

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE MORELIA

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN
PROGRAMA DE GRADUADOS E INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA ELÉCTRICA

Diagnóstico de Altas Vibraciones en el Generador Eléctrico de la Unidad 1 de la Central Hidroeléctrica Humaya

T E S I S

Que para obtener el grado de

Maestro en Ingeniería Eléctrica

Presenta:

MARTÍN ZAMUDIO GUZMÁN

Director de tesis:

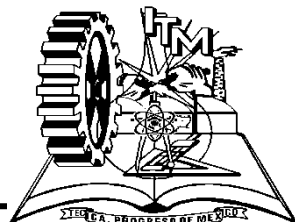
M.C. Francisco Cisneros Torres

Morelia, Michoacán, México. Marzo, 2014

SEP



SECRETARÍA DE
EDUCACIÓN PÚBLICA



Sistema Nacional de Educación Superior Tecnológica



Dirección General de Educación Superior Tecnológica

RESUMEN

En este trabajo de tesis se estudia el caso real de un Generador Hidroeléctrico con problemas de vibraciones mecánicas desde el año 1975 en que inició su operación comercial en la empresa Comisión Federal de Electricidad. Para resolver de forma definitiva esta problemática en dicha unidad generadora, se implementó un sistema de monitoreo en línea del comportamiento dinámico y cada vez que los valores salían de lo normal, se tomaban medidas correctivas y de control para evitar daños en componentes.

Tras una investigación profunda del problema, verificando la condición de montaje de la unidad y del aislamiento de los polos del campo del generador, se determinó que la causa raíz de las altas vibraciones se debía a un desbalance magnético producto de cortocircuitos entre espiras, en polos del campo del Generador Eléctrico. Con la prueba eléctrica de caída de tensión por polo, se encontraron daños en el aislamiento entre espiras de varios polos en diferentes años. Las bobinas averiadas fueron reemplazadas por nuevas en su momento y la manifestación de las vibraciones disminuía a valores aceptables.

Para la verificación de la condición de montaje de la unidad, se comprobó la circularidad del estator y rotor, así como el centrado del Generador Eléctrico encontrándolo ligeramente fuera de tolerancia, defecto que puede ser compensado con balanceo añadiendo contrapesos al rotor. Se verificaron los huelgos en chumaceras del turbogruppo, detectando que los huelgos de la chumacera superior del Generador, tenían valores mayores a los especificados debido a que los componentes para ajuste estaban averiados.

Ante la persistencia de fallas en el aislamiento entre espiras de las bobinas polares, en este trabajo de tesis, se busca identificar la relación entre el problema de fallas de aislamiento del campo magnético del Generador Eléctrico, con el contenido armónico en los voltajes y corrientes de línea y neutro. Se hace un comparativo de las mediciones obtenidas en esta unidad, con otra unidad gemela de la misma central hidroeléctrica; la cual no ha presentado ningún problema relacionado con el presente caso de estudio, con el fin de evaluar las hipótesis planteadas sobre la problemática de la unidad que en este trabajo se presenta.

