

Seminario Nacional CIGRE Colombia

Máquinas Eléctricas Rotativas 2022

Grupo de Trabajo CIGRE

WG N° : A1.4

Experiencias en el Diagnóstico de un núcleo de estator de un gran generador

Juan G. Osorio C. / Rubén D. Jaimes M. / Jairo A. Palacios
CELSIA CELSIA UNIVALLE

Organizan:



Apoya:



Seminario Nacional CIGRE Colombia

Máquinas Eléctricas Rotativas 2022

Grupo de Trabajo CIGRE

WG N° : A1.4

Experiencias en el Diagnóstico de un núcleo de estator de un gran generador

Juan G. Osorio C. CELSIA

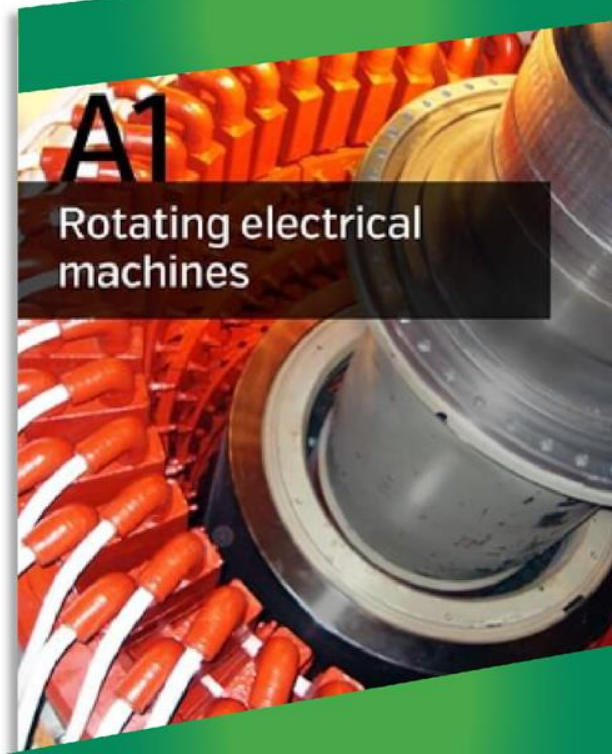
Rubén D. Jaimes M. CELSIA Vicepresidente para américa latina de la conferencia DOBLE ENGINEERING

Jairo A. Palacios UNIVERSIDAD DEL VALLE

Organizan:



Apoya:



Seminario Nacional CIGRE Colombia

Máquinas Eléctricas Rotativas 2022

Grupo de Trabajo CIGRE

WG N° : A1.4

Agenda

- Introducción: Grupo de trabajo **Diagnóstico de grandes máquinas eléctricas.**
- Experiencias en Diagnóstico de un núcleo de estator de un gran generador
- Conclusiones

Organizan:



Apoya:



Diagnóstico de grandes máquinas eléctricas

Introducción

Núcleo ferromagnético de la máquina

Funciones principales

- Concentrar y dirigir el flujo magnético
- Soportar devanados
- Evacuar calor

Constitucion

- Chapas electromagneticas delgadas,
- Aislamiento
- sistemas de sujeción mecánica.

Ambiente de trabajo.

- Campos magneticos
- Campos térmicos
- Fuerzas mecánicas



Diagnóstico de grandes máquinas eléctricas

Experiencias en Diagnóstico

Núcleo de Estator de un Gran Generador



A1

Rotating electrical
machines

Experiencias en Diagnóstico de un núcleo de estator de un gran generador



Modo de fallo:

Se observaron rayaduras desde la parte inferior de las cabezas de bobinas inferiores del estator, hasta una altura de 44 cm del núcleo en el perímetro (tangencialmente) de las 300 ranuras del núcleo del estator.

Características:

- Potencia: 100 MVA
- Tensión: 13,8 kV
- Velocidad: 180 rpm
- F.P.: 0,9

Experiencias en Diagnóstico de un núcleo de estator de un gran generador



Modo de fallo:

En el núcleo de los 40 polos del rotor se observaron también rayadura en algunos sectores externos de la zapata polar, pero se nota que las rayaduras están más acentuadas en dos de los polos.

Experiencias en Diagnóstico de un núcleo de estator de un gran generador

¿Qué decisión se toma de acuerdo a la experiencia que se tiene?

- Realizar el ensayo de medición de corriente de fuga ELCID.
- Realizar el ensayo toroidal o ensayo de aislamiento interlaminar del núcleo de estator (Core loops test).



Experiencias en Diagnóstico de un núcleo de estator de un gran generador



Opciones a realizar ¿**ELCID (Electromagnetic Core Imperfection Detector)** o **Toroidal (CLT)**?:

ELCID:

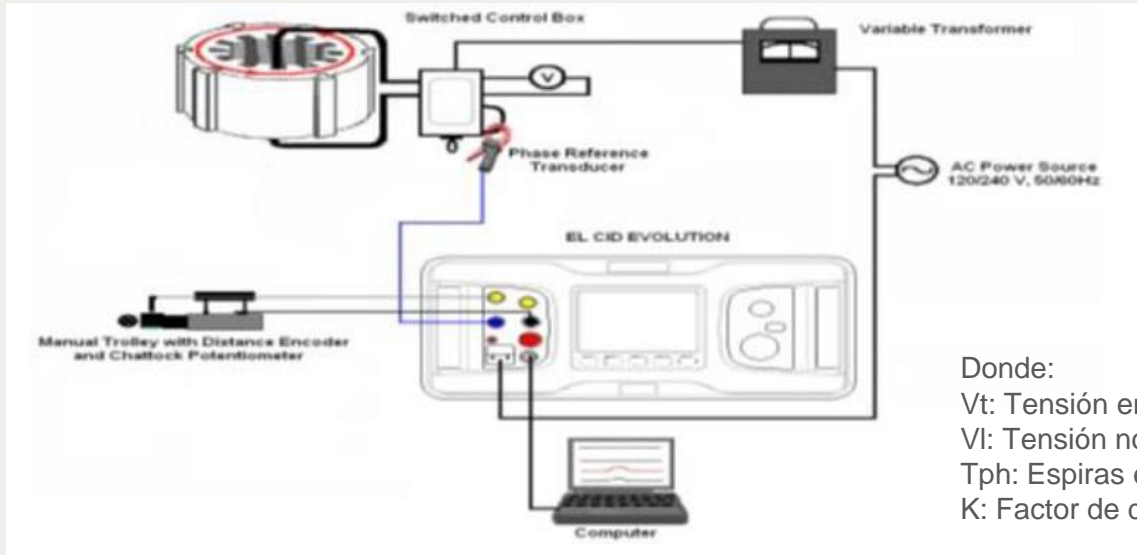
- ✓ Es fácil de hacer.
- ✓ De bajo costo.
- ✓ Equipo Portátil.
- ✓ Fuentes de excitación de mucha menor potencia.
- Riesgo de producir una falla en el núcleo, es muchísimo menor.
- Menor tiempo.
- No es tan eficaz para este tipo de condición. (*Comentario propio).

