROMATOGRÁFICAS HECHAS A LOS TRANSFORMADORES DE POTENCIA DE LA EMPRESA CENTRALES ELÉCTRICAS DEL NORTE DE SANTANDER

RESUMEN

En este trabajo se presentan las técnicas y procedimientos utilizados para predecir e identificar fallas en transformadores eléctricos de potencia, conociendo sus componentes básicos, los procesos de degradación que sufren con el tiempo y los mecanismos que contribuyen a dicha degradación, y por último se hace la estructuración de un software para el análisis y diagnóstico de las principales pruebas realizadas a los transformadores de potencia de CENS S.A E.S.P

CARACTERÍSTICAS

PAGINAS: 171 PLANOS        ILUSTRACIONES        CD ROM 1

ESTRUCTURACION DE UN SOFTWARE PARA EL ANÁLISIS DE LOS  
RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE AISLAMIENTO FÍSICOQUÍMICAS Y  
CROMATOGRAFICAS HECHAS A LOS TRANSFORMADORES DE POTENCIA  
DE LA EMPRESA CENTRALES ELÉCTRICAS DEL NORTE DE SANTANDER

RAFAEL LEONARDO CANAL RAMOS

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
PLAN DE ESTUDIOS DE INGENIERÍA ELECTRÓMECANICA  
SAN JOSÉ DE CÚCUTA  
2010

ESTRUCTURACION DE UN SOFTWARE PARA EL ANÁLISIS DE LOS  
RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE AISLAMIENTO FÍSICOQUÍMICAS Y  
CROMATOGRAFICAS HECHAS A LOS TRANSFORMADORES DE POTENCIA  
DE LA EMPRESA CENTRALES ELÉCTRICAS DEL NORTE DE SANTANDER

RAFAEL LEONARDO CANAL RAMOS

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de:  
Ingeniero Electromecánico

Director:  
FABIO ELISEO VILLAMIZAR JAIMES  
Licenciado Electromecánico

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
PLAN DE ESTUDIOS DE INGENIERÍA ELECTRÓMECANICA  
SAN JOSÉ DE CÚCUTA  
2010



UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER

**ACTA DE SUSTENTACION DE UN TRABAJO DE GRADO**

FECHA : 11 DE FEBRERO DE 2010 HORA: 2:00 p. m.

LUGAR : SALA 3 - TERCER PISO EDIFICIO CREAD – UFPS.

PLAN DE ESTUDIOS: INGENIERIA ELECTROMECHANICA

TITULO DE LA TESIS: "ESTRUCTURACION DE UN SOFTWARE PARA EL ANALISIS DE LOS RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE AISLAMIENTO FISICOQUIMICAS Y CROMATOGRAFICAS HECHAS A LOS TRANSFORMADORES DE POTENCIA DE LA EMPRESA CENTRALES ELECTRICAS DEL NORTE DE SANTANDER".

JURADOS: ING. PEDRO JOSE PATIÑO CARDENAS  
ING. MARLON MAURICIO HERNANDEZ CELY


DIRECTOR: LICENCIADO FABIO ELISEO VILLAMIZAR JAIMES.

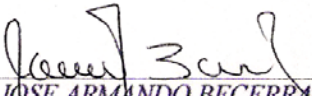
NOMBRE DE LOS ESTUDIANTES:	CODIGO	CALIFICACION
		NUMERO LETRA
RAFAEL LEONARDO CANAL RAMOS	0090673	4,4 CUATRO, CUATRO

**A P R O B A D A**

FIRMA DE LOS JURADOS:

  
\_\_\_\_\_  
ING. PEDRO JOSE PATIÑO CARDENAS

  
\_\_\_\_\_  
ING. MARLON MAURICIO HERNANDEZ CELY

Vo. Bo.   
\_\_\_\_\_  
JOSE ARMANDO BECERRA VARGAS  
Coordinador Comité Curricular

Betty M.

A mi madre, Maria Edilma Ramos Urbina cuyo esfuerzo y dedicación por sus hijos se ve reflejado en la culminación de nuestras metas, te amo mamá y te agradezco todo lo que has hecho por mí.

A mi padre, Jaime Canal Prieto cuyo esfuerzo y servicio se ha manifestado cada día.

A mis hermanas Erika Yudith Canal Ramos y Leidy Diana Canal Ramos, cuya motivación y apoyo han sido invaluable, en el desarrollo de mi vida.

## **AGRADECIMIENTOS**

El autor expresa sus agradecimientos a:

Ingeniero Electricista Pedro Galvis, Subgerente de distribución de CENS S.A E.S.P, quien me abrió las puertas de su empresa para desarrollar mi proyecto de grado en ella.

Ingeniero Electricista Carlos Eduardo Solano Quintero por su incondicional apoyo y motivación para el desarrollo del proyecto.

Ingeniero Electromecánico Raúl Martínez, quien me brindo su confianza y apoyo al depositar en mí la idea del presente trabajo, y cuya colaboración y asesoría se prestó en todo el transcurso de este proyecto.

Ingeniera de Sistemas Paula Contreras, por su grata amistad y apoyo en el desarrollo y programación del software.

## CONTENIDO

	<b>pág.</b>
INTRODUCCIÓN	19
1. CONCEPTOS BASICOS DEL TRANSFORMADOR DE POTENCIA	22
1.1 DEFINICION	22
1.2 CLASIFICACIÓN DE LOS TRANSFORMADORES	23
1.2.1 Transformadores de potencia	23
1.2.2 Autotransformadores	23
1.2.3 Transformadores de medida	23
1.2.4 Transformadores de pequeña tensión	23
1.3 TIPOS DE TRANSFORMADOR DE POTENCIA	23
1.3.1 Transformador monofásico	23
1.3.2 Transformador trifásico	24
1.4 ASPECTOS CONSTRUCTIVOS	24
1.4.1 El núcleo	24
1.4.2 Los devanados	25

1.4.3 Refrigeración	26
2. CARACTERISTICAS BASICAS DE LOS TRANSFORMADORES DE POTENCIA DE CENS S.A E.S.P PARA EL ANALISIS Y REALIZACION DE SUS PRUEBAS	28
3. SISTEMA DE AISLAMIENTO EN TRANSFORMADORES DE POTENCIA	31
3.1 ACEITE AISLANTE	31
3.1.1 Proceso de degradación de los aceites minerales aislantes	32
3.1.2 Factores básicos del deterioro del aceite aislante	33
3.1.3 Vida útil del aceite	34
3.2 PAPEL AISLANTE	34
3.3 FACTORES QUE INCIDEN EN EL DETERIORO DEL PAPEL AISLANTE	34
3.3.1 Sustancias polares, ácidos y lodos	34
3.3.2 El agua	35
3.3.3 Los esfuerzos eléctricos	36
3.3.4 Efecto de la temperatura	36
3.3.5 Electrización estática del sistema de aislamiento del aceite.	37
4. ANALISIS DE PRUEBAS FISICOQUIMICAS Y ELECTRICAS REALIZADAS AL ACEITE DIELECTRICO DE TRANSFORMADORES	38
4.1 DEFINICION	38



4.2 BENEFICIOS	38
4.3 TIPOS DE PRUEBAS REALIZADAS AL ACEITE DILECTRICO	38
4.3.1 Número de neutralización - norma ASTM D-974	38
4.3.2 Tensión interfacial norma ASTM D-971	40
4.3.3 Rigidez dieléctrica norma ASTM D-877 Y D-1816	42
4.3.4 Contenido de agua – norma ASTM D-1533	47
4.3.5 Color-norma ASTM D-1500	51
4.3.6 Gravedad específica	52
4.3.7 Índice de calidad	53
4.3.8 Prueba del factor de potencia al aceite norma ASTM D -974	54
4.3.9 Inhibidor a la oxidación	55
5. ANALISIS DE TRANSFORMADORES POR CROMATOGRAFIA DE GASES	57
5.1 DEFINICION	57
5.2 BENEFICIOS	57
5.3 OBJETIVOS DE LA CROMATOGRAFÍA DE GASES	57
5.4 ANÁLISIS DE GASES	58
5.5 PROCESO DE LA FORMACIÓN DE GASES	60

5.5.1 Descomposición de la celulosa	61
5.5.2 Descomposición del aceite	61
5.6 TIPOS DE FALLA	62
5.6.1 Fallas térmicas	62
5.6.2 Fallas eléctricas	63
5.7 MÉTODOS PARA LA DETERMINACIÓN DEL TIPO DE FALLA	63
5.7.1 Método del gas característico	63
5.7.2 Método de las relaciones de Dornenburg	67
5.8 MÉTODO PARA LA EVALUACIÓN DE TRANSFORMADORES EN FUNCION DE LA CANTIDAD DE GASES PRESENTES EN EL TRANSFORMADOR Y A SU TASA DE GENERACION	77
5.8.1 Método descrito en la norma IEEE C57 104- 1991	77
5.8.2 Tasa de generación de gases	78
5.8.3 Acciones a tomar en función de la totalidad de gases combustibles (TGC) y su tasa de generación	79
6. PRUEBAS ELÉCTRICAS A LOS TRANSFORMADORES DE POTENCIA	83
6.1 MEDICION DE LA CALIDAD DEL AISLAMIENTO	84
6.1.1 Medición del factor de potencia del aislamiento.	84
6.1.2 Medición de la resistencia de aislamiento.	89

6.2 MEDICION DEL COMPORTAMIENTO ELECTRICO DEL TRANSFORMADOR	96
6.2.1 Medición de la corriente de excitación	96
6.2.2 Medición de la relación de transformación	97
6.2.3 Medición de la resistencia de devanados	98
7. PRUEBAS ESPECIALES REALIZADAS A LOS TRANSFORMADORES DE POTENCIA	100
7.1 ANÁLISIS DE FURANOS	100
7.2 ANÁLISIS DE BARRIDO DE FRECUENCIA S.F.R.A	104
8. PCBS EN TRANSFORMADORES	107
8.1 DEFINICIÓN	107
8.2 PCBS EN TRANSFORMADORES	108
8.2.1 Transformadores a base de Askarel	108
8.2.2 Transformadores de aceite mineral contaminados con PCBs	109
8.3 CLASIFICACION DE TRANSFORMADORES SEGÚN EL CONTENIDO DE PCBs	111
8.4 MANEJO Y DESECHO DE TRANSFORMADORES CONTAMINADOS CON PCBs	111
8.4.1 Tratamiento y/o destrucción de aceites con PCBs	111
8.4.2 Tratamiento o destrucción de carcasas contaminadas con PCBs	112

8.4.3 Exportación	112
8.5 ROTULACION DE EQUIPOS CON PCBS	112
9. CONCLUSIONES	114
10. RECOMENDACIONES	115
BIBLIOGRAFÍA	117
ANEXOS	118