INDICE

| | |
|--|----|
| RESUMEN..... | i |
| ABSTRACT | ii |
| CAPÍTULO 1 | 1 |
| INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| 1.1 DETECCIÓN Y ANALISIS DE VIBRACIONES EN MÁQUINAS | 3 |
| 1.1.1 DAÑOS QUE CAUSAN LAS VIBRACIONES | 4 |
| 1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA | 6 |
| 1.3 ESTADO DEL ARTE | 9 |
| 1.4 OBJETIVO | 10 |
| 1.5 PROCEDIMIENTO | 10 |
| 1.6 JUSTIFICACIÓN..... | 11 |
| 1.7 DESCRIPCIÓN POR CAPÍTULOS | 11 |
| CAPÍTULO 2 | 13 |
| MEDICIÓN DE VIBRACIONES DEL GRUPO TURBINA-GENERADOR 1, DE LA C. H. HUMAYA, EN DIFERENTES CONDICIONES DE OPERACIÓN | 13 |
| 2.1 INTRODUCCIÓN..... | 13 |
| 2.2 VIBRACIÓN COMPUESTA..... | 16 |
| 2.3 VIBRACIÓN ALEATORIA Y GOLPETEOS INTERMITENTES..... | 16 |
| 2.4 TRANSFORMADA DE FOURIER..... | 17 |
| 2.5 FRECUENCIA NATURAL Y RESONANCIAS | 19 |
| 2.6 MEDICIÓN DE FRECUENCIA NATURALES EN COMPONENTES DEL GENERADOR ELECTRICO DE LA UNIDAD 1 DE LA C.H. HUMAYA..... | 21 |
| 2.7 MEDICIÓN DE VIBRACIONES EN COMPONENTES DEL TURBOGRUPO DE LA UNIDAD 1 DE LA C. H. HUMAYA. | 26 |
| 2.8 ANÁLISIS DE LOS VALORES DE VIBRACIONES OBTENIDOS EN LA UNIDAD 1 DE LA C.H. HUMAYA DESDE EL AÑO 2001, AL 2009. | 27 |
| 2.8.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS..... | 28 |
| 2.8.2 TRABAJOS IMPORTANTES QUE SE HAN REALIZADO A LA UNIDAD 1 PARA CONTROLAR O MITIGAR LAS ALTAS VIBRACIONES ENCONTRADAS..... | 34 |
| CAPÍTULO 3 | 39 |
| VERIFICACIÓN DEL ESTADO DE MONTAJE DE LA UNIDAD Y AISLAMIENTOS DE LOS DEVANADOS DE CAMPO Y ARMADURA..... | 39 |
| 3.1 INTRODUCCIÓN..... | 39 |
| En la siguiente figura es un corte de un generador eléctrico de eje vertical, que muestra el rotor y estator, así como sus chumaceras superior e inferior. En la parte inferior de la misma se aprecia el acoplamiento de flechas de generador y turbina. | 39 |
| 40 | |
| Figura 3. 1 Unidad generadora hidráulica, de eje vertical..... | 40 |