Toroidal (CLT):

- ✓ Es eficaz. Se apoya en los criterios de la IEEE 56 de 2016.
- Requiere equipos de mayor potencia y elementos que dificultan su ejecución.
- ✓ Ensayo robusto que produce calor (facilita los puntos calientes) y ruido.
- ✓ Mayor tiempo.
- ✓ El Riesgo es mayor para el personal participante y para el activo/equipos.

Experiencias en Diagnóstico de un núcleo de estator de un gran generador

ELCID (Electromagnetic Core Imperfection Detector)



$$|V_t| = 0,04 * \frac{V_l}{2 * \sqrt{3} * T_{ph} * k}$$

Donde:

V_t: Tensión en una espira del bucle [V]

V_l: Tensión nominal del generador; 13.800 V

T_{ph}: Espiras en serie por fase. 50 para este generador

K: Factor de devanado. 0,95 para este generador

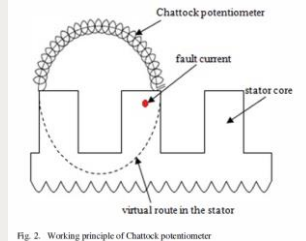
Experiencias en Diagnóstico de un núcleo de estator de un gran generador

EL CID: Estructura del ensayo.

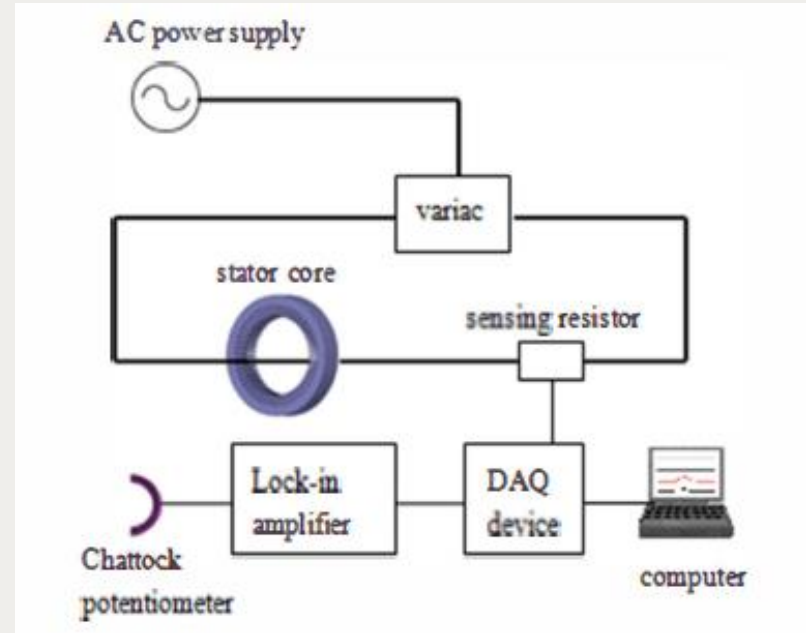
Objetivo: Detectar imperfecciones magnéticas en los núcleos del estator y rotor de máquinas eléctricas rotativas.

Es un procesador de señales, analógico-digital.

Bobinas de Chattock (también conocido como potenciómetro o tensiómetro magnético), se recorren todas las ranuras, dando una traza proporcional al perfil magnético en las coordenadas (x) e (y), las cuales son registradas para su posterior análisis.



Mediante un bobinado auxiliar de excitación se hace circular por el estator de la máquina una corriente de magnetización del orden del 4% de 1 T, por lo que la fuente de alimentación requerida será de (380 V / 220 V).



Experiencias en Diagnóstico de un núcleo de estator de un gran generador

EL CID: Estructura del ensayo.

Esta corriente de excitación crea el flujo directo de magnetización en la muestra, el cual se encuentra en fase con la misma.

Si el núcleo de la muestra bajo estudio, tiene un cortocircuito magnético localizado en un punto, se establecerá la circulación de una corriente que se opondrá en cuadratura a la corriente del flujo directo, y ésta será la que discriminará y medirá el equipo ELCID.

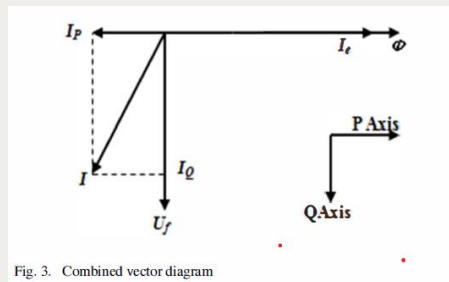


Fig. 3. Combined vector diagram

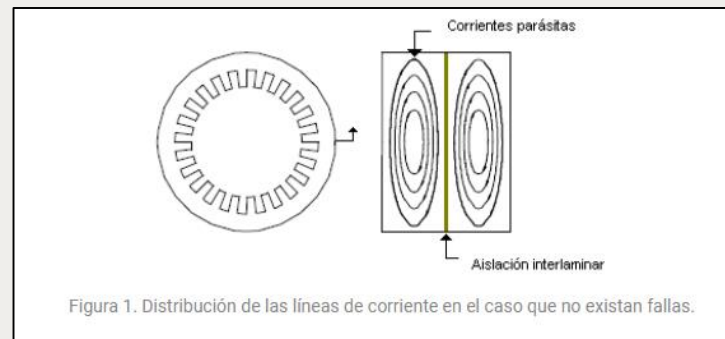


Figura 1. Distribución de las líneas de corriente en el caso que no existan fallas.

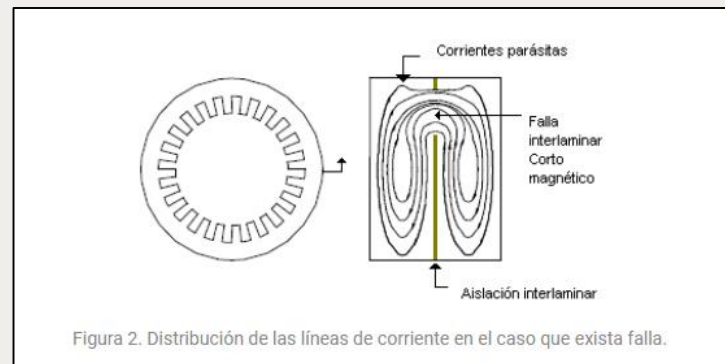
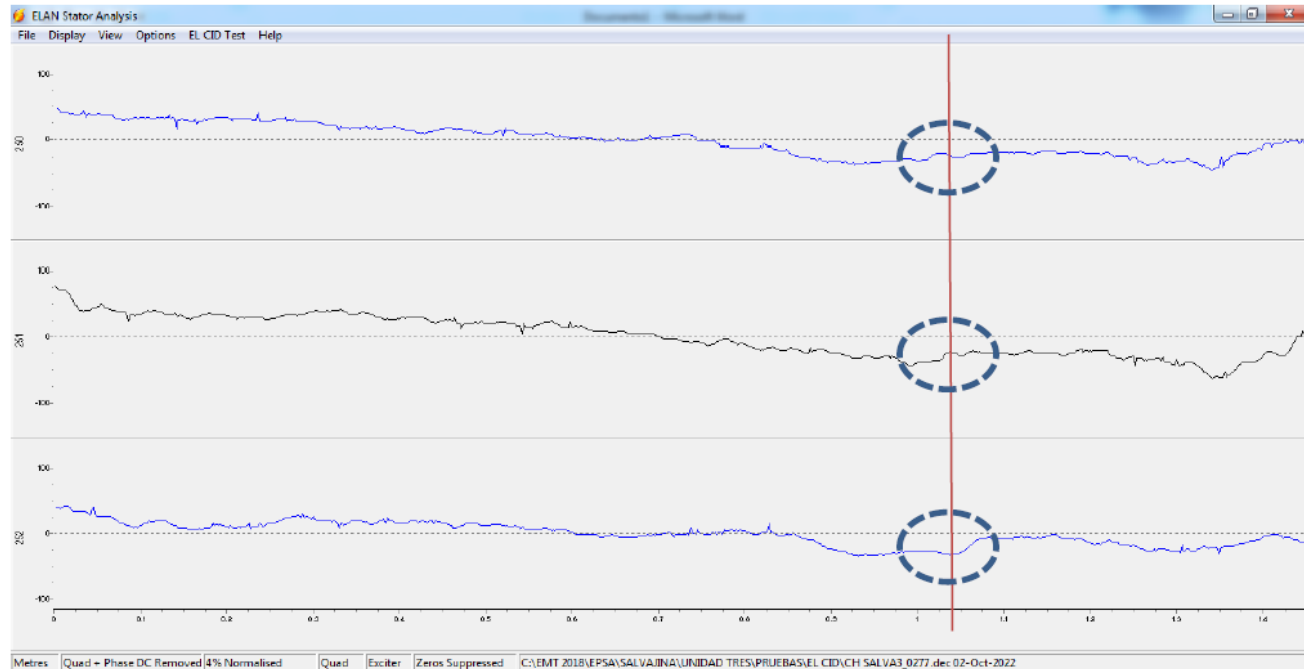


Figura 2. Distribución de las líneas de corriente en el caso que exista falla.

Experiencias en Diagnóstico de un núcleo de estator de un gran generador

ELCID: Mediciones.

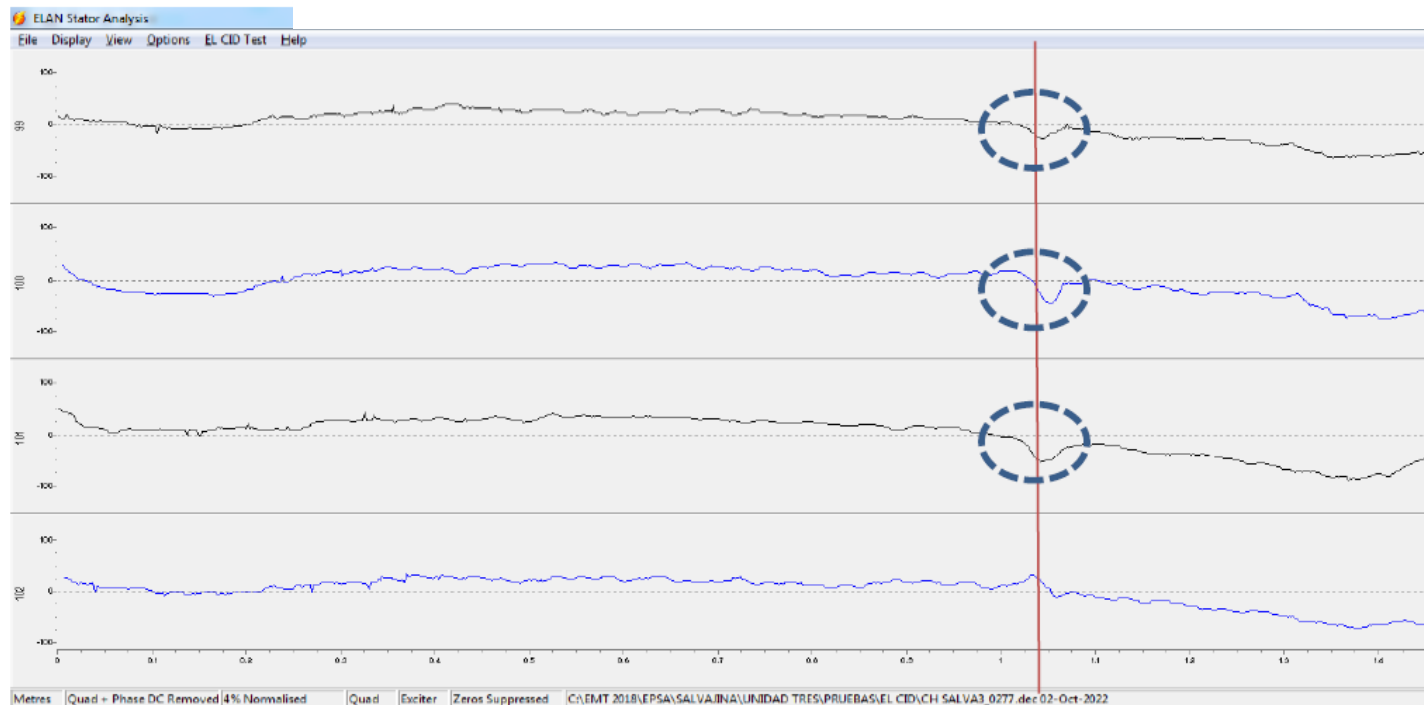
En la ranura 251 se observa una afectación del núcleo, no se detectan corrientes de cuadratura que indique problemas de cortocircuito en el laminado del núcleo.



Experiencias en Diagnóstico de un núcleo de estator de un gran generador

ELCID: Mediciones.

Ranura 99, 100, 101 con corriente de 40 mA,

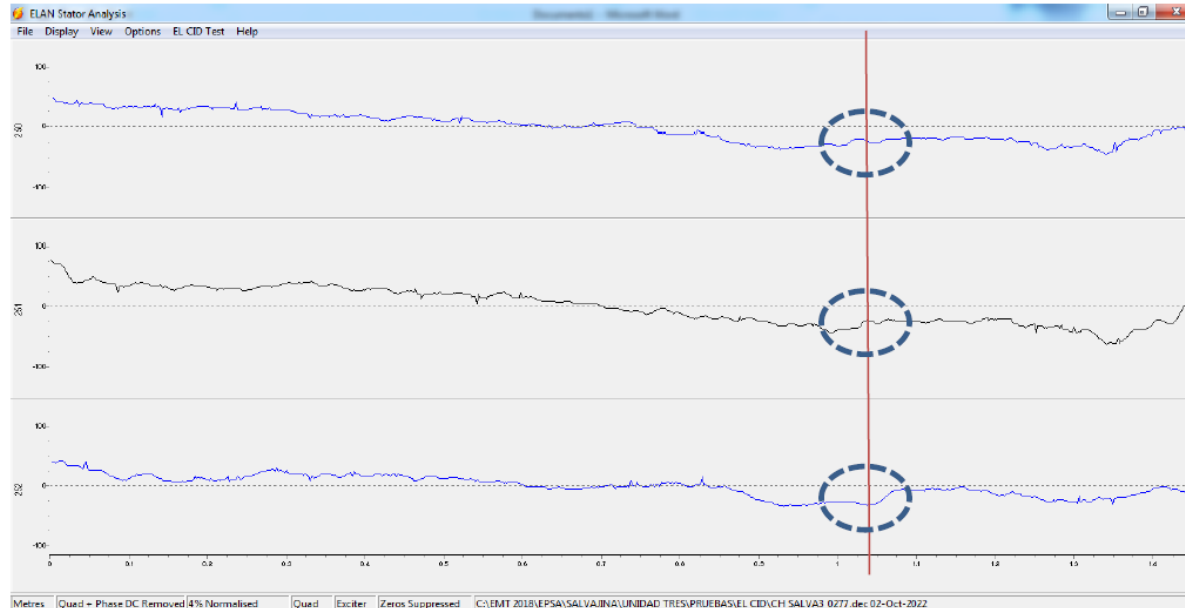


Experiencias en Diagnóstico de un núcleo de estator de un gran generador

ELCID:

Resultados: No registran corrientes superiores a los 40 mA de corriente de cuadratura en las áreas afectadas.

En la ranura 251 se observa una afectación del núcleo, no se detectan corrientes de cuadratura que indique problemas de cortocircuito en el laminado del núcleo.



Experiencias en Diagnóstico de un núcleo de estator de un gran generador



Toroidal (CLT):

Objetivos

- Detectar imperfecciones en el aislamiento laminar del núcleo del estator (rebabas, golpes o esfuerzos electromecánicos).
- Evaluar la integridad del aislamiento entre las laminaciones del núcleo del estator.

Requerimientos

Equipos y elementos:

Diseñar la bobina de magnetización => magnetizar el núcleo lo más aproximado al valor pico de operación.

Se debe disponer espacio alrededor de la periferia del estator => distribución de flujo uniforme alrededor de todo el núcleo.

Espira sonda => Verificar que el flujo circulante sea el de operación y no otro.

Opuesta diametralmente a la bobina de magnetización. En alambre (12 a 18) con aislamiento necesario y aptitud para la tensión inducida.

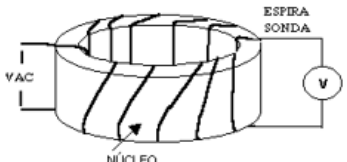
Caso: Medidor de tensión para la espira sonda.

Experiencias en Diagnóstico de un núcleo de estator de un gran generador

Toroidal (CLT).

Se estiman:

- Tensión Inducida espira sonda.
- Número de espiras para bobina de magnetización.
- La corriente de magnetización => Seleccionar el conductor.

1. CIRCUITO DE PRUEBA EMPLEADO	2. INSTRUMENTOS	3. FORMULAS A EMPLEAR
	<p>1 Medidor de tensión 1 Fuente de ca Medidores de temp.</p>	$\phi = B * \frac{(D1 - D2)}{2} * L_{eff}$ $V = \frac{1.05 * voltage_{fase}}{2 * Kd * Kp * N}$ $Nt = \frac{V}{VPT}$ $If = \frac{ATI}{Nt} * \left(\frac{D1 + D2}{2}\right) * \pi$ $VPT = 4.44 * f * \phi$
4. CALCULOS		
Frecuencia	F (Hz)	
Inducción	B (T)	
Diámetro exterior del inducido	D1 (cm)	
Diámetro interior del inducido	D2 (cm)	
Longitud efectiva inducido	Leff (cm)	
Flujo nominal en el inducido	ϕ (Wb)	
Voltios espira bob. Magnetización	VPT (Vol)	
Voltaje disponible para la prueba	Vp (Vol)	
Número espiras Bob. magnetización	Nt	
Voltaje de fase	Vf	
Factor de distribución	Kd	
Factor de reducción	Kp	
Número de espiras en serie por fase	N	
Tensión inducida espira sonda	V	
Amper vuelta por cm (de fabricante)	ATI	
Corriente de magnetización en Amper	If	

*Tomado de "Ensayos de Mantenimiento de Generadores De Polos Salientes" de EPSA. Oslinger, JL. 2002.

Experiencias en Diagnóstico de un núcleo de estator de un gran generador



Toroidal (CLT). **Precauciones fundamentales :**

- Estator limpio y seco.
- Personal apto teóricamente y prácticamente con las medidas de seguridad.
- En caso de daño significativo o evidente visualmente se debe reparar antes del ensayo => riesgo calentamiento adicional y arder en llamas.
- No se debe utilizar cable blindado en la bobina de magnetización (inducción de tensión).
- Debe existir una distancia > 90 cm entre la bobina de magnetización y metal sólido (tierra, armadura, etc.).
- Cuando se usan termocuplas para medición de temperatura considerar que se induce tensión igual que en la espira sonda.
- Asegurar mecánicamente . Amarrar los cables firmemente debido a fuerzas y movimientos durante la energización.
- Ningún objeto metálico o equipo debe estar en contacto con el núcleo.
- Al acceder al núcleo se debe tener cuidado por riesgo de descarga eléctrica debido a la tensión inducida en las laminaciones.

- **Otras medidas:** Sistemas de extinción de fuego. área delimitada de seguridad de personal y equipos, definición de la calibración de los equipos de protección del bobinado toroidal , de acuerdo con características eléctricas de la máquina que aporta la energía para la prueba.

Experiencias en Diagnóstico de un núcleo de estator de un gran generador

Toroidal (CLT). Realización.

- >> Densidad de campo magnético que requiere la operación nominal del generador.
- >> Calibre del conductor y el número de espiras para la excitación del núcleo.
- >> Medios analíticos del valor de la tensión de la espira sombra que indica la condición de densidad de campo magnético nominal en el núcleo del estator.
- >> Consecución del conductor según calibre calculado y longitudes necesarias de acuerdo al tamaño del generador.
- >> Instalación de cables. Dificultades.
- >> SST personas y el activo.
- >> Iniciar con registros de datos planificados y estricto registro y control de temperaturas.

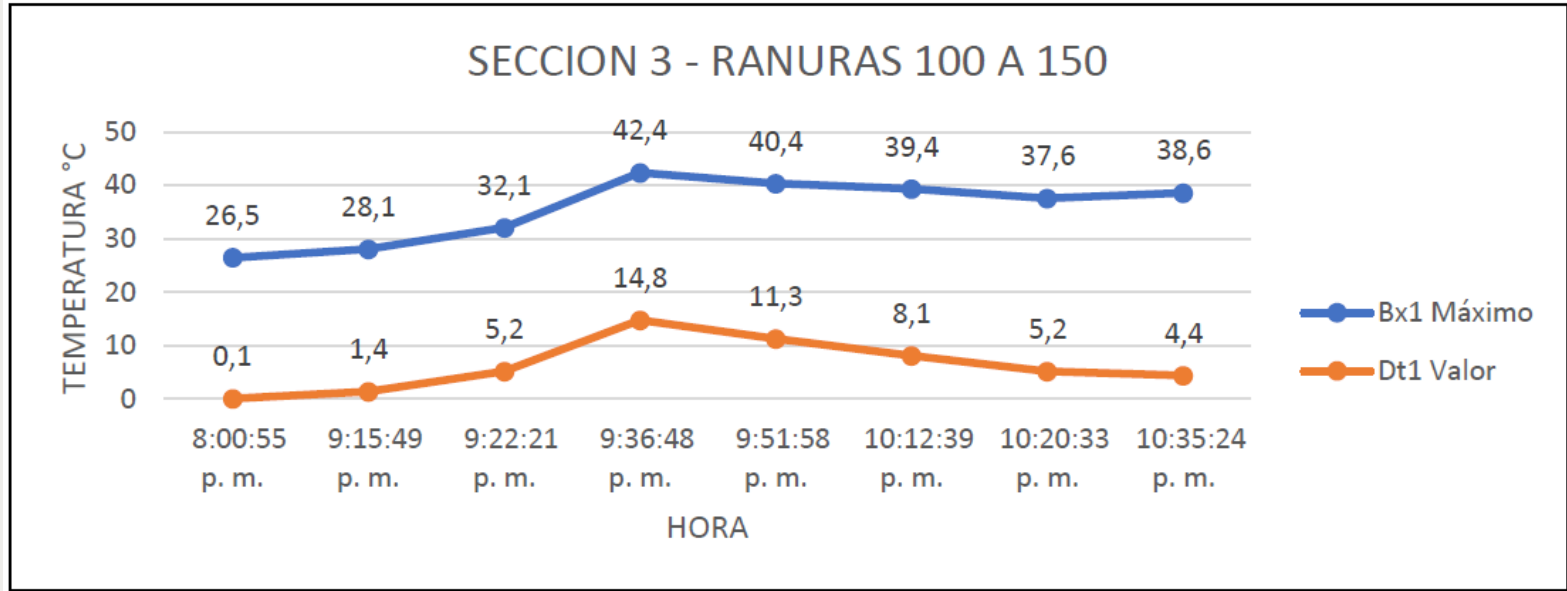


Experiencias en el Diagnóstico de un núcleo de estator de un gran generador



Toroidal (CLT). Realización 1r Ensayo. Considerando Desarrollos Tecnológicos actuales.

Fecha y hora de la imagen	EQUIPO	Bx1 Máximo	Dt1 Valor
4/10/2022 21:36	SECCION 3 - RANURAS 100 A 150	42.4 °C	14,8 °C



Dt1: Delta de temperatura en °C. Deja inquietudes el valor del delta final !

Experiencias en el Diagnóstico de un núcleo de estator de un gran generador

Toroidal (C.I.T). Realización 1r Ensavo.

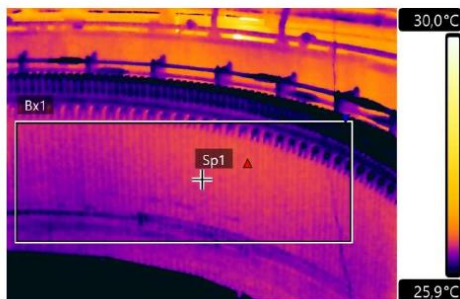
EQUIPO SECCION 3 - RANURAS 100 A 150

Tension por espira	0V
Tension de prueba	0V
Corriente de prueba	0A

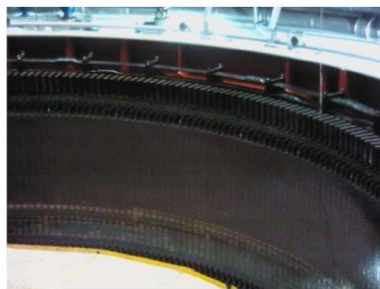
EQUIPO SECCION 3 - RANURAS 100 A 150

Tension por espira	70,8V
Tension de prueba	438V
Corriente de prueba	830A

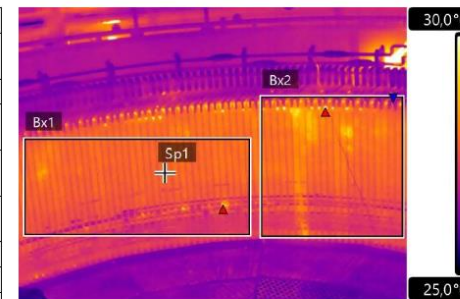
PARAMETROS	
Fecha y hora de la imagen	4/10/2022 8:00:55 p. m.
Nombre del archivo	IR_17221.jpg
Modelo de cámara de la imagen	FLIR T640
Número de serie de cámara de la imagen	55907440
Lente de cámara de la imagen	FOL25
Emisividad del objeto	0,94
Distancia al objeto	7,0 m
Temperatura atmosférica	25,0 °C



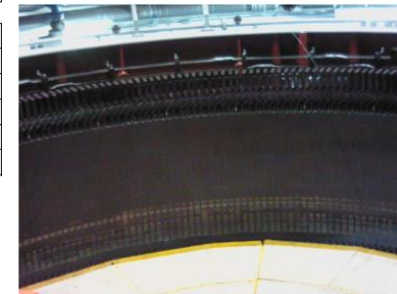
TEMPERATURA DE COMPONENTES	
Bx1 Máximo	26,5 °C
Líneas	-
Sp1	26,4 °C
Dt1 (Bx1.Max - Sp1)	0,1 °C



PARAMETROS	
Fecha y hora de la imagen	4/10/2022 9:36:48 p. m.
Nombre del archivo	IR_17277.jpg
Modelo de cámara de la imagen	FLIR T640
Número de serie de cámara de la imagen	55907440
Lente de cámara de la imagen	FOL25
Emisividad del objeto	0,94
Distancia al objeto	7,0 m
Temperatura atmosférica	25,0 °C



TEMPERATURA DE COMPONENTES	
Bx1 Máximo	31,5 °C
Bx2 Máximo	42,4 °C
Líneas	-
Sp1	27,5 °C
Dt1 (Bx2.Max - Sp1)	14,8 °C



Experiencias en el Diagnóstico de un núcleo de estator de un gran generador

Toroidal (CLT). Realización 1r Ensayo.

EQUIPO SECCION 3 - RANURAS 100 A 150

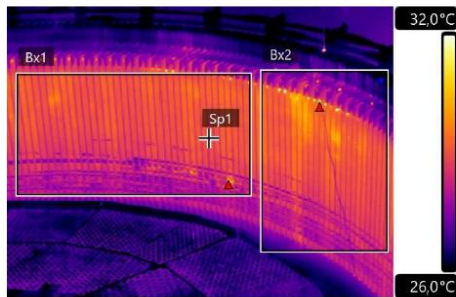
Tension por espira	70,3V
Tension de prueba	435V
Corriente de prueba	834A

EQUIPO SECCION 3 - RANURAS 100 A 150

Tension por espira	69,9V
Tension de prueba	437V
Corriente de prueba	866A

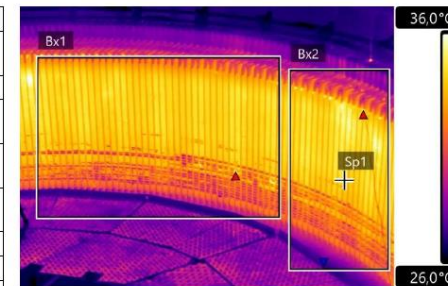
PARAMETROS

Fecha y hora de la imagen	4/10/2022 9:51:58 p. m.
Nombre del archivo	IR_17291.jpg
Modelo de cámara de la imagen	FLIR T640
Número de serie de cámara de la imagen	55907440
Lente de cámara de la imagen	FOL25
Emisividad del objeto	0,94
Distancia al objeto	7,0 m
Temperatura atmosférica	25,0 °C



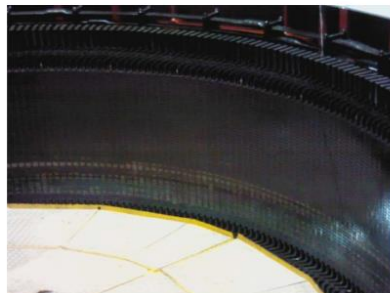
PARAMETROS

Fecha y hora de la imagen	4/10/2022 10:35:24 p. m.
Nombre del archivo	IR_17337.jpg
Modelo de cámara de la imagen	FLIR T640
Número de serie de cámara de la imagen	55907440
Lente de cámara de la imagen	FOL25
Emisividad del objeto	0,94
Distancia al objeto	7,0 m
Temperatura atmosférica	25,0 °C



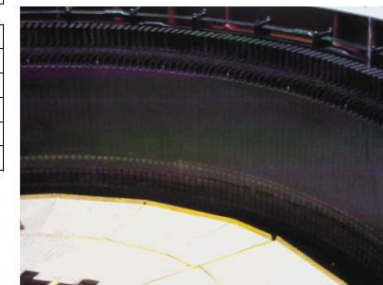
TEMPERATURA DE COMPONENTES

Bx1 Máximo	33,1 °C
Bx2 Máximo	40,4 °C
Líneas	-
Sp1	29,1 °C
Dt1 (Bx2.Max - Ref.temp)	40,4 °C
Dt2 (Bx2.Max - Sp1)	11,3 °C



TEMPERATURA DE COMPONENTES

Bx1 Máximo	38,2 °C
Bx2 Máximo	38,6 °C
Líneas	-
Sp1	34,2 °C
Dt1 (Bx2.Max - Sp1)	4,4 °C



Experiencias en el Diagnóstico de un núcleo de estator de un gran generador

Toroidal (CLT). Realización 1r Ensayo.

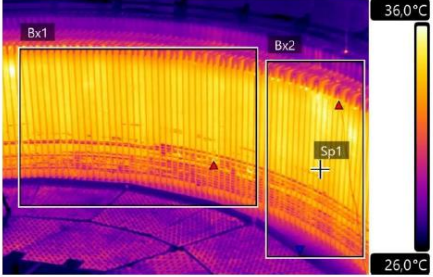

¿Con qué duración se toma la decisión de ¿Reparar ?

Si es con el Delta final, no se debería reparar!

EQUIPO SECCION 3 - RANURAS 100 A 150	
Tension por espira	69,9V
Tension de prueba	437V
Corriente de prueba	866A

PARAMETROS	
Fecha y hora de la imagen	4/10/2022 10:35:24 p. m.
Nombre del archivo	IR_17337.jpg
Modelo de cámara de la imagen	FLIR T640
Número de serie de cámara de la imagen	55907440
Lente de cámara de la imagen	FOL25
Emisividad del objeto	0,94
Distancia al objeto	7,0 m
Temperatura atmosférica	25,0 °C

TEMPERATURA DE COMPONENTES	
Bx1 Máximo	38,2 °C
Bx2 Máximo	38,6 °C
Líneas	-
Sp1	34,2 °C
Dt1 (Bx2.Max - Sp1)	4,4 °C

Experiencias en el Diagnóstico de un núcleo de estator de un gran generador

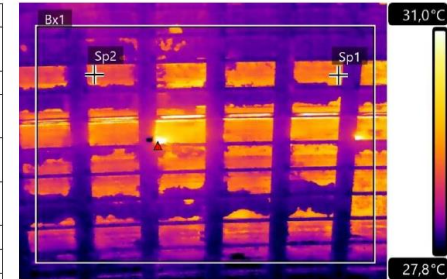
Toroidal (CLT). Realización 2o Ensayo. Para identificar puntos calientes.

FECHA Y HORA	EQUIPO	Bx1 MAXIMO	Dt1 VALOR
10/10/2022 11:33	RANURA 296 SUPERIOR	41,9 °C	13,1 °C
10/10/2022 11:36	RANURA 101	45,7 °C	16,5 °C



EQUIPO RANURA 101

PARAMETROS	
Fecha y hora de la imagen	10/10/2022 11:36:01 a. m.
Nombre del archivo	IR_17538.jpg
Modelo de cámara de la imagen	FLIR T640
Número de serie de cámara de la imagen	55907440
Modelo de cámara de la imagen	FOL25
Opacidad del objeto	0,95
Distancia al objeto	2,0 m
Temperatura atmosférica	30,0 °C



✓ Lección 1:

¡ Se debe realizar medición al interior del núcleo !

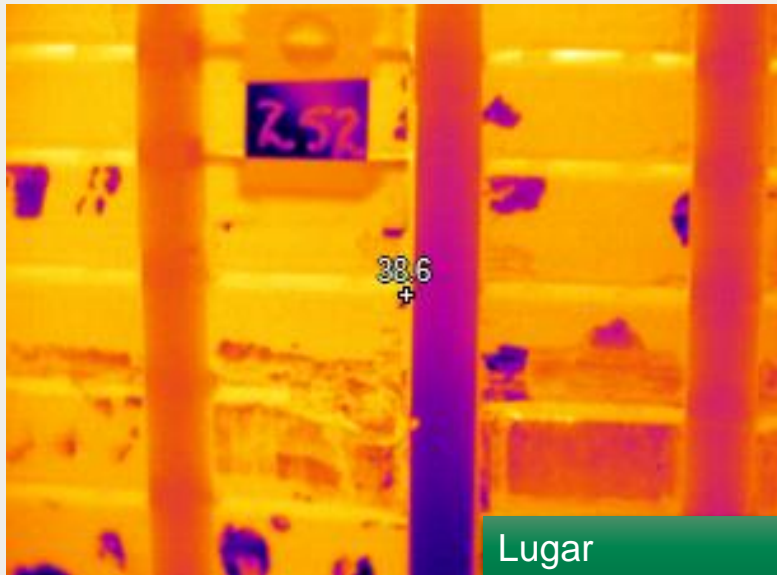
✓ Lección 2:

¡ Marcar con material visible en cámara termográfica !

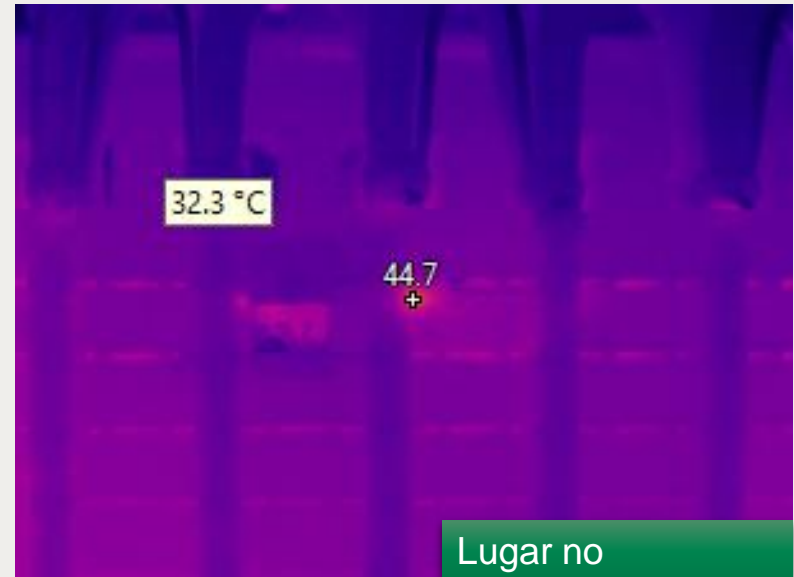
TEMPERATURA DE COMPONENTES	
Bx1 Máximo	45,7 °C
Líneas	-
Sp1	29,2 °C
Sp2	29,0 °C
Dt1 (Bx1.Max - Sp1)	16,5 °C



Experiencias en Diagnóstico de un núcleo de estator de un gran generador



Lugar
impactado



Lugar no
impactado

El punto de mayor impacto mecánico no presenta temperatura de operación anormal, mientras otras partes del núcleo que no presentan impacto pueden considerarse como punto caliente.

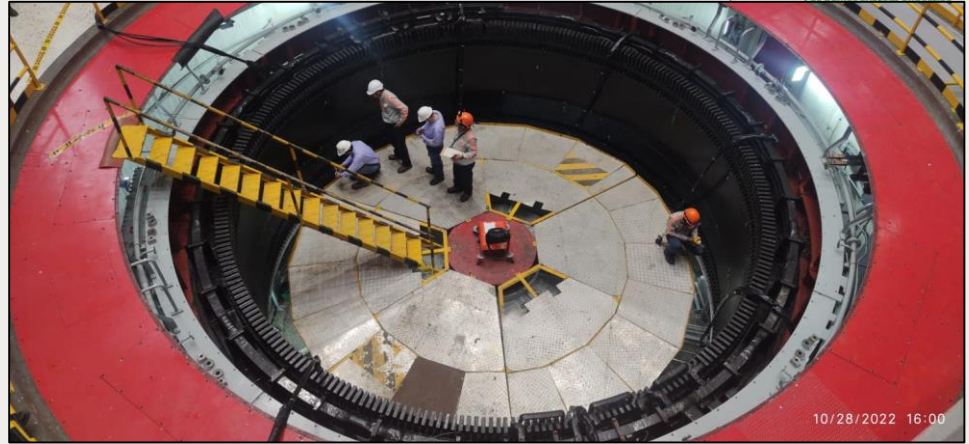


Experiencias en Diagnóstico de un núcleo de estator de un gran generador



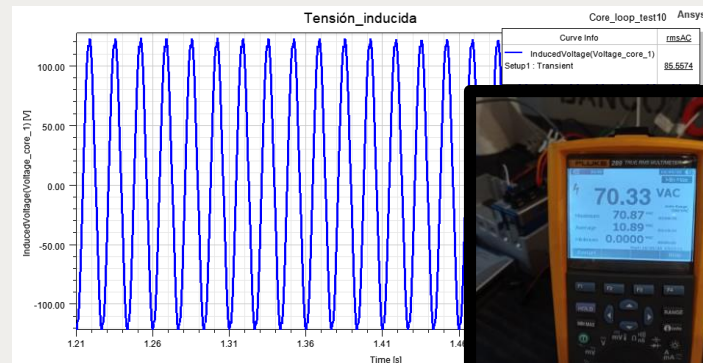
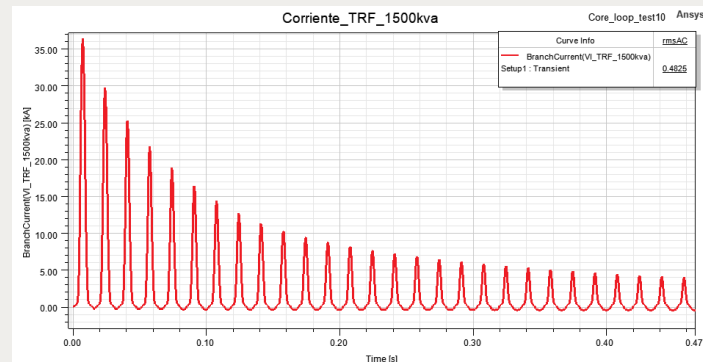
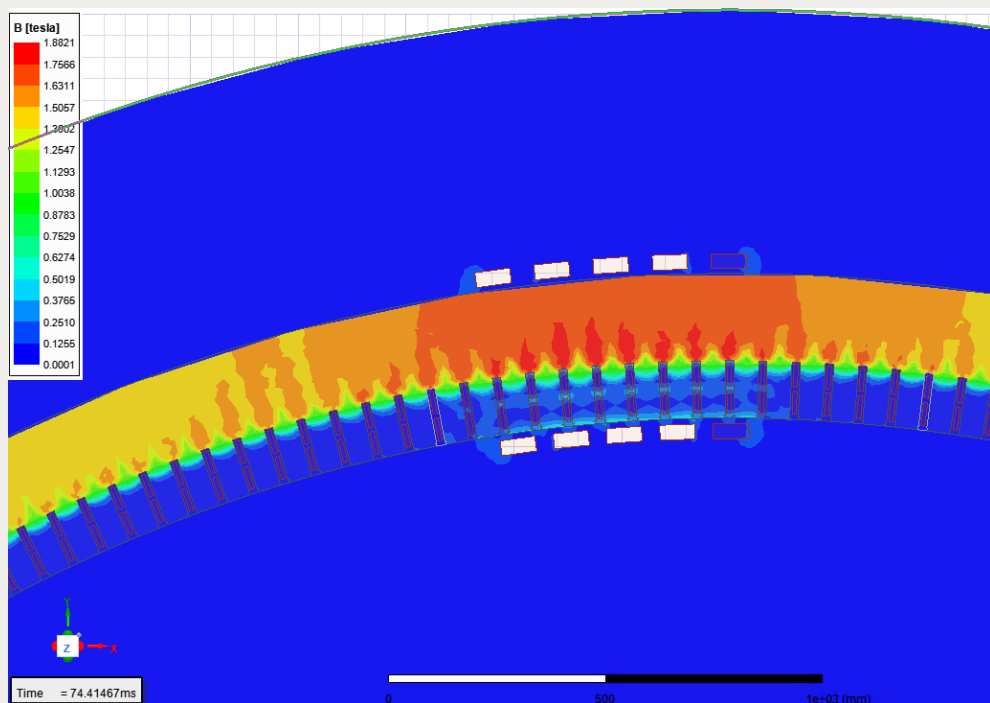
Toroidal (CLT). Experiencias.

- Indisponer otro grupo generador para alimentar la bobina, como fuente de energía de fuerza.
- Ensayo repetible.
- Medición dentro del estator.
- Disparos por magnetización.
- La dinámica de la temperatura en el núcleo cambia inmediatamente se suspende la inyección de corriente.
- Las decisiones se deben tomar sobre condiciones de estabilización de temperatura.
- Balance entre longitud del cable y requerimientos de potencia de la fuente para la prueba
- Desmontajes de accesorios para instalación del cable

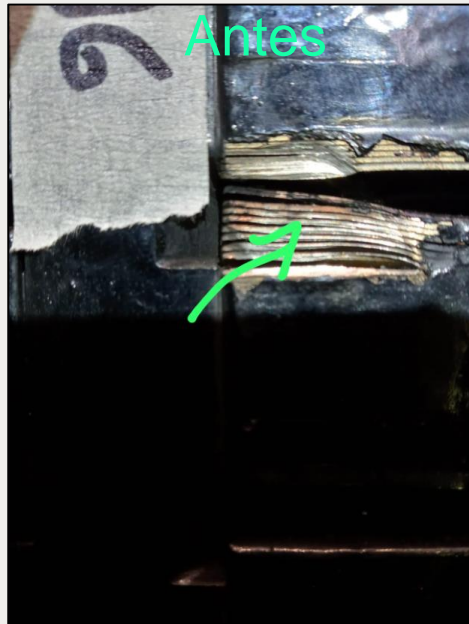


Experiencias en Diagnóstico de un núcleo de estator de un gran generador

Resultados Simulaciones MEF para identificar el comportamiento del flujo magnético y la cantidad de espiras necesarias para la excitación de la prueba CLT.



Experiencias en Diagnóstico de un núcleo de estator de un gran generador



- ✓ Los puntos intervenidos se mejoraron de acuerdo al procedimiento definido. Incrementos menores a 10 °C de acuerdo con la recomendación IEEE 56 2016.
- ✓ El punto que se muestra paso de un delta de temperatura de 15,3 °C a 5,1 °C.

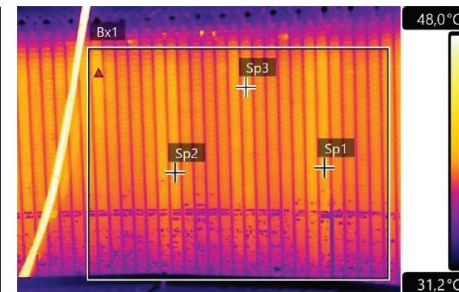
Experiencias en Diagnóstico de un núcleo de estator de un gran generador

Conclusiones:

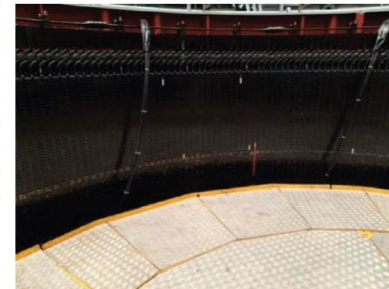
- ✓ Mejora de los puntos calientes de acuerdo al **procedimiento** definido. Incrementos menores a 10 °C de acuerdo con la IEEE.
- ✓ El ensayo toroidal (CLT) **fue contundente** como herramienta de diagnóstico e identificación de los puntos averiados.
- El CID evidenció incremento sin superar los valores límite.

EQUIPO RANURA 230-255

PARAMETROS	
Fecha y hora de la imagen	10/10/2022 12:52:25 p. m.
Nombre del archivo	IR_17764.jpg
Modelo de cámara de la imagen	FLIR T640
Número de serie de cámara de la imagen	55907440
Lente de cámara de la imagen	FOL25
Emisividad del objeto	0,95
Distancia al objeto	2,0 m
Temperatura atmosférica	30,0 °C



TEMPERATURA DE COMPONENTES	
Bx1 Máximo	41,8 °C
Líneas	-
Sp1	39,1 °C
Sp2	39,1 °C
Sp3	39,1 °C
DT1 (Bx1.Max - Sp1)	2,7 °C



Experiencias en Diagnóstico de un núcleo de estator de un gran generador



Toroidal (CLT). **Bibliografía.**

- IEEE™ 56-2016. IEEE Guide for Insulation Maintenance of Electric Machines.
- A Survey of ELCID Applied on Insulation Faults of Stator Cores.
- Manual del equipo ELCID.
- Informe reparación estator U3 del Alto Anchicayá de marzo de 2013.
- Manual “Ensayos de Mantenimiento de Generadores De Polos Salientes” de EPSA. Oslinger, JL. 2002

Ponentes



- Juan G. Osorio Cucalón
- josorioc@celsia.com
- 3104118012
- CELSIA



- Rubén D. Jaimes Mateus
- rdjames@celsia.com
- 3176367205
- CELSIA



- Jairo A. Palacios Peñaranda
- jairo.palacios@correounivalle.edu.co
- 3155321671
- UNIVALLE

Organizan:



Apoya:

