



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

CARRERA INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO

“DIAGNÓSTICO DEL ESTADO TÉCNICO DE LOS GENERADORES DE LA HIDROELÉCTRICA “LA PENÍNSULA” DE LA EMPRESA ELÉCTRICA AMBATO S.A. Y DESARROLLO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN LA METODOLOGÍA PMO”.

Trabajo de integración curricular

TIPO: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO DE MANTENIMIENTO

AUTORES:

CARMEN PAULINA CHICAIZA CALAPIÑA

PABLO DAVID COQUE MORILLO

Riobamba – Ecuador

2021



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO

**“DIAGNÓSTICO DEL ESTADO TÉCNICO DE LOS GENERADORES
DE LA HIDROELÉCTRICA “LA PENÍNSULA” DE LA EMPRESA
ELÉCTRICA AMBATO S.A. Y DESARROLLO DEL PLAN DE
MANTENIMIENTO BASADO EN LA METODOLOGÍA PMO”.**

Trabajo de integración curricular

TIPO: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO DE MANTENIMIENTO

AUTORES: CARMEN PAULINA CHICAIZA CALAPIÑA

PABLO DAVID COQUE MORILLO

DIRECTOR: Ing. CÉSAR MARCELO GALLEGOS LONDOÑO MSc.

Riobamba – Ecuador

2021

© 2021, Carmen Paulina Chicaiza Calapiña y Pablo David Coque Morillo

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Nosotros, Carmen Paulina Chicaiza Calapiña y Pablo David Coque Morillo, declaramos que el presente trabajo de titulación es de nuestra autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 16 de septiembre del 2021



Carmen Paulina Chicaiza Calapiña

180463673-4

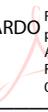


Pablo David Coque Morillo

180409610-3

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El trabajo de titulación; tipo: Proyecto Técnico “**DIAGNÓSTICO DEL ESTADO TÉCNICO DE LOS GENERADORES DE LA HIDROELÉCTRICA “LA PENÍNSULA” DE LA EMPRESA ELÉCTRICA AMBATO S.A. Y DESARROLLO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN LA METODOLOGÍA PMO**”, realizado por la Señorita **CARMEN PAULINA CHICAIZA CALAPIÑA** y el Señor **PABLO DAVID COQUE MORILLO**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Dr. Marco Antonio Haro Medina. PRESIDENTE DEL TRIBUNAL	 MARCO ANTONIO HARO MEDINA Firma electrónica	2021-09-16
Ing. César Marcelo Gallegos Londoño DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN	 Firmado electrónicamente por: CESAR MARCELO GALLEGOS LONDONO	2021-09-16
Ing. César Eduardo Astudillo Machuca MIEMBRO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	 CESAR EDUARDO ASTUDILLO MACHUCA Firmado digitalmente por CESAR EDUARDO ASTUDILLO MACHUCA Fecha: 2022.02.08 08:13:41 -05'00'	2021-09-16

DEDICATORIA

Este trabajo lo dedico a mi Padre Julián que siempre ha estado conmigo, ayudándome, dándome palabras de aliento para que a pesar de las adversidades no me rinda, con su ejemplo de padre y madre a la vez demostrándome que todo en la vida es posible con perseverancia y arduo trabajo que se ve reflejado en este trabajo.

Paulina

Este trabajo lo dedico a mi Madre Lina Morillo, a mi Padre Rafael Coque, a mis hermanas Belén Vega y Eugenia Vega quienes me han apoyado y han estado conmigo, para que a pesar de las adversidades siga adelante y no me dé por vencido, alentándome porque todo en la vida es posible con perseverancia, constancia, responsabilidad y trabajo duro reflejado en este trabajo.

Pablo Coque

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por permitirme llegar a estas instancias, por darme fuerza, sobre todo mucha paciencia y haberme dado la oportunidad de que fuera parte de mi logro una persona tan especial que no se encuentra conmigo físicamente, a mi hermano Santiago por todo el apoyo incondicional que siempre me ha brindado, a mi padre por la paciencia que me tuvo, a mi amiga Paulina Miranda que le considero como mi hermana a quien agradezco todos estos años de amistad incondicional, dándome siempre ánimos, siendo de gran apoyo para lograr subir un peldaño más.

Paulina

Agradezco a la empresa eléctrica Ambato S.A. por darme la oportunidad de desarrollar el proyecto de tesis, a los ingenieros Héctor Barrera, Diego Medina y Mauro Llambo por brindar las facilidades y permitirme llegar a estas instancias, a mi director de tesis por la paciencia que me tuvo, a mis hermanas por darme siempre ánimo para que siga adelante, y lograr llegar hasta este objetivo.

Pablo Coque

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS	xiv
RESUMEN	xv
SUMMARY	xvi
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	1
1.1 Antecedentes de investigación	1
1.2 Justificación y actualidad.....	1
1.3 Planteamiento del Problema.....	2
1.4 Objetivos.....	2
1.4.1 <i>Objetivo general.</i>	2
1.4.2 <i>Objetivos específicos.</i>	2

CAPÍTULO II

2 MARCO CONCEPTUAL Y TEÓRICO.....	4
2.1 Inventario.	4
2.2 Método de codificación de los equipos.	9
2.3 Características de funcionamiento de los generadores hidroeléctricos.	9
2.3.1 <i>Principio de funcionamiento de los generadores de corriente continua.</i>	9
2.3.2 <i>Principio de funcionamiento de los generadores de corriente alterna.</i>	10
2.4 Técnicas de mantenimiento basado en la condición	10
2.4.1 <i>Análisis de vibraciones</i>	11
2.4.2 <i>Parámetros de vibración</i>	11
2.4.2.3 <i>Acelerómetro:</i>	12
2.4.2.6 <i>Análisis Espectral</i>	12
2.4.2.7 <i>Espectro</i>	12
2.4.2.8 <i>Análisis de la forma de onda</i>	13
2.4.3 <i>Fallas más comunes en equipos rotatorios</i>	13
2.4.3.1 <i>Desbalanceo estático</i>	13

2.4.3.2	<i>Desbalanceo tipo par de fuerzas:</i>	13
2.4.3.3	<i>Desbalanceo dinámico:</i>	14
2.4.3.4	<i>Desbalanceo de rotores en cantilibre:</i>	14
2.4.3.5	<i>Ejes flexionados:</i>	14
2.5	Desalineamiento:	15
2.5.1	Existen dos tipos de desalineamiento:	15
2.5.1.1	<i>Angular:</i>	15
2.5.1.2	<i>Paralelo:</i>	15
2.5.1.3	<i>Normativa sobre vibraciones:</i>	16
2.6	Análisis Termográfico	18
2.6.1	<i>Termografía infrarroja.</i>	18
2.6.2	<i>Cámara Termográfica:</i>	18
2.6.3	<i>Emisividad</i>	19
2.6.4	<i>Termograma:</i>	19
2.6.4.1	<i>Norma de severidad térmica</i>	19
2.7	Otros equipos utilizados para la toma de mediciones	20
2.7.1	<i>Anemómetro</i>	20
2.7.2	<i>Lámpara estroboscópica:</i>	21
2.7.3	<i>Análisis de la viscosidad de aceite</i>	21
2.7.4	<i>Viscosidad:</i>	21
2.7.4.1	<i>Método de prueba estándar para la viscosidad cinemática de líquidos transparentes y opacos (ASTM D445-12).</i>	22
2.7.4.2	<i>Viscosidad cinemática</i>	22
2.7.4.3	<i>Densidad</i>	22
2.7.4.4	<i>Viscosímetro de Saybolt</i>	22
2.8	Planes de mantenimiento.	23
2.8.1	Tipos de planes de mantenimiento	24
2.8.2	<i>La metodología PMO</i>	24
2.8.3	<i>Beneficios del PMO:</i>	24
2.8.4	<i>El proceso PMO consta de 9 pasos que se listan a continuación:</i>	24
2.8.4.1	<i>Recopilación de Tareas</i>	25
2.8.4.2	<i>Análisis de Modos de Falla (AMEF)</i>	25
2.8.4.3	<i>Racionalización y Revisión del AMEF</i>	25
2.8.4.4	<i>Análisis funcional</i>	26
2.8.4.5	<i>Evaluación de consecuencias</i>	27
2.8.4.6	<i>Definición de la política de mantenimiento</i>	27

2.8.4.7	<i>Agrupación y revisión:</i>	28
2.8.4.8	<i>Aprobación e implementación:</i>	28
2.8.4.9	<i>Programa Dinámico:</i>	28

CAPÍTULO III

3	MARCO METODOLÓGICO.	29
3.3	Identificación de área y equipos	29
3.4	Planta de generación.	29
3.5	Área de generación.	30
3.5.1	<i>Banco de baterías.</i>	30
3.5.2	<i>Tableros de control.</i>	30
3.5.3	<i>Tableros de transferencia.</i>	30
3.5.4	<i>Sala de máquinas</i>	30
3.5.4.1	<i>Sistema de generación</i>	30
3.6	Inventario	31
3.6.1	<i>Nivel cuarto: Ubicación o Planta</i>	31
3.6.2	<i>Nivel quinto: Área</i>	31
3.6.3	<i>Nivel sexto: Máquina o sistema de generación</i>	31
3.6.4	<i>Nivel séptimo: Equipos</i>	31
3.7	Fichas técnicas.	33
3.8	Diagnóstico y evaluación de los generadores.	33
3.8.1	<i>Diagnóstico vibracional</i>	34
3.8.1.1	<i>Diagnóstico grupo 1</i>	34
3.8.1.2	<i>Diagnóstico grupo 2.</i>	38
3.8.2	<i>Diagnóstico termográfico.</i>	41
3.8.2.1	<i>Diagnóstico grupo 1.</i>	42
3.8.2.2	<i>Diagnóstico grupo 2</i>	46
3.8.3	<i>Análisis de aceites.</i>	50
3.8.3.1	<i>Diagnóstico Grupo 1</i>	51
3.8.3.2	<i>Diagnóstico Grupo 2</i>	53
3.9	Aplicación de la Metodología PMO (Optimización del Plan de Mantenimiento) 56	
3.9.1	<i>Analizar el plan de mantenimiento vigente de los generadores</i>	56
3.9.2	<i>Desarrollo del plan de mantenimiento aplicando los pasos de la metodología PM.</i> 56	
3.9.2.1	<i>Paso 1: Recopilación de actividades</i>	56
3.9.2.2	<i>Paso 2: Modos de Fallo.</i>	59

3.9.2.3	<i>Paso 3: Racionalización y Revisión de (AMEF)</i>	64
3.9.2.4	<i>Paso 4: Análisis funcional (Opcional)</i>	67
3.9.2.5	<i>Paso 5: Evaluación de consecuencias (modos de falla depurados)</i>	68
3.9.2.6	<i>Paso 6: Definición de la Política de Mantenimiento</i>	70
3.9.2.7	<i>Paso 7: Agrupación y revisión</i>	73
3.9.2.8	<i>Paso 8: Aprobación e Implementación</i>	79
3.9.2.9	<i>Paso 9: Programa dinámico</i>	79

CAPÍTULO IV

4	ANÁLISIS DE RESULTADOS	80
4.3	Recolección de datos para realización de Inventario y codificación.	80
4.4	Inventario y Codificación	80
4.5	Análisis y diagnóstico general grupo 1	81
4.5.1	<i>Análisis de resultados en termografía</i>	81
4.5.2	<i>Análisis de resultados en vibraciones</i>	81
4.5.3	<i>Análisis de resultados en aceites.</i>	83
4.5.4	<i>Resultados de criticidad de acuerdo a los análisis realizados</i>	85
4.6	Análisis y diagnóstico general grupo 2	86
4.6.1	<i>Análisis de resultados en termografía</i>	86
4.6.2	<i>Análisis de resultados en vibraciones</i>	86
4.6.3	<i>Análisis de resultados en aceites</i>	88
4.6.4	<i>Resultados de criticidad de acuerdo a los análisis realizados</i>	90
4.7	Comparación entre el grupo generador 1 y el grupo generador 2.	91
4.8	Análisis de resultados arrojados mediante la metodología de PMO	91
	CONCLUSIONES	96
	RECOMENDACIONES	97
	BIBLIOGRAFÍA.	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2:	Jerarquía Taxonómica.....	6
Tabla 2-2:	Clasificación de tipos – Grupos electrógenos.....	7
Tabla 3-2:	Subdivisión de equipos – Grupos electrógenos.....	7
Tabla 4-2:	Datos específicos al equipo – Grupos electrógenos.....	8
Tabla 5-2:	Formato de codificación de equipos.....	9
Tabla 6-2:	Severidad de la vibración.....	16
Tabla 7-2:	Severidad con respecto a la frecuencia.....	17
Tabla 8-2:	Severidad con respecto a la aceleración.....	17
Tabla 9-2:	Evaluación.....	17
Tabla 10-2:	Características cámara termográfica SATIR HotFind – VR.....	18
Tabla 11-2:	Valores de emisividad para algunos metales.....	19
Tabla 12-2:	Variación de temperatura de un elemento vs la temperatura del aire en el ambiente.....	20
Tabla 13-2:	Norma Neta mejorada por la empresa FLIR.....	20
Tabla 14-2:	Banda de tolerancia aproximado.....	22
Tabla 15-2:	Características aceite Hidráulico ISO 68.....	23
Tabla 16-2:	Análisis de Modos de Falla (AMEF).....	25
Tabla 17-2:	Racionalización y Revisión del AMEF.....	26
Tabla 18-2:	Análisis funcional.....	27
Tabla 19-2:	Análisis de los riesgos y consecuencias de los modos de fallo.....	27
Tabla 20-2:	Política de mantenimiento.....	28

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-2:	Vibra Check 200	11
Figura 2-2:	Acelerómetro.....	12
Figura 3-2:	Termograma de un motor en funcionamiento normal.....	19
Figura 4-2:	Anemómetro.....	21
Figura 5-2:	Lámpara estroboscópica.....	21
Figura 6-2:	Viscosímetro de Saybolt	23
Figura 1-3:	Central La Península.....	29
Figura 2-3:	Área de generación.....	30
Figura 3-3:	Generador.....	30
Figura 4-3:	Horizontal, Vertical y Axial.....	34
Figura 1-4:	Ubicación de componentes del grupo generador 1	82
Figura 2-4:	Ubicación de componentes del grupo generador 2	87

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-2:	Clasificación y jerarquización	5
Gráfico 2-2:	Espectro de vibración compuesta	13
Gráfico 3-2:	Espectro desbalanceo estático.	13
Gráfico 4-2:	Espectro tipo par de fuerzas.....	14
Gráfico 5-2:	Espectro desbalance dinámico.....	14
Gráfico 6-2:	Espectro rotor en cantilibre.....	14
Gráfico 7-2:	Espectro ejes flexionados	15
Gráfico 8-2:	Espectro relación de fases angular y paralelo.....	15
Gráfico 1-3:	Espectro en posición axial	36
Gráfico 2-3:	Espectro en posición vertical.....	36
Gráfico 3-3:	Espectro en posición horizontal.....	37
Gráfico 4-3:	Espectro en posición horizontal.....	37
Gráfico 5-3:	Espectro en posición axial.....	38
Gráfico 6-3:	Espectro en posición horizontal	39
Gráfico 7-3:	Espectro en posición axial.....	39
Gráfico 8-3:	Espectro en posición horizontal	39
Gráfico 9-3:	Diagrama de Viscosidad cSt.....	52
Gráfico 10-3:	Diagrama de viscosidad en cSt.....	55
Gráfico 1-4:	Variación % de viscosidad del aceite grupo generador 1	84
Gráfico 2-4:	Variación % de viscosidad del aceite grupo generador 2	89
Gráfico 3-4:	Variación que existe entre actividades y modos de fallo.....	92
Gráfico 4-4:	Número de actividades totales	93
Gráfico 5-4:	Diagrama fallas evidentes vs fallas ocultas	94
Gráfico 6-4:	Afectación de los modos de falla por equipos	95

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** Cartas de Charlotte3
- ANEXO B:** Diagrama de Decisión
- ANEXO C:** Fichas Técnicas
- ANEXO D:** Configuración del software maintraq predictive
- ANEXO E:** Configuración del software Satir Report
- ANEXO F:** Plan anual de mantenimiento Central La Península
- ANEXO G:** Plan preventivo Central La Penínsul

RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo diagnosticar el estado técnico de los generadores de la Hidroeléctrica “La Península” de la Empresa Eléctrica Ambato S.A. y desarrollar el plan de mantenimiento basado en la metodología PMO (Optimización del Plan de Mantenimiento). Para lo cual se inició con el levantamiento de información de la planta para posteriormente realizar un inventario y codificación técnica mediante la Norma ISO 14224. Luego se realizó la evaluación y diagnóstico técnico de los equipos utilizando las Normas ISO 10816-3 para los análisis de severidad vibratoria en máquinas no rotativas, la Norma ANSI/NETA MTS 2019 para el análisis de severidad térmica y la Norma ASTM D445-12 para el análisis de aceite por la variación de la viscosidad. Para realizar los análisis se utilizaron los equipos de diagnóstico como analizador de vibraciones, determinando la existencia de holguras, desalineaciones y desbalanceos, con la cámara termográfica, se determinó el incremento de la temperatura en los cojinetes de fricción y con el viscosímetro de Saybolt se determinó una variación significativa en la viscosidad, lo que permitió identificar de manera detallada la condición en la que se encontraban los grupos generadores 1 y 2. Una vez realizado los análisis se desarrolló la metodología PMO que permitió mejorar las frecuencias de las actividades, eliminar actividades duplicadas, identificar nuevos modos de fallo asignando nuevas tareas basadas en la condición. Se concluye que el grupo generador 1 se encuentra en estado crítico y el grupo generador 2 en estado medio de criticidad. Se recomienda hacer inspecciones de la condición en los generadores de forma periódica.

Palabras clave: <TERMOGRAFÍA> <ANÁLISIS DE ACEITE> <ANALIZADOR DE VIBRACIONES> <METODOLOGÍA PMO> <PLAN DE MANTENIMIENTO> <MODOS DE FALLO>.



0092-DBRA-UPT-2022

2022-01-21

SUMMARY

The objective of this research is to diagnose the technical status of the generators “La Peninsula” hydroelectric plant at Empresa Eléctrica Ambato S.A. and develop the maintenance plan based on the MPO methodology (Maintenance Plan Optimization). It began with the gathering of information on the plant to later carry out an inventory and technical coding by means of ISO 14224 standard. Then, the technical evaluation and diagnosis of the equipment was carried out using ISO 10816-3 standards for the analysis of vibratory severity in machines. non-rotating, the ANSI/NETA MTS 2019 standard for thermal severity analysis and the ASTM D445-12 standard for oil analysis by viscosity variation. To carry out the analyzes, the diagnostic equipment was used as a vibration analyzer, determining the existence of backlash, misalignment and unbalance, with the thermographic camera, the increase of temperature was determined in the friction bearings with the Saybolt viscometer. A significant variation in viscosity was determined, which made possible to identify in a detailed way the condition in which generating groups 1 and 2 were found. Once the analyzes were carried out the MPO methodology was developed that allowed to improve the frequencies of the activities duplicates, identify new failure modes by assigning new tasks based on the condition. It is concluded that generator set 1 is in a critical state and generator set 2 is in a medium critical state. It is recommended to periodically inspect the condition of the generators.

Keywords: <THERMOGRAPHY> <OIL ANALYSIS> <INVENTORY> <VIBRATION ANALYZER> <MPO METHODOLOGY>, <MAINTENANCE PLAN>, <FAILURE MODES>.

INTRODUCCIÓN

La aplicación de análisis de diagnóstico para conocer en qué estado se encuentran los grupos generadores es de vital importancia debido a que se pueden presentar fallos que no son contemplados en el plan de mantenimiento. El desarrollo de los procedimientos necesarios para determinar el diagnóstico del estado técnico de los grupos generadores junto con la aplicación de la metodología PMO, se consideran en el presente trabajo técnico, se realizó en cuatro capítulos los mismos que se sintetizan a continuación.

En el primer capítulo se describe la necesidad de que los grupos generadores estén siempre disponibles en especial durante las horas pico por que el consumo de energía incrementa considerablemente en este período los grupos funcionan de manera alterna, se han evidenciado casos donde se tiene que realizar paradas no planificadas, debido a un inadecuado manejo de mantenimiento. El capítulo dos contiene los fundamentos teóricos, según los diferentes autores, necesarios que serán la base para el desarrollo del proyecto, éstas son: la norma ISO-14224 para realizar el inventario de cada uno de los equipos, la norma ISO 10816-3 se utilizará para realizar los diagnósticos junto con las cartas de Charlotte para determinar los problemas en vibraciones, la norma ANSI/NETA MTS 2019 propuesta por FLIR se utilizará para el análisis y diagnóstico termográfico y la norma ASTM D445-12 para comparar con los resultados que se hallaran en el análisis de la viscosidad de aceites. En el capítulo tres se desarrollan los análisis y diagnósticos con las tres técnicas que son: vibraciones, termografía y análisis de aceite en donde se aplicaron fórmulas y cálculos matemáticos para hallar la variación de la viscosidad de cada uno de los grupos generadores. Otro tema que se desarrolla es la metodología del PMO que consta de 9 pasos que permiten optimizar y mejorar el plan de mantenimiento vigente.

El cuarto capítulo se describe a detalle los resultados de los diagnósticos realizados con las tres técnicas de evaluación dando como resultado que el grupo generador 1 está en nivel crítico, y el grupo generador 2 está en nivel medio de criticidad. También los resultados obtenidos al aplicar la metodología PMO, dieron como resultado que se deben eliminar tareas duplicadas, mejorar el tiempo de intervención junto con las técnicas adecuadas.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

1.1 Antecedentes de investigación

La central hidroeléctrica “La Península” se encuentra localizada en la provincia de Tungurahua a 20 minutos de la ciudad de Ambato en la parroquia La Península de ahí su nombre. Esta central recoge las aguas río arriba y por medio de una tubería es direccionada hacia las instalaciones para que pase por las turbinas generando 3 MW de potencia, energía que es dirigida hacia el sistema nacional interconectado.

La central tiene 4 grupos de generación de los cuales tres de ellos tienen una capacidad de 500 kW y uno de 1500 kW, cuentan con estudios de eficiencia, de vibraciones que se realizan anualmente, análisis de aceite que lo ejecutan en cada recambio, estos se hacen por medio de la contratación de servicios externos, el análisis con el que no disponen es el de termografía.

A partir de los estudios para la construcción que fueron realizados en el año 1945 y la puesta en funcionamiento en el año 1961, se han realizado mejoras para conservar los equipos, según el criterio de los técnicos los diagnósticos se hacen cada año y estos se los viene realizando durante los últimos 10 años.

El desarrollo del presente proyecto de integración curricular implica realizar el diagnóstico del estado técnico de los generadores, identificar claramente las posibles variaciones de los parámetros técnicos durante el proceso de generación y el desarrollo de un plan de mantenimiento basado en la metodología PMO (Optimización del Plan de Mantenimiento).

Para el desarrollo del presente proyecto se tomarán las normas internacionales, ISO-14224, ISO 10816-3, ANSI/NETA MTS 2019 propuesta por FLIR y ASTM D445-12.

1.2 Justificación y actualidad.

Según el Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021-Toda una Vida, el que aprueba el Manual Orgánico Funcional Codificado y Reformado para la Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte S.A., donde detalla en la Sección Generación en los Incisos del c al h se debe programar el mantenimiento de la planta elaborando, estudios técnicos de generación, registros estadísticos y ejecutarlos de acuerdo al cronograma correspondiente.

La planta cumple con estos lineamientos antes mencionados donde existen registros de actividades, pero no de forma estructurada, por tal razón, se producen inconvenientes al momento de realizar las intervenciones de mantenimiento y con el desarrollo de la metodología PMO se busca mejorar el plan

de mantenimiento actual que mantiene la empresa eléctrica, para compensar la creciente demanda de energía en el sector industrial como también en el sector doméstico.

Para satisfacer a estos sectores es necesario que los equipos funcionen sin presentar fallos, por ello ha surgido la necesidad de desarrollar un estudio utilizando las técnicas de mantenimiento basado en la condición como análisis de vibraciones, termografía y aceites que ayuden a conocer las condiciones de los grupos generadores.

1.3 Planteamiento del Problema.

Debido a que la central “La Península” ayuda a solucionar la demanda de energía en las Provincias de Tungurahua, Pastaza, Napo y Morona Santiago, necesita que los equipos generadores estén siempre disponibles en especial durante las horas pico y el mes de diciembre por que el consumo de energía incrementa considerablemente, mientras en las épocas de sequía (Estiaje) baja la demanda de energía, lo que facilita realizar los trabajos de mantenimiento, y en este período los grupos funcionan de manera alterna, se han evidenciado casos donde se tiene que realizar paradas no planificadas, debido a un inadecuado manejo de mantenimiento.

Hasta el día de hoy la Central cuenta con un plan de mantenimiento general poco focalizado (Rutinario), los trabajadores registran la temperatura de los componentes mediante un pirómetro de radiación, sin embargo, la temperatura registrada no indica la condición en la que se encuentran los grupos de generación, además en los historiales de falla se registran los mantenimientos preventivos y correctivos básicos que se realizan a diario.

El presente proyecto busca por medio de un diagnóstico técnico conocer la condición operativa de los grupos generadores y mejorar el plan de mantenimiento basado en la metodología PMO, para una óptima planificación de tareas.

1.4 Objetivos.

1.4.1 Objetivo general.

- “Diagnosticar el estado técnico de los generadores de la hidroeléctrica “La Península” de la Empresa Eléctrica Ambato S.A. y desarrollar el plan de mantenimiento basado en la metodología PMO”.

1.4.2 Objetivos específicos.

- Desarrollar un inventario técnico de las máquinas de generación existentes.
- Desarrollar una metodología para la evaluación del estado técnico de los generadores conforme a normas, parámetros de funcionamiento e instrumentos de medición.

- Evaluar la condición del estado técnico de los generadores.
- Analizar el plan de mantenimiento vigente en los generadores.
- Diseñar el plan de mantenimiento basado en la metodología PMO

CAPÍTULO II

2 MARCO CONCEPTUAL Y TEÓRICO.

2.1 Inventario.

Es un documento en el cual se registra la información más importante de forma específica y técnica de los activos en una empresa, recopilando la información de diferentes fuentes como pueden ser: manuales, fichas técnicas, planos de diseño y catálogos.

Con este documento se facilita el desarrollo de planes de mantenimiento, puesto que los datos son mejor organizados y clasificados, también “correlaciona cada equipo con su respectiva área de aplicación, función, posición física o geográfica en el área de producción y ofrece ayuda al personal para el dimensionamiento de los equipos de operación y mantenimiento”.(Tavares, 2000, p.30).

2.1.1 Obtención de datos y taxonomía

Obtención de datos.- La confianza de los datos recolectados, y, por consiguiente, cualquier análisis de ellos dependen fuertemente de la calidad de los datos”(ISO, 2016, p.33), para poder evidenciar y analizar los datos se debe disponer de la información más relevante, para ello se tiene en cuenta lo siguiente.

- a) Integridad de datos en relación a la especificación.
- b) Cumplimiento con definiciones de parámetros de confiabilidad tipos de datos y formatos.
- c) Entrada, transferencia, manejo y almacenamiento de datos con alto grado de exactitud (manual o electrónicamente).
- d) Relevancia de los datos para las necesidades de los usuarios.

“Se debe definir un nivel de prioridad para la integridad de los datos mediante un método de ponderar la importancia de los diferentes datos a recolectar, mediante el uso de tres clases”. (ISO, 2016, p.34). Una vez realizados los pasos establecidos se hace una priorización integral de los datos por medio de métodos de ponderación que mostrarán el grado de importancia que éstos deben tener y se los clasifica en tres clases:

Alto: Datos obligatorios (cobertura~100%).

Medio: Datos altamente deseables (cobertura>85%).

Bajo: Datos deseables (cobertura>50%)

Método de recolección de datos. - Para la recolección de datos se debe recurrir a diferentes fuentes que nos proporcionen la información necesaria para organizar y agrupar, “donde el tipo y formato de los

datos están predefinidos” (ISO, 2016, p.34).

Los pasos para la recolección de datos son los siguientes:

- a) Recopilar todos los archivos y documentos disponibles y seleccionar los datos más importantes. “Abordar todas las fuentes de datos disponible y extraer los datos relevantes” (ISO14224:2016, p.36).
- b) Analizar la información y transformarla en un formato de fácil comprensión, uso y manejo en una base de datos. “Interpretar esta información, traducirla en el tipo y formato deseado para la base de datos de destino” (ISO, 2016, p.36).

Taxonomía. - Es la forma organizada de cómo se clasifica en niveles de acuerdo a un orden jerárquico dentro de una organización con respecto a su aplicación y localización específica éstas pueden ser por: ubicación, uso, subdivisión de equipos, etc. También puede ser “sistemática de ítems en grupos genéricos basados en factores posiblemente comunes a varios ítems.”(ISO, 2016, p.38). La clasificación de datos relevantes a recolectar está representada por una jerarquía como se muestra en el gráfico 1-2.

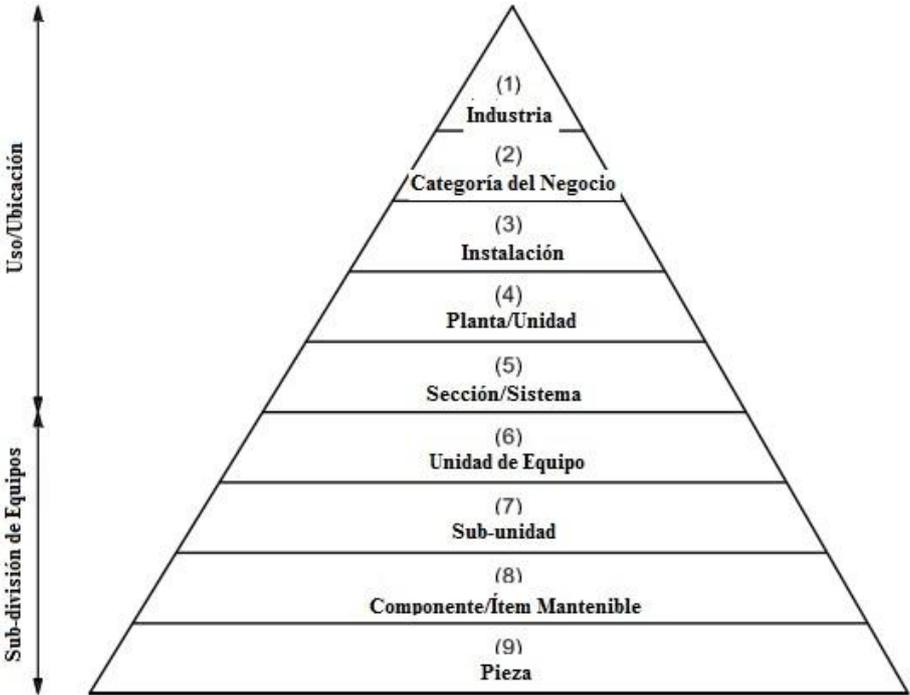


Gráfico 1-2: Clasificación y jerarquización

Fuente:(ISO 2016)

La gráfica 1-2 muestra 9 niveles jerárquicos donde los 3 primeros niveles son orientados hacia el sector petrolero, y los 6 restantes son aplicados en el resto sectores productivos, para el desarrollo del presente proyecto se tomará como punto de partida el cuarto nivel donde se categorizan las jerarquías de grado más alto junto con el quinto nivel dentro de una empresa o industria. Mientras que los niveles del “6 al 9 están relacionados al equipo (inventario) con la subdivisión en niveles inferiores” (ISO, 2016, p.39), como se indica en la Tabla 1-2.

Tabla 1-2: Jerarquía Taxonómica.

Categoría Principal	Nivel Taxonómico	Jerarquía de Taxonomía	Definición
Datos de uso/ubicación	4	Categoría de Planta/Unidad	Tipo de planta/unidad
	5	Sección/Sistema	Sección/sistema principal de la planta
Subdivisión de equipos	6	Clase de equipo/unidad	Clase de equipos similares. Cada clase de equipo contiene unidades de equipos comparables (ej. compresores).
	7	Subunidad	Un subsistema necesario para la función del equipo
	8	Componente/Ítem Mantenable (MI) ^a	El grupo de piezas del equipo que comúnmente se mantienen (se reparan/se restauran) como un todo
	9	Pieza ^b	Una parte individual del equipo
a	Para algunos tipos de equipos, es posible que no exista un MI; p.ej. Si la clase de equipos es de tuberías, puede que no haya un MI, pero el componente puede ser el "codo"		
b	Este nivel puede ser útil en algunos casos, sin embargo, se considera opcional		

Fuente: (ISO 2016)

Realizado por: Chicaiza C y Coque P, 2021

Datos de los equipos. - Son aquellos parámetros que nos proporcionan información detallada de un activo, estos datos pueden ser: técnicos, funcionales, de operación, de diseño, etc.