| | |
|--|----|
| 3.2 CIRCULARIDAD Y CONCENTRICIDAD DEL ROTOR Y ESTATOR. | 40 |
| 3.2.1 PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN | 41 |
| 3.2.2 EQUIPO DE MEDICIÓN | 42 |
| 3.2.3 ANÁLISIS DE LAS MEDICIONES DE RADIOS DEL ESTATOR DEL GENERADOR ELÉCTRICO DE U-1 EN C.H. HUMAYA..... | 42 |
| 3.2.4 MEDICIONES EFECTUADAS..... | 44 |
| 3.2.5 ANÁLISIS DE VALORES OBTENIDOS..... | 45 |
| 3.2.6 CONCLUSIONES..... | 46 |
| 3.3 VERIFICACIÓN DE LOS HUELGOS EN CHUMACERAS GUÍA DEL GENERADOR Y DE LA TURBINA ANTES Y DESPUÉS DEL MANTENIMIENTO MAYOR DE 2003..... | 47 |
| Tabla 3.2 Huelgos encontrados antes del mantenimiento del 2003 | 50 |
| 50 | |
| 3.3.2 COMPORTAMIENTO DE LOS HUELGOS DE LAS CHUMACERAS | 51 |
| 3.3.3 CONCLUSIONES..... | 51 |
| Tabla 3.3 Ajuste de los huelgos en las tres chumaceras de la unidad después del mantenimiento mayor del 2003..... | 52 |
| 3.4 VERIFICACIÓN DEL ENTREHIERRO ENTRE ROTOR Y ESTATOR DEL GENERADOR. | 53 |
| 3.4.1 PROCEDIMIENTO PARA LA MEDICIÓN DEL ENTREHIERRO | 53 |
| 3.5 DETECCIÓN DE CORTO CIRCUITO ENTRE ESPIRAS EN POLOS DEL ROTOR DEL GENERADOR DE LA UNIDAD 1. | 58 |
| 3.5.2 MEDICIONES DE CAÍDA DE TENSIÓN POR POLO EN EL AÑO 2003 | 61 |
| 3.5.3 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE PRUEBA UTILIZANDO UNA TÉCNICA ESTADÍSTICA DE DISTRIBUCIÓN DE LOS DATOS RESULTANTES, CON EL POLO 16 FALLADO. | 64 |
| 3.5.4 CONCLUSIONES..... | 67 |
| 3.5.5 MEDICIONES DE CAÍDA DE TENSIÓN POR POLO EN EL MANTENIMIENTO MAYOR DEL 2008 | 69 |
| 3.5.5.1 ANÁLISIS DE LOS DATOS DE CAIDA DE TENSIÓN POR POLO DEL ROTOR ANTES DEL MANTENIMIENTO DEL 2008 [12] | 73 |
| 3.5.7 MEDICIONES DE CAIDA DE TENSIÓN POR POLO EN EL AÑO 2009, PREVIO AL CAMBIO DE AISLAMIENTO DE 20 POLOS. [13]..... | 75 |
| 3.5.8 ANALISIS DE LOS DATOS DE CAIDA DE TENSIÓN POR POLO PREVIO AL CAMBIO DE LOS 20 POLOS [13]..... | 79 |
| 3.6 CONCLUSIONES..... | 81 |
| 3.7. RECOMENDACIONES | 82 |
| CAPÍTULO 4 | 83 |
| INVESTIGACIÓN DEL ORIGEN DE LAS VIBRACIONES MECANICAS A PARTIR DEL CONTENIDO ARMÓNICO EN VOLTAJES DE LÍNEA Y NEUTRO DEL GENERADOR | 83 |
| 4.1 INTRODUCCION..... | 83 |
| 4.2 ANTECEDENTES | 84 |
| 4.3 DESCRIPCION DEL EQUIPO DE PRUEBA | 84 |
| 4.4 PLAN DE MUESTREO DE ARMÓNICAS EN UNIDADES GENERADORAS..... | 89 |
| 4.5 VALORES OBTENIDOS DE ARMÓNICAS DEL VOLTAJE DE LÍNEA EN LAS UNIDADES 1 Y 2 DE LA C.H. HUMAYA..... | 89 |

| | |
|---|-----|
| 4.5.1 DISTORSIÓN DE ARMÓNICAS TOTAL DEL VOLTAJE DE LÍNEA | 97 |
| 4.5.2 VALORES OBTENIDOS DE LAS ARMÓNICAS DE CORRIENTES DE LÍNEA EN LAS UNIDADES 1 Y 2 DE LA C.H. HUMAYA. | 98 |
| CAPÍTULO 5 | 120 |
| RESUMEN DE RESULTADOS..... | 120 |
| 5.1 MEDICIÓN DE FRECUENCIAS NATURALES EN ESTRUCTURAS DEL GENERADOR ELÉCTRICO..... | 120 |
| 5.2 ANÁLISIS DE LOS VALORES DE VIBRACIONES OBTENIDOS EN LA UNIDAD 1 DE LA C.H. HUMAYA DESDE EL AÑO 2001 AL 2009. | 121 |
| 5.3 ANÁLISIS DE LAS MEDICIONES DE RADIO DE ESTATOR DEL GENERADOR DE U-1 EN C.H. HUMAYA | 121 |
| 5.4 VERIFICACIÓN DE LOS HUELGOS EN CHUMACERAS GUÍA DE GENERADOR Y DE LA TURBINA ANTES Y DESPUÉS DEL MANTENIMIENTO MAYOR DE 2003..... | 122 |
| 5.5 DETECCIÓN DE CORTO CIRCUITO ENTRE ESPIRAS EN POLOS DEL ROTOR DEL GENERADOR DE LA UNIDAD 1. | 122 |
| 5.6 ANÁLISIS DE VALORES DEL CONTENIDO ARMÓNICO Y DISTORSIÓN TOTAL DE ARMÓNICAS EN LAS UNIDADES 1 Y 2 DE LA C.H. HUMAYA. | 123 |
| 5.7 APORTACIONES DE ESTA INVESTIGACIÓN. | 124 |
| TRABAJOS FUTUROS..... | 127 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 130 |