Los datos del equipo tienen dos componentes:

- Datos del equipo comunes a toda clase de equipos.
- Datos específicos del equipo.

Datos del equipo comunes a toda clase de equipos. - Se refiere a la información general que viene por defecto en cualquier equipo y esta información es: lugar de origen, el nombre de la marca de la compañía que fabricó el equipo, el año de fabricación, número de serie, modelo, entre otros.

Datos específicos del equipo. - Es aquella información de mayor importancia que ayuda a dar la forma a una base de datos, estos pueden ser: capacidad de funcionamiento, tiempo de operación, tiempo de vida útil, datos de diseño, calidad de los materiales de construcción, entre otros. “Los datos específicos del equipo pueden ser estáticos o dependientes del tiempo” (ISO, 2016, p.69).

Los datos relacionados con equipos giratorios se muestran en la Tabla 2-2, donde se puede ver un modelo ejemplificado en el que se identifica los códigos por tipo de equipo, la clase de equipo, el nivel jerárquico al que pertenece con su respectivo código según la norma ISO 14224:2016

Tabla 2-2: Clasificación de tipos – Grupos electrógenos

Clase de equipo - Nivel 6		Tipo de equipo	
Descripción	Código	Descripción	Código
Grupo electrógeno	EG	Impulsados por turbinas de vapor	SD
		Impulsados por turbinas de gas	TD
		Impulsados por turbinas hidráulicas	TH
		Turbo expansor	TE
		Con motor, p.ej. Motor diésel o motor a gas	MD/MG

Fuente: (ISO 2016)

Realizador por: Chicaiza C, Coque P, 2021

Las subdivisiones de equipos de los grupos electrógenos se muestran en la Tabla 3-2, al igual que en la tabla anterior es un ejemplo de la norma ISO 14224:2016, en este caso se indican los grupos que conforman el equipo la subunidad de los elementos mantenibles estos pueden variar de acuerdo al tipo o cantidad de subunidades que pueda tener un equipo.

Tabla 3-2: Subdivisión de equipos – Grupos electrógenos

Equipo	Grupos					
Subunidad	Transmisión de potencia	Grupo electrógeno	Control y monitoreo	Sistema de lubricación	Sistema de enfriamiento	Varios
Ítems Mantenibles	Caja de engranaje	Estator	Dispositivo de accionamiento	Tanque	Intercambiador de calor	Carcasa de
	Rodamiento radial	Rotor	Unidad de control (ej. AVR)	Bomba	Ventilador	Aire de limpieza
	Rodamiento de empuje	Rodamiento radial	Suministro de potencia interno	Filtro Motor	Motor Filtro	Resistores de puesta a tierra
	Sellos	Rodamiento de empuje	Sensores de monitoreo	Refrigerador	Válvulas	(NGRs) ^c
	Acoplamiento al accionador	Excitación	Válvulas	Válvulas	Tuberías	
	Acoplamiento a la unidad impulsada	Cableado y cajas de conexiones	Sensores de monitoreo	Tuberías	Bomba	
	Cinta/polea		Válvulas	Aceite		
			Cableado			
			Tuberías			
			Sellos			
A	El regulador de voltaje automático (AVR) es un elemento dentro de “Control”. La vigilancia de temperatura y vibración son elementos dentro de “Monitoreo”.					
B	Especificar el tipo de sensor, p.ej. presión, temperatura, nivel, etc.					
C	Dependiendo de la filosofía de puesta a tierra.					

Fuente:(ISO 2016)

Realizado por: Chicaiza C, Coque P, 2021

La norma ISO 14224:2016 plantea un modelo de recolección de datos que contiene información de las características técnicas de los grupos electrógenos, estos pueden cambiar de acuerdo a la complejidad o composición del mismo, se dividen a su vez en cuatro segmentos, en el primero se colocan los datos operativos o de funcionalidad que tiene el equipo, en el segundo se hace una descripción de los parámetros, en el tercero se establece las características de cada uno de los parámetros en el cual también puede incluirse un código, y por último en el cuarto se asigna la prioridad de cada uno, esto puede variar de acuerdo al grado de influencia y complejidad (alta, media o baja). Ver Tabla 4-2

Tabla 4-2: Datos específicos al equipo – Grupos electrógenos

Nombre	Descripción	Unidad o lista de códigos	Prioridad
Tipo de accionador	Clase de equipo, tipo y código de identificación	Especificar	Alta
Acoplamiento	Especificar (fijo, flexible, etc.)	Fijo, flexible, hidráulico, desconexión	Baja
Velocidad	Sincrónica	Revoluciones por minuto	Mediana
Frecuencia	Frecuencia de diseño	Hertz	Baja
Voltaje	Voltaje de diseño	Kilovoltios	Alta
Potencia- diseño	Potencia de diseño	Kilovoltios	Alta
Factor de potencia	Cos ϕ	Número	Baja
Control de excitación	Tipo	Automático, manual	Mediana
Tipo de excitación	Sin escobillas/ anillo colector	Sin escobillas/anillo colector	Mediana
Grado de protección	Clase de protección según IEC 60529	IP	Baja
Clase de aislamiento – estator	Clase de aislamiento según IEC 60034-1	Y, A, E, B, F, H	Mediana
Clase de aislamiento - rotor	Clase de aislamiento según IEC 60034-1	Y, A, E, B, F, H	Mediana
Aumento de temperatura - rotor	Aumento de temperatura según IEC 60034-1	Y, A, E, B, F, H	Mediana
Aumento de temperatura - estator	Aumento de temperatura según IEC 60034-1	Y, A, E, B, F, H	Baja
Rodamiento radial	Tipo	Antifricción, deslizante, magnético	Baja
Rodamiento de empuje	Tipo	Antifricción, deslizante, magnético	Baja
Lubricación de rodamientos	Tipo de lubricación de rodamientos	Grasa, baño de aceite, aceite presurizado, anillo de aceite	Baja
Enfriamiento grupo electrógeno	Tipo	Aire/aire, aire/agua, ventilación abierta	Baja

Fuente: (ISO 2016)

Realizado por: Chicaiza C, Coque P, 2021

2.2 Método de codificación de los equipos.

Para realizar la codificación lo primero que se debe hacer es un listado (inventario) de los equipos existentes, una vez hecho esto se los debe identificar con la ayuda de un código único en cada equipo esto aporta la información suficiente y ayuda para determinar “su localización, su referencia en órdenes de trabajo, en planos, permite la elaboración de registros históricos de fallos e intervenciones”(García Garrido, 2003, p.13).

Existen dos tipos de codificación:

La codificación no significativa, en la cual se agrega al azar códigos a los equipos y no aportan información necesaria.

La codificación significativa en este caso el código agregado aporta información más completa como: “tipo de equipo, área en el que está ubicada, familia a la que pertenece” (García Garrido, 2003, p.13).

Para codificar un equipo se debe seguir el siguiente formato que se muestra en la Tabla 5-2.

Tabla 5-2: Formato de codificación de equipos

Código de planta	Código de área	Código de máquina	Código de equipo

Fuente: Autores

Realizado por: Chicaiza C y Coque P, 2021

Para planta y área es un código literal, en el código de área se asigna las iniciales del tipo de área precedida de un número en el caso de existir más áreas dentro de la planta.

Para sistemas y equipos la combinación de un código literal y su secuencia, la parte literal es la parte significativa del código, lo que quiere decir que a la máquina se asigna la inicial del tipo de máquina junto con un número que permitirá identificar la ubicación de la misma y por último en el código de equipo se asigna la inicial del equipo que compone la máquina con su respectivo número de identificación

2.3 Características de funcionamiento de los generadores hidroeléctricos.

Las características de funcionamiento se refieren a la forma de cómo funciona, es decir el principio de funcionamiento.

2.3.1 Principio de funcionamiento de los generadores de corriente continua.

Cuando la armadura gira entre campos fijos del generador se produce una polaridad positiva y negativa haciendo que la corriente se mueva de forma alternativa, es decir que en cada mitad de giro se encontrará

en el polo positivo y en la otra mitad de giro se encontrará en el polo negativo para hacer que ésta corriente mantenga una sola dirección constante o continua, se debe contar de un circuito que invierta la corriente ya sea para que se mantenga solo con polaridad positiva o con polaridad negativa este circuito es conocido como conmutador o circuito rectificador.

“Si una armadura gira entre dos polos de campos fijos la corriente en la armadura se mueve en una dirección durante la mitad de cada revolución, y en la otra dirección durante la otra mitad.

Para un flujo de corriente constante es necesario disponer de un medio que invierta el flujo de corriente fuera del generador una vez durante cada revolución, esta inversión se lleva a cabo mediante un conmutador, el potencial más alto de estos generadores es de 1500 V”(MASSIEU, 2008, p.3).

2.3.2 Principio de funcionamiento de los generadores de corriente alterna.

Para que un generador de corriente alterna entre en funcionamiento se debe aplicar una corriente directa al devanado del rotor, ésta corriente hace que se produzcan los polos magnéticos tanto positivos como negativos el cual es producido por un motor primario conocido como excitatriz generando así una fuerza electromotriz necesaria, es decir “produce un campo rotacional dentro de la máquina, este campo induce un grupo trifásico de voltajes en los devanados del estator del generador”(CHAPMAN, 2000, p.272).

Cuando la corriente llega al punto máximo positivo, luego llega al punto cero y baja al punto máximo negativo en forma cíclica dependiendo de la frecuencia de funcionamiento de la máquina, “este tipo de corriente se conoce como corriente alterna monofásica”(MASSIEU, 2008, p.21), que en nuestro medio la frecuencia es de 60Hz con un voltaje nominal de 120V

Cuando se agrupan las bobinas de la armadura en ángulos de 120° unas con respecto a las otras esta disposición producirá una corriente oscilante triple, a esta corriente se la conoce como corriente alterna trifásica, en nuestro medio la corriente trifásica nominal es de 127V, 210V utilizados en la industria y 121V usados en centros comerciales, hospitales, etc. Con una frecuencia de 60Hz, también se puede decir que “se producirá una corriente en forma de onda triple conocida como corriente alterna trifásica”(MASSIEU, 2008, p.21).

2.4 Técnicas de mantenimiento basado en la condición

Se puede dividir en dos tipos de técnicas, las que son de fácil aplicación y las técnicas que requieren ciertos equipos y conocimientos. La primera son instrumentos de inspección de manera visual instalada de forma permanente como son los manómetros, termómetros, caudalímetros. Dentro de la segunda se encuentran las más complejas como análisis de vibraciones, termografía, análisis de aceite, ultrasonido y baroscopía.

2.4.1 Análisis de vibraciones

Es una técnica de mantenimiento basada en la condición muy utilizada en el campo de la ingeniería, ya que ayuda en el diagnóstico de fallas tempranas y evaluación del estado de los equipos en cualquier planta.

Las vibraciones permiten determinar la condición operativa de una máquina, y se presenta de dos maneras:

- Un bajo nivel de vibraciones indica que el equipo está funcionando dentro de los parámetros normales.
- Alto nivel de vibraciones, la máquina cuenta con algún tipo de falla.

2.4.2 Parámetros de vibración

2.4.2.1 Vibración

Es un movimiento oscilatorio que se puede presentar de forma repetida o al azar, posee amplitud y frecuencia determinada, ésta se presenta en un equipo o máquina ya sea de forma natural o porque existe algún problema que debe ser solucionado.

2.4.2.2 Analizador de Vibraciones:

Es un dispositivo electrónico que permite verificar la frecuencia y magnitud de una vibración que se representa en forma de espectros. Los análisis se realizan en elementos que están sujetos a movimiento circular, estas medidas son tomadas en el mismo punto en tres posiciones (horizontal, axial y vertical). La figura 1-2 muestra el instrumento que recolecta los datos de vibraciones.



Figura 1-2: Vibra Check 200

Realizado por: (Chicaiza C, Coque P, 2021)

2.4.2.3 Acelerómetro:

“Dispositivos encargados de captar la señal vibratoria que generan los equipos”(Arias Ortíz, 2013, p.18). Poseen un imán de neodimio que permite su adherencia a la superficie (hierro-carbono) por su alta capacidad de atracción magnética. La figura 2-2 muestra el acelerómetro midiendo la señal vibratoria de un generador eléctrico en el punto de apoyo.

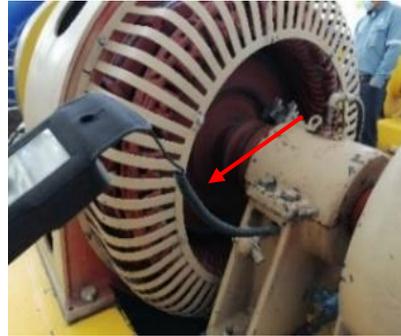


Figura 2-2: Acelerómetro

Realizador por: (Chicaiza C, Coque P, 2021)

2.4.2.4 Software de monitoreo

El software de diagnóstico MAINTRAQ PREDICTIV 1.1 es una herramienta que se utiliza para procesar, visualizar y analizar datos de espectros, formas de onda que son recolectados en el equipo de monitoreo VIBRA CHECK 200.

2.4.2.5 Formas de análisis de vibraciones

Son utilizadas para encontrar el origen de los problemas que llevan a la existencia de vibraciones en equipos rotatorios.

2.4.2.6 Análisis Espectral

Es la interpretación de los datos que se muestran en forma de onda, donde se hallan picos altos y bajos, que se visualizan en un ordenador, “este método inicia con la medición de la vibración en los apoyos adecuados de los equipos rotatorios, en estos puntos es donde se obtiene una mejor lectura, debido a la cercanía de los elementos rodantes con el sensor”(Arias Ortíz, 2013, p.25).

2.4.2.7 Espectro

“Es una imagen de cálculo que nos muestra los datos de frecuencia que ayuda a determinar el origen de la vibración y a determinar la severidad del problema”(IME Ingeniería de Máquinas Eléctricas S.A. n.d, p.23), un incremento en el nivel de frecuencia de vibración nos muestra que pueden ocurrir distintos tipos de fallas. El gráfico 2-2 muestra el ejemplo de un espectro de vibración compuesta.

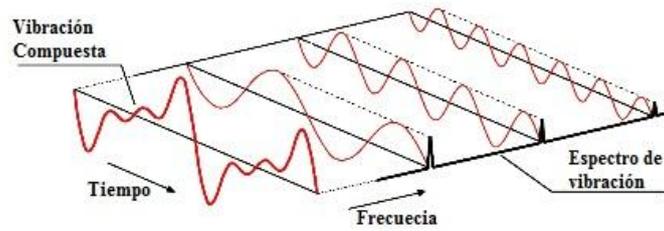


Gráfico 2-2: Espectro de vibración compuesta

Fuente: (Powe-Mi, 2021)

2.4.2.8 Análisis de la forma de onda

Otra forma de tener un diagnóstico más acertado y complementar el análisis espectral es “la forma de onda, en ella se puede observar fallas periódicas”(Arias Ortíz, 2013, p.27), también permite observar fallas que en el análisis espectral no se pueden diagnosticar.

2.4.3 Fallas más comunes en equipos rotatorios

Desbalanceo: Es la pérdida de masa de un sector en particular, esto ocasiona que exista fricción haciendo que el equipo deje de ser homogéneo en su peso, aumentando la temperatura haciendo que la pérdida de material sea más acelerada, “este es un problema muy frecuente que se produce debido a una fuerza radial hacia afuera que se origina al girar un rotor”(Arias Ortíz, 2013, p.29).

2.4.3.1 Desbalanceo estático

Tiene un pico en 1X radial, se produce cuando el eje se desplaza de su posición original, siempre estará presente en el espectro, “la amplitud de la vibración tiene una relación al cuadrado de la velocidad de giro lo que significa, que por cada vez que se duplique la velocidad de rotación la amplitud de vibración aumentará en cuatro veces”(Arias Ortíz, 2013, p.30), como se muestra en el gráfico 3-2.

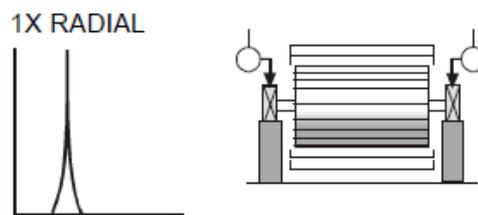


Gráfico 3-2: Espectro desbalanceo estático.

Fuente: (TECHNICAL ASSOCIATES OF CHARLOTTE, 1996, p.1)

2.4.3.2 Desbalanceo tipo par de fuerzas:

Este presenta vibración dominante y oscilación síncrona en 1X, produciendo vibraciones tipo radial y axial, “para corregir este tipo de desbalance es necesario balancear en 2 planos”(Arias Ortíz, 2013, p.30), esto se puede apreciar en el gráfico 4-2.

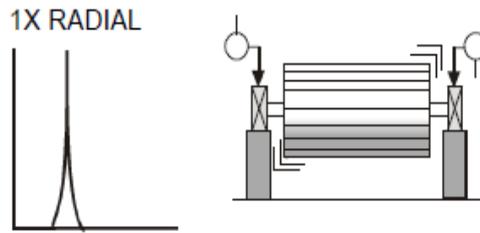


Gráfico 4-2: Espectro tipo par de fuerzas

Fuente: (TECHNICAL ASSOCIATES OF CHARLOTTE, 1996, p.1)

2.4.3.3 Desbalanceo dinámico.

Este presenta vibración dominante en 1X radial. Es la combinación entre el desbalanceo tipo par y estático, donde existe diferencia de fases entre el interior y exterior de los apoyos, “es necesario realizar un balanceo en 2 planos” (Arias Ortíz, 2013, p.30), como se muestra en el gráfico 5-2.

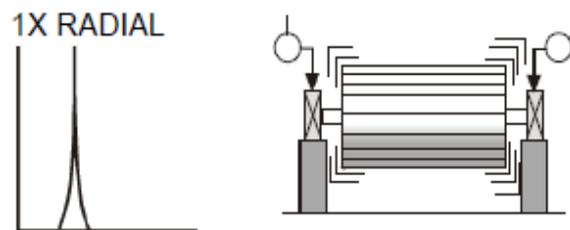


Gráfico 5-2: Espectro desbalanceo dinámico

Fuente: (TECHNICAL ASSOCIATES OF CHARLOTTE, 1996, p.1)

2.4.3.4 Desbalanceo de rotores en cantilibre:

Este causa un incremento de vibración en 1X en las dos direcciones, en donde las medidas axiales permanecen constantes mientras que las medidas radiales varían, “para contrarrestar este desbalanceo es necesario realizar un balanceo en 2 planos” (Arias Ortíz, 2013, p.31), como se muestra en el gráfico 6-2.



Gráfico 6-2: Espectro rotor en cantilibre

Fuente: (TECHNICAL ASSOCIATES OF CHARLOTTE, 1996, p.1)

2.4.3.5 Ejes flexionados:

Este tipo de inconveniente muestra alta vibración en 1X, cuando se presenta la curvatura en el centro del eje y si está cerca del acoplamiento predominará en 2X, “en algunos casos la flexión del eje ocurre

cuando este está girando producto de su baja rigidez en comparación a las fuerzas que influyen”(Arias Ortíz, 2013, p.32), se puede apreciar en el gráfico 7-2

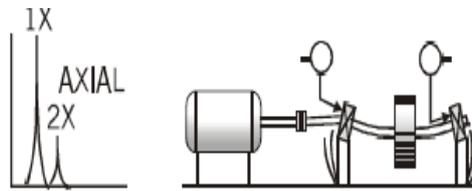


Gráfico 7-2: Espectro ejes flexionados

Fuente: (TECHNICAL ASSOCIATES OF CHARLOTTE, 1996, p.1)

2.5 Desalineamiento:

Los ejes de las máquinas no coinciden en el punto 0 del sistema de coordenadas X e Y, cuya consecuencia deriva la pérdida de energía por presencia de rozamiento.

2.5.1 Existen dos tipos de desalineamiento:

2.5.1.1 Angular:

Este tipo de inconveniente presenta picos de vibración alta en 1X, en 2X hasta puede ocurrir que aparezca ocasionalmente 3X lo que resulta en problemas de acoples, “este desalineamiento no puede reducirse a cero por esto muchas veces se utilizan acoplamientos flexibles para poder absorber en alguna medida este desalineamiento” (Arias Ortíz, 2013, p.33).

2.5.1.2 Paralelo:

Se caracteriza porque la frecuencia de vibración en 2X es más alta que en 1X parecida a la desalineación angular, hasta puede confundirse con una holgura mecánica, “cuando es severo el desalineamiento se producen picos en componentes más altas como la 4X - 8X” (Arias Ortíz, 2013, p.33), los dos tipos de desalineación se muestran en el gráfico 8-2. El resto de modos de falla se encuentran en el anexo A.

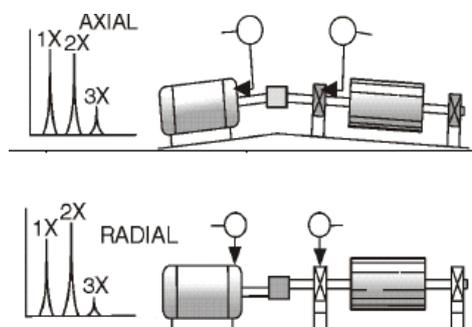


Gráfico 8-2: Espectro relación de fases angular y paralelo

Fuente: (TECHNICAL ASSOCIATES OF CHARLOTTE, 1996, p.1)

2.5.1.3 Normativa sobre vibraciones:

Existen algunas normas para diagnosticar la severidad de vibraciones, por ello debemos tener en cuenta el tipo de máquina, para elegir la norma más conveniente para nuestro estudio.

La toma de datos se debe hacer cuando el equipo se encuentre funcionando a plena carga. La norma que se utiliza para evaluar la severidad de vibración mecánica es: Evaluación de la vibración de las máquinas mediante mediciones en piezas no giratorias (ISO 10816-3)

Mediante la norma ISO 10816-3 se hallan los índices de severidad o criticidad de acuerdo a los parámetros medidos que son: frecuencia, aceleración, y velocidad respectivamente los cuales se muestran en las Tablas 6-2, 7-2, y 8-2 mientras que la Tabla 9-2 muestra los criterios de evaluación.

Tabla 6-2: Severidad de la vibración

ISO 10816-3 SEVERIDAD EN DESPLAZAMIENTO Y VELOCIDAD DE LA VIBRACIÓN		MÁQUINAS GRUPO 2 Y 4		MÁQUINAS GRUPO 1 Y 3	
Desplazamiento RMS	Velocidad RMS	15kW<P≤300kW		Grupo1: 300kW<P<50MW	
μm	mm/s			Grupo3: P>15kW	
113	11			INACEPTABLE	
90	7,1			PELIGRO	ALERTA
71	4,5			INSATISFACTORIO	
56	3,5				
45	2,8			ACEPTABLE	
28	2,3				
18	1,4				
11	0,7			EXCELENTE	
0	0				
Base		Rígida	Flexible	Rígida	Flexible
Grupo 1		Máquinas rotatorias grandes con potencia superior 300 kW.			
		Máquinas eléctricas con altura de eje H ≥ 315 mm			
Grupo 2		Máquinas rotatorias medianas con potencia entre 15 y 300 kW.			
		Máquinas eléctricas con altura de eje 160 ≤ H ≤ 315 mm			
Grupo 3		Bombas con impulsor de múltiples álabes y con motor separado (flujo centrífugo, axial o mixto) con potencia superior a 15 kW			
Grupo 4		Bombas con impulsor de múltiples álabes y con motor integrado (Flujo centrífugo, axial o mixto) con potencia superior a 15 kW.			

Fuente: (Diprolam [sin fecha])

Realizado por: Chicaiza C, Coque P, 2021

“Los criterios de vibración de este estándar se aplican a un conjunto de máquinas con potencia superior a 15 kW y velocidad entre 120 RPM y 15.000 RPM”(RODESPREX n.d., p.1), Por esta razón es aplicable

en los grupos de generación que son parte de nuestro análisis los cuales poseen una potencia de 500 kW y una velocidad de 1200 RPM.

Tabla 7-2: Severidad con respecto a la frecuencia

Severidad envolvente		Diámetro del eje (mm) & Velocidad (RPM)		
Frecuencia máxima Hz		Ø 200 a 500 mm	Ø 50 a 300 mm	Ø 20 a 150 mm
500	1000	<500 RPM	500 a 1800 RPM	1800 a 3600 RPM
7,5	10		INACEPTABLE	
3,5	4		PELIGRO	ALERTA
1,5	2		INSATISFACTORIO	
0,75	1		ACEPTABLE	
0,55	0,75			
0,35	0,5		EXCELENTE	
0,075	0,1			

Fuente: (ISO 10816-3)

Realizado por: Chicaiza C, Coque P, 2021

Tabla 8-2: Severidad con respecto a la aceleración.

Severidad	Velocidad (RPM)			
Aceleración de la vibración	<250 RPM	250 a 900 RPM	900 a 1500 RPM	1500 a 3600 RPM
5		INACEPTABLE PELIGRO		
4				
3				
2,5		INSATISFACTORIO ALERTA		
2				
1,5				
1		ACEPTABLE		
0,8				
0,5		EXCELENTE		
0				

Fuente: (ISO 10816-3)

Realizado por: Chicaiza C, Coque P, 2021

Tabla 9-2: Evaluación

Excelente	Ninguna acción es requerida
Aceptable	Aumentar frecuencia de inspección y controlar la tendencia de la evolución
Tolerable	Requiere planificar y programar acción
Crítico	Requiere acción inmediata

Fuente: (ISO 10816-3)

Realizado por: Chicaiza C, Coque P, 2021

2.6 Análisis Termográfico

La elaboración de un plan de mantenimiento implica tareas y actividades que deben ser planificadas y una de las herramientas que permite realizar estas actividades y con las que se pueden identificar factores que afecten al correcto funcionamiento es la termografía infrarroja.

2.6.1 Termografía infrarroja.

La termografía infrarroja “es una técnica de inspección que permite ver la temperatura de un área con precisión sin tener ningún contacto con ella”(Caiza López, 2016, p.9).

2.6.2 Cámara Termográfica:

Equipo donde se almacenan imágenes termográficas las cuales nos ayudan al diagnóstico de fallas tempranas, “es un instrumento a distancia capaz de analizar y visualizar la distribución de temperaturas de superficies completas de equipamiento eléctrico y mecánicos con rapidez y precisión”(Santiesteban Hernández, 2017, p.10), como se muestra en la Tabla 10-2.

Tabla 10-2: Características cámara termográfica SATIR HotFind – VR

FOV/Min. Enfoque	20°x 15' 0,1m
Modos de medición	4 puntos móviles, detección automática en puntos fríos o calientes, 5 áreas, línea de perfil, isoterma
Rango espectral	8 – 14 μ m
Resolución espacial	2,2 mrad
Tipo detector	UFPA micro bolómetro refrigerado
Sensibilidad térmica	>0,08°C @ 30°C 100mK
Resolución	160 x120 pixeles
Medición	3 puntos, 3 tareas, isoterma y delta T
Precisión	$\pm 2^\circ\text{C}$, $\pm 2\%$ de las lecturas
Brújula electrónica	incorporada
Rango de temperatura operación	-30°C a +60°C
Rango de temperatura de almacenamiento	-40°C a +70°C
Peso	Menor a 600g
Dimensiones	327 mm x 143 mm x 170 mm



Fuente: (Satir, 2021, pp 4-6)

Realizado por: Chicaiza C, Coque P, 2021

2.6.3 Emisividad

Es la característica que posee un elemento de irradiar ondas térmicas cuyos valores pueden oscilar entre 0 (espejo) y 1 (elemento negro), pero en su gran mayoría los elementos presentan una emisividad próxima a 0,95, los valores de emisividad para algunos materiales se pueden observar en la Tabla 11-2.

2.6.4 Termograma:

Es una imagen que nos permite ver la variación de temperatura que existe en un equipo o máquina a la cual estemos analizando, es decir que “se puede observar los diferentes colores de los componentes, con el fin de determinar y analizar de forma exacta las imágenes térmicas”(NEITA DUARTE and PEÑA RODRÍGUEZ, 2011, p.77) como se muestra en la Figura 3-2.

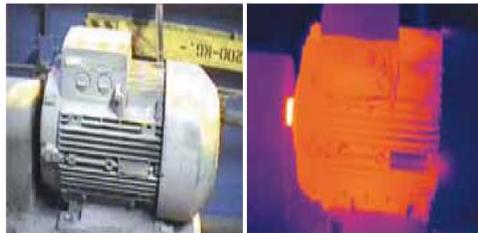


Figura 3-2: Termograma de un motor en funcionamiento normal

Fuente: (FLIR, 2011)

Tabla 11-2: Valores de emisividad para algunos metales

Material	Emisividad	Material	Emisividad
Acero pulido	0,10	Hierro oxidado	0,60 – 0,95
Acero oxidado	0,70 – 0,90	Hierro fundido	0,20 – 0,30
Acero inoxidable	0,10 – 0,80	Oro Negro	0,95
Aluminio oxidado	0,20 – 0,40	Plata	0,02
Bronce pulido	0,01 – 0,05	Plomo pulido	0,05 – 0,20
Bronce oxidado	0,50 – 0,60	Plomo oxidado	0,20 – 0,60
Cobre pulido	0,03	Titanio pulido	0,30 – 0,50
Cobre oxidado	0,40 – 0,80	Titanio oxidado	0,50 – 0,60
Cromo	0,40	Tungsteno pulido	0,10 - 0,30

Fuente: (FLUKE [sin fecha])

Realizado por: Chicaiza C, Coque P, 2021

2.6.4.1 Norma de severidad térmica.

Existen varias normas que permiten determinar el grado de severidad térmica, sin embargo, para este análisis la norma que se utiliza es:

- Estándar para especificaciones de pruebas de mantenimiento para equipos de distribución de energía eléctrica y sistemas ANSI/NETA MTS 2019.

Mediante la norma ANSI/NETA MTS 2019 se puede determinar el grado de severidad de acuerdo a la variación de temperatura que puede mostrar un componente con relación a otro con cargas similares y también la variación de temperatura de un elemento comparada con la temperatura del aire en el ambiente como se muestra en la Tabla 12-2.

Tabla 12-2: Variación de temperatura de un elemento vs la temperatura del aire en el ambiente

Acciones basadas en el aumento de temperatura			
Grado de severidad	Diferencia de temperatura (ΔT) basado en comparaciones entre componentes similares con cargas similares	Diferencia de temperatura (ΔT) basado en comparaciones entre las temperaturas del aire del ambiente y los componentes	Acción recomendada
Normal	1°C – 3°C	1°C -10°C	Posible deficiencia; garantiza investigación
Bajo	4°C – 15°C	11°C – 20°C	Indica probable deficiencia; reparar cuando el tiempo lo permite
Medio	-----	21°C – 40°C	Monitorear hasta que se puedan tomar medidas correctivas.
Severo	>15°C	>40°C	Gran discrepancia; reparar inmediatamente

Fuente: ANSI/NETA MTS, 2019

Realizado por: Chicaiza C, Coque P, 2021

Para el diagnóstico termográfico se utilizó la norma ANSI/NETA MTS 2019 propuesta por la empresa FLIR, que se puede observar en la tabla 13-2.

FLIR es una empresa mundial que siempre está investigando y desarrollando estudios de mejora para adaptar a la parte eléctrica los valores delta de termografía de la norma ANSI/NETA MTS 2019.

Tabla 13-2: Norma Neta propuesta por la empresa FLIR

DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA CLASIFICACIÓN DE FALLAS			
0	NORMAL	Aumento de temperatura 0 – 5 °C	Sin Acción
1	GRADO BAJO	Aumento de temperatura 5 – 10 °C	Para ser monitoreado - planificar una nueva inspección
2	GRADO MEDIO	Aumento de temperatura 35 – 40 °C	Reparar en el apagado programado
3	SEVERO	Aumento de temperatura >35 °C	Reparar inmediatamente

Fuente: ANSI/NETA MTS propuesta por FLIR

Realizado por: Chicaiza C y Coque P, 2021

2.7 Otros equipos utilizados para la toma de mediciones

2.7.1 Anemómetro

Instrumento utilizado para medir la temperatura ambiente, la humedad relativa y la velocidad del viento, como se muestra en la Figura 4-2.



Figura 4-2: Anemómetro

Realizado por: Chicaiza C y Coque P, 2021

2.7.2 Lámpara estroboscópica:

Instrumento utilizado para igualar la frecuencia de trabajo del motor eléctrico logrando con esto medir las revoluciones en este caso del generador, también es útil en un sistema de acople por poleas para igualar la frecuencia de trabajo de las poleas y poder así determinar el estado de las bandas, la figura 5-2 muestra una lámpara estroboscópica apuntando hacia el eje de la excitatriz de un generador.



Figura 5-2: Lámpara estroboscópica

Realizado por: Chicaiza C y Coque P, 2021

2.7.3 Análisis de la viscosidad de aceite

La prueba de viscosidad del aceite es uno de los aspectos más importantes para el mantenimiento, con ésta se obtiene información sobre el estado del aceite, lo que permitirá determinar la condición en la que se encuentra el equipo en ese momento.

2.7.4 Viscosidad:

Es una característica propia de los fluidos, ésta varía de acuerdo a la temperatura y presión aplicadas, es similar a la fricción en términos físicos la cual varía de acuerdo a la superficie de contacto.

Al realizar este análisis se pretende conseguir información representada por valores numéricos del estado funcional del aceite, observando sus propiedades físicas y químicas tomando como referencia la Norma ASTM D445-12.

2.7.4.1 Método de prueba estándar para la viscosidad cinemática de líquidos transparentes y opacos (ASTM D445-12)

2.7.4.2 Viscosidad cinemática

Es inversamente proporcional a la densidad dinámica o absoluta dividida para la densidad o peso específico.

2.7.4.3 Densidad

Es la relación que coexiste entre la masa y el volumen de una sustancia.

“El rango de viscosidades cinemáticas cubierto por este método de prueba es desde 0,2 a 300 000 mm^2/s , en todas las temperaturas” (ASTM D445-12, 2013, p.2).

La tabla 14-2 muestra los valores aproximados para el análisis del aceite con respecto a la variación de la viscosidad, en donde es aceptable si la variación no sobrepasa el porcentaje establecido conocido como banda de tolerancia.

Tabla 14-2: Banda de tolerancia aproximada

Unidad $mm^2/s = cSt$	Banda de tolerancia
<10	$\pm 0,30\%$
10 a 100	$\pm 0,32\%$
100 a 1000	$\pm 0,36\%$
1000 a 10000	$\pm 0,42\%$
10000 a 100000	$\pm 0,54\%$
>100000	$\pm 0,73\%$

Fuente: (ASTM D445-12, 2013)

Realizado por: Chicaiza C y Coque P, 2021

2.7.4.4 Viscosímetro de Saybolt

“Utilizado para realizar mediciones de viscosidad en aceites derivados de petróleo en un amplio rango de temperatura”(Anacona J et al., 2015, p6)

Este equipo posee una probeta metálica colocada de manera vertical sujeta a un motor y por medio de una perilla se regula la profundidad a la que se envía la paleta de agitación, posee también una termocupla que ayuda a censar la temperatura del fluido este cuenta con un recipiente donde se coloca la muestra, el cual tiene practicado un orificio en su base, como se muestra en la figura 6-2, una vez que la muestra de aceite llena el frasco receptor con los 60ml, se censa el tiempo que le toma al aceite llegar al frasco receptor, este tiempo nos dará en segundos que equivalen a los sSU (Segundos Saybolt Universal).



Figura 6-2: Viscosímetro de Saybolt

Realizado por: Chicaiza C y Coque P, 2021

Para que esta prueba sea más efectiva se deben tener en cuenta las características del aceite que se está usando, estos datos van a ayudar a comparar los resultados obtenidos y a realizar un buen análisis y posteriores cálculos de la viscosidad cinemática, estas características se pueden observar.

En la Tabla 15-2 correspondiente al aceite utilizado en la central.

Tabla 15-2: Características aceite Hidráulico ISO 68

AVALON Premium HLP ISO 68		
DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO		
Veedol Avalon Premium HLP 68, es un aceite hidráulico anti desgaste de alta. resistencia Veedol Avalon Premium HLP 68, es recomendado para el uso en todos los sistemas hidráulicos, incluidos los sistemas modernos / de nueva generación que funcionan en aplicaciones de servicio continuo, alta temperatura / alta presión, como excavadoras / cargadoras / grúas, otros sistemas hidráulicos industriales y automotrices.		
CARACTERÍSTICAS Y BENEFICIOS		
- Excelente estabilidad térmica y de oxidación ayuda a lograr una mayor vida útil de los componentes del sistema y de fluido. -Excelente rendimiento a altas temperaturas		
PROPIEDADES		
ASTM	Propiedad	68
D-4052	Gravedad específica @ 15,56°C	0,87
D-445	Viscosidad @ 40°C	67,52
D-445	Viscosidad @ 100°C	8,88
D-2270	Índice de viscosidad	105
D-92	Punto de inflamación °C	244
D-97	Punto de fluidez °C	-18

Fuente: Autores

Realizado por: Chicaiza C y Coque P, 2021

2.8 Planes de mantenimiento.

Es un registro de todo tipo de información, donde se muestran las frecuencias, tipos de mantenimiento, quien va a realizar las intervenciones, etc. Esta información debe ser lo más precisa posible ya que esto

garantiza un buen mantenimiento, desempeño del personal, ahorro económico y tiempo de reparación o intervención.

“Es un documento que contiene el conjunto de tareas de mantenimiento programado que debemos hacer en una planta para asegurar los niveles de disponibilidad que se hayan establecido”(García Garrido, 2003, p.37).

2.8.1 Tipos de planes de mantenimiento

Las metodologías utilizadas son:

- RCM (Mantenimiento Centrado en Confiabilidad)
- RCM abreviado
- PMO (Optimización del Plan de Mantenimiento)
- Experiencia de los técnicos.

2.8.2 La metodología PMO

El sistema PMO, es una técnica diseñada para estudiar las exigencias actuales de mantenimiento, con el historial de fallas y la información técnica de los equipos o máquinas en operación, también ayuda a que las intervenciones de las tareas se realice con mayor facilidad, cuando se tenga un sistema preventivo solidificado y la empresa cuente con sus respectivos registros, “este se ha mejorado con el objetivo de reflejar la lógica de decisión del RCM, desde su formulación en 1978”(OMCS Latin America n.d., p19).

2.8.3 Beneficios del PMO:

La metodología PMO es la base para la mejora en la eficiencia dentro de la ingeniería de confiabilidad y para una adecuada eliminación de defectos, tomando en cuenta otros beneficios que se detallan a continuación:

- La eliminación de fallas y paradas imprevistas
- Utilización adecuada de los recursos disponibles
- Incremento de la confiabilidad, disponibilidad, mantenibilidad y eficiencia global de los equipos.

2.8.4 El proceso PMO consta de 9 pasos que se listan a continuación:

Paso 1. Recopilación de tareas

Paso2. Análisis de Modos de Falla (AMEF)

Paso 3. Racionalización y revisión del AMEF

Paso 4. Análisis funcional

Paso 5. Evaluación de consecuencias:

Paso 6. Definición de la política de mantenimiento

Paso 7. Agrupación y revisión

Paso 8. Aprobación e implementación

Paso 9. Programa dinámico

2.8.4.1 Recopilación de Tareas

“Se inicia recopilando o documentando el programa de mantenimiento existente (formal o informal) subiendo a una base de datos”(OMCS Latin America n.d., p.9). Este inicia con del plan de mantenimiento vigente en la planta, para prevenir fallas en los equipos

2.8.4.2 Análisis de Modos de Falla (AMEF)

En este paso se define una lista de los modos de fallo que están siendo agredidos y buscan ser prevenidos por cada tarea.

La Tabla 16-2 ilustra el esquema del análisis de los modos de falla, donde detalla columna las tareas recopiladas, la frecuencia inicial de la tarea, el responsable de llevar a cabo dicha tarea y el modo de falla que está afectando.

Tabla 16-2: Análisis de Modos de Falla (AMEF)

Tarea	Frecuencia	Responsable	Modo de Falla
Tarea 1	Diario	Operador	Modo de falla A
Tarea 2	Diario	Operador	Modo de falla B
Tarea 3	6 meses	Instalador	Modo de falla C
Tarea 4	6 meses	Instalador	Modo de falla C
Tarea 5	Anual	Electricista	Modo de falla B
Tarea 6	Semanal	Operador	Modo de falla C

Fuente: (OMCS Latin America [sin fecha])

Realizado por: Chicaiza C y Coque P, 2021

2.8.4.3 Racionalización y Revisión del AMEF

“Después de haber codificado los modos de fallo en este paso se ordena la información por modos de fallo y por lo tanto se hace más fácil la identificación de tareas duplicadas”(OMCS Latin American.d., p.10),

con la categorización de estos modos de falla se define una sola tarea, la más efectiva para poder prevenirlos, en este paso se puede adicionar nuevos modos de falla dominantes con un riesgo significativo a partir del histórico de fallas, manuales, conocimiento de los técnicos y personal de la empresa, porque pueden haber fallas que han ocurrido y que no tienen una tarea que ayude a prevenirlos.

La Tabla 17-2 ilustra la racionalización y revisión del AMEF, donde se detallan las tareas recopiladas, el responsable de realizar las tareas y el modo de falla que está afectando.

2.8.4.4 Análisis funcional

“Este es opcional ya que las funciones que se pierden con cada falla se puede determinar en este paso”(OMCS Latin America n.d., p.10), se debe tener en cuenta que otras posibles fallas pueden ocurrir, fallas que no hayan ocurrido que tengan un riesgo o ser dominantes en los equipos, es decir que no se encuentren en el histórico de fallas para identificarlos, para ello hay que hacer un análisis funcional para poder identificar los problemas y fallas en el equipo.

Para equipos críticos o muy complejos se debe realizar:

- RCM (Funciones, Fallos funcionales, Modos de fallo, Efectos, Consecuencias, Tareas, Acciones a falta de)

Para equipos no complejos se debe realizar:

- PMO (Tareas, Modos de fallo)

La Tabla 18-2 ilustra el análisis funcional, donde se detallan el modo de falla a la cual está atacando y la función detallada del equipo o sistema.

Tabla 17-2: Racionalización y Revisión del AMEF

Tarea	Responsable	Modo de Falla
Tarea 1	Operador	Modo de falla A
Tarea 4	Instalador	Modo de falla A
Tarea 7	Mecánico	Modo de falla A
Tarea 2	Operador	Modo de falla B
Tarea 5	Electricista	Modo de falla B
Tarea 3	Instalador	Modo de falla C
Tarea 6	Operador	Modo de falla C
		Modo de falla D

Fuente: (OMCS Latin America [sin fecha])

Realizado por: Chicaiza C y Coque P, 2021

Tabla 18-2: Análisis funcional

Modo de Falla	Función
Modo de falla A	Función 1
Modo de falla A	
Modo de falla A	
Modo de falla B	Función 1
Modo de falla B	
Modo de falla C	Función 2
Modo de falla C	
Modo de falla D	Función 1

Fuente: (OMCS Latin America [sin fecha])

Realizado por: Chicaiza C y Coque P, 2021

2.8.4.5 Evaluación de consecuencias

“En este paso cada modo de falla es analizado para determinar si las fallas son ocultas o evidentes”(OMCS Latin America n.d., p.11), para definir el tipo de tarea de mantenimiento a realizar se debe tomar en cuenta si las fallas son evidentes de debe realizar un análisis de riesgos a la seguridad física, medio ambiente, consecuencias operacionales y no operacionales (costos de mantenimiento).

La Tabla 19-2 ilustra la evaluación de consecuencias, donde se muestran las tareas recopiladas, el responsable de realizar la tarea, el modo de falla que está afectando el equipo, la función del equipo y que tipo de consecuencia se presenta.

Tabla 19-2: Análisis de los riesgos y consecuencias de los modos de fallo

Tarea	Responsable	Modo de Falla	Función	Consecuencia
Tarea 1	Operador	Modo de falla A	Función 1	Operacional
Tarea 4	Instalador	Modo de falla A		
Tarea 7	Mecánico	Modo de falla A		
Tarea 2	Operador	Modo de falla B	Función 1	Operacional
Tarea 5	Electricista	Modo de falla B		
Tarea 3	Instalador	Modo de falla C	Función 2	Oculto
Tarea 6	Operador	Modo de falla C		
		Modo de falla D	Función 1	Operacional

Fuente: (OMCS Latin America [sin fecha])

Realizado por: Chicaiza C y Coque P, 2021

2.8.4.6 Definición de la política de mantenimiento

“En este paso, cada modo de fallo es analizado bajo los principios del RCM y se establecen las políticas nuevas o revisadas de mantenimiento”(OMCS Latin America n.d., p.11), en este paso utiliza el diagrama de decisión del RCM que permite asignar el tipo de tarea más conveniente a realizar esta puede ser: basada

en la condición (inspección, predictiva) ó preventiva (reparar, dar de baja o reemplazo programado), cuando identifiquemos un intervalo libre de tiempo. Ver anexo B.

La Tabla 20-2 ilustra la definición de la política de mantenimiento, donde se muestra el modo de falla que está afectando el equipo, la función del equipo, el tipo de consecuencias que se pueden presentar, la política o qué tipo de mantenimiento es el adecuado para prevenir el modo de fallo y la rutina o frecuencia de realización de la tarea.

2.8.4.7 Agrupación y revisión:

“Una vez que el análisis de las tareas hayan finalizado, el equipo de trabajo establece el método más eficiente y efectivo para administrar el mantenimiento de los activos teniendo en cuenta limitantes de producción y otros”(OMCS Latin America n.d., p.12), se realiza una compilación de las rutinas o rondas mensuales de monitoreo de la condición, rondas semestrales de termografía, rondas bimensuales para vibraciones, etc. Estas se clasifican por especialidad, frecuencia de intervención, quien realiza la intervención y analizarlas de la mejor manera para ser ejecutadas.

Tabla 20-2: Política de mantenimiento

Modo de Falla	Función	Consecuencias	Política	Rutina
Modo de falla A	Función 1	Operacional	Inspección	Diaria
Modo de falla A				
Modo de falla A				
Modo de falla B	Función 1	Operacional	No PM	
Modo de falla B				
Modo de falla C	Función 2	Ocultas	Pruebas	Anual
Modo de falla C				Semanal
Modo de falla D	Función 1	Operacional	Inspección	

Fuente: (OMCS Latin America [sin fecha])

Realizado por: Chicaiza C y Coque P, 2021

2.8.4.8 Aprobación e implementación:

En este paso, el resultado del análisis se presenta como una propuesta a la alta dirección para su revisión, aprobación e implementación del proyecto realizado(OMCS Latin America n.d., p.12).

2.8.4.9 Programa Dinámico:

Durante el desarrollo de los Pasos 1 al 9, el proceso del PMO ha establecido una estructura racional y costos efectiva, el plan de mantenimiento se consolida y toma el control de la planta, cuando se reemplaza el mantenimiento reactivo por uno planeado actualizándolo periódicamente(OMCS Latin America n.d., p.12)

CAPÍTULO III

3 MARCO METODOLÓGICO.

3.1. Identificación de área y equipos

La Central Hidroeléctrica la Península cuenta con cuatro grupos de generación, tres de estos grupos tienen una capacidad de 500 kW del mismo modelo y uno con una capacidad de 1500 kW, además cuenta con banco de baterías de emergencia para los procesos de control, cuatro tableros de control, transferencia y un centro de monitoreo.

Este estudio se limitó al análisis de los cuatro grupos de generación ubicados en la sala de máquinas de acuerdo al grado de importancia.

En la Central Hidroeléctrica los mantenimientos son realizados por contratación externa, las actividades de baja complejidad son realizadas por los operadores.

3.2. Planta de generación

Es la encargada de suministrar energía a las Provincias de Tungurahua, Pastaza, Puyo y Morona Santiago, ésta la podemos observar en la Figura 1-3.



Figura 1-3: Central La Península

Realizado por: Chicaiza C y Coque P, 2021

3.3. Área de generación.

Esta área es la encargada de producir energía eléctrica a través de los 4 grupos de generación, como se muestra en la figura 2-3.



Figura 2-3: Área de generación

Realizado por: Chicaiza C y Coque P, 2021

3.3.1. Banco de baterías.

Es un sistema que provee de corriente continua a los tableros de control en casos de emergencia

3.3.2. Tableros de control.

Conjunto de elementos eléctricos que permiten controlar la frecuencia y la velocidad de los generadores

3.3.3. Tableros de transferencia.

Son los encargados de la transferencia de energía producida en la central hidroeléctrica hacia la subestación, para posteriormente dirigirla al sistema nacional interconectado.

3.3.4. Sala de máquinas

Es un espacio dentro de la planta el cual es destinado para alojar las instalaciones de los cuatro grupos de generación encargados de producir energía eléctrica

3.3.4.1. Sistema de generación

La figura 3-3 muestra los equipos que componen el sistema de generación y estos son: turbina, volante de inercia, excitatriz y generador.



Figura 3-3: Generador

Realizado por: Chicaiza C y Coque P, 2021

3.4. Inventario

Se desarrolló utilizando la norma ISO14224, en un orden jerárquico o niveles, para este estudio se inicia a partir del nivel cuatro que pertenece a la planta.

3.4.1. Nivel cuarto: Ubicación o Planta

En este nivel jerárquico se muestra la ubicación geográfica en el cual se encuentra la planta.

3.4.2. Nivel quinto: Área

Este nivel jerárquico se muestra el área a la que pertenece a la planta.

3.4.3. Nivel sexto: Máquina o sistema de generación

Este nivel jerárquico representa el sistema que se encuentra dentro del área.

3.4.4. Nivel séptimo: Equipos

Este nivel jerárquico representa a los equipos que conforman el sistema.

En la tabla 1-3, se detalla el levantamiento de información, de los equipos que conforman la central hidroeléctrica en la primera columna se muestra el nivel taxonómico (nivel jerárquico), en la segunda columna la descripción de la jerarquía principal y en la tercera columna muestra cuantos ítems fueron codificados.

Tabla 1-3: Levantamiento de información para codificación

Nivel Taxonómico	Descripción	Número de elementos codificados
4	Central Hidroeléctrica	1
5	Área de generación	1
6	Máquina o sistema de generación	4
7	Equipos	16

Fuente: Autores

Realizado por: Chicaiza C y Coque P, 2021

En la tabla 2-3, se establece el código de la planta, en la primera columna se detalla el nombre de la planta, en la segunda columna el código de tipo alfabético de la planta.

Tabla 2-3. Codificación de Planta

Nombre	Código
Central Hidroeléctrica La Península.	CLP

Fuente: Autores

Realizado por: Chicaiza C y Coque P, 2021

La tabla 3-3, muestra la codificación del área de generación, en la primera columna se detalla el nombre del área, en la segunda columna el código de tipo alfabético del área que pertenece a la planta.

Tabla 3-3: Codificación de área

Nombre	Código
Área de generación	CLP-AG

Fuente: Autores

Realizado por: Chicaiza C y Coque P, 2021

La tabla 4-3, muestra la codificación correspondiente a las máquinas, donde se detalla: en la primera columna el nombre de la máquina, en la segunda columna el código de tipo alfanumérico de la máquina, precedida del código de área y planta.

Tabla 4-3: Codificación de máquina

Nombre de la máquina	Código
Máquina de generación 1	CLP-AG-MGE1
Máquina de generación 2	CLP-AG-MGE2
Máquina de generación 3	CLP-AG-MGE3
Máquina de generación 4	CLP-AG-MGE4

Fuente: Autores

Realizado por: Chicaiza C y Coque P, 2021

La Tabla 5-3, muestra un listado de codificación para los equipos, en la primera columna se detalla el nombre de los equipos de la máquina, y en la segunda columna los códigos de tipo alfanumérico de estos.

Tabla 5-3: Codificación de equipos

Nombre de los equipos	Código
Turbina 01	CLP-AG-GE01-T01
Volante de inercia 01	CLP-AG-GE01-VI01
Generador de corriente alterna 01	CLP-AG-GE01-MA01
Excitatriz 01	CLP-AG-GE01-E01
Turbina 02	CLP-AG-GE02-T02
Volante de inercia 02	CLP-AG-GE02-VI02
Generador de corriente alterna 02	CLP-AG-GE02-MA02
Excitatriz 02	CLP-AG-GE02-E02
Turbina 03	CLP-AG-GE03-T03
Volante de inercia 03	CLP-AG-GE03-VI03
Generador de corriente alterna 03	CLP-AG-GE03-MA03
Excitatriz 03	CLP-AG-GE03-E03
Turbina 04	CLP-AG-GE04-T04
Volante de inercia 04	CLP-AG-GE04-VI04
Generador de corriente alterna 04	CLP-AG-GE04-MA04
Excitatriz 04	CLP-AG-GE04-E04

Fuente: Autores

Realizado por: Chicaiza C y Coque P, 2021

3.5. Fichas técnicas.

La ficha técnica es un documento el cual muestra gran parte de la información sobre las características de funcionamiento de cada uno de los equipos que componen el grupo de generación.

La tabla 6-3, se muestra un ejemplo de ficha técnica de la excitatriz, en la parte superior se observa la imagen del equipo, el nombre, el código y los datos generales, en la parte inferior se muestran las características técnicas o datos de placa del equipo y es el mismo formato para los grupos 1, 2, 3 y de formato diferente para el grupo 4.

Las fichas técnicas de todos los equipos se encuentran en el anexo C.

Tabla 6-3: Excitatriz Grupo 1

	Nombre	EXCITATRIZ	
	Nivel Taxonómico	7 Según Norma ISO 14224	
	Tipo	Corriente Continua	
	Código	CLP-SG01-GE01-E01	
CARACTERÍSTICAS			
MARCA	GENERAL ELECTRIC		
MODELO	16G395	FRAME	10
TIPO	EF	FORMA	EB
CORRIENTE	60 A	VELOCIDAD	1200 RPM
VOLTAJE SIN CARGA	0	VOLTAJE A PLENA CARGA	125 V
POTENCIA	7.5 kW	TEMPERATURA DE TRABAJO	40°C
NUMERO DE SERIE	1758494	PROCEDENCIA	USA

Fuente: Autores

Realizado por: Chicaiza C y Coque P, 2021

3.6. Diagnóstico y evaluación de los generadores.

Para conocer la condición de los grupos generadores se realizaron tres técnicas de análisis: termografía, vibraciones y análisis de aceites, en este estudio se pudo diagnosticar a los grupos 1 y 2, debido a que el grupo 3 y el grupo 4 están fuera de servicio por mantenimiento mayor (over hall).

3.6.1. Diagnóstico vibracional.

Para el diagnóstico de los grupos de generación se utilizó un analizador de vibraciones de la marca Idear del modelo Vibracheck 200, el cual por medio de un sensor (acelerómetro) toman las medidas de vibración, en las tres posiciones horizontal, vertical y axial, como se muestra en la figura 4-3.

Se tomaron las medidas de vibraciones en los cojinetes de fricción 1, 2 y 3 y con la ayuda del software Maintraq Predictive se analizaron los espectros de vibración.



Figura 4-3: Horizontal, Vertical y Axial

Realizado por: Chicaiza C y Coque P, 2021

Nota: Para que el equipo pueda recolectar los datos, primero se debe configurar el software en un ordenador en el cual se debe incluir cada uno de los puntos (cojinetes de fricción 1, 2 y 3) a analizar, la configuración está detallada en el Anexo D.

3.6.1.1. Diagnóstico grupo 1

La tabla 7-3 muestra el diagnóstico general realizado en el grupo de generación 1, en la parte superior se muestra la imagen del equipo junto con los datos de placa, nivel de condición, y la fecha de realización.

En la parte central de la tabla se muestra el diagnóstico técnico de los problemas que se han presentado en los cojinetes de fricción y el eje, también las recomendaciones de las actividades que se deben realizar para corregir las fallas encontradas.

En la parte inferior se muestran los posibles problemas que se pueden producir como muestran los diferentes íconos, según el color de cada icono indica el grado de influencia que tiene.

Al final de la tabla se observa el cuadro que representa los valores medidos que fueron contrastados con los valores de las tablas 6-2, 7-2 y 8-2 de la norma de Evaluación de la vibración de las máquinas (ISO 10816-3), no se utiliza la norma ISO 20816-5:2018 porque ésta norma solo se aplica para generadores con velocidades comprendidas entre los 60 y 1000 rpm mientras que los generadores de la central operan a velocidades de 1200 rpm, tampoco se aplica en máquinas hidráulicas con cojinetes de elementos rodantes, por esta razón la norma que se aplica es la (ISO 10816-3)

Tabla 7-3: Generador del Grupo 1

Máquina	Generador 1							
Planta	Central La Península							
N° Serie	5607040							
Modelo	GEH-709G							
Velocidad	1200 RPM							
Fecha de revisión	Nivel	Cond. de oper.						
21/01/2021	Crítico	Normal						
Los niveles de vibración pueden generar daños								
								
Diagnóstico: Desalineamiento de eje + Solturas/Holguras								
Desalineamiento de ejes entre turbina y generador eléctrico								
Solturas/Holguras en el cojinete de fricción # 2								
Solturas/Holguras en el cojinete de fricción # 1								
Recomendación: Requiere planificar y programar								
Desalineamiento de ejes. Se recomienda alinear con precisión los ejes entre turbina y generador eléctrico								
Solturas u holguras en cojinetes de fricción. Se recomienda verificar ajustes y tolerancias.								
				ISO				
	Desbalance	Desalineamiento	Resonancia estructural	Otro ISO	Desgaste de rodamiento/lubricación	Suspicious	Holgura / soltura	Cavitación
Confidence	***	***	***					***
1-Turbina								
2- Generador eléctrico								
3- Generador eléctrico								
Valores medidos								
PUNTO	FECHA	ACELERACIÓN[g]	VELOCIDAD[mm/s]	ENVOLVENTE[gE]	DESPLAZAMIENTO[μm]			
1 - Vertical 1 V	21/1/2021 11:46	0.514	1.53	2.07	23.3			
1 - Horizontal 1 H	21/1/2021 11:47	0.933	4.78	3.239	62.3			
1 - Axial 1 A	21/1/2021 11:48	0.622	3.68	2.253	56.4			
2 - Vertical 2 V	21/1/2021 11:49	0.452	15.2	0.555	195.4			
2 - Horizontal 2 H	21/1/2021 11:50	1.004	9.76	9.403	133.5			
2 - Axial 2 A	21/1/2021 11:51	1.301	47.16	2.306	602.9			
3 - Vertical 3 V	21/1/2021 11:52	0.143	0.96	0.658	21.6			
3 - Horizontal 3 H	21/1/2021 11:53	0.19	2.44	0.614	35.7			
3 - Axial 3 A	21/1/2021 11:54	0.192	4.27	0.326	59.3			

Fuente: Autores

Realizado por: Chicaiza C y Coque P, 2021

- Interpretación y análisis de los espectros
- Cojinete de fricción 2

El gráfico 1-3 muestra el espectro medido en el cojinete de fricción 2 del grupo 1 en la dirección axial. Se puede observar la presencia en la frecuencia de rotación de giro (1200 rpm) y sus armónicos (1x, 2x, 3x) con predominancia en 2x, lo cual se le atribuye a la desalineación de ejes de turbina y generador.

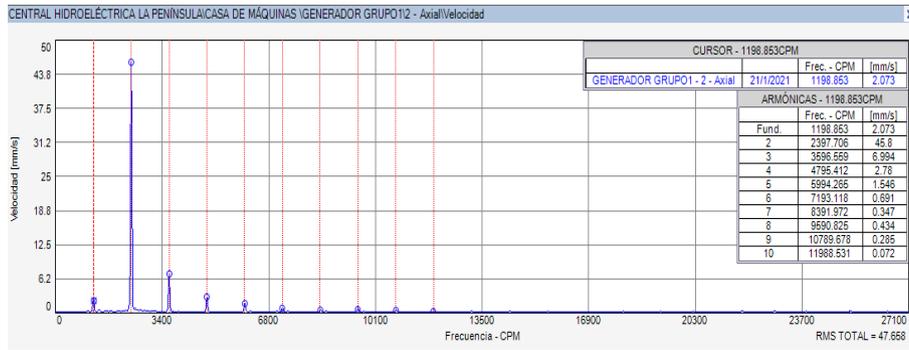


Gráfico 1-3: Espectro en posición axial

Realizado por Chicaiza C y Coque P, 2021

El gráfico 2-3, muestra el espectro medido en el cojinete de fricción 2 del grupo 1 en la dirección vertical. Se puede observar la presencia en la frecuencia de rotación de giro (1198.85 rpm) y sus armónicos (1x, 2x, 3x) con predominancia en 2x, lo cual se le atribuye a la desalineación de ejes de turbina y generador.

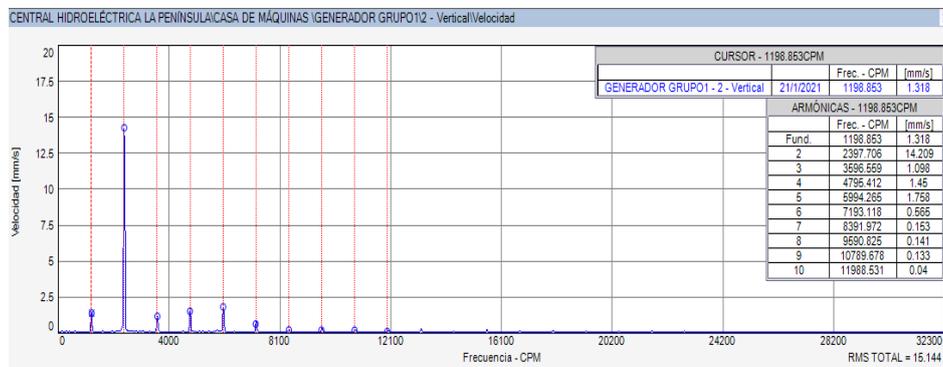


Gráfico 2-3: Espectro en posición vertical

Realizado por: Chicaiza C y Coque P, 2021

El gráfico 3-3, muestra el espectro medido en el cojinete de fricción 2 del grupo 1 en la dirección horizontal donde se observa la frecuencia de rotación (1200 rpm) y múltiples armónicos (1x, 2x, 3x) derivado de la holgura o soldaduras de sus componentes y estructura de la chumacera.

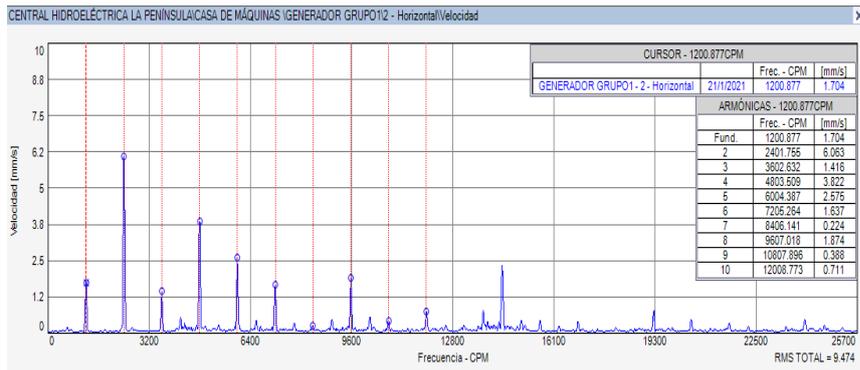


Gráfico 3-3: Espectro en posición horizontal

Realizado por: Chicaiza C y Coque P, 2021

- Cojinete de fricción 1

El gráfico 4-3, muestra el espectro medido en la chumacera 1 en la dirección horizontal donde se observa la frecuencia de rotación (1200 rpm) y múltiples armónicos (1x, 2x, 3x) derivado de una leve holgura o solturas de sus componentes y estructura de la chumacera.

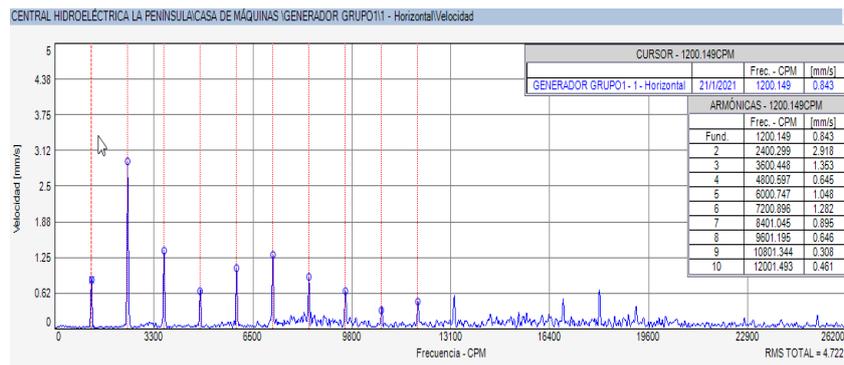


Gráfico 4-3: Espectro en posición horizontal

Realizado por: Chicaiza C y Coque P, 2021

La tabla 8-3 muestra el diagnóstico de la condición que presenta el grupo generador 1, en donde se muestra el nivel de criticidad, los problemas encontrados y las tareas a realizar.

Tabla 8-3: Resultado del análisis espectral

Diagnóstico	
Nivel	Crítico
Problemas encontrados	Desalineamiento de ejes entre turbina y generador eléctrico Solturas/Holguras en el cojinete de fricción 2 Solturas/Holguras en el cojinete de fricción 1
Tareas a realizar	Alinear con precisión los ejes entre turbina y generador eléctrico Verificar ajustes y tolerancias.

Fuente: Autores

Realizado por: Chicaiza C y Coque P, 2021

3.6.1.2. Diagnóstico grupo 2.

La tabla 9-3 muestra el diagnóstico general realizado en el grupo de generación 2, en la parte superior se muestra la imagen del equipo junto con los datos de placa, nivel de condición, y la fecha de realización.

En la parte central de la tabla se muestra el diagnóstico técnico de los problemas que se han presentado en el cojinete de fricción, el volante de inercia y el eje, también las recomendaciones de las actividades que se deben realizar para corregir las fallas encontradas.

En la parte inferior se muestran los posibles problemas que se pueden producir como muestran los diferentes íconos, según el color de cada icono indica el grado de influencia que tiene.

Al final de la tabla se observa el cuadro que representa los valores medidos que fueron contrastados con los valores de las tablas 6-2, 7-2 y 8-2 de la norma de Evaluación de la vibración de las máquinas (ISO 10816-3).

- Interpretación y análisis de espectros
- Cojinete de fricción 1.

El gráfico 5-3, muestra el espectro medido del cojinete 1 en la posición axial. Se puede observar la presencia la frecuencia de rotación de giro (1200 rpm) y sus armónicos (1x, 2x, 3x) con predominancia en 2x, lo cual se le atribuye a la desalineación de ejes de turbina y generador.

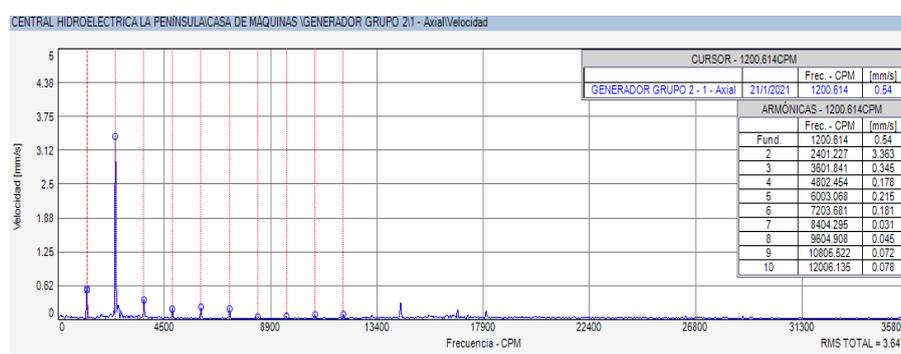


Gráfico 5-3: Espectro en posición axial

Realizado por: Chicaiza C y Coque P, 2021

El gráfico 6-3, muestra el espectro medido en el cojinete 1 en la posición horizontal donde se observa el predominio de la frecuencia de rotación (1200 rpm) debido al desbalance residual de la turbina o volante.

Espectro medido en el cojinete 1 en la posición horizontal se observa la frecuencia de rotación y múltiples armónicos derivado de la holgura o solduras de sus componentes y estructura.

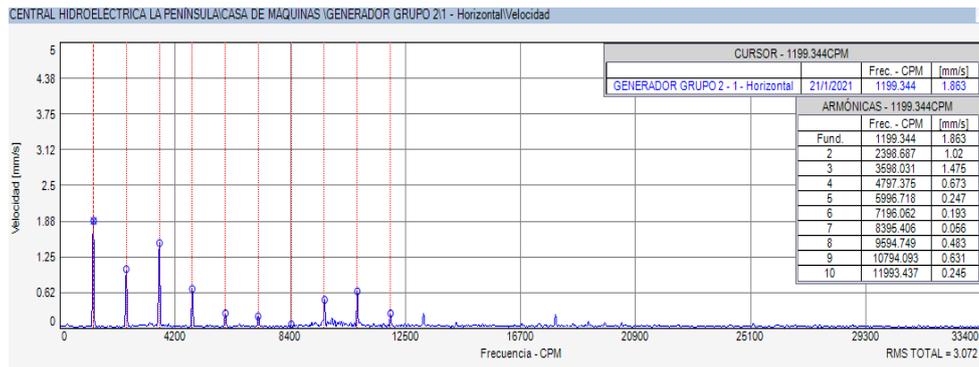


Gráfico 6-3: Espectro en posición horizontal

Realizado por: Chicaiza C y Coque P, 2021

- Cojinete de fricción 2.

En el gráfico 7-3, se muestra el espectro medido en el cojinete 2 en la posición axial. Se puede observar la presencia la frecuencia de rotación de giro (1200 rpm) y sus armónicos (1x, 2x, 3x) con predominancia en 2x, lo cual se le atribuye a la desalineación de ejes de turbina y generador

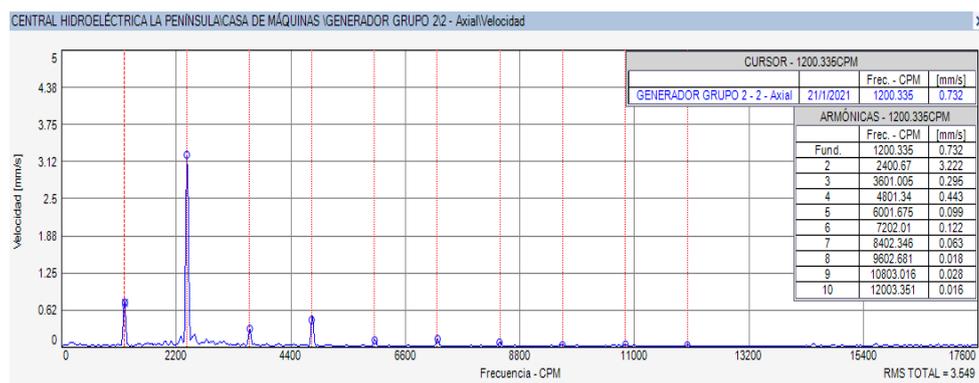


Gráfico 7-3: Espectro en posición axial

Realizado por: Chicaiza C y Coque P, 2021

En el gráfico 8-3, se muestra el espectro medido en el cojinete 1 en la posición horizontal donde se observa el predominio de la frecuencia de rotación (1200 rpm) debido al desbalance residual de la turbina o volante.

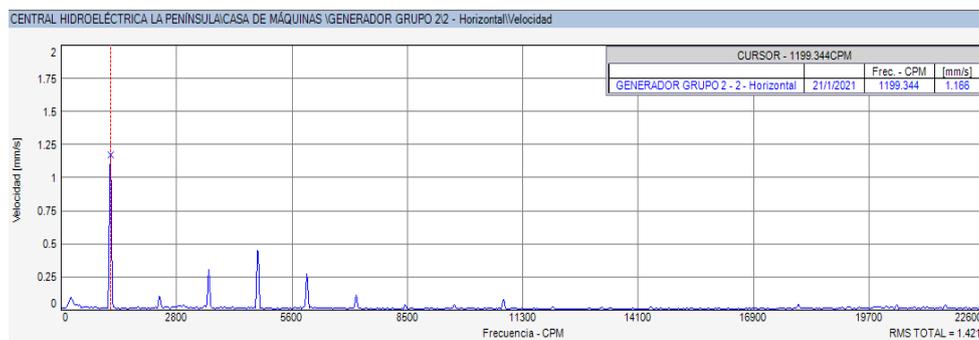


Gráfico 8-3: Espectro en posición horizontal

Realizado por: Chicaiza C y Coque P, 2021

Tabla 9-3: Generador del Grupo 2

Máquina	Generador 2							
Planta	Central La Península							
N° Serie	5607040							
Modelo	GEH-709G							
Velocidad	1200 RPM							
Fecha de revisión	Nivel	Cond. de oper.						
21/01/2021	Tolerable	Normal						
Los niveles de vibración pueden generar daños								
Diagnóstico: Desalineamiento de eje + Solturas/Holguras								
Desalineamiento del eje entre turbina y generador eléctrico								
Desbalance residual del volante de inercia								
Leves solturas/holguras en la chumacera # 1								
Recomendación: Requiere planificar y programar								
Desalineamiento de ejes. Se recomienda alinear con precisión los ejes entre turbina y generador eléctrico								
Desbalance debe ser observado. Se recomienda realizar el balanceo durante el próximo paro programado.								
Solturas/holguras en la chumacera # 1. Se recomienda verificar ajustes y tolerancias								
				ISO				
	Desbalance	Desalineamiento	Resonancia estructural	Otro ISO	Desgaste de rodamiento/lubricación	Suspicioso	Holgura / soltura	Cavitación
Confidence	***	***	***					***
1-Turbina								
2-Generador eléctrico								
3-Generador eléctrico								
Valores medidos								
	PUNTO	FECHA	ACELERACIÓN[g]	VELOCIDAD[mm/s]	ENVOLVENTE[gE]	DESPLAZAMIENTO[μm]		
	1 - Vertical 1 V	21/1/2021 11:55	0.219	1.25	0.746	24.3		
	1 - Horizontal 1 H	21/1/2021 11:56	0.376	3.17	1.319	61.1		
	1 - Axial 1 A	21/1/2021 11:57	0.231	3.82	0.729	61.7		
	2 - Vertical 2 V	21/1/2021 11:58	0.063	0.76	0.16	23.1		
	2 - Horizontal 2 H	21/1/2021 11:59	0.071	1.42	0.203	39.1		
	2 - Axial 2 A	21/1/2021 12:00	0.111	3.8	0.096	63.5		
	3 - Vertical 3 V	21/1/2021 12:01	0.116	0.81	0.429	18.3		
	3 - Horizontal 3 H	21/1/2021 12:02	0.077	0.49	0.189	16.1		
	3 - Axial 3 A	21/1/2021 12:03	0.114	3.01	0.257	48.9		

Fuente: Autores

Realizado por: Chicaiza C y Coque P, 2021

La tabla 10-3 muestra el diagnóstico de la condición que presenta el grupo generador 2, en donde muestra el nivel de criticidad, los problemas encontrados y las tareas a realizar.

Tabla 10-3: Resultado del análisis espectral

Diagnóstico	
Nivel	Medio
Problemas encontrados	Desalineamiento de ejes entre turbina y generador eléctrico Desbalance residual del impeler o volante Leve soldadura-holgura cojinete de fricción 1
Tareas a realizar	Desalineamiento de ejes. Se recomienda alinear con precisión los ejes entre turbina y generador eléctrico Desbalance debe ser observado. Sería recomendable realizar el balanceo durante el próximo paro programado. Soldaduras u holguras en el cojinete de fricción 1 Se recomienda verificar ajustes y tolerancias.

Fuente: Autores

Realizado por: Chicaiza C y Coque P, 2021

3.6.2. *Diagnóstico termográfico.*

Para el diagnóstico de los grupos de generación se utilizó una cámara termográfica de la marca Satir del modelo HotFind-VR, se calibró lo siguiente:

- La emisividad a 0,95,
- Se configuró el mix al 100% (mezcla de la imagen con el espectro termográfico) y la paleta de colores.

Con estos parámetros configurados se apunta con la cámara de forma perpendicular y a 1m de distancia del objeto para tener una medida más precisa.

Se procedió a analizar los termogramas en el software Satir Report para determinar las zonas con mayor influencia de temperatura, estos se realizaron en: los puntos de apoyo de la excitatriz y cojinetes de fricción 1, 2 y 3.

Los resultados se compararon con la norma NETA de severidad térmica se aplica solo en la excitatriz de los grupos generadores 1 y 2 propuesta por la empresa Flir de la tabla 13-2. El procedimiento para realizar el diagnóstico con el software Satir Report se encuentran en el anexo E.

Las superficies donde se realizan las mediciones poseen un recubrimiento con esmalte, las pinturas a base de polímeros y los esmaltes tienen una emisividad de 0.95 por esta razón se calibra la cámara termográfica en 0.95 para el diagnóstico tanto en el grupo generador 1 como en el grupo generador 2.

Una vez obtenidos los datos se cargan en el software de análisis, para su respectivo diagnóstico y determinación de los posibles modos de falla.

Diagnóstico grupo 1.

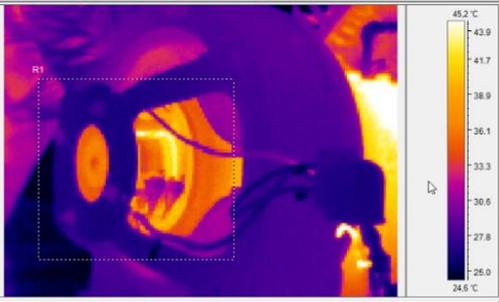
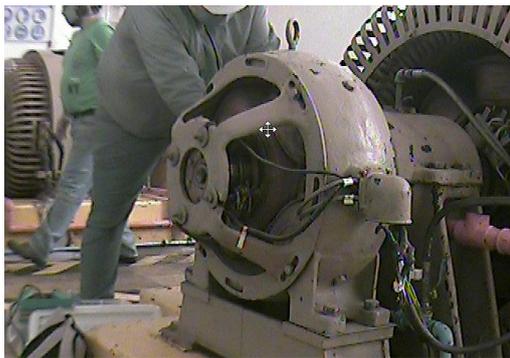
- Bobina Excitatriz

En la tabla 11-3, en la parte superior se muestra la termografía de la excitatriz junto con los parámetros de análisis, dentro de la imagen térmica se puede observar el punto R1 que muestra una temperatura máxima en la excitatriz de 53,8°C, se realizó la diferencia con la temperatura ambiente que fue de 53,8 °C, este resultado fue contrastado con los valores de la norma de severidad térmica ANSI/NETA MTS 2019, de la tabla 13-2.

En la parte central se observa la imagen normal de la excitatriz junto con la descripción del área, equipo y elemento, también las recomendaciones y el diagnóstico indicando que no existe ninguna falla.

En la parte final se muestran las conclusiones estableciendo que la bobina de la excitatriz se encuentra en clase 0.

Tabla 11-3: Bobina Excitatriz

Imagen térmica de la excitatriz	Información de imagen	Valor
	Temperatura Mínima	12,4 °C
	Emisividad	0,95
	Temperatura Máxima	53,8 °C
	Nombre del archivo	IR_SAT00642.SAT
	Tiempo de disparo	10/2/2021 17:31:35
	R1: Temperatura Mínima	13,3 °C
	R1: Temperatura Máxima	53,8°C
Imagen normal de la excitatriz	DESCRIPCIÓN	
	ÁREA	Generación
	EQUIPO	Excitatriz
	ELEMENTO	Bobinas
	RECOMENDACIÓN Y DIAGNÓSTICO	
	Localización de la falla	Ninguna
	Clasificación del problema	Ninguno
	Causas del problema	Ninguna
Recomendaciones	Ninguna	
CONCLUSIONES		
De acuerdo con la recomendación y orientación de la Norma Neta, la cual basa sus criterios de severidad en anomalías térmicas en el aumento de temperatura sobre una temperatura referencial, se concluye que los problemas encontrados en la inspección son de CLASE 0 (NORMAL)		

Fuente: Autores

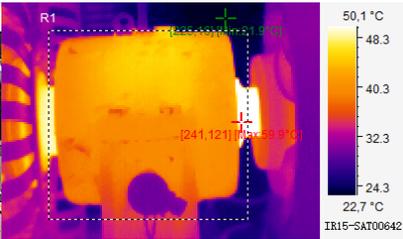
Realizado por: Chicaiza C y Coque P, 2021

- Cojinete de fricción 3

La tabla 12-3 corresponde a la descripción del cojinete de fricción 3 ubicado entre la excitatriz y el generador, en la parte superior se muestra la termografía del cojinete de fricción 3 junto con los parámetros de análisis, dentro de la imagen térmica se puede observar el punto R1 con valor máximo de 59,9 °C un mínimo de 21.9 °C, lo que indica que con relación al lubricante trabaja con normalidad, con respecto al material del cojinete presenta dilatación porque la temperatura de trabajo máxima que soporta el material es de 60 °C por esta razón se considera que se encuentra en nivel crítico

En la parte final se observa la imagen normal del cojinete de fricción 3 junto con la descripción del área, equipo y elemento, también las recomendaciones y el diagnóstico indicando que existe una falla de nivel crítico en R1.

Tabla 12-3: Cojinete de fricción 3

Imagen térmica del cojinete de fricción 3	Información de imagen	Valor
	Temperatura ambiente	22,8 °C
	Emisividad	0,95
	Nombre del archivo	IR_SAT00642.SAT
	Tiempo de disparo	10/2/2021 17:45
	R1: Temperatura Mínima	21.9 °C
	R1: Temperatura Máxima	59.9 °C
Imagen normal del cojinete de fricción 3	DESCRIPCIÓN	
	ÁREA	Generación
	EQUIPO	Generador
	ELEMENTO	Cojinete de fricción 3
	RECOMENDACIÓN Y DIAGNÓSTICO	
	Localización de la falla	Cojinete de fricción 3
	Clasificación del problema	Crítico ■
	Causas del problema	Incremento de la temperatura por fricción
	Recomendaciones	Verificar el estado del material de sacrificio magnolias

Fuente: Autores

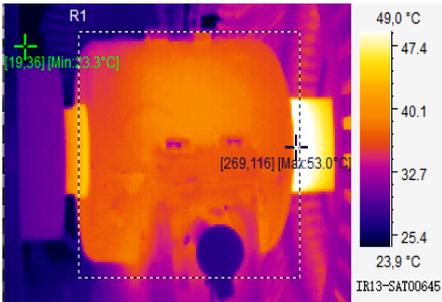
Realizado por: Chicaiza C y Coque P, 2021

- Cojinete de fricción 2.

La tabla 13-3 corresponde a la descripción del cojinete de fricción 2 ubicado entre el volante de inercia y el generador, en la parte superior se muestra la termografía del cojinete de fricción 2 junto con los parámetros de análisis, dentro de la imagen térmica se puede observar el punto R1 con valor máximo de 53°C y un mínimo de 23.3 °C, lo que indica que con relación al lubricante trabaja con normalidad, con respecto al material del cojinete presenta dilatación porque la temperatura de trabajo máxima que soporta el material es de 60 °C por esta razón se considera que se encuentra en nivel crítico.

En la parte final se observa la imagen normal del cojinete de fricción 2 junto con la descripción del área, equipo y elemento, también las recomendaciones y el diagnóstico indicando que existe una falla de nivel crítico en R1.

Tabla 13-3: Cojinete de fricción 2

Imagen térmica del cojinete de fricción 2	Información de imagen	Valor
	Temperatura ambiente	22,8 °C
	Emisividad	0,95
	Nombre del archivo	IR_SAT00645.SAT
	Tiempo de disparo	10/2/2021 17:45
	R1: Temperatura Mínima	23.3 °C
	R1: Temperatura Máxima	53 °C
Imagen normal del cojinete de fricción 2	DESCRIPCIÓN	
	ÁREA	Generación
	EQUIPO	Generador
	ELEMENTO	Cojinete de fricción 2
	RECOMENDACIÓN Y DIAGNÓSTICO	
	Localización de la falla	Cojinete de fricción 2
	Clasificación del problema	Crítico ■
	Causas del problema	Incremento de la temperatura por fricción
Recomendaciones	Verificar el estado del material de sacrificio magnolias	

Fuente: Autores

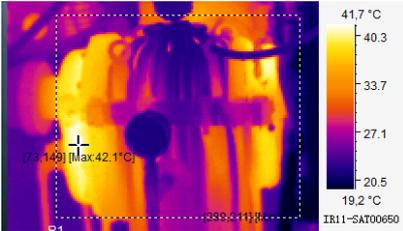
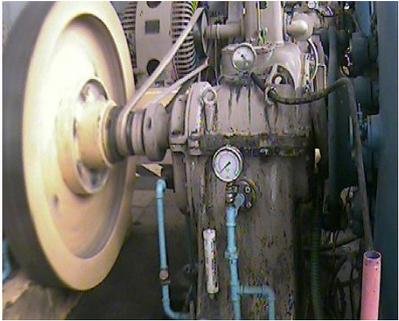
Realizado por: Chicaiza C y Coque P, 2021

- Cojinete de fricción 1.

La tabla 14-3 corresponde a la descripción del cojinete de fricción 1 ubicado entre la turbina y el volante de inercia, en la parte superior se muestra la termografía del cojinete de fricción 1 junto con los parámetros de análisis, dentro de la imagen térmica se puede observar los puntos R1 con valor máximo de 42,1°C y R2 con un mínimo de 18,6 °C, lo que indica que con relación al lubricante trabaja con normalidad, con respecto al material del cojinete presenta una leve dilatación porque la temperatura de trabajo máxima que soporta el material es de 60 °C por esta razón se considera que se encuentra en nivel medio.

En la parte final se observa la imagen normal del cojinete de fricción 1 junto con la descripción del área, equipo y elemento, también las recomendaciones y el diagnóstico indicando que existe una falla de nivel medio en R1.

Tabla 14-3: Cojinete de fricción 1

Imagen térmica del cojinete de fricción 1	Información de imagen	Valor
	Temperatura ambiente	22,8 °C
	Emisividad	0,95
	Nombre del archivo	IR_SAT00650.SAT
	Tiempo de disparo	10/2/2021 17:45
	R1: Temperatura Mínima	18.6 °C
	R1: Temperatura Máxima	42.1 °C
Imagen normal del cojinete de fricción 1	DESCRIPCIÓN	
	ÁREA	Generación
	EQUIPO	Generador
	ELEMENTO	Cojinete de fricción 1
	RECOMENDACIÓN Y DIAGNÓSTICO	
	Localización de la falla	Cojinete de fricción 1
	Clasificación del problema	Medio
	Causas del problema	Incremento de la temperatura por fricción no influye de manera severa en el material.
	Recomendaciones	Verificar el estado del material de sacrificio.

Fuente: Autores

Realizado por: Chicaiza C y Coque P, 2021

3.6.2.1. Diagnóstico grupo 2

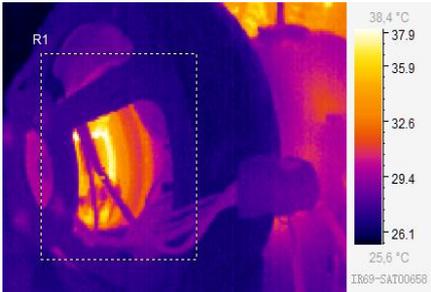
- Bobina Excitatriz.

En la tabla 15-3, en la parte superior se muestra la termografía de la excitatriz junto con los parámetros de análisis, dentro de la imagen térmica se puede observar el punto R1 que muestra una temperatura máxima en la excitatriz de 39,7°C, se realizó la diferencia con la temperatura ambiente que fue de 39,7°C, dando como resultado en R1 un valor de 0°C el resultado fue contrastado con los valores de la norma de severidad térmica ANSI/NETA MTS 2019 de la tabla 13-2.

En la parte central se observa la imagen normal de la excitatriz junto con la descripción del área, equipo y elemento, también las recomendaciones y el diagnóstico indicando que no existe ninguna falla.

En la parte final se muestran las conclusiones estableciendo que la bobina de la excitatriz se encuentra en clase 0.

Tabla 15-3: Bobina Excitatriz

Imagen térmica de la excitatriz	Información de imagen	Valor
	Temperatura Mínima	25,3 °C
	Emisividad	0,95
	Temperatura Máxima	39,7 °C
	Nombre del archivo	IR_SAT00658.SAT
	Tiempo de disparo	10/2/2021 17:40:37
	R1: Temperatura Mínima	26,3 °C
	R1: Temperatura Máxima	39,7 °C
Imagen normal de la excitatriz	DESCRIPCIÓN	
	ÁREA	Generación
	EQUIPO	Excitatriz
	ELEMENTO	Bobinas
	RECOMENDACIÓN Y DIAGNÓSTICO	
	Localización de la falla	Ninguna
	Clasificación del problema	Ninguno
	Causas del problema	Ninguna
Recomendaciones	Ninguna	
CONCLUSIONES		
De acuerdo con la recomendación y orientación de la Norma Neta, la cual basa sus criterios de severidad en anomalías térmicas en el aumento de temperatura sobre una temperatura referencial, se concluye que los problemas encontrados en la inspección son de CLASE 0 (NORMAL)		

Fuente: Autores

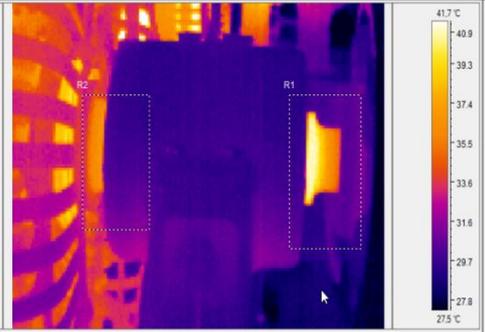
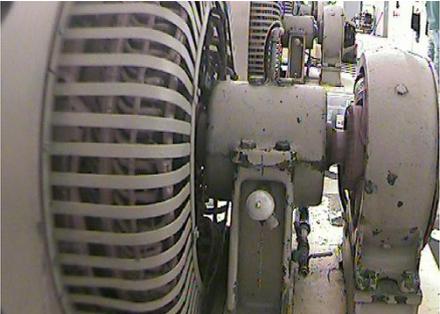
Realizado por: Chicaiza C y Coque P, 2021

- Cojinete de fricción 3

La tabla 16-3 corresponde a la descripción del cojinete de fricción 3 ubicado entre la excitatriz y el generador, en la parte superior se muestra la termografía del cojinete de fricción 3 junto con los parámetros de análisis, dentro de la imagen térmica se puede observar los puntos R1 con valor máximo de 34,1°C, y R2 con valor máximo de 43,7°C, se realizó la diferencia con la temperatura ambiente que fue de 43,7°C, con respecto al material del cojinete y al lubricante se denota que no existe incremento significativo de temperatura, por tal razón se considera que está dentro de los parámetros normales de funcionamiento.

En la parte final se observa la imagen normal del cojinete de fricción 3 junto con la descripción del área, equipo y elemento, también las recomendaciones y el diagnóstico indicando que se encuentra en un nivel bajo de criticidad en R1.

Tabla 16-3: Cojinete de fricción 3

Imagen térmica del cojinete de fricción 3	Información de imagen		Valor
	Temperatura Mínima	17,3 °C	
	Emisividad	0,95	
	Temperatura Máxima	43,7 °C	
	Nombre del archivo	IR_SAT00661.SAT	
	Tiempo de disparo	10/2/2021 17:41:45	
	R1: Temperatura Mínima	18,3 °C	
	R1: Temperatura Máxima	34,1 °C	
Imagen normal del cojinete de fricción 3	DESCRIPCIÓN		
	ÁREA	Generación	
	EQUIPO	Generador	
	ELEMENTO	Cojinete de fricción 3	
	RECOMENDACIÓN Y DIAGNÓSTICO		
	Localización de la falla	Cojinete de fricción 3	
	Clasificación del problema	Bajo ■	
	Causas del problema	No presenta problemas	
Recomendaciones	Inspección periódica		

Fuente: Autores

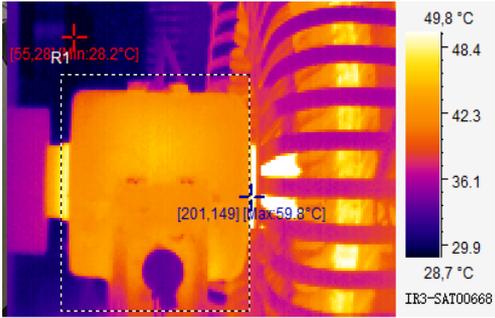
Realizado por: Chicaiza C y Coque P, 2021

- Cojinete de fricción 2.

La tabla 17-3 corresponde a la descripción del cojinete de fricción 2 ubicado entre el volante de inercia y el generador, en la parte superior se muestra la termografía del cojinete de fricción 2 junto con los parámetros de análisis, dentro de la imagen térmica se puede observar los puntos R1 con valor máximo de 59,8°C, y R2 con valor máximo de 28,2 °C, lo que indica que con relación al lubricante trabaja con normalidad, con respecto al material del cojinete presenta dilatación porque la temperatura de trabajo máxima que soporta el material es de 60 °C por esta razón se considera que se encuentra en nivel crítico.

En la parte final se observa la imagen normal del cojinete de fricción 2 junto con la descripción del área, equipo y elemento, también las recomendaciones y el diagnóstico indicando que existe una falla de nivel crítico en R1.

Tabla 17-3: Cojinete de fricción 2

Imagen térmica del cojinete de fricción 2	Información de imagen	Valor
	Temperatura ambiente	22,8 °C
	Emisividad	0,95
	Nombre del archivo	IR_SAT00667.SAT
	Tiempo de disparo	10/2/2021 17:45
	R1: Temperatura Mínima	28,2 °C
	R1: Temperatura Máxima	59,8 °C
Imagen normal del cojinete de fricción 2	DESCRIPCIÓN	
	ÁREA	Generación
	EQUIPO	Generador
	ELEMENTO	Cojinete de fricción 2
	RECOMENDACIÓN Y DIAGNÓSTICO	
	Localización de la falla	Cojinete de fricción 2
	Clasificación del problema	Crítico ■
	Causas del problema	Incremento de la temperatura por fricción influye de manera severa en el material.
	Recomendaciones	Verificar el estado del material de sacrificio

Fuente: Autores

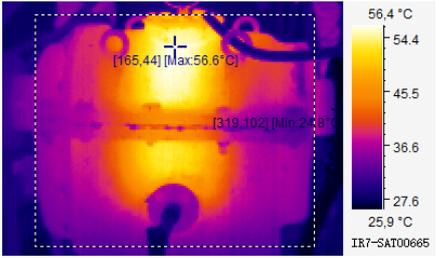
Realizado por: Chicaiza C y Coque P, 2021

- Cojinete de fricción 1.

La tabla 18-3 corresponde a la descripción del cojinete de fricción 1 ubicado entre la turbina y el volante de inercia, en la parte superior se muestra la termografía del cojinete de fricción 1 junto con los parámetros de análisis, dentro de la imagen térmica se puede observar los puntos R1 con valor máximo de 56,6°C, R2 con valor máximo de 24,8°C, lo que indica que con relación al lubricante trabaja con normalidad, con respecto al material del cojinete presenta dilatación porque la temperatura de trabajo máxima que soporta el material es de 60 °C por esta razón se considera que se encuentra en nivel crítico.

En la parte final se observa la imagen normal del cojinete de fricción 1 junto con la descripción del área, equipo y elemento, también las recomendaciones y el diagnóstico indicando que existe una falla de nivel crítico en R1.

Tabla 18-3: Cojinete de fricción 1

Imagen térmica del cojinete de fricción 2	Información de imagen	Valor
	Temperatura ambiente	22,8 °C
	Emisividad	0,95
	Nombre del archivo	IR_SAT00665.SAT
	Tiempo de disparo	10/2/2021 17:45
	R1: Temperatura Mínima	24,8 °C
	R1: Temperatura Máxima	56,6 °C
	Imagen normal del cojinete de fricción 2	DESCRIPCIÓN
	ÁREA	Generación
	EQUIPO	Generador
	ELEMENTO	Cojinete de fricción 1
	RECOMENDACIÓN Y DIAGNÓSTICO	
	Localización de la falla	Cojinete de fricción 1
	Clasificación del problema	Crítico ■
	Causas del problema	Incremento de la temperatura por fricción influye de manera severa en el material.
	Recomendaciones	Verificar el estado del material de sacrificio.

Fuente: Autores

Realizado por: Chicaiza C y Coque P, 2021

3.6.3. Análisis de aceites.

Para determinar la variación porcentual de la viscosidad del aceite del sistema de lubricación se toma en cuenta las características que se muestra en la tabla 19-2,

Creación del método de diagnóstico.

Procedimiento para la realización del análisis de viscosidad:

1. Reconocimiento de los equipos e instrumentos a utilizar, conectar a la toma corriente el Viscosímetro de Saybolt.
2. Revisión del nivel de agua que circula alrededor del recipiente de acero inoxidable para el calentamiento del aceite.
3. Verificar si el tapón se encuentra colocado a la salida del recipiente de acero inoxidable.
4. Llenar el recipiente de acero inoxidable con 60ml de la muestra de aceite.
5. Sumergir la paleta de agitación y colocar el sensor (termocupla) en el recipiente de acero inoxidable.
6. Encendido del Viscosímetro de Saybolt y ajuste del rango de temperatura a 40°C.
7. Colocar el frasco receptor en la parte inferior del recipiente de acero inoxidable y extraer el tapón para cronometrar el tiempo que se tarda en llenar los 60ml de la muestra de aceite en el frasco receptor, una vez que la temperatura del aceite haya alcanzado el valor fijado de 40°C.

En la tabla 19-3 se muestran: el equipo, los instrumentos y las muestras de aceite que se utilizaron en el ensayo.

Tabla 19-3: Instrumentos para el ensayo

	
<p>Figura 5-3: Viscosímetro de Saybolt</p>	<p>Figura 6-3: Cronómetro</p>
	
<p>Figura 7-3: Muestras de aceite</p>	<p>Figura 8-3: Frasco receptor</p>

Fuente: Autores

Realizado por: Chicaiza C y Coque P, 2021

3.6.3.1. Diagnóstico Grupo 1

- Evaluación y análisis de los resultados obtenidos.

En la tabla 20-3, en la primera columna se visualizan las muestras de aceite, del grupo 1, del aceite nuevo y también el término de referencia, en la segunda y tercera columna se colocaron los valores correspondientes al volumen y temperatura que son constantes, en la cuarta columna el tiempo cronometrado en minutos que se demoró en llenar la muestra en el frasco receptor y en la quinta columna la conversión del tiempo en segundos. Estos datos se utilizaron para el cálculo de la viscosidad cinemática.

Tabla 20-3: Valores obtenidos durante el análisis

Muestras de aceite	Volumen (ml)	Temperatura (°C)	Tiempo (min)	Tiempo (s)
Grupo 1	60 ml	40°C	7:07:25	365
Aceite nuevo	60 ml	40°C	5:20:05	320
Referencia	60 ml	40°C	5:09:55	309,55

Fuente: Autores

Realizado por: Chicaiza C y Coque P, 2021

Nota: El tiempo (t) en segundos representa la viscosidad Segundos Saybolt Universal (sSU), que tarda el aceite en llenar los 60ml.

- Cálculo de la viscosidad cinemática.

Para realizar la conversión de unidades sSU a unidades cSt se utilizó la siguiente expresión matemática para aceites livianos y se aplica en ambos grupos generadores.

$$v = (0,22 * t) - \left(\frac{180}{t}\right) (cSt) \quad \text{(E.G)}$$

Dónde:

v = viscosidad cinemática

t = tiempo (s)

cSt = Centistoke

$$v_1 = (0,22 * 365) - \left(\frac{180}{365}\right) (cSt) \quad \text{(Ec.1)}$$

$$v_1 = 79,81 \text{ cSt}$$

$$v_N = (0,22 * 320) - \left(\frac{180}{320}\right) (cSt) \quad \text{(Ec.2)}$$

$$v_N = 69,84 \text{ cSt}$$

$$v_{Ref} = (0,22 * 309,55) - \left(\frac{180}{309,55}\right) (cSt) \quad \text{(Ec.3)}$$

$$v_{Ref} = 67,52 \text{ cSt} \quad \text{(Resp)}$$

En la tabla 21-3, se presentan los resultados obtenidos durante el ensayo para el análisis de aceites, se detallan las muestras de los aceites que se utilizaron, la viscosidad cinemática en segundos que representa a los sSU (Segundos Saybolt Universal) y los valores de la viscosidad cinemática expresados en cSt.

Tabla 21-3: Resultados de los cálculos de conversión de sSU a cSt

Muestras de aceite	Viscosidad (sSU)	Viscosidad (cSt)
Grupo 1	365	79,81
Muestra nueva	320	69,84
Referencia	309,55	67,52

Fuente: Autores

Realizado por: Chicaiza C y Coque P, 2021

Con los datos obtenidos de las viscosidades analizadas del Generador 1 con un valor de 79,81cSt, la muestra nueva con un valor de 69,84cSt y con el valor de referencia de 67,52cSt (Centiestokes) se realizó el diagrama que se puede observar en el Gráfico 9-3.

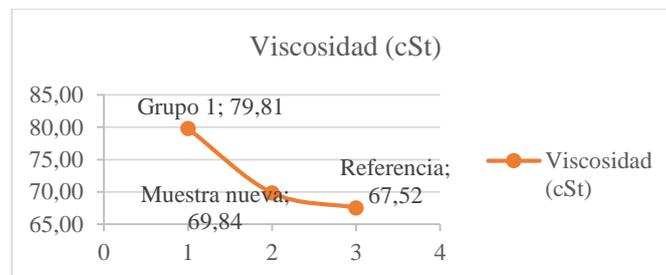


Gráfico 9-3: Diagrama de Viscosidad cSt

Realizado por: Chicaiza C y Coque P, 2021

- Cálculo del porcentaje de la variación de la viscosidad cinemática.

Una vez obtenidos los valores en cSt, se realiza un promedio de los tres valores de viscosidad. Luego se procede a calcular el valor porcentual, este resultado se compara con el valor de la Tabla 14-2 de tolerancias de viscosidad de la norma ASTM D445-12, para observar su variación.

Utilizando la siguiente expresión matemática para ambos grupos.

$$v_{prom} = \frac{v_1 + v_N + v_{Ref}}{3} \quad (\text{Ecu. } v_{prom})$$

Dónde:

v_{prom} = viscosidad promedio

v_1 = viscosidad del generador 1

v_N = viscosidad muestra nueva

v_{Ref} = viscosidad muestra referencia

$$v_{prom} = \frac{(79,81 + 69,84 + 67,52)cSt}{3} \quad \text{(Ec. 4)}$$

$$v_{prom} = \frac{217,17cSt}{3} \quad \text{(Ec.5)}$$

$$v_{prom} = 72,39cSt \quad \text{(Resp.)}$$

$$v_{\%} = \frac{v_{prom} - v_{Ref}}{v_{Ref}} \times 100 \quad \text{(Ecu. } v_{\%})$$

Dónde:

$v_{\%}$ = porcentaje de viscosidad.

v_{Ref} = viscosidad muestra referencia

v_{prom} = viscosidad promedio.

$$v_{\%} = \frac{(72,39 - 67,52)cSt}{67,52cSt} \times 100 \quad \text{(Ec. 6)}$$

$$v_{\%} = \frac{4,87cSt}{67,52cSt} \times 100 \quad \text{(Ec. 7)}$$

$$v_{\%} = 7,21\% \quad \text{(Resp.)}$$

Con el resultado obtenido de 7,21% se comparó con el valor de tolerancia de viscosidad de la tabla 14-2, que establece un valor porcentual de 0,32% para aceites con viscosidad comprendida entre 10 y 100 cSt, lo que significa que el aceite del grupo 1 en este ensayo se encuentran en nivel crítico.

3.6.3.2. Diagnóstico Grupo 2

- Evaluación y análisis de los resultados obtenidos.

El tiempo cronometrado en segundos que demoró en llenar el matraz de 60 ml, es el equivalente a los Segundos Saybolt Universal sSU.

En la tabla 22-3, en la primera columna se visualizan las muestras de aceite, del grupo 2, del aceite nuevo y también el término de referencia, en la segunda y tercera columna se colocaron los valores correspondientes al volumen y temperatura que son valores constantes, en la cuarta columna el tiempo cronometrado en minutos que se demoró en llenar la muestra en el frasco receptor y en la quinta columna la conversión del tiempo en segundos.

Tabla 22-3: Valores obtenidos durante el análisis

Medición	Volumen (ml)	Temperatura (°C)	Tiempo (min)	Tiempo (s)
Grupo 2	60 ml	40°C	9:25:59	427
Muestra nueva	60 ml	40°C	5:20:05	320
Valor Referencia	60 ml	40°C	5:09:55	309,55

Fuente: Autores

Realizado por: Chicaiza y Coque, 2021

Dónde: tiempo (t) en segundos es la viscosidad sSU, tiempo en que demora el aceite en llenar el frasco.

- Cálculo de la viscosidad cinemática

Para realizar la conversión de datos obtenidos de viscosidad sSU a viscosidad Tabla 27-3, los resultados obtenidos en la medición de la viscosidad absoluta o dinámica (cSt) se utiliza la siguiente expresión para aceites livianos y pesados.

$$v = (0,22 * t) - \left(\frac{180}{t}\right) (cSt) \quad (\text{E.G})$$

$$v_2 = (0,22 * 427) - \left(\frac{180}{427}\right) (cSt) \quad (\text{Ec. 8})$$

$$v_2 = 93,52 \text{ cSt} \quad (\text{Resp})$$

$$v_N = (0,22 * 320) - \left(\frac{180}{320}\right) (cSt) \quad (\text{Ec. 9})$$

$$v_N = 69,84 \text{ cSt} \quad (\text{Resp})$$

$$v_{Ref} = (0,22 * 309,55) - \left(\frac{180}{309,55}\right) (cSt) \quad (\text{Ec. 10})$$

$$v_{Ref} = 67,52 \text{ cSt} \quad (\text{Resp})$$

En la tabla 23-3, se presentan los resultados obtenidos durante el ensayo para el análisis de aceites, se detallan las muestras de los aceites que se utilizaron, la viscosidad cinemática en segundos que representa a los sSU (Segundos Saybolt Universal) y los valores de la viscosidad cinemática expresados en cSt

Tabla 23-3: Resultados de los cálculos de conversión de sSU a cSt

Muestras de aceite	Viscosidad (sSU)	Viscosidad (cSt)
Grupo 2	427	93,52
Muestra nueva	320	69,84
Referencia	309,55	67,52

Fuente: Autores

Realizado por: Chicaiza y Coque, 2021

Se hizo lo mismo con los datos que fueron tomados de las viscosidades en cSt, para realizar el diagrama que se puede observar en el gráfico 10-3.

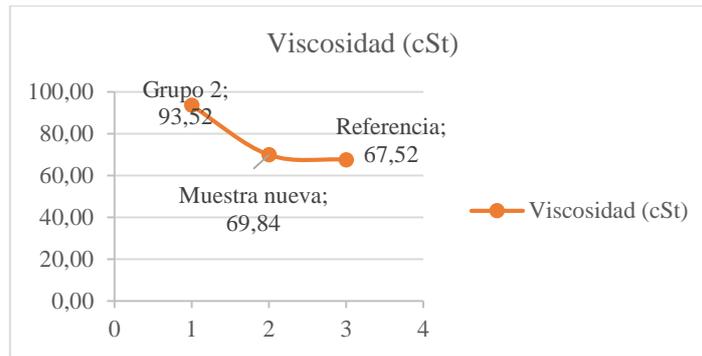


Gráfico 10-3: Diagrama de viscosidad en cSt

Realizado por: Chicaiza y Coque, 2021

- *Cálculo de porcentaje de la variación de la viscosidad cinemática.*

Una vez obtenidos los valores en cSt, se realiza un promedio de los tres valores de viscosidad. Luego se procede a calcular el valor porcentual, este resultado se compara con el valor de la Tabla 14-2 de tolerancias de viscosidad de la norma ASTM D445-12, para observar su variación. Utilizando la siguiente expresión matemática para ambos grupos.

$$v_{prom} = \frac{v_2 + v_N + v_{Ref}}{3} \quad (\text{E. } v_{prom})$$

$$v_{prom} = \frac{(93,52 + 69,84 + 67,52)cSt}{3} \quad (\text{Ec. 11})$$

$$v_{prom} = \frac{230,88cSt}{3} \quad (\text{Ec.12})$$

$$v_{prom} = 76,96cSt \quad (\text{Resp})$$

$$v_{\%} = \frac{v_{prom} + v_{Ref}}{v_{Ref}} \times 100 \quad (\text{E. } v_{\%})$$

$$v_{\%} = \frac{(76,96 - 67,52)cSt}{67,52cSt} \times 100 \quad (\text{Ec. 13})$$

$$v_{\%} = \frac{9,44cSt}{67,52cSt} \times 100 \quad (\text{Ec.14})$$

$$v_{\%} = 13,98\% \quad (\text{Resp.})$$

Con el resultado obtenido de 13,98% se comparó con el valor de tolerancia de viscosidad de la tabla 14-2, que establece un valor porcentual de 0,32% para aceites con viscosidad comprendida entre 10 y 100 cSt, lo que significa que el aceite del grupo 2 en este ensayo se encuentran en nivel crítico.

3.7. Aplicación de la Metodología PMO (Optimización del Plan de Mantenimiento)

3.7.1. Analizar el plan de mantenimiento vigente de los generadores

Solicitar un registro de actividades y procedimientos de mantenimiento

El área de mantenimiento cuenta con un plan anual y preventivo que se especifican en los Anexos F y G.

Además, manejan un histórico en libros, donde se registran las actividades realizadas diariamente por el personal de mantenimiento y producción; también se registran los reportes de fallas.

3.7.2. Desarrollo del plan de mantenimiento aplicando los pasos de la metodología PMO.

3.7.2.1. Paso 1: Recopilación de actividades

En este paso se realizó la recopilación de las actividades por equipo, obtenidas de los medios mencionados anteriormente, como se muestra en la tabla.24-3.

Tabla 24-3: Recopilación de actividades Central La Península

Recopilación de actividades del generador		
No	Actividades	Origen de la actividad
1	Limpieza de los generadores por presencia de solvente dieléctrico	Historial de actividades
2	Mantenimiento eléctrico de los generados	Plan de mantenimiento
3	Engrasado de partes móviles	Historial de actividades
4	Inspección de puntos calientes, termografía infrarroja	Plan de mantenimiento
5	Limpieza de las bobinas del generador	Historial de actividades
6	Comprobar entrehierros y devanado	Plan de mantenimiento
7	Limpieza de cojinetes de fricción	Historial de actividades
8	Comprobar resistencia de aislamiento de puesta a tierra.	Plan de mantenimiento
9	Limpieza de los generadores	Historial de actividades
10	Comprobar superficie de colector y sus conexiones.	Historial de actividades
11	Limpieza de la carcasa y sus bases	Historial de actividades
12	Limpieza del colector de excitatriz y anillos de campo	Historial de actividades
13	Lavado del rotor del generador con solvente dieléctrico	Historial de actividades
14	Observar estado de cojinetes, nivel de lubricación	Plan de mantenimiento
15	Verificación visual funcionamiento excitatriz	Plan de mantenimiento

16	Lavado del estator del generador con solvente dieléctrico	Historial de actividades
17	Limpieza del generador con desengrasante industrial	Historial de actividades
18	Abertura de las cuchillas del generador en la parte posterior de los tableros de control	Historial de actividades
19	Verificación del estado físico de las escobillas en la excitatriz y campo	Plan de mantenimiento
20	Limpieza del generador con solvente dieléctrico	Historial de actividades
21	Engrase de las partes móviles	Historial de actividades
22	Limpieza completa de las bobinas del generador con solvente	Historial de actividades
23	Revisión de los graseros	Historial de actividades
24	Limpieza de trincheras del generador con desengrasante y detergente	Historial de actividades
25	Engrase del generador	Historial de actividades
26	Sopleteo de los generadores	Historial de actividades
27	Observar ruidos anormales, vibraciones, roces excesivos, endurecimientos, funcionamiento anormal	Plan de mantenimiento
28	Purga de aceite de los cojinetes de fricción	Historial de actividades
29	Arranque en vacío	Historial de actividades
30	Comprobar ventilación o calentamientos	Plan de mantenimiento
31	Comprobar balanceo dinámico y estático del rotor.	Plan de mantenimiento
Recopilación de actividades de la excitatriz		
No	Actividades	Tipo de mantenimiento
1	Lavado de la excitatriz con solvente dieléctrico	Historial de actividades
2	Sopleteo de las bobinas de la excitatriz	Historial de actividades
3	Limpieza de los anillos de la excitatriz con desengrasante industrial	Historial de actividades
4	Limpieza completa de la excitatriz con solvente	Historial de actividades
5	Revisión de los carbones de la excitatriz	Historial de actividades
6	Limpieza con solvente dieléctrico en la excitatriz	Historial de actividades
7	Lijado de los carbones de la excitatriz	Historial de actividades
Recopilación de actividades de la turbina		
No	Actividades	Tipo de mantenimiento
1	Limpieza de la turbina	Plan de mantenimiento
2	Engrase en la junta de álabes	Historial de actividades
3	Observar ruidos anormales, vibraciones, roces excesivos, endurecimientos, funcionamiento anormal	Plan de mantenimiento
4	Limpieza del laberinto	Historial de actividades
5	Comprobar nivel de aceite en el sistema de lubricación	Historial de actividades
6	Limpieza del caracol	Historial de actividades

7	Fuga de aceite en el laberinto de la chumacera	Historial de actividades
8	Verificación del estado de tubería y mangueras	Plan de mantenimiento
9	Comprobar el estado físico de bandas y sus grapas en control de velocidad.	Plan de mantenimiento
10	Ajuste de las chavetas en muñones	Plan de mantenimiento
11	Verificar nivel de aceite en regulador de velocidad	Plan de mantenimiento
12	Verificación de funcionamiento de válvulas del sistema de lubricación	Plan de mantenimiento
13	Comprobar balanceo dinámico y estático del rotor.	Plan de mantenimiento
14	Revisar el ajuste de las chavetas de la turbina	Historial de actividades
15	Lubricación: aplicación de aceite o grasa según corresponda en partes móviles	Plan de mantenimiento
16	Engrasar los muñones de la turbina	Historial de actividades
17	Control de fallas en el recubrimiento de caracol y cojinetes	Plan de mantenimiento
18	Limpieza de filtros del sistema de lubricación	Plan de mantenimiento
19	Revisión de válvulas de guardia	Plan de mantenimiento
20	Ajuste de pernos y seguros de la turbina	Historial de actividades
Recopilación de actividades del volante de inercia		
No	Actividades	Tipo de mantenimiento
1	Limpieza del volante de inercia	Historial de actividades
Recopilación de actividades del gabinete de control		
No	Actividades	Tipo de mantenimiento
1	Revisión de conexiones, ajuste y limpieza de gabinete (aisladores, interruptores)	Plan de mantenimiento
2	Prueba de operación mecánica de interruptores	Plan de mantenimiento
3	Mantenimiento del sistema de control	Historial de actividades
4	Medición de resistencia de aislamiento de interruptores	Plan de mantenimiento
5	Inspección de puntos calientes, termografía infrarroja	Plan de mantenimiento
Recopilación de actividades del banco de baterías		
No	Actividades	Tipo de mantenimiento
1	Mantenimiento del banco de baterías	Historial de actividades
2	Medición de voltaje de banco de baterías	Plan de mantenimiento
3	Limpieza del cuarto de baterías	Plan de mantenimiento

Fuente: Historial de actividades

Realizado por: Chicaiza C y Coque P, 2021

La tabla 25-3 muestran los modos de fallos que no fueron contemplados en el plan de mantenimiento de la Central y fueron identificados durante la recopilación de información.

Tabla 25-3: Recopilación de Fallas Central La Península

Recopilación de fallas del generador		
No	Fallas	Tipo mantenimiento
1	Se observa fuga de aceite en el generador por el regulador	Historial de actividades
2	Se verifica la circulación de aceite en vacío del generador.	Historial de actividades
3	Se verifica la circulación de aceite a plena carga del generador	Historial de actividades
4	Se escucha un ruido anormal en el regulador de velocidad y carga (en los mecanismos internos)	Historial de actividades
5	Presencia de fugas de aceite, se descarga muy rápido	Historial de actividades
6	Fuga de aceite en la toma de evacuación junto al volante de inercia del cojinete de fricción 2 del generador	Historial de actividades
7	Derrame de aceite en la base de los cojinetes de fricción del generador	Historial de actividades
8	Fuga de aceite en el visor del cojinete de fricción 2 del generador	Historial de actividades
9	Desconexión por aumento de temperatura en el cojinete de fricción 2 del generador	Historial de actividades

Fuente: Historial de actividades

Realizado por: Chicaiza C y Coque P, 2021

3.7.2.2. Paso 2: Modos de Fallo

En las tablas 276-3, 27-3 y 28-3 se muestran las actividades que se recolectaron en el paso 1, y con ello se pudo identificar los diferentes modos de falla que están siendo mitigadas, también se especifica el responsable, la frecuencia de intervención y la codificación de los modos de falla encontrados en cada equipo.

Tabla 26-3: Análisis de los modos de falla en el Generador

No	Equipo	No	Componente	No	Actividades recolectadas	Responsable	Frecuencia	No	Modos de falla
A	GENERADOR	1	Volante de inercia	1	Verificar el funcionamiento anormal del volante de inercia por medio de alineación laser	Operador	Diario	A.1.1	Pandeo del eje en entre el volante de inercia y el generador
		2	Tableros de control	1	Revisar el ajuste de las conexiones eléctricas en los tableros de control del generador	Operador	Semanal	A.2.1	Incremento de temperatura por desajuste en las conexiones eléctricas del tablero de control del generador
				2	Limpiar los tableros de control del generador	Operador	Semanal	A.2.2	Tableros de control del generador sucios

3	Cojinete de fricción del generador	1	Verificar la velocidad de giro del cojinete de fricción del generador por medio de la lámpara estroboscópica	Operador	Anual	A.3.1	Disminución de velocidad por incremento de fricción en el cojinete del generador
		2	Verificar la temperatura en el cojinete de fricción del generador por medio de un pirómetro de radiación	Operador	Anual	A.3.2	Incremento de temperatura en el cojinete de fricción del generador
		3	Verificar de forma sensorial el funcionamiento normal del cojinete de fricción del generador	Operador	Mensual	A.3.3	Incremento de vibración en el cojinete de fricción del generador
		4	Inspeccionar visualmente el estado de cojinetes	Operador	Semestral	A.3.4	Deterioro en los cojinetes de fricción por uso normal
4	Filtros de aceite	1	Revisar las obstrucciones de filtros de aceite	Operador	Mensual	A.4.3	Obstrucción en los filtros de aceite por contaminantes
5	Rotor	1	Comprobar resistencia del aislamiento entre rotor y tierra del generador	Operador	Anual	A.5.1	Pérdida de aislamiento en los devanados del rotor
		2	Comprobar el espacio del entrehierro entre rotor y estator	Operador	Anual	A.5.2	Aumento de vibraciones por desbalanceo
6	Estator	1	Comprobar la resistencia de aislamiento de las bobinas del estator entre fases y fases a tierra del estator	Operador	Mensual	A.6.1	Pérdida del aislamiento en las bobinas
7	Colector	1	Observar la presencia de chispas en el colector	Operador	Mensual	A.7.1.1	Escobillas descalibradas
						A.7.1.2	Escobillas rotas por exceso de fricción
		2	Comprobar que la superficie del colector del generador no muestre asperezas por porosidad	Operador	Mensual	A.7.2	Incremento de fricción por presencia de porosidad en el colector del generador

				1	Inspeccionar las zonas calientes en los rodamientos de la excitatriz	Operador	Semanal	A.9.1	Desgaste de rodamientos por fricción en la excitatriz
		8	Excitatriz	2	Inspeccionar las zonas calientes en las bobinas de la excitatriz	Operador	Semanal	A.9.2	Pérdida de aislamiento en las bobinas de la excitatriz
				3	Revisar el estado físico de las escobillas	Operador	Diario	A.9.3	Desgaste de las escobillas de la excitatriz del generador por aumento de fricción

Fuente: Autores

Realizado por: Chicaiza C y Coque P, 2021

Tabla 27-3: Análisis de los modos de falla en la Turbina

No	Equipo	No	Componente	No	Actividades recolectadas	Responsable	Frecuencia	No	Modos de falla	
B	TURBINA	1	Turbina	1	Comprobar el funcionamiento anormal de la turbina mediante ultrasonido	Operador	Diario	B.1.1	Presencia de ruidos en la turbina por cavitación	
		2	Sistema de lubricación	1	Limpiar los filtros de aceite del sistema de lubricación	Operador	Mensual	B.2.1	Filtros obstruidos	
				2	Verificar el funcionamiento de la válvula	Operador	Semanal	B.2.2	Daño del manómetro por desgaste del fuelle	
				3	Comprobar el nivel de aceite del sistema de lubricación	Operador	Diario	B.2.3	Fugas de aceite por deterioro de los sellos mecánicos	
		3	Volante de inercia	1	Comprobar el estado físico de las bandas del volante de inercia	Operador	Diario	B.3.1	Deterioro de las bandas por sobreesfuerzo	
									B.3.2	Arrastre de la banda por falta de tensión
		4	Chavetas	1	Ajustar los muñones de las chavetas de la turbina	Operador	Semanal	B.4.1	Desajuste de los muñones o guías de giro de los álabes de la turbina	
		5	Cojinete de fricción de la turbina	1	Verificar la velocidad de giro del cojinete de fricción en la turbina mediante la lámpara estroboscópica	Operador	Mensual	B.5.1	Disminución de velocidad por incremento de fricción en el cojinete de la turbina	

				2	Verificar de forma sensorial el funcionamiento normal del cojinete de fricción de la turbina	Operador	Semanal	B.5.2	Incremento de vibración en el cojinete de la turbina
		6	Carcasa de la turbina (Caracol)	1	Verificar roses en la carcasa de la turbina mediante ultrasonido	Operador	Semanal	B.6.1	Desbalance por la pérdida de masa desigual en los álabes de la turbina
				2	Verificar el recubrimiento de pintura en la carcasa de la turbina	Operador	Mensual	B.6.2	Corrosión en la carcasa de la turbina
		7	Pernos de anclaje	1	Ajustar los pernos de anclaje en todo el grupo de generación	Operador	Mensual	B.7.1	Incremento de vibraciones
		8	Tubería de agua	1	Verificar el estado de tuberías y mangueras de paso de agua del sistema de generación por ultrasonido	Operador	Mensual	B.8.1	Pérdida de material de la tubería por corrosión

Fuente: Autores

Realizado por: Chicaiza C y Coque P, 2021

Tabla 28-3. Análisis de los modos de falla en el Gabinete de control, Puente grúa, Cuarto de baterías e instalaciones en general

No	Equipo	No	Componente	No	Actividades recolectadas	Responsable	Frecuencia	No	Modos de falla
C	GABINETE DE CONTROL	1	Gabinete de Tablero control	1	Inspeccionar visualmente los fusibles del gabinete de control	Operador	Diario	C.1.1	Fusible sobrecalentado por aumento de corriente en el gabinete de control
				2	Verificar el funcionamiento anormal de contactores del gabinete de control	Operador	Diario	C.1.2	Ausencia de tensión a la bobina del contactor del gabinete de control
				3	Verificar el funcionamiento anormal de los sensores del gabinete de control	Operador	Diario	C.1.3	Registro erróneo en los sensores del gabinete de control

		2	Aisladores	1	Revisar el estado de la superficie de recubrimiento de los aisladores	Operador	Mensual	C.2.1	Cristalización del material de recubrimiento
				2	Ajustar las conexiones en los aisladores del gabinete de control	Operador	Mensual	C.2.2	Calentamiento de las conexiones de los aisladores del gabinete de control
				3	Limpiar las conexiones en los aisladores del gabinete de control	Operador	Mensual	C.2.3	Problemas de aislamiento por presencia de polvo en los aisladores del gabinete de control
		3	Interruptores	1	Realizar prueba de operación mecánica en interruptores del gabinete de control	Operador	Anual	C.3.1	Desgaste de los puntos de conexión del gabinete de control
				2	Verificar el funcionamiento normal de los interruptores de pulso del gabinete de control	Operador	Anual	C.3.2	Agarrotamiento por incremento de corriente en los contactos del interruptor de pulso del gabinete de control
				3	Inspeccionar los puntos calientes en los interruptores del gabinete de control por termografía infrarroja	Operador	Anual	C.3.3	Desajuste de conexiones en los interruptores del gabinete de control
D	PUENTE GRÚA	4	Sistema de control	1	Revisar los elementos mecánicos de la cadena del sistema de control del puente grúa	Operador	Mensual	D.4.1	Agarrotamiento de la cadena en el tecele del puente grúa
				2	Ajustar los elementos mecánicos de la banda del puente grúa	Operador	Mensual	D.4.2	Arrastre de la banda por falta de tensión en el puente grúa
				3	Revisar la lubricación de los engranes del puente grúa	Operador	Mensual	D.4.3	Desgaste de los engranes del puente grúa

E	CUARTO DE BATERÍAS	5	Cuarto de baterías	1	Verificar la presencia de ácido en las baterías del cuarto de baterías.	Operador	Mensual	E.5.1.	Disminución de la capacidad de carga en las baterías.
		6	Banco de baterías	1	Medir el voltaje en las baterías del banco de baterías	Operador	Mensual	E.6.1	Caída de tensión, por deficiencia de la carga en las baterías.

Fuente: Autores

Realizado por: Chicaiza C y Coque P, 2021

3.7.2.3. Paso 3: Racionalización y Revisión de (AMEF)

En este paso se debe adicionar nuevos modos de falla con un riesgo significativo por equipo y eliminar las actividades duplicadas dentro del plan de mantenimiento existente, como se muestran en las tablas 29-3, 30-3 y 31-3.

Tabla 29-3: Racionalización y Revisión del AMEF en el generador

No	Componente	No	Actividades recolectadas	No	Modos de falla	Tipo de falla
1	Volante de inercia	1	Verificar el funcionamiento anormal del volante de inercia por medio de alineación laser	A.1.1	Pandeo del eje entre el volante de inercia y el generador	Oculto
2	Tableros de control	1	Revisar el ajuste de las conexiones en los tableros de control del generador	A.2.1.	Incremento de temperatura por desajuste en las conexiones eléctricas del tablero de control del generador	Oculto
		2	Limpiar los tableros de control del generador	A.2.2.	Tableros de control del generador sucios	Evidente
3	Cojinete de fricción del generador	1		A.3.1.1	Trizado del cristal visor por exceso de presión	Evidente
				A.3.1.2	Deterioro del empaque del cojinete de fricción del generador por envejecimiento	Evidente
		2	Verificar la velocidad de giro del cojinete de fricción del generador por medio de la lámpara estroboscópica	A.3.2.	Disminución de velocidad por incremento de fricción en el cojinete del generador	Evidente
		3	Verificar la temperatura en el cojinete de fricción del generador por medio de un pirómetro de radiación	A.3.3	Incremento de temperatura en el cojinete de fricción del generador	Evidente
		4	Verificar de forma sensorial el funcionamiento normal del cojinete de fricción del generador	A.3.4	Incremento de vibración en el cojinete de fricción del generador	Evidente
		5	Inspeccionar visualmente el estado del cojinete de fricción del generador	A.3.5.	Deterioro del material de sacrificio (Magnolia) del cojinete de fricción del generador por uso normal	Oculto
4	Filtros de aceite	1		A.4.1.	Aumento de presión por obstrucción en los ductos del sistema de lubricación	Oculto

		2		A.4.2.1	Desajuste de la válvula de aceite debido al exceso de vibración	Evidente
				A.4.2.2	Deterioro de la válvula de aceite por uso normal	Evidente
		3	Revisar las obstrucciones de filtros de aceite del sistema de lubricación	A.4.3	Obstrucción en los filtros de aceite por contaminantes	Oculto
5	Rotor	1	Comprobar resistencia del aislamiento entre rotor y tierra del generador	A.5.1.	Perdida de aislamiento en los devanados del rotor del generador	Oculto
		2	Comprobar el espacio del entrehierro entre rotor y estator	A.5.2	Aumento de vibraciones por desbalanceo en el rotor del generador	Evidente
6	Estator	1	Comprobar la resistencia de aislamiento de las bobinas del estator entre fases y fases a tierra del estator	A.6.1.	Pérdida del aislamiento en las bobinas del estator del generador	Oculto
7	Colector	1	Observar la presencia de chispas en el colector del generador	A.7.1.1	Escobillas del colector del generador descalibradas	Evidente
				A.7.1.2	Escobillas del colector rotas por exceso de fricción	Evidente
		2	Comprobar que la superficie del colector del generador no muestre asperezas por porosidad	A.7.2.	Incremento de fricción por presencia de porosidad en el colector del generador	Oculto
8	Excitatriz	1	Inspección de zonas calientes en los rodamientos de la excitatriz del generador	A.8.1	Desgaste de rodamientos por fricción en la excitatriz del generador	Oculto
		2	Inspección de zonas calientes en las bobinas de la excitatriz del generador	A.8.2	Pérdida de aislamiento en las bobinas de la excitatriz del generador	Oculto
		3		A.8.3	Presencia de humedad en las bobinas de la excitatriz del generador por el lavado con disolvente	Oculto
		4		A.8.4	Deterioro de carbones de la excitatriz del generador por uso	Evidente
		5	Revisar el estado físico de las escobillas	A.8.5	Desgaste de las escobillas de la excitatriz del generador por aumento de fricción	Evidente

Fuente: Autores

Realizado por: Chicaiza C y Coque P, 2021

Tabla 30-3: Clasificación de las fallas en la Turbina

No	Componente	No	Actividades recolectadas	No	Modos de falla	Tipo de falla
1	Turbina	1	Comprobar el funcionamiento anormal de la turbina mediante ultrasonido	B.1.1	Presencia de ruidos en la turbina por cavitación	Oculto
		2		B.1.2.1	Endurecimiento en los álabes de la turbina	Oculto
				B.1.2.2	Presencia de ruidos en los álabes de la turbina	Oculto
2	Sistema de lubricación	1	Limpiar los filtros de aceite del sistema de lubricación	B.2.1	Filtros de aceite obstruidos	Oculto
		2	Verificar el funcionamiento de la válvula	B.2.2.	Fuga de lubricante por la válvula	Evidente

		3	Comprobar el nivel de aceite	B.2.3.	Fugas de aceite por deterioro de los sellos mecánicos	Evidente
3	Volante de inercia	1	Comprobar el estado físico de las bandas del volante de inercia	B.3.1.	Deterioro de las bandas por sobreesfuerzo en el volante de inercia	Evidente
				B.3.2.	Arrastre de la banda por falta de tensión en el volante de inercia	Evidente
4	Chavetas	1	Ajustar los muñones de la chaveta de la turbina	B.4.1.	Desajuste de los muñones o guías de giro de los álabes de la turbina	Oculto
5	Cojinete de fricción de la turbina	1	Verificar la velocidad de giro del cojinete de fricción en la turbina mediante la lámpara estroboscópica	B.5.1.	Disminución de velocidad por incremento de fricción en el cojinete de la turbina	Evidente
		2	Verificar de forma sensorial el funcionamiento normal del cojinete de fricción de la turbina	B.5.2.2	Incremento de vibración en el cojinete de la turbina	Evidente
6	Carcasa de la turbina (Caracol)	1	Verificar roses en la carcasa de la turbina por medio de ultrasonido	B.6.1.	Desbalance por la pérdida de masa desigual en los álabes de la turbina	Oculto
		2	Verificar el recubrimiento de pintura en el interior de la carcasa de la turbina	B.6.2.	Corrosión en el interior de la carcasa de la turbina	Oculto
7	Pernos de anclaje	1	Ajustar los pernos de anclaje en todo el grupo de generación	B.7.1.	Incremento de vibración en todo el grupo de generación	Evidente
8	Tuberías	1	Verificar el estado de tuberías y mangueras de paso de agua del sistema de generación por ultrasonido	B.8.1.	Pérdida de material de la tubería por corrosión	Oculto

Fuente: Autores

Realizado por: Chicaiza C y Coque P, 2021

Tabla 31-3: Clasificación de las fallas del Gabinete de control, Puente grúa, Cuarto de baterías e instalaciones en general

No	Componente	No	Actividades recolectadas	No	Modos de falla	Tipo de falla
1	Gabinete	1	Inspeccionar visualmente los fusibles del gabinete de control	C.1.1	Fusible sobrecalentado por aumento de corriente en el gabinete de control	Evidente
		2	Verificar el funcionamiento anormal de contactores del gabinete de control	C.1.2	Ausencia de tensión a la bobina del contactor del gabinete de control	Evidente
		3	Verificar la calibración de los sensores del gabinete de control	C.1.3.1	Registro erróneo en los sensores del gabinete de control	Evidente
				C.1.3.2	Ausencia de corriente en los sensores del gabinete de control	Evidente
4		C.1.4	Presencia de suciedad en las cajas de control del gabinete de control	Evidente		

2	Aisladores	1	Ajustar las conexiones en los aisladores	C.2.1	Aumento de temperatura en las conexiones de los aisladores del gabinete de control	Oculto
		2	Limpia las conexiones en los aisladores	C.2.2	Presencia de suciedad en los aisladores del gabinete de control	Evidente
3	Interruptores	1	Realizar prueba de operación mecánica en interruptores del gabinete de control	C.3.1	Desgaste de las cuchillas de los interruptores del gabinete de control	Evidente
		2	Verificar el funcionamiento normal de los interruptores de pulso del gabinete de control	C.3.2	Agarrotamiento por incremento de corriente en los contactos del interruptor de pulso del gabinete de control	Evidente
		3	Inspeccionar puntos calientes en los interruptores del gabinete de control por termografía infrarroja	C.3.3	Desajuste de conexiones de los interruptores en el gabinete de control	Evidente
4	Sistema de control	1	Revisar los elementos mecánicos de la cadena del puente grúa	D.4.1	Agarrotamiento de la cadena en el tecla del puente grúa	Evidente
		2	Ajustar los elementos mecánicos de la banda del puente grúa	D.4.2	Arrastre de la banda por falta de tensión	Evidente
		3	Revisar la lubricación de los engranes del puente grúa	D.4.3.	Desgaste de engranes del puente grúa	Oculto
5	Cuarto de baterías	1	Verificar la presencia de ácido en las baterías del cuarto de baterías.	E.5.1.	Disminución de la capacidad de carga en las baterías.	Evidente
6	Banco de baterías	1	Medir el voltaje en las baterías del banco de baterías	E.6.1	Caída de tensión, por deficiencia de la carga en las baterías en el banco de baterías	Evidente

Fuente: Autores

Realizado por: Chicaiza C y Coque P, 2021

3.7.2.4. Paso 4: Análisis funcional (Opcional)

En este paso se utiliza los principios del RCM cuando se cuente con equipos de alta complejidad (críticos), donde se determinan las funciones de los equipos, los fallos y por último los modos de fallo.

En el caso de la Central esto no aplica debido a que tienen equipos con tecnología antigua y diseño simple y sencillo.

3.7.2.5. Paso 5: Evaluación de consecuencias (modos de falla depurados)

En este paso se evaluó los efectos y consecuencias de los modos de fallo, estos se pueden clasificar en dos tipos de fallas: ocultos y evidentes, las fallas evidentes presentan consecuencias que afectan a: la seguridad de las personas, al medio ambiente, la producción (operacionales) y a los costos de mantenimiento (no operacionales), se puede observar en las tablas 32-3, 33-3 y 34-3.

Tabla 32-3: Evaluación de consecuencias en el generador

No	Componente	No	Modos de falla	Tipo de falla	Tipo de consecuencia
1	Volante de inercia	A.1.1	Pandeo del eje entre el volante de inercia y el generador	Oculto	Costos de mantenimiento
2	Tableros de control	A.2.1.	Incremento de temperatura por desajuste en las conexiones eléctricas del tablero de control del generador	Oculto	Costos de mantenimiento
		A.2.2.	Tableros de control del generador sucios	Evidente	Costos de mantenimiento
3	Cojinete de fricción del generador	A.3.1.1	Trizado del cristal visor por exceso de presión	Evidente	Costos de mantenimiento
		A.3.1.2	Deterioro del empaque del cojinete de fricción del generador por envejecimiento	Evidente	Costos de mantenimiento
		A.3.2.	Disminución de velocidad por incremento de fricción en el cojinete del generador	Evidente	Producción
		A.3.3	Incremento de temperatura en el cojinete de fricción del generador	Evidente	Producción
		A.3.4.2	Incremento de vibración en el cojinete de fricción del generador	Evidente	Costos de mantenimiento
		A.3.5.	Deterioro del material de sacrificio (Magnolia) del cojinete de fricción del generador por uso normal	Oculto	Costos de mantenimiento
4	Filtros de aceite	A.4.1.	Aumento de presión por obstrucción en los ductos del sistema de lubricación	Oculto	Costos de mantenimiento
		A.4.2.1	Desajuste de la válvula de aceite debido al exceso de vibración	Evidente	Costos de mantenimiento
		A.4.2.2	Deterioro de la válvula de aceite por uso normal	Evidente	Costos de mantenimiento
		A.4.3.	Obstrucción en los filtros de aceite por contaminantes	Oculto	Costos de mantenimiento
5	Rotor	A.5.1.	Perdida de aislamiento en los devanados del rotor del generador	Oculto	Costos de mantenimiento
		A.5.3.	Aumento de vibraciones por desbalanceo en el rotor del generador	Evidente	Producción
6	Estator	A.6.1.	Pérdida del aislamiento en las bobinas del estator del generador	Oculto	Costos de mantenimiento
7	Colector	A.7.1.1	Escobillas del colector del generador descalibradas	Evidente	Producción
		A.7.1.2	Escobillas del colector rotas por exceso de fricción	Evidente	Producción
		A.7.2	Incremento de fricción por presencia de porosidad en el colector del generador	Oculto	Producción

8	Excitatriz	A.8.1	Desgaste de rodamientos por fricción en la excitatriz del generador	Oculto	Costos de mantenimiento
		A.8.2	Pérdida de aislamiento en las bobinas de la excitatriz del generador	Oculto	Costos de mantenimiento
		A.8.3	Presencia de humedad en las bobinas de la excitatriz del generador por el lavado con disolvente	Oculto	Producción
		A.8.4	Deterioro de carbones de la excitatriz del generador por uso	Evidente	Producción
		A.8.5	Desgaste de las escobillas de la excitatriz del generador por aumento de fricción	Evidente	Producción

Fuente: Autores

Realizado por: Chicaiza C y Coque P, 2021

Tabla 33-3: Evaluación de las consecuencias en la Turbina

No	Componente	No	Modos de falla	Tipo de falla	Tipo de consecuencia
1	Turbina	B.1.1	Presencia de ruidos en la turbina por cavitación	Oculto	Costos de mantenimiento
		B.1.2.1	Endurecimiento en los álabes de la turbina	Oculto	Costos de mantenimiento
		B.1.2.2	Presencia de ruidos en los álabes de la turbina	Oculto	Costos de mantenimiento
2	Sistema de lubricación	B.2.1	Filtros de aceite obstruidos	Oculto	Costos de mantenimiento
		B.2.2.	Fuga de lubricante por la válvula	Evidente	Costos de mantenimiento
		B.2.3.	Fugas de aceite por deterioro de los sellos mecánicos	Evidente	Costos de mantenimiento
3	Volante de inercia	B.3.1.	Deterioro de las bandas por sobreesfuerzo en el volante de inercia	Evidente	Producción
		B.3.2.	Arrastre de la banda por falta de tensión en el volante de inercia	Evidente	Producción
4	Chavetas	B.4.1.	Desajuste de los muñones o guías de giro de los álabes de la turbina	Oculto	Costos de mantenimiento
5	Cojinete de fricción de la turbina	B.5.1.	Disminución de velocidad por incremento de fricción en el cojinete de la turbina	Evidente	Costos de mantenimiento
		B.5.2.2	Incremento de vibración en el cojinete de la turbina	Evidente	Costos de mantenimiento
6	Carcasa de la turbina (Caracol)	B.6.1.	Desbalance por la pérdida de masa desigual en los álabes de la turbina	Oculto	Costos de mantenimiento
		B.6.2.	Corrosión en la carcasa de la turbina	Oculto	Costos de mantenimiento
7	Pernos de anclaje	B.7.1.	Incremento de vibración en todo el grupo de generación	Evidente	Producción
8	Tuberías	B.8.1.	Pérdida de material de la tubería por corrosión	Oculto	Costos de mantenimiento

Fuente: Autores

Realizado por: Chicaiza C y Coque P, 2021

Tabla 34-3: Evaluación de las consecuencias en el Gabinete de control, Puente grúa, Cuarto de baterías e instalaciones en general

No	Componente	No	Modos de falla	Tipo de falla	Tipo de consecuencia
1	Gabinete	C.1.1	Fusible sobrecalentado por aumento de corriente en el gabinete de control	Evidente	Costos de mantenimiento
		C.1.2	Ausencia de tensión a la bobina del contactor del gabinete de control	Evidente	Costos de mantenimiento
		C.1.3.1	Registro erróneo en los sensores del gabinete de control	Evidente	Costos de mantenimiento
		C.1.3.2	Ausencia de corriente en los sensores del gabinete de control	Evidente	Producción
		C.1.4	Presencia de suciedad en las cajas de control del gabinete de control	Evidente	Costos de mantenimiento
2	Aisladores	C.2.1	Aumento de temperatura en las conexiones de los aisladores del gabinete de control	Oculto	Costos de mantenimiento
		C.2.2	Presencia de suciedad en los aisladores del gabinete de control	Evidente	Costos de mantenimiento
3	Interruptores	C.3.1	Desgaste de las cuchillas de los interruptores del gabinete de control	Evidente	Costos de mantenimiento
		C.3.2	Agarrotamiento por incremento de corriente en los contactos del interruptor de pulso del gabinete de control	Evidente	Producción
		C.3.3.	Desajuste de conexiones de los interruptores en el gabinete de control	Evidente	Costos de mantenimiento
4	Sistema de control	D.4.1	Agarrotamiento de la cadena en el tecla del puente grúa	Evidente	Costos de mantenimiento
		D.4.2	Arrastre de la banda por falta de tensión	Evidente	Costos de mantenimiento
		D.4.3.	Desgaste de engranes del puente grúa	Oculto	Costos de mantenimiento
5	Cuarto de baterías	E.5.1.	Disminución de la capacidad de carga en las baterías.	Evidente	Costos de mantenimiento
6	Banco de baterías	E.6.1	Caída de tensión, por deficiencia de la carga en las baterías en el banco de baterías	Evidente	Costos de mantenimiento

Fuente: Autores

Realizado por: Chicaiza C y Coque P, 2021

3.7.2.6. Paso 6: Definición de la Política de Mantenimiento

En las tablas 35-3, 36-3 y 37-3, correspondiente a la definición de la política de mantenimiento, se aplicó el diagrama de decisión del RCM por equipo, donde se determinaron las nuevas tareas basadas en la condición y tareas preventivas.

Estas actividades se deben realizar siempre y cuando se identifique un intervalo libre de tiempo donde no se corre riesgos, el diagrama de decisión se lo puede observar en el anexo G.

Tabla 35-3: Definición de la política de mantenimiento en el Generador

No	Componente	No	Modos de falla	Nueva tarea
1	Volante de inercia	A.1.1	Pandeo del eje entre el volante de inercia y el generador	Realizar Análisis de vibraciones del eje entre el volante de inercia y el generador
2	Tableros de control	A.2.1.	Incremento de temperatura por desajuste en las conexiones eléctricas del tablero de control del generador	Realizar análisis termográfico de conexiones eléctricas del tablero de control que estén al alcance visual.
		A.2.2.	Tableros de control del generador sucios	Limpiar los tableros de control
3	Cojinete de fricción del generador	A.3.1.1	Trizado del cristal visor por exceso de presión	Limpiar los ductos de lubricación de todo el sistema
		A.3.1.2	Deterioro del empaque del cojinete de fricción del generador por envejecimiento	Verificar el estado de los empaques del cojinete de fricción del generador
		A.3.2.	Disminución de velocidad por incremento de fricción en el cojinete del generador	Verificar la velocidad de rotación del eje con la lámpara estroboscópica
		A.3.3	Incremento de temperatura en el cojinete de fricción del generador	Realizar análisis termográfico en los cojinetes de fricción del generador
		A.3.4.1	Incremento de vibración en el cojinete de fricción del generador	Realizar análisis vibraciones en el cojinete del generador
		A.3.5.	Deterioro del material de sacrificio (Magnolia) del cojinete de fricción del generador por uso normal	Verificar el estado de las magnolias del cojinete de fricción del generador
4	Filtros de aceite	A.4.1.	Aumento de presión por obstrucción en los ductos del sistema de lubricación	Limpiar los ductos del sistema de lubricación
		A.4.2.1	Desajuste de la válvula de aceite debido al exceso de vibración	Ajustar la válvula de paso de aceite
		A.4.2.2	Deterioro de la válvula de aceite por uso normal	Comprobar el estado de la válvula de paso de aceite
		A.4.3	Obstrucción en los filtros de aceite por contaminantes	Limpiar los filtros de aceite con desengrasantes, detergentes y soplete
5	Rotor	A.5.1	Perdida de aislamiento en los devanados del rotor del generador	Realizar el Megado en los devanados del rotor del generador
		A.5.2	Aumento de vibraciones por desbalanceo en el rotor del generador	Realizar análisis de vibraciones en el rotor del generador
6	Estator	A.6.1.	Pérdida del aislamiento en las bobinas del estator del generador	Verificar la continuidad en las bobinas del estator del generador con respecto a tierra
7	Colector	A.7.1.1.	Escobillas del colector del generador descalibradas	Recalibrar las escobillas del colector del generador
		A.7.1.2.	Escobillas del colector rotas por exceso de fricción	Inspeccionar visualmente las escobillas del colector del generador
		A.7.2.	Incremento de fricción por presencia de porosidad en el colector del generador	Lijar los carbones del colector del generador
8	Excitatriz	A.8.1	Desgaste de rodamientos por fricción en la excitatriz del generador	Verificar el estado de los rodamientos de la excitatriz del generador
		A.8.2	Pérdida de aislamiento en las bobinas de la excitatriz del generador	Realizar el Megado en las bobinas de la excitatriz del generador
		A.8.3	Presencia de humedad en las bobinas de la excitatriz del generador por el lavado con disolvente	Capacitar al personal sobre la limpieza adecuada de las bobinas de la excitatriz del generador
		A.8.4	Deterioro de carbones de la excitatriz del generador por uso	Verificar el estado de los carbones de la excitatriz del generador
		A.8.5	Desgaste de las escobillas de la excitatriz del generador por aumento de fricción	Verificar el estado de las escobillas de la excitatriz del generador

Fuente: Autores

Realizado por: Chicaiza C y Coque P, 2021

Tabla 36-3: Definición de la política de mantenimiento en el la Turbina

No	Equipo	No	Componente	No	Modos de falla	Nueva Tarea
B	TURBINA	1	Turbina	B.1.1	Presencia de ruidos en la turbina por cavitación	Realizar análisis de vibraciones en la turbina
				B.1.2.1	Endurecimiento en los álabes de la turbina	Engrasar el eje que sostienen los álabes de la turbina
				B.1.2.2	Presencia de ruidos en los álabes de la turbina	Verificar con ultra sonido los ruidos en la turbina
		2	Sistema de lubricación	B.2.1	Filtros de aceite obstruidos	Limpiar los filtros de aceite con detergente, desengrasantes y soplete.
				B.2.2.	Fuga de lubricante por la válvula	Comprobar el estado de la válvula del sistema de lubricación
				B.2.3.	Fugas de aceite por deterioro de los sellos mecánicos	Verificar el estado de los sellos mecánicos de la turbina,
		3	Volante de inercia	B.3.1.	Deterioro de las bandas por sobreesfuerzo en el volante de inercia	Verificar el estado de la banda del volante de inercia de la turbina por desgaste
				B.3.2.	Arrastre de la banda por falta de tensión en el volante de inercia	Calibrar la banda del volante de inercia de la turbina
		4	Chavetas	B.4.1.	Desajuste de los muñones o guías de giro de los álabes de la turbina	Realizar análisis de vibraciones en la turbina
		5	Cojinete de fricción de la turbina	B.5.1.	Disminución de velocidad por incremento de fricción en el cojinete de la turbina	Realizar análisis termográfico en el cojinete de fricción de la turbina
				B.5.2	Incremento de vibración en el cojinete de la turbina	Realizar análisis de vibraciones en el cojinete de fricción de la turbina
		6	Carcasa de la turbina (Caracol)	B.6.1.	Desbalance por la pérdida de masa desigual en los álabes de la turbina	Inspeccionar mediante ultrasonido el espesor de la carcasa de la turbina
				B.6.2.	Corrosión en la carcasa de la turbina	Inspeccionar con líquidos penetrantes en la carcasa de la turbina
		7	Pernos de anclaje	B.7.1.	Incremento de vibración en todo el grupo de generación	Verificar el ajuste de los pernos de anclaje de todo el grupo de generación
		8	Tuberías	B.8.1.	Pérdida de material de la tubería por corrosión	Inspeccionar mediante ultrasonido el espesor de la tubería de agua de presión

Fuente: Autores

Realizado por: Chicaiza C y Coque P, 2021

Tabla 37-3: Definición de la política de mantenimiento en el Gabinete de control, Puente grúa, Cuarto de baterías e instalaciones en general

No	Equipo	No	Componente	No	Modos de falla	Nueva Tarea
C	GABINETE DE CONTROL	1	Gabinete	C.1.1	Fusible sobrecalentado por aumento de corriente en el gabinete de control	Cambiar el fusible en el gabinete de control
				C.1.2	Ausencia de tensión a la bobina del contactor del gabinete de control	Medir la continuidad de en las bobinas del contactor del gabinete de control

				C.1.3.1	Registro erróneo en los sensores del gabinete de control	Verificar la calibración de los sensores del gabinete de control
				C.1.3.2	Ausencia de corriente en los sensores del gabinete de control	Verificar los contactos de los sensores del gabinete de control
				C.1.4	Presencia de suciedad en las cajas de control del gabinete de control	Limpiar las cajas de control
		2	Aisladores	C.2.1	Aumento de temperatura en las conexiones de los aisladores del gabinete de control	Realizar análisis termográfico de puntos calientes en los aisladores del gabinete de control
				C.2.2	Presencia de suciedad en los aisladores del gabinete de control	Limpiar los aisladores del gabinete de control
		3	Interruptores	C.3.1	Desgaste de las cuchillas de los interruptores del gabinete de control	Comprobar el estado de las cuchillas de los interruptores en el gabinete de control
				C.3.2	Agarrotamiento por incremento de corriente en los contactos del interruptor de pulso del gabinete de control	Verificar mediante termografía las zonas calientes en los interruptores del gabinete de control
				C.3.3	Desajuste de conexiones de los interruptores en el gabinete de control	Verificar mediante un amperímetro la circulación de corriente en los interruptores del gabinete de control
		D	PUENTE GRÚA	1	Sistema de control	D.1.1
Comprobar el estado del tecla de la cadena del puente grúa						
D.1.2	Arrastre de la banda por falta de tensión					Ajustar la banda del puente grúa
D.1.3.	Desgaste de engranes del puente grúa	Lubricar los engranes del puente grúa				
		Inspección por ultrasonido los engranes en el puente grúa				
E	CUARTO DE BATERÍAS	1	Cuarto de baterías	E.1.1.	Disminución de la capacidad de carga en las baterías.	Reponer el ácido en las baterías del banco de baterías
		2	Banco de baterías	E.2.1	Caída de tensión, por deficiencia de la carga en las baterías en el banco de baterías	Verificar el voltaje con un voltímetro en cada una de las baterías del banco de baterías

Fuente: Autores

Realizado por: Chicaiza C y Coque P, 2021

3.7.2.7. Paso 7: Agrupación y revisión

En las tablas 39-3, 40-3 y 41-3 se preparan las rutinas de monitoreo de la condición, y se agrupan las tareas por especialidad, frecuencia de ejecución y tipo para tener una mejor planificación al momento de efectuar las actividades, ya sean en el día a día, en la parada para hacer el over hall o en un mantenimiento por campaña, siempre alineado con los objetivos de la organización.

Tabla 38-3: Definición de la política de mantenimiento en el Generador

No	Modos de falla	Nueva tarea	Nueva Especialidad	Nueva frecuencia	Tipo de actividad
A.1.1	Pandeo del eje entre el volante de inercia y el generador	Realizar análisis de vibraciones entre el volante de inercia y el generador, para que no exista pandeo	Técnico CBM	26 semanas	Preventiva
A.2.1.	Incremento de temperatura por desajuste en las conexiones eléctricas del tablero de control del generador	Realizar análisis termográfico de conexiones eléctricas del tablero de control que estén al alcance visual.	Técnico CBM	26 semanas	Preventiva
A.2.2.	Tableros de control del generador sucios	Limpiar los tableros de control	Mantenimiento	Semanal	Preventiva
A.3.1.1	Trizado del cristal visor por exceso de presión	Limpiar los ductos de lubricación de todo el sistema	Mantenimiento	52 semanas	Preventiva
A.3.1.2	Deterioro del empaque del cojinete de fricción del generador por envejecimiento	Verificar el estado de los empaques del cojinete de fricción del generador	Mantenimiento	52 semanas	Preventiva
A.3.2.	Disminución de velocidad por incremento de fricción en el cojinete del generador	Verificar la velocidad de rotación del eje con la lámpara estroboscópica	Mantenimiento	26 semanas	Preventiva
A.3.3	Incremento de temperatura en el cojinete de fricción del generador	Realizar análisis termográfico en los cojinetes de fricción del generador	Técnico CBM	26 semanas	Preventiva
A.3.4.1	Incremento de vibración en el cojinete de fricción del generador	Realizar análisis vibraciones en el cojinete del generador	Técnico CBM	26 semanas	Preventiva
A.3.5.	Deterioro del material de sacrificio (Magnolia) del cojinete de fricción del generador por uso normal	Verificar el estado de las magnolias del cojinete de fricción del generador	Mantenimiento	26 semanas	Preventiva
A.4.1.	Aumento de presión por obstrucción en los ductos del sistema de lubricación	Limpiar los ductos del sistema de lubricación	Mantenimiento	26 semanas	Preventiva
A.4.2.1	Desajuste de la válvula de aceite debido al exceso de vibración	Ajustar la válvula de paso de aceite	Mantenimiento	12 semanas	Preventiva
A.4.2.2	Deterioro de la válvula de aceite por uso normal	Comprobar el estado de la válvula de paso de aceite	Mantenimiento	52	Preventiva
A.4.3	Obstrucción en los filtros de aceite por contaminantes	Limpiar los filtros de aceite con desengrasantes, detergentes y soplete	Mantenimiento	26 semanas	Preventiva
A.5.1.	Perdida de aislamiento en los devanados del rotor del generador	Verificar la continuidad de entre fases, fase y tierra en los devanados del rotor del generador	Técnico CBM	52 semanas	Preventiva
A.5.2.	Aumento de vibraciones por desbalanceo en el rotor del generador	Realizar análisis de vibraciones en el rotor del generador	Eléctrico	26 semanas	Preventiva
A.6.1.	Escobillas del colector del generador descalibradas	Verificar la continuidad en las bobinas del estator del generador con respecto a tierra	Eléctrico	26 semanas	Preventiva
A.7.1.1.	Escobillas del colector rotas por exceso de fricción	Recalibrar las escobillas del colector del generador	Eléctrico	12 semanas	Preventivo
A.7.1.2.	Incremento de fricción por presencia de porosidad en el colector del generador	Inspeccionar visualmente las escobillas del colector del generador	Mantenimiento	Semanal	Preventiva

A.7.3.	Desgaste del rodamiento por fricción en la excitatriz del generador	Verificar el estado del rodamiento de la excitatriz del generador	Eléctrico	12 semanas	Preventiva
A.8.1	Pérdida de aislamiento en las bobinas de la excitatriz del generador	Realizar el Megado en las bobinas de la excitatriz del generador	Eléctrico	58 semanas	Preventiva
A.8.2	Presencia de humedad en las bobinas de la excitatriz del generador por el lavado con disolvente	Capacitar al personal sobre la limpieza adecuada de las bobinas de la excitatriz del generador	EEASA	12 semanas	Preventiva
A.8.3	Deterioro de carbones de la excitatriz del generador por uso	Verificar el estado de los carbones de la excitatriz del generador	Mantenimiento	26 semanas	Preventiva
A.8.48	Desgaste de las escobillas de la excitatriz del generador por aumento de fricción	Verificar el estado de las escobillas de la excitatriz del generador	Mantenimiento	12 semanas	Preventiva

Fuente: Autores

Realizado por: Chicaiza C y Coque P, 2021

Tabla 39-3: Definición de la política de mantenimiento en el la Turbina

No	Modos de falla	Nueva Tarea	Nueva Especialidad	Nueva frecuencia	Tipo de actividad
B.1.1	Presencia de ruidos en la turbina por cavitación	Realizar análisis de vibraciones en la turbina	Técnico CBM	26 semanas	Preventiva
B.1.2.1	Endurecimiento en los álabes de la turbina	Engrasar los muñones que sostienen los álabes de la turbina	Mantenimiento	12 semanas	Preventiva
B.1.2.2	Presencia de ruidos en los álabes de la turbina	Verificar con ultra sonido los ruidos en la turbina	Técnico CBM	26 semanas	Preventiva
B.2.1	Filtros de aceite obstruidos	Limpiar los filtros de aceite con detergente, desengrasantes y soplete.	Mantenimiento	12 semanas	Preventiva
B.2.2.	Fuga de lubricante por la válvula	Comprobar el estado de la válvula del sistema de lubricación	Mantenimiento	52 semanas	Preventiva
B.2.3.	Fugas de aceite por deterioro de los sellos mecánicos	Verificar el estado de los sellos mecánicos de la turbina.	Mantenimiento	52 semanas	Preventiva
B.3.1.	Deterioro de las bandas por sobreesfuerzo en el volante de inercia	Comprobar el estado de la banda del volante de inercia de la turbina	Mantenimiento	12 semanas	Preventiva
B.3.2.	Arrastre de la banda por falta de tensión en el volante de inercia	Calibrar la banda del volante de inercia de la turbina	Mantenimiento	4 semanas	Preventiva
B.4.1.	Desajuste de los muñones o guías de giro de los álabes de la turbina	Realizar análisis de vibraciones en la turbina	Técnico CBM	26 semanas	Preventiva
B.5.1	Disminución de velocidad por incremento de fricción en el cojinete de la turbina	Realizar análisis termográfico en el cojinete de fricción de la turbina	Técnico CBM	26 semanas	Preventiva
B.5.2	Incremento de vibración en el cojinete de la turbina	Alinear el eje de la turbina con relojes palpadores	Técnico CBM	12 semanas	Preventiva

B.6.1.	Desbalance por la pérdida de masa desigual en los álabes de la turbina	Inspeccionar mediante ultrasonido el espesor de la carcasa de la turbina	Técnico CBM	52 semanas	Preventiva
B.6.2.	Corrosión en la carcasa de la turbina	Inspeccionar líquidos penetrantes en la carcasa de la turbina	Técnico CBM	26 semanas	Preventiva
B.7.1.	Incremento de vibración en todo el grupo de generación	Verificar el ajuste de los pernos de anclaje de todo el grupo de generación	Mantenimiento	4 semanas	Preventiva
B.8.1.	Pérdida de material de la tubería por corrosión	Inspeccionar mediante ultrasonido el espesor de la tubería de agua de presión	Técnico CBM	52 semanas	Preventiva

Fuente: Autores

Realizado por: Chicaiza C y Coque P, 2021

Tabla 40-3: Definición de la política de mantenimiento en el Gabinete de control, Puente grúa, Cuarto de baterías e instalaciones en general

No	Modos de falla	Nueva Tarea	Nueva Especialidad	Nueva frecuencia	Tipo de actividad
C.1.1	Fusible sobrecalentado por aumento de corriente en el gabinete de control	Cambiar el fusible en el gabinete de control	Electricista	26 semanas	Trabajo al fallo (recondicionamiento cíclico)
C.1.2	Ausencia de tensión a la bobina del contactor del gabinete de control	Medir la continuidad en las bobinas del contactor del gabinete de control	Mantenimiento	12 semanas	Preventiva
C.1.3	Registro erróneo en los sensores del gabinete de control	Verificar la calibración de los sensores del gabinete de control	Mantenimiento	12 semanas	Preventiva
C.1.4	Ausencia de corriente en los sensores del gabinete de control	Verificar los contactos de los sensores del gabinete de control	Mantenimiento	26 semanas	Preventiva
C.1.5	Presencia de suciedad en las cajas de control del gabinete de control	Limpiar las cajas de control	Mantenimiento	Semanal	Preventiva
C.2.1	Aumento de temperatura en las conexiones de los aisladores del gabinete de control	Realizar análisis termográfico de puntos calientes en los aisladores del gabinete de control	Técnico CBM	26 semanas	Preventiva
C.2.2	Presencia de suciedad en los aisladores del gabinete de control	Limpiar los aisladores del gabinete de control	Mantenimiento	2 semanas	Preventiva
C.3.1	Desgaste de las cuchillas de los interruptores del gabinete de control	Comprobar el estado de las cuchillas de los interruptores del gabinete de control	Mantenimiento	52 semanas	Preventiva
C.3.2	Agarrotamiento por incremento de corriente en los contactos del interruptor de pulso del gabinete de control	Verificar mediante termografía las zonas calientes en los interruptores del gabinete de control	Técnico CBM	26 semanas	Preventiva
C.3.3	Desajuste de conexiones de los interruptores en el gabinete de control	Verificar mediante un amperímetro la circulación de corriente en los interruptores del gabinete de control	Mantenimiento	12 semanas	Preventiva
D.1.1		Lubricar la cadena del puente grúa	Mantenimiento	26 semanas	Preventiva

	Agarrotamiento de la cadena en el teclé del puente grúa	Comprobar el estado del teclé de la cadena del puente grúa	Mantenimiento	52 semanas	Preventiva
D.1.2	Arrastre de la banda por falta de tensión	Ajustar la banda del puente grúa	Mantenimiento	52 semanas	Preventiva
D.1.3.	Desgaste de los engranes del puente grúa	Lubricar los engranes del puente grúa	Mantenimiento	26 semanas	Preventiva
		Inspeccionar por ultrasonido los engranes en el puente grúa	Técnico CBM	26 semanas	Preventiva
E.1.1.	Disminución de la capacidad de carga en las baterías.	Reponer el ácido en las baterías del banco de baterías	Mantenimiento	26 semanas	Preventiva
E.2.1	Caída de tensión, por deficiencia de la carga en las baterías en el banco de baterías	Verificar el voltaje con un voltímetro en cada una de las baterías del banco de baterías	Mantenimiento	12 semanas	Preventiva

Fuente: Autores

Realizado por: Chicaiza C y Coque P, 2021

Una vez determinadas las actividades, las frecuencias de intervención, la especialidad y el tipo de actividad, se debe realizar una agrupación de acuerdo a la frecuencia de menor a mayor como se muestra en las tablas 41-3, 42-3 y 43-3.

Tabla 41-3: Definición de la política de mantenimiento agrupación de actividades de acuerdo a la frecuencia en el generador

Nueva tarea	Nueva Especialidad	Nueva frecuencia	Tipo de actividad
Limpiar los tableros de control	Mantenimiento	Semanal	Preventiva
Inspeccionar visualmente las escobillas del colector del generador	Mantenimiento	Semanal	Preventiva
Ajustar la válvula de paso de aceite	Mantenimiento	12 semanas	Preventivo
Realizar análisis de vibraciones en el rotor del generador	Técnico CBM	12 semanas	Preventiva
Recalibrar las escobillas del colector del generador	Eléctrico	12 semanas	Preventivo
Lijar los carbones del colector del generador	Mantenimiento	12 semanas	Preventiva
Verificar el estado del rodamiento de la excitatriz del generador	Eléctrico	12 semanas	Preventiva
Capacitar al personal sobre la limpieza adecuada de las bobinas de la excitatriz del generador	EEASA	12 semanas	Preventiva
Verificar el estado de las escobillas de la excitatriz del generador	Mantenimiento	12 semanas	Preventiva
Realizar análisis de vibraciones entre el volante de inercia y el generador, para que no exista pandeo	Técnico CBM	26 semanas	Preventiva
Realizar análisis termográfico de conexiones eléctricas del tablero de control que estén al alcance visual.	Técnico CBM	26 semanas	Preventiva
Verificar la velocidad de rotación del eje con la lámpara estroboscópica	Mantenimiento	26 semanas	Preventiva
Realizar análisis termográfico en los cojinetes de fricción del generador	Técnico CBM	26 semanas	Preventiva
Realizar análisis vibraciones en el cojinete del generador	Técnico CBM	26 semanas	Preventiva
Comprobar el estado de las magnolias del cojinete de fricción del generador	Mantenimiento	26 semanas	Preventiva
Limpiar los ductos del sistema de lubricación	Mantenimiento	26 semanas	Preventiva

Limpiar los filtros de aceite con desengrasantes, detergentes y soplete	Mantenimiento	26 semanas	Preventiva
Verificar la continuidad de entre fases, fase y tierra en los devanados del rotor del generador	Eléctrico	26 semanas	Preventiva
Realizar el Megado en los devanados del rotor del generador	Eléctrico	26 semanas	Preventiva
Verificar la continuidad en las bobinas del estator del generador con respecto a tierra	Eléctrico	26 semanas	Preventiva
Verificar el estado de los carbones de la excitatriz del generador	Mantenimiento	26 semanas	Preventiva
Limpiar los ductos de lubricación de todo el sistema	Mantenimiento	58 semanas	Preventiva
Verificar el estado de los empaques del cojinete de fricción del generador	Mantenimiento	58 semanas	Preventiva
Comprobar el estado de la válvula de paso de aceite	Mantenimiento	58 semanas	Preventiva
Realizar análisis de vibraciones en el rotor del generador	Técnico CBM	58 semanas	Preventiva
Realizar el Megado en las bobinas de la excitatriz del generador	Eléctrico	58 semanas	Preventiva

Fuente: Autores

Realizado por: Chicaiza C y Coque P, 2021

Tabla 42-3: Definición de la política de mantenimiento agrupación de actividades de acuerdo a la frecuencia en la turbina

Nueva Tarea	Nueva Especialidad	Nueva frecuencia	Tipo de actividad
Calibrar la banda del volante de inercia de la turbina	Mantenimiento	4 semanas	Preventiva
Verificar el ajuste de los pernos de anclaje de todo el grupo de generación	Mantenimiento	4 semanas	Preventiva
Engrasar los muñones que sostienen los álabes de la turbina	Mantenimiento	12 semanas	Preventiva
Limpiar los filtros de aceite con detergente, desengrasantes y soplete.	Mantenimiento	12 semanas	Preventiva
Comprobar el estado de la banda del volante de inercia de la turbina	Mantenimiento	12 semanas	Preventiva
Alinear el eje de la turbina con relojes palpadores	Técnico CBM	12 semanas	Preventiva
Realizar análisis de vibraciones en la turbina	Técnico CBM	26 semanas	Preventiva
Verificar con ultra sonido los ruidos en la turbina	Técnico CBM	26 semanas	Preventiva
Realizar análisis de vibraciones en la turbina	Técnico CBM	26 semanas	Preventiva
Realizar análisis termográfico en el cojinete de fricción de la turbina	Técnico CBM	26 semanas	Preventiva
Inspeccionar líquidos penetrantes en la carcasa de la turbina	Técnico CBM	26 semanas	Preventiva
Comprobar el estado de la válvula del sistema de lubricación	Mantenimiento	52 semanas	Preventiva
Verificar el estado de los sellos mecánicos de la turbina,	Mantenimiento	52 semanas	Preventiva
Inspeccionar mediante ultrasonido el espesor de la carcasa de la turbina	Técnico CBM	52 semanas	Preventiva
Inspeccionar mediante ultrasonido el espesor de la tubería de agua de presión	Técnico CBM	52 semanas	Preventiva

Fuente: Autores

Realizado por: Chicaiza C y Coque P, 2021

Tabla 43-3: Definición de la política de mantenimiento agrupación de actividades de acuerdo a la frecuencia en el gabinete de control, puente grúa, cuarto de baterías e instalaciones en general

Nueva Tarea	Nueva Especialidad	Nueva frecuencia	Tipo de actividad
Limpiar las cajas de control	Mantenimiento	Semanal	Preventiva
Limpiar los aisladores del gabinete de control	Mantenimiento	2 semanas	Preventiva
Medir la continuidad en las bobinas del contactor del gabinete de control	Mantenimiento	12 semanas	Preventiva
Verificar la calibración de los sensores del gabinete de control	Mantenimiento	12 semanas	Preventiva
Verificar mediante un amperímetro la circulación de corriente en los interruptores del gabinete de control	Mantenimiento	12 semanas	Preventiva
Verificar el voltaje con un voltímetro en cada una de las baterías del banco de baterías	Mantenimiento	12 semanas	Preventiva
Cambiar el fusible en el gabinete de control	Electricista	26 semanas	Trabajo al fallo (reacondicionamiento cíclico)
Verificar los contactos de los sensores del gabinete de control	Mantenimiento	26 semanas	Preventiva
Realizar análisis termográfico de puntos calientes en los aisladores del gabinete de control	Técnico CBM	26 semanas	Preventiva
Verificar mediante termografía las zonas calientes en los interruptores del gabinete de control	Técnico CBM	26 semanas	Preventiva
Lubricar la cadena del puente grúa	Mantenimiento	26 semanas	Preventiva
Lubricar los engranes del puente grúa	Mantenimiento	26 semanas	Preventiva
Inspeccionar por ultrasonido los engranes en el puente grúa	Técnico CBM	26 semanas	Preventiva
Reponer el ácido en las baterías del banco de baterías	Mantenimiento	26 semanas	Preventiva
Comprobar el estado de las cuchillas de los interruptores del gabinete de control	Mantenimiento	52 semanas	Preventiva
Comprobar el estado del teclé de la cadena del puente grúa	Mantenimiento	52 semanas	Preventiva
Ajustar la banda del puente grúa	Mantenimiento	52 semanas	Preventiva

Fuente: Autores

Realizado por: Chicaiza C y Coque P, 2021

3.7.2.8. Paso 8: Aprobación e Implementación

Una vez agrupadas y armadas las tareas de mantenimiento se presenta la propuesta del plan a los directivos de la organización para su respectiva autorización e implementación.

3.7.2.9. Paso 9: Programa dinámico

En un estudio de PMO es importante el contexto de operación de los grupos generadores, por ello se debe realizar una actualización del Plan de mantenimiento, contemplando nuevos modos de falla que afecten la condición de los equipos, incluyendo los que no se tomaron en cuenta al inicio de la implementación, o a su vez modificar la frecuencia de ejecución de las tareas, con las nuevas técnica y procedimientos de intervención que se aplicaran en cada actividad realizada.

Esta actualización se deberá realizar anualmente para verificar la efectividad de la implementación

CAPÍTULO IV

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS.

4.1. Recolección de datos para realización de Inventario y codificación.

La información recolectada para el desarrollo del inventario y codificación de la planta y equipos que se encuentran en las tablas 1-3, 2-3, 3-3, 4-3 y 5-3, se obtuvieron mediante visitas técnicas a la Central la Península, donde se pudo observar que existe un área de generación que consta de cuatro grupos generadores, tres de ellos tienen una capacidad de 500 kW y uno de 1500 kW.

El tiempo de operación de los grupos depende de la cantidad de caudal de agua que llegue a la planta, es decir: pueden operar las 24h diarias de forma alternada Grupo 1 y Grupo 2, Grupo 2 y Grupo 3, Grupo 1 y Grupo 3, o Grupo 4 con cualquiera de los otros grupos, esto permite que la Planta esté siempre operativa.

El análisis y diagnóstico se realizó en el grupo generador 1 y 2, no se realizó el análisis en los grupos generadores 3 y 4 porque se encontraban fuera de servicio por actividades de mantenimiento Over Hall.

4.2. Inventario y Codificación.

Los datos recolectados se desarrollaron utilizando la norma ISO14224 para inventario de equipos que se encuentran en la tabla 2-2, esta norma permite identificar y clasificar la planta de acuerdo al nivel taxonómico.

En la tabla 1-4, se encuentra el número de elementos codificados en los diferentes niveles jerárquicos.

Tabla 1-4: Levantamiento de información para codificación

Categoría Principal	Nivel taxonómico	Descripción	Número de elementos codificados
La Península	4	Central Hidroeléctrica	1
	5	Área de generación	1
Generación	6	Grupos de generación	4
	7	Turbina, volante de inercia, generador, excitatriz	16

Fuente: Autores

Realizado por: Chicaiza C y Coque P, 2021

4.3. Análisis y diagnóstico general grupo 1

4.3.1. Análisis de resultados en termografía

De acuerdo a los valores encontrados en la tabla 2-4 en análisis termográfico se notó que el grupo generador 1 presentó un incremento de temperatura en los cojinetes de fricción 1, 2 y 3 superior a la temperatura de trabajo, debido a:

Tabla 2-4: Valores de criticidad en termografía

Tipo de análisis	Variables Medidas	Grupo Generador 1			
Termografía	ΔT °C	0,9	No aplica	No aplica	No aplica
Componentes Analizados		Excitatriz	Cojinete de fricción 3	Cojinete de fricción 2	Cojinete de fricción 1

Fuente: Autores

Realizado por: Chicaiza C y Coque P, 2021

- La falta de lubricación produjo un incremento de fricción. La mezcla de agua con aceite produce una sustancia conocida como emulsión lo que hace que la viscosidad del aceite aumente considerablemente (el sistema de lubricación es enfriado por agua).
- Aumento de vibraciones por desalineación entre la turbina y el generador que inciden en los cojinetes de fricción 1 y 2 del grupo generador 1.

Los modos de falla mencionados indican que el grupo generador 1 se encuentra en un valor medio de criticidad en termografía.

Para evitar que sucedan estos modos de fallo se debe:

- Verificar el nivel de aceite en los cojinetes de fricción 1, 2 y 3 del generador de forma diaria.
- Revisar los sellos mecánicos de los cojinetes de fricción 1, 2 y 3 del generador, para que no exista la mezcla entre agua y aceite.
- Comprobar los ajustes en los cojinetes de fricción 1 y 2 del generador regularmente.

4.3.2. Análisis de resultados en vibraciones

La figura 1-4 muestra la ubicación de los equipos y componentes que conforman el grupo generador 1 partiendo de derecha a izquierda se puede observar: la turbina, el cojinete de fricción 1, el volante de inercia, cojinete de fricción 2, el generador, el cojinete de fricción 3 y la excitatriz.

- Los puntos ● muestran las partes donde el sistema tiene un nivel crítico de vibraciones.
- Los puntos ● muestran las partes donde el sistema tiene un nivel de criticidad media
- Los puntos ● muestran las partes donde el sistema tiene un nivel de criticidad baja

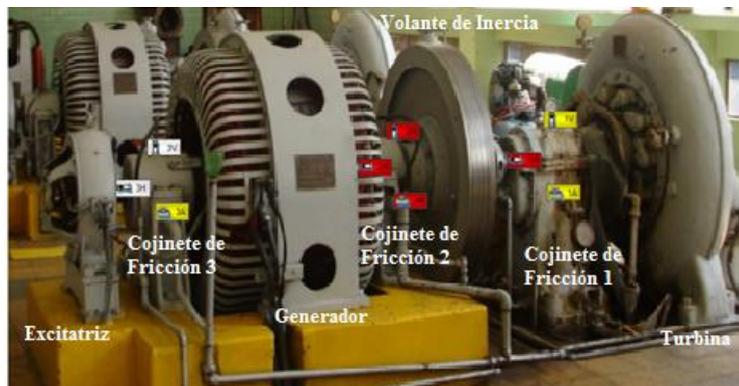


Figura 1-4: Ubicación de componentes del grupo generador 1

Realizado por: Chicaiza C y Coque P, 2021

De acuerdo a los resultados obtenidos en la tabla 3-4, de la medición en vibraciones en las tres posiciones (vertical, horizontal y axial) en los cojinetes de fricción 1, 2 y 3(Chumaceras), que constituyen el sistema de generación.

Tabla 3-4: Valores de criticidad en vibraciones

PUNTO	FECHA	ACELERACIÓN[g]	VELOCIDAD[mm/s]	ENVOLVENTE[gE]	DESPLAZAMIENTO[μm]
1 - Vertical 1 V	21/1/2021 11:46	0.514	1.53	2.07	23.3
1 - Horizontal 1 H	21/1/2021 11:47	0.933	4.78	3.239	62.3
1 - Axial 1 A	21/1/2021 11:48	0.622	3.68	2.253	56.4
2 - Vertical 2 V	21/1/2021 11:49	0.452	15.2	0.555	195.4
2 - Horizontal 2 H	21/1/2021 11:50	1.004	9.76	9.403	133.5
2 - Axial 2 A	21/1/2021 11:51	1.301	47.16	2.306	602.9
3 - Vertical 3 V	21/1/2021 11:52	0.143	0.96	0.658	21.6
3 - Horizontal 3 H	21/1/2021 11:53	0.19	2.44	0.614	35.7
3 - Axial 3 A	21/1/2021 11:54	0.192	4.27	0.326	59.3

Fuente: Autores

Realizado por: Chicaiza C y Coque P, 2021

Los valores mencionados fueron promediados para hallar un valor global en las variables de vibraciones como se muestra en la tabla 4-4.

Tabla 4-4: Valores de criticidad promedio en vibraciones

Tipo de análisis	Variables Medidas	Grupo Generador 1			
Vibraciones	Velocidad	No aplica	2,55	24,04	3,33
	Envolvente	No aplica	0,53	4,08	2,61
	Desplazamiento	No aplica	38,88	310,53	47,33
Componentes Analizados		Excitatriz	Cojinete de fricción 3	Cojinete de fricción 2	Cojinete de fricción 1

Fuente: Autores

Realizado por: Chicaiza C y Coque P, 2021

Con estos valores se ha determinado que existe la presencia de:

- Desalineación del eje entre la turbina y el generador que incide en los cojinetes de fricción 1 y 2 del grupo generador 1.
- Presencia de holguras en los cojinetes de fricción 1 y 2 del grupo generador 1.

Estos modos de fallo se presentaron por la presencia de desajustes, dando como resultado que el grupo generador 1 se encontró en nivel crítico, de acuerdo a la norma de severidad ISO 10816-3 (Evaluación de la vibración de las máquinas mediante mediciones en piezas no giratorias), que se encuentran en las tablas 5-2, 6-2, 7-2 y 8-2.

Para evitar estos modos de fallo se debe:

- Verificar de forma periódica los ajustes de los cojinetes de fricción 1, 2 y 3 del grupo generador 1.
- Comprobar la alineación del eje entre la turbina y el generador por medio de relojes comparadores en el grupo generador 1.
- Realizar análisis de vibraciones tomando en cuenta el tiempo de operación y condición en la que se encuentra el grupo generador 1.

4.3.3. Análisis de resultados en aceites.

Según los análisis y cálculos realizados con los valores de la tabla 22-3, se hizo un promedio de las viscosidades en cSt, para luego el promedio obtenido restarle con el valor referencial de viscosidad (67,52 cSt) esta cifra se dividió para el valor de referencia y multiplicado por 100 para encontrar el valor porcentual.

Tabla 5-4: Valores de criticidad de los análisis realizados

Tipo de análisis	Variables Medidas	Grupo Generador 1			
Aceites	Viscosidad cSt	No aplica	7,21	7,21	7,21
Componentes Analizados		Excitatriz	Cojinete de fricción 3	Cojinete de fricción 2	Cojinete de fricción 1

Fuente: Autores

Realizado por: Chicaiza C y Coque P, 2021

La tabla 5-4 muestra el valor porcentual con un incremento de 7,21% con respecto al valor original del aceite y al contrastar con el valor de tolerancia de la tabla 14-2 cuyo porcentaje solo puede variar un $\pm 0,32\%$ en valores comprendidos entre 10 a 100cSt, lo que indica que el grupo generador 1 está en nivel crítico.

La tabla 6-4 muestra la comparación porcentual del cálculo de los resultados entre la viscosidad del aceite y la banda de tolerancia.

Tabla 6-4: Valores de criticidad en aceites grupo generador 1

% de tolerancia Viscosidad	
% Banda de tolerancia	% viscosidad del aceite calculado
0,32%	7,21%

Fuente: Autores

Realizado por: Chicaiza C y Coque P, 2021

Se puede observar la variación porcentual de la viscosidad del aceite del grupo generador 1 con relación al valor de la banda de tolerancias en el gráfico 1-4.

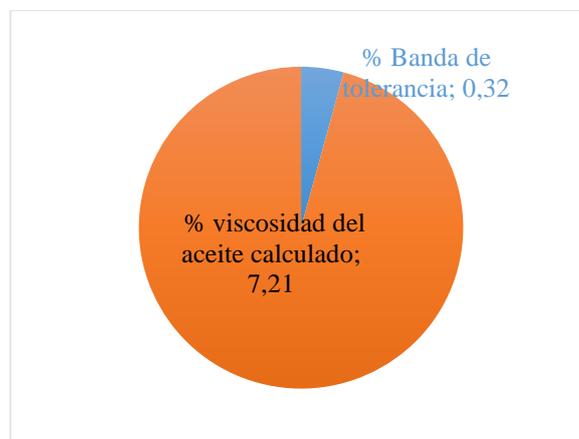


Gráfico 1-4: Variación % de viscosidad del aceite grupo generador 1

Realizado por: Chicaiza C y Coque P, 2021

El incremento de temperatura en el aceite del grupo generador 1 se dio por:

- La presencia de sólidos disueltos en el aceite.
- La mezcla del agua con el aceite, produce una sustancia llamada emulsión, haciendo que el aceite aumente su viscosidad considerablemente.

Estos modos de fallo conllevan a un aumento considerable de la fricción.

Para evitar que sucedan estos modos de fallo se debe:

- Realizar una limpieza integral del sistema de lubricación con un aceite de menor viscosidad que tenga agentes detergentes.
- Verificar periódicamente el estado de los sellos mecánicos para evitar la mezcla de agua con aceite.

4.3.4. Resultados de criticidad de acuerdo a los análisis realizados

Los resultados se pueden observar en la tabla 7-4 donde se muestran los valores de criticidad, los tipos de análisis, los componentes donde se aplicaron las técnicas para obtener los datos y las variables que se midieron para realizar los análisis de: vibraciones, termografía y aceites del grupo generador 1.

Para el diagnóstico de termografía la variable medida es la variación de temperatura que se obtuvo al realizar la diferencia entre la temperatura ambiente y la temperatura de la excitatriz de la tabla 11-3 que dio como resultado 0,9°C, este resultado se comparó con la tabla 13-2 de severidad térmica de la norma ANSI/NETA MTS 2019 propuesta por la empresa FLIR.

Para los cojinetes de fricción 3,2 y 1 se tomó en cuenta las temperaturas máximas de trabajo del lubricante y del material de sacrificio dando como resultado que los cojinetes 3 y 2 se encuentran en nivel crítico, el cojinete 1 en nivel bajo de criticidad

Las variables que se tomaron en cuenta para el análisis de vibraciones fueron velocidad, envolvente y desplazamiento que se encuentran en la tabla 7-3.

Por cada variable se halló un promedio en las tres posiciones del sensor (vertical, horizontal y axial), los valores encontrados se compararon con las tablas 6-2, 7-2 y 8-2 de la norma de Evaluación de la vibración de las máquinas mediante mediciones en piezas no giratorias (ISO 10816-3).

Los resultados obtenidos mostraron que el grupo generador 1 se encuentra en estado crítico.

Tabla 7-4: Valores de criticidad de los análisis realizados

Tipo de análisis	Variables Medidas	Grupo Generador 1			
Termografía	ΔT °C	0,9	No aplica	No aplica	No aplica
Vibraciones	Velocidad	No aplica	2,55	24,04	3,33
	Envolvente	No aplica	0,53	4,08	2,61
	Desplazamiento	No aplica	38,88	310,53	47,33
Aceites	Viscosidad	No aplica	7,21	7,21	7,21
Componentes Analizados	Excitatriz		Cojinete de fricción 3	Cojinete de fricción 2	Cojinete de fricción 1

Fuente: Autores

Realizado por: Chicaiza C y Coque P, 2021

4.4. Análisis y diagnóstico general grupo 2

4.4.1. Análisis de resultados en termografía

De acuerdo a los valores encontrados en la tabla 8-4 en análisis termográfico se notó que el grupo generador 2 presentó un incremento de temperatura en los cojinetes de fricción 1, 2 y 3 superior a la temperatura de trabajo, debido a:

Tabla 8-4: Valores de criticidad en termografía

Tipo de análisis	Variables Medidas	Grupo Generador 2			
Termografía	ΔT °C	1	No aplica	No aplica	No aplica
Componentes Analizados		Excitatriz	Cojinete de fricción 3	Cojinete de fricción 2	Cojinete de fricción 1

Fuente: Autores

Realizado por: Chicaiza C y Coque P, 2021

- La falta de lubricación produjo un incremento de fricción. La mezcla de agua con aceite produce una sustancia conocida como emulsión lo que hace que la viscosidad del aceite aumente considerablemente (el sistema de lubricación es enfriado por agua).
- Aumento de vibraciones por desbalanceo en el volante de inercia que inciden en los cojinetes de fricción 2 del grupo generador 2.

Los modos de falla mencionados indican que el grupo generador 2 se encuentra en un valor medio de criticidad en termografía.

Para evitar que sucedan estos modos de fallo se debe:

- Verificar el nivel de aceite en los cojinetes de fricción 1, 2 y 3 del generador de forma diaria.
- Revisar los sellos mecánicos de los cojinetes de fricción 1, 2 y 3 del generador, para que no exista la mezcla entre agua y aceite.
- Comprobar que el peso del volante de inercia sea homogéneo en todos sus puntos.

4.4.2. Análisis de resultados en vibraciones

La figura 2-4 muestra la ubicación de los equipos y componentes que conforman el grupo generador 2 partiendo de derecha a izquierda donde se puede observar: la turbina, el cojinete de fricción 1, el volante de inercia, cojinete de fricción 2, el generador, el cojinete de fricción 3 y la excitatriz.

- Los puntos ● muestran las partes donde el sistema tiene un nivel de criticidad media en vibraciones.

- Los puntos ● muestran las partes donde el sistema tiene un nivel de criticidad baja



Figura 2-4: Ubicación de componentes del grupo generador 2

Realizado por: Chicaiza C y Coque P, 2021

De acuerdo a los resultados obtenidos en la tabla 9-4, de la medición en vibraciones en las tres posiciones (vertical, horizontal y axial) en los cojinetes de fricción 1, 2 y 3 (Chumaceras), que constituyen el sistema de generación.

Tabla 9-4: Valores de criticidad en vibraciones

PUNTO	FECHA	ACELERACIÓN[g]	VELOCIDAD[mm/s]	ENVOLVENTE[gE]	DESPLAZAMIENTO[μm]
1 - Vertical 1 V	21/1/2021 11:55	0.219	1.25	0.746	24.3
1 - Horizontal 1 H	21/1/2021 11:56	0.376	3.17	1.319	61.1
1 - Axial 1 A	21/1/2021 11:57	0.231	3.82	0.729	61.7
2 - Vertical 2 V	21/1/2021 11:58	0.063	0.76	0.16	23.1
2 - Horizontal 2 H	21/1/2021 11:59	0.071	1.42	0.203	39.1
2 - Axial 2 A	21/1/2021 12:00	0.111	3.8	0.096	63.5
3 - Vertical 3 V	21/1/2021 12:01	0.116	0.81	0.429	18.3
3 - Horizontal 3 H	21/1/2021 12:02	0.077	0.49	0.189	16.1
3 - Axial 3 A	21/1/2021 12:03	0.114	3.01	0.257	48.9

Fuente: Autores

Realizado por: Chicaiza C y Coque P, 2021

Los valores mencionados fueron promediados para hallar un valor global en las variables de vibraciones como se muestra en la tabla 10-4.

Tabla 10-4: Valores de criticidad promedio en vibraciones

Tipo de análisis	Variables Medidas	Grupo Generador 2			
		Velocidad	No aplica	1,43	1,99
Vibraciones	Envolvente	No aplica	0,291	0,153	0,931
	Desplazamiento	No aplica	27,76	41,9	49,03
Componentes Analizados		Excitatriz	Cojinete de fricción 3	Cojinete de fricción 2	Cojinete de fricción 1

Fuente: Autores

Realizado por: Chicaiza C y Coque P, 2021

Con estos valores se ha determinado que existe la presencia de:

- Desalineación del eje entre la turbina y el generador que incide en los cojinetes de fricción 1 y 2 del grupo generador 2.
- Presencia de holguras en el cojinete de fricción 1 del grupo generador 2.
- Desbalance residual (existe masa) en el volante de inercia del grupo generador 2.

Estos modos de fallo se presentaron por la presencia de desajustes, dando como resultado que el grupo generador 1 se encontró en nivel medio, de acuerdo a la norma de severidad ISO 10816-3 (Evaluación de la vibración de las máquinas mediante mediciones en piezas no giratorias), que se encuentran en las tablas 5-2, 6-2, 7-2 y 8-2.

Para evitar estos modos de fallo se debe:

- Verificar de forma periódica los ajustes de los cojinetes de fricción 1, 2 y 3 del grupo generador 2.
- Comprobar la alineación del eje entre la turbina y el generador por medio de relojes comparadores en el grupo generador 2.
- Comprobar que el peso del volante de inercia sea homogéneo en todos sus puntos del grupo generador 2.

4.4.3. Análisis de resultados en aceites

Según los análisis y cálculos realizados con los valores de la tabla 24-3, se hizo un promedio de las viscosidades en cSt, para luego el promedio obtenido restarle con el valor referencial de viscosidad (67,52 cSt) esta cifra se dividió para el valor de referencia y multiplicado por 100 para encontrar el valor porcentual.

Tabla 11-4: Valores de criticidad de los análisis realizados

Tipo de análisis	Variables Medidas	Grupo Generador 2			
		Aceites	Viscosidad	No aplica	13,98
Componentes Analizados		Excitatriz	Cojinete de fricción 3	Cojinete de fricción 2	Cojinete de fricción 1

Fuente: Autores

Realizado por: Chicaiza C y Coque P, 2021

La tabla 11-4 muestra el valor porcentual con un incremento de 13,98 % con respecto al valor original del aceite y al contrastar con el valor de tolerancia de la tabla 14-2 cuyo porcentaje solo puede variar un $\pm 0,32\%$ en valores comprendidos entre 10 a 100cSt, lo que indica que el grupo generador 1 está en nivel crítico.

La tabla 12-4 muestra la comparación porcentual del cálculo de los resultados entre la viscosidad del aceite y la banda de tolerancia.

Tabla 12-4: Valores de criticidad en aceites grupo generador 1

% de tolerancia Viscosidad	
% Banda de tolerancia	% viscosidad del aceite calculado
0,32%	13,98%

Fuente: Autores

Realizado por: Chicaiza C y Coque P, 2021

Se puede observar la variación porcentual de la viscosidad del aceite del grupo generador 1 con relación al valor de la banda de tolerancias en el gráfico 2-4.

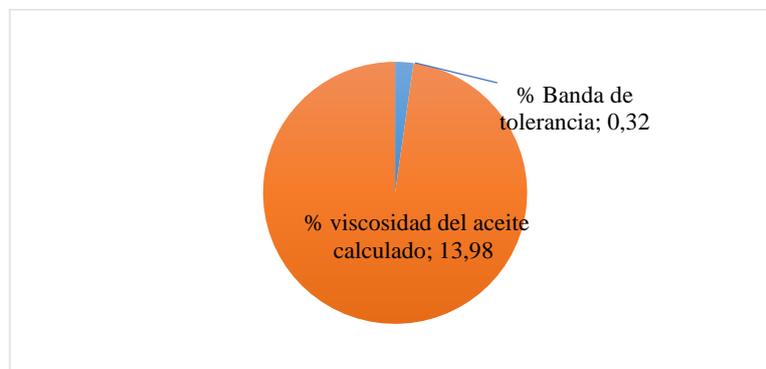


Gráfico 2-4: Variación % de viscosidad del aceite grupo generador 2

Realizado por: Chicaiza C y Coque P, 2021

El incremento de temperatura en el aceite del grupo generador 2 se dio por:

- La presencia de solidos disueltos en el aceite.
- La mezcla del agua con el aceite, produce una sustancia llamada emulsión, haciendo que el aceite aumente su viscosidad considerablemente.

Estos modos de fallo conllevan a un aumento considerable de la fricción.

Para evitar que sucedan estos modos de fallo se debe:

- Realizar una limpieza integra del sistema de lubricación con un aceite de menor viscosidad que tenga agentes detergentes.
- Verificar periódicamente el estado de los sellos mecánicos para evitar la mezcla de agua con aceite.

4.4.4. Resultados de criticidad de acuerdo a los análisis realizados

Los resultados se pueden observar en la tabla 13-4 donde se muestran los valores de criticidad, los tipos de análisis los componentes donde se obtuvieron los datos y las variables que se midieron para realizar los análisis de: vibraciones, termografía y aceites del grupo generador 2

Para el diagnóstico de termografía la variable medida es la variación de temperatura que se obtuvo al realizar la diferencia entre la temperatura ambiente y la temperatura de la excitatriz de la tabla 15-3 que dio como resultado 1°C, este resultado se comparó con la tabla 13-2 de severidad térmica de la norma ANSI/NETA MTS 2019 propuesta por la empresa FLIR.

Para los cojinetes de fricción 3,2 y 1 se tomó en cuenta las temperaturas máximas de trabajo del lubricante y del material de sacrificio dando como resultado que los cojinetes 3 y 2 se encuentran en nivel crítico, el cojinete 1 en nivel bajo de criticidad.

Estos resultados indicaron que el grupo generador 2 se encuentra en nivel medio de criticidad.

Las variables que se tomaron en cuenta para el análisis de vibraciones fueron velocidad, envolvente y desplazamiento que se encuentran en la tabla 9-3.

Por cada variable se halló un promedio en las tres posiciones del sensor (Vertical, horizontal y axial), los valores encontrados se compararon con las tablas 6-2, 7-2 y 8-2 de la norma de Evaluación de la vibración de las máquinas mediante mediciones en piezas no giratorias (ISO 10816-3), los resultados obtenidos mostraron que el grupo generador 2 se encuentra en estado medio de criticidad.

Tabla 13-4: Valores de criticidad para los análisis de vibraciones, termografía y aceites

Tipo de análisis	Variables Medidas	Grupo Generador 2			
Termografía	ΔT °C	14,4	No aplica	No aplica	No aplica
Vibraciones	Velocidad	No aplica	1,43	1,99	2,74
	Envolvente	No aplica	0,291	0,153	0,931
	Desplazamiento	No aplica	27,76	41,9	49,03
Aceites	Viscosidad	No aplica	13,98	13,98	13,98
Componentes Analizados		Excitatriz	Cojinete de fricción 3	Cojinete de fricción 2	Cojinete de fricción 1

Fuente: Autores

Realizado por: Chicaiza C y Coque P, 2021

4.5. Comparación entre el grupo generador 1 y el grupo generador 2.

La tabla 14-4 muestra la comparación entre los valores de criticidad obtenidos tanto en el grupo generador 1 como en el grupo generador 2 con los análisis y diagnósticos de termografía, vibraciones y aceites realizados se ha podido evidenciar que la condición de los componentes muestra una diferencia significativa, a pesar de que están sometidos a las mismas condiciones de operación.

El grupo generador 1 se encuentra en estado crítico, mientras que el grupo generador 2 se encuentra en estado medio de criticidad con respecto a las variables medidas,

Tabla 14-4: Comparación de los valores de criticidad entre el grupo generador 1 y el grupo generador 2.

Tipo de análisis	Variables Medidas	Grupo Generador 1			Grupo Generador 2				
Termografía	ΔT °C	0,9	No aplica	No aplica	No aplica	1	No aplica	No aplica	No aplica
Vibraciones	Velocidad	No aplica	2,55	24,18	3,33	No aplica	1,43	1,99	2,74
	Envolvente	No aplica	0,53	4,08	2,61	No aplica	0,291	0,153	0,931
	Desplazamiento	No aplica	38,88	310,53	47,33	No aplica	27,76	41,9	49,03
Aceites	Viscosidad	No aplica	7,21	7,21	7,21	No aplica	13,98	13,98	13,98
Componentes Analizados	Excitatriz	Cojinete de fricción 3	Cojinete de fricción 2	Cojinete de fricción 1	Excitatriz	Cojinete de fricción 3	Cojinete de fricción 2	Cojinete de fricción 1	

Fuente: Autores

Realizado por: Chicaiza C y Coque P, 2021

4.6. Análisis de resultados arrojados mediante la metodología de PMO

Para desarrollar el plan de mantenimiento aplicando la metodología PMO se inició con el primer paso que trata sobre la recopilación de las 67 actividades tomadas de los históricos y el plan de mantenimiento vigente en la Central, que se observan en la tabla 25-3 y se hallaron 10 nuevos modos de fallo que se encuentran en la tabla 26-3, donde se detallan las actividades por equipo, el plan se muestra en el anexo F.

En el segundo paso se definieron los modos de fallo que se pueden observar en las tablas 27-3, 28-3 y 29-3, se analizó el tercer paso donde se adicionaron nuevos modos de fallo que se muestran en la tabla

26-3, eran significativos o presentaban riesgo para el funcionamiento correcto del equipo y se pueden ver en las tablas 30-3, 31-3 y 32-3, el cuarto paso no se realizó.

La tabla 15-4 muestra 42 actividades que fueron contempladas dentro del plan de mantenimiento de la Central, se pudo definir 44 modos de falla, luego se realizó una división de actividades que se aplicaban en una misma tarea y se adicionaron nuevos modos de falla.

Tabla 15-4: Actividades dentro del Plan de la Central, modos de falla y adición de nuevas actividades y nuevos modos de falla por equipo.

Equipos	Actividades Plan Central	Modos de falla	Actividades nuevas	Modos de falla nuevos	Total, Modos de falla identificados
Generador	16	17	25	7	24
Turbina	12	13	15	2	15
G. de control	14	14	17	1	15
Total	42	44	57	10	54

Fuente: Autores

Realizado por: Chicaiza C y Coque P, 2021

El gráfico 3-4, muestra la variación que existe entre actividades y modos de fallo en la central.

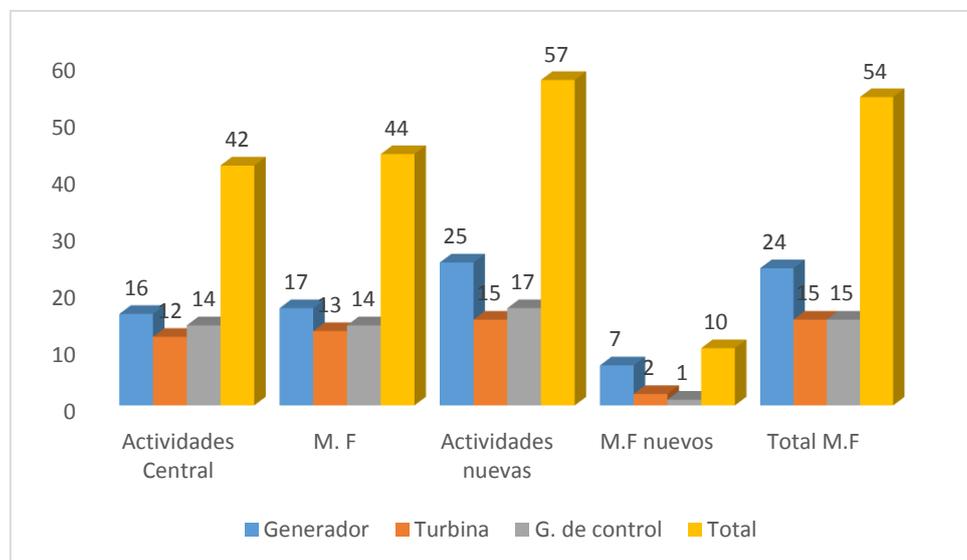


Gráfico 3-4: Variación que existe entre actividades y modos de fallo

Realizado por: Chicaiza C y Coque P, 2021

La tabla 16-4, muestra las actividades totales recolectadas de la Central y la adición de nuevas actividades las que fueron depuradas eliminando tareas repetidas dando un total de 57 actividades con la implementación de la metodología PMO.

Tabla 16-4: Número de actividades contempladas por equipos dentro del plan de mantenimiento de la Central con las nuevas actividades

Equipos	M.F con las nuevas actividades	Actividades Nuevas
Generador	24	25
Turbina	15	15
Gabinete de control	15	17
Total	54	57

Fuente: Autores

Realizado por: Chicaiza C y Coque P, 2021

El gráfico 4-4, muestra el número de actividades recolectadas del plan de mantenimiento de la central vs la adición de nuevas actividades por equipo.

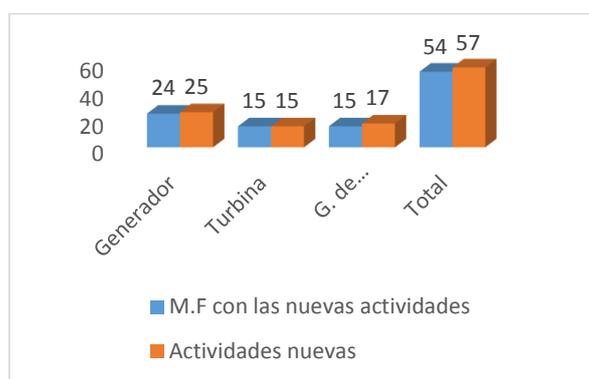


Gráfico 4-4: Número de actividades totales

Realizado por: Chicaiza C y Coque P, 2021

En el quinto paso se evaluó los efectos de los modos de fallo y así se definió el tipo de falla y consecuencia que se iban presentando, se pueden observar en las tablas 33-3, 34-3 y 35-3.

En la gráfica 5-4 se muestra la comparativa entre los modos de fallo evidentes que son 33 y modos de fallo ocultos que son 21, de los 54, la diferencia porcentual da como resultado que el 39% de fallos son ocultos y representan problemas mayores en el funcionamiento de los equipos esto sucede cuando el personal no detecta las fallas en condiciones normales de operación.

Para detectar estos modos de fallo ocultos se debe:

- Realizar técnicas de monitoreo basadas en la condición.

El 61 % son fallos evidentes y representan problemas menores en los equipos, estos modos de fallo se pueden detectar en condiciones normales de operación por el personal.

Para que los modos de fallo no afecten los equipos se debe:

- Realizar tareas de inspección, verificación, comprobación de forma periódica.

La tabla 17-4, muestra cuantas fallas evidentes y ocultas se encontraron por equipo.

Tabla 17-4: Clasificación de las fallas

Equipos	Fallas evidentes	Fallas ocultas
Generador	13	11
Turbina	7	8
Gabinete de control	13	2
Total	33	21

Fuente: Autores

Realizado por: Chicaiza C y Coque P, 2021

El gráfico 5-4, muestra el número de fallas evidentes con relación al número de fallas ocultas

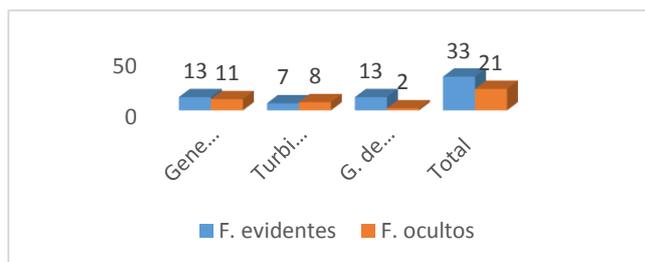


Gráfico 5-4: Diagrama fallas evidentes vs fallas ocultas

Realizado por: Chicaiza C y Coque P, 2021

La clasificación de los modos de falla permite identificar si las fallas son ocultas o evidentes y con ello se puede asignar actividades adecuadas para cada modo de fallo.

En el paso sexto utilizamos el diagrama de decisión del anexo B, que establece las rutas de las fallas para asignar actividades enfocadas a los procedimientos de mantenimiento, estos pueden ser basados en la condición, preventivos y correctivos, se pueden observar en las tablas 36-3, 37-3 y 38-3.

En el paso séptimo se agruparon todas las actividades de acuerdo a la frecuencia de menor a mayor por: responsable, especialidad, técnicas de diagnóstico predictivas y preventivas que se pueden observar en las tablas 42-3, 43-3 y 44-3.

La tabla 18-4, muestra cuantos modos de fallo afectan a la producción y cuantos, a los costos de mantenimiento, por equipo.

Tabla 18-4: Tipos de fallas por equipos

Equipos	Modos de fallo nuevos	Tipo de fallas	
		Producción	Costos M
Generador	24	9	15
Turbina	15	3	12
Gabinete de control	15	2	13
Total	54	14	40
		54	

Fuente: Autores

Realizado por: Chicaiza C y Coque P, 2020

El gráfico 6-4, muestra la cantidad de modos de fallo que inciden en los costos de mantenimiento en barras naranjas y los modos de fallo que afectan a la producción en barras azules

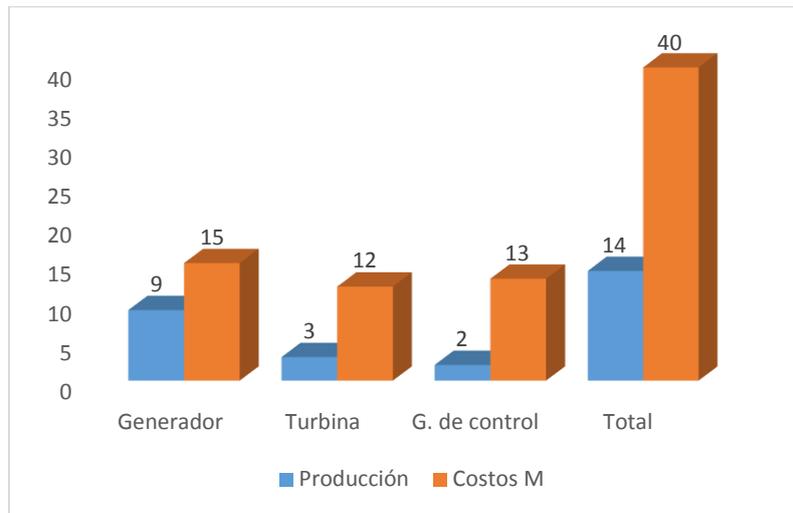


Gráfico 6-4: Afectación de los modos de falla por equipos

Realizado por: Chicaiza C y Coque P, 2020

En el paso 8 depende de la política de la empresa en aplicar la metodología del PMO propuesta.

En el paso 9 se debe realizar la actualización del Plan de mantenimiento, contemplando nuevos modos de falla que afecten la condición de los equipos, incluyendo los que no se tomaron en cuenta al inicio de la implementación, o a su vez modificar la frecuencia de ejecución de las tareas, con nuevas técnicas y procedimientos de intervención que se aplicaran en cada actividad realizada.

Esta actualización se deberá realizar anualmente para verificar la efectividad de la implementación

CONCLUSIONES

Con el diagnóstico termográfico se pudo notar que el incremento de temperatura no afecta de manera directa al funcionamiento de los equipos de acuerdo a los valores encontrados en el análisis dando como resultado un nivel de criticidad medio es considerado como tolerable según la norma ANSI/NETA MTS 2019 aplicada en elementos eléctricos en este caso a la excitatriz propuesta por la empresa FLIR, para los grupos generadores 1 y 2, mientras que para los cojinetes de fricción se tomaron los valores de temperatura máximos y se contrastaron con los parámetros del lubricante y del material de sacrificio.

Al analizar los espectros con el programa Maintraq Predictive, se pudo evidenciar que en el grupo generador 1 los valores encontrados superan los valores de funcionamiento, dando como resultado que este se encuentra en estado crítico. Mientras que en el grupo generador 2 los valores encontrados mostraron un nivel medio de criticidad, considerado como tolerable, según la Norma 10816-3.

Al realizar los cálculos y análisis de aceites se denota que el sistema se encuentra en un estado crítico debido al aumento excesivo de la viscosidad, que es causado por la presencia de agua, incremento de temperatura y de sólidos contaminantes, en los grupos generadores 1 y 2, superando el % de tolerancia permitido en la norma ASTM D445-12.

La Metodología PMO es efectiva debido a que se analizan las actividades o tareas tomando en cuenta el plan de mantenimiento existente, lo que permite depurar tareas duplicadas y se seleccionan los modos de fallo de acuerdo a la complejidad de la intervención lo que podría afectar a la producción.

El PMO permite la optimización del plan de mantenimiento mediante la planificación de paradas programadas mejorando los tiempos de intervención en los equipos y aumentando su disponibilidad.

Se puede desarrollar de manera rápida, porque consta de una serie de pasos sencillos para su ejecución lo que facilita su inmediata comprensión.

RECOMENDACIONES

Para reducir el incremento de temperatura se debe realizar inspecciones y verificaciones del estado del material de sacrificio y así se reduce el incremento de temperatura en los cojinetes de fricción para los grupos generadores 1 y 2.

Para evitar que exista desgaste acelerado se debe realizar alineación, verificar ajustes y holguras del eje en los cojinetes de fricción en el grupo generador 1, mientras que para el grupo generador 2 hay que realizar alineación, verificación de ajuste; holgura del eje de los cojinetes de fricción y balanceo del volante de inercia.

Para evitar que el incremento de temperatura y presencia de sólidos contaminantes debemos: realizar una limpieza integral con un aceite de menor viscosidad compuesto con aditivos detergentes que circulen por el sistema y extraiga todas las impurezas existentes y para evitar la contaminación por agua debemos: revisar los sellos mecánicos de los cojinetes de fricción.

Realizar la actualización periódica de las actividades de forma técnica, con mayor detalle en las intervenciones y registrar los nuevos modos de falla que se vayan presentan.

Para mejorar el plan se debe agrupar las tareas duplicadas y convertirlas en una sola, para reducir el tiempo de intervención hora-hombre.

Realizar anualmente una revisión y actualización del Plan de mantenimiento con un nuevo PMO para verificar su efectividad.

BIBLIOGRAFÍA.

ANACONA, J., COLLAO, C., ERAZO, R., JULIO, O. y RODRIGUEZ, D. Determinación de la viscosidad con el viscosímetro Saybolt Universal. Antofagasta: Disponible en: https://www.academia.edu/15212357/Laboratorio_N_1_Determinación_de_la_viscosidad_con_el_viscosímetro_Saybolt_Un. 2015.

ARIAS, G. *Análisis y Configuración de Sistema de Monitoreo Continuo en Equipos Rotatorios Críticos de Celulosa Planta Arauco*. S.l.: Universidad del BIO-BIO, (pp 18-33). 2013.

ASTM. *Método de prueba estándar para la viscosidad cinemática de líquidos transparentes y opacos (y cálculo de la viscosidad dinámica)*. S.l.: s.n. Disponible en: <https://s3.amazonaws.com/slideshare-downloads/235758549-d445-espanol-metodo-de-prueba-estandar-para-la-viscosidad-cinematica-de-liquidos-transparente-180716193937.pdf?response-content-disposition=attachment&Signature=uHySeWnCXy2davtfv0FyMEWHT8%3D&Expires=16>. (pp 2-21). 2013.

CAIZA, N. *Termografía Industrial en motores eléctricos de la Planta Soguar S.A. para determinar parámetros de Mantenimiento Predictivo*. S.L.: Universidad Técnica de Ambato. Disponible en: https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/21752/1/Tesis_I.M._324_-_Caiza_López_Néstor_Adán.pdf. (pp 8-9). 2016.

CHAPMAN, S. *Máquinas Eléctricas*. tercera. S.l.: s.n. ISBN 958-4100-56-4. Disponible en: <https://catedra.ing.unlp.edu.ar/electrotecnia/cys/DI/MaqElec.pdf>. (p. 272). 2000.

DIPROLAM. Propuesta de sustitución de Norma ISO 2372 por Norma ISO 2372 por Norma ISO 10816-3. Disponible en: <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/objetos/tutorial85/doc17tut85.pdf>. (pp. 24-27).

FLIR. Guía de termografía para mantenimiento predictivo. *FLIR Systems AB* [en línea], pp. 17. Disponible en: www.preditec.com. (p. 17). 2011

FLUKE. Valores de Emisividad para Metales. [en línea]. Disponible en: <https://www.flukeprocessinstruments.com/es/service-and-support/knowledge-center/infrared-technology/emissivity-metals>.

GARCÍA, S. *Organización y gestión integral de mantenimiento*. S.l.: s.n. (p. 13). 2003.

IME INGENIERÍA DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS S.A. Análisis de vibraciones. Disponible en: <https://ime.com.co/>.(p. 3)

ISO. *Industrias de petróleo, petroquímica y gas natural – recolección e intercambio de datos de confiabilidad y mantenimiento de equipos (ISO 14224:2016)* [en línea]. 2016. S.l.: s.n. Disponible en: https://kupdf.net/download/iso-14224-2016-espaol_5acc2d72e2b6f5570ec619bb_pdf. (pp. 33-69). 2016.

MASSIEU, W. MANTENIMIENTO A GENERADORES ELECTRICOS. [en línea], pp. 3-21. Disponible en: <https://www.ipn.mx/assets/files/cecyt11/docs/Guias/UATecnologicas/IME/4toSemestre/mantenimiento-a-generadores-electricos.pdf>. (pp. 3-21). 2008.

NEITA, L. y PEÑA, E. *Principios básicos de la termografía infrarroja y su utilización como técnica para mantenimiento Predictivo* [en línea]. S.l.: Universidad Pontificia Bolivariana. Disponible en: http://biblioteca.upbbga.edu.co/docs/digital_20999.pdf. (p. 77). 2011.

OMCS LATIN AMERICA. PMO-Optimización del Plan de Mantenimiento (Planned Maintenance Optimisation). Disponible en: https://www.maintenance.org/fileSendAction/fcType/0/fcOid/399590942963630232/filePointer/399590942964798778/fodoid/399590942964798776/PMO_Analisis_del_futuro.pdf. (pp. 8-20)

POWE-MI. Estudio de las vibraciones. [en línea]. Disponible en: <https://power-mi.com/es/content/estudio-de-las-vibraciones>. 2021.

RODESPREX. Norma ISO 10816. [en línea]. S.l.: Disponible en: <https://www.rodamientos.com/assets/img/services/servbenf04.pdf>. (p. 1).

SANTIESTEBAN, G. *Procedimiento para la optimización de los transformadores de media tensión en la Empresa Che Guevara aplicando la termografía infrarroja* [en línea]. S.l.: Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa. Disponible en: <https://ninive.ismm.edu.cu/bitstream/handle/123456789/1824/SantiestebanHdez.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.(pp. 10-11). 2017.

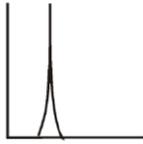
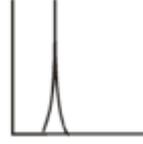
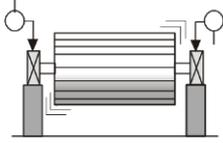
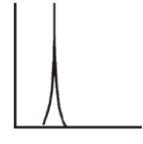
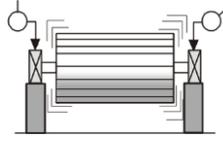
SATIR. Cámara Infrarroja de alto rendimiento con cámara digital integrada. *HOTFIND VR* [en línea]. Disponible en: <https://www.tam.com.mx/images/satir/HotfindVR.pdf>. (pp. 4-6). 2021.

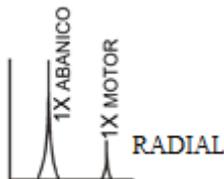
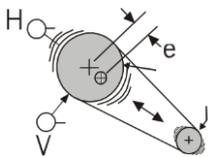
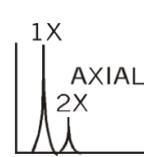
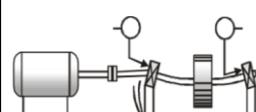
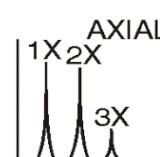
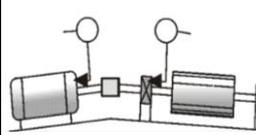
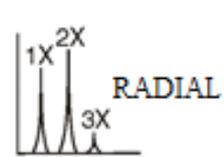
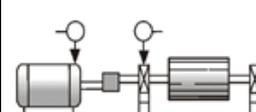
TAVARES, L. *Administración Moderna de Mantenimiento*. S.l.: s.n. Disponible en: <https://soportec.files.wordpress.com/2010/06/administracion-moderna-de-mantenimiento.pdf>. (p. 30). 2000.

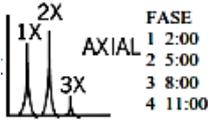
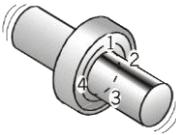
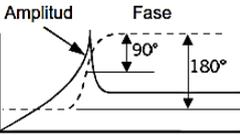
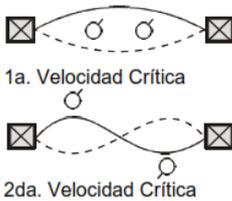
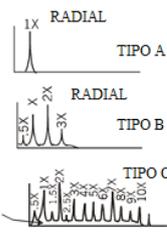
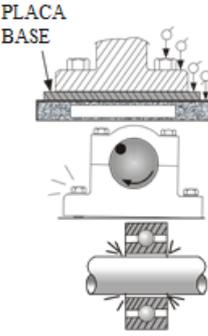
TECHNICAL ASSOCIATES OF CHARLOTTE, Lista ilustrada de diagnóstico de vibraciones. , no. R-0894-4, (pp. 1-5). 1996.

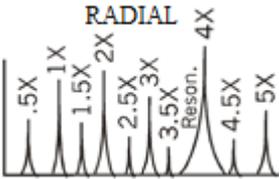
ANEXOS

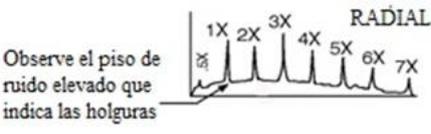
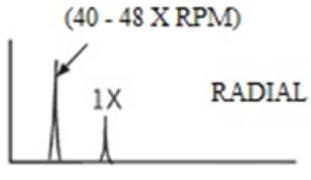
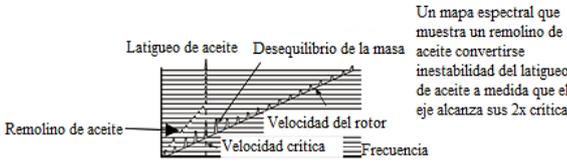
ANEXO A: Cartas de Charlotte

TABLA 1			
LISTA ILUSTRADA DE DIAGNÓSTICO DE VIBRACIONES			
FUENTE DEL PROBLEMA	ESPECTRO TÍPICO	RELACIÓN DE FASE	OBSERVACIONES
DESEQUILIBRIO DE MASA. A. DESEQUILIBRIO ESTÁTICO	1X Radial 		El Desequilibrio Estático estará en fase y fijo. La amplitud debida al desequilibrio se elevará al cuadrado de la velocidad de giro debajo de la primera frecuencia crítica del rotor (un incremento de velocidad de 3X = vibración más alta en 9X). 1X RPM siempre está presente y por lo general domina al espectro. Se puede corregir al colocar únicamente un peso de corrección de equilibrio en un plano en el centro de gravedad (CG) del Rotor. Debe existir una diferencia de fase de 0° aprox. entre los horizontales OB e IB, así como entre los verticales OB e IB. Además, por lo general existe una diferencia de fase de 90° aprox. entre las lecturas horizontales y verticales en cada apoyo de rotor desequilibrado ($\pm 30^\circ$)
B. DESEQUILIBRIO TIPO PAR	1X Radial 		El Desequilibrio Tipo Par origina un movimiento fuera de fase de 180° en el mismo eje. 1X RPM siempre se presenta y por lo general domina al espectro. La amplitud varía en el cuadrado de la velocidad en incremento debajo de la primera velocidad crítica del rotor. Puede causar una alta vibración axial, así como radial. Para su corrección se requiere colocar pesos de equilibrio en por lo menos 2 planos. Observe que debe existir una diferencia de fase de 180° aprox. entre los horizontales OB e IB, así como entre los verticales OB e IB. Además, por lo general existe una diferencia de fase de 90° aprox. entre las lecturas horizontales y verticales en cada apoyo ($\pm 30^\circ$).
C. DESEQUILIBRIO DINÁMICO	1X Radial 		El Desequilibrio Dinámico es el más común y es una combinación de desequilibrio de estático y de par. 1X RPM domina el espectro, y realmente requiere una corrección de 2 planos. Aquí, la diferencia de fase radial entre los apoyos internos y externos puede abarcar un rango de 0° a 180°. Sin embargo, la diferencia en fase de los

			apoyos horizontales será similar a la diferencia entre las fases verticales ($\pm 30^\circ$). Así mismo, en caso de que predomine el desequilibrio, una diferencia de fase de 90° aprox. resultará entre las lecturas horizontal y vertical de cada apoyo ($\pm 40^\circ$).
ROTOR EXCÉNTRICO			<p>La excentricidad ocurre cuando el centro de rotación está fuera de la línea central geométrica de una polea, un engrane, un rodamiento, una armadura del motor, etc. La vibración mayor ocurre en 1X RPM del componente excéntrico en una dirección a través de las líneas centrales de los dos rotores. Las lecturas comparativas de fase horizontal y vertical por lo general difieren en 0° o en 180° (cada una de las cuales indica un movimiento rectilíneo). Con frecuencia, el intentar equilibrar los rotores excéntricos dará como resultado una reducción en la vibración en una dirección radial, pero incrementa la vibración en la otra dirección radial (dependiendo de la cantidad de excentricidad)</p>
EJES FLEXIONADOS			<p>Los problemas relacionados ejes flexionados causan una vibración axial alta con diferencias de fase axial con tendencia hacia los 180° en el mismo componente de la máquina. La vibración dominante por lo general ocurre en 1X si la flexión está cerca del centro del eje, pero en 2X en caso de que la flexión esté cerca del acoplamiento. (Asegúrese de compensar las fases axiales en caso de que se haya invertido la dirección del sensor). Utilice indicadores de carátula para confirmar la flexión del eje</p>
DESALINEACIÓN A. DESALINEACIÓN ANGULAR			<p>La Desalineación Angular se caracteriza por una vibración axial alta, 180° fuera de fase a través del acoplamiento. Tendrá una vibración axial alta tanto en 1X como en 2X RPM. Sin embargo, no es inusual que 1X, 2X ó 3X dominen. Estos síntomas también pueden indicar problemas de acoplamiento. Una desalineación angular severa puede presentar muchas armónicas de 1X RPM. A diferencia de la Holgura Mecánica del Tipo 3, estas armónicas múltiples no cuentan con un piso de ruido elevado en los espectros.</p>
B. DESALINEACIÓN PARALELA			<p>La Desalineación Paralela tiene características de vibración similares a la desalineación angular, pero presenta una vibración radial alta que se aproxima a 180° fuera de fase a través del acoplamiento. Frecuentemente 2X es mayor que 1X, pero su altura relativa</p>

			<p>a 1X la impone el tipo de acoplamiento. Cuando la desalineación angular o Radial es severa, pueden generar picos de amplitud altos en armónicas mucho más altas (4X - 8X), o incluso toda una serie de armónicas de alta frecuencia similares en apariencia a la holgura mecánica. El tipo de acoplamiento y el material con frecuencia influyen enormemente en el espectro total cuando la desalineación es severa. Generalmente no presenta piso de ruido elevado</p>
<p>C. RODAMIENTO DESALINEADO INCLINADO EN EL EJE</p>			<p>El Rodamiento Inclinado generará una vibración axial considerable. Causará un movimiento torcido con un cambio de fase de aprox. 180° entre la parte superior e inferior, izquierda y derecha de la caja que soporta el rodamiento. El tratar de alinear el acoplamiento o equilibrar el rotor no solucionará el problema. Por lo general se debe retirar el rodamiento e instalarse correctamente</p>
<p>RESONANCIA</p>			<p>La resonancia ocurre cuando una Frecuencia de Oscilación Forzada coincide con la Frecuencia Natural del Sistema, y puede causar una drástica amplificación en la amplitud que puede resultar en un daño prematuro, o incluso catastrófico. Puede excitarse la frecuencia natural del rotor, pero puede originarse frecuentemente en la base, en el cimientto, en la caja de engranes o incluso en las correas (bandas) de poleas. Si un rotor se encuentre en resonancia o cerca de ella, puede ser casi imposible que se pueda lograr un equilibrado debido al cambio importante de fase que experimenta (90° en resonancia; casi 180° cuando pasa a través). Con frecuencia se requiere que la frecuencia natural cambie a una frecuencia más alta o más baja. Las frecuencias naturales generalmente no se alteran con cambios en velocidades de giro, lo cual facilita su identificación (con excepción de aquellos equipos con un cantilibre significativo).</p>
<p>HOLGURA MECÁNICA</p>	 <p>Observe el piso de ruido elevado que indica la holgura</p>		<p>La Holgura Mecánica se indica a través de un espectro de vibración de Tipo A, B o C.</p> <p>El Tipo A se debe a una holgura/fragilidad Estructural de las bases de la máquina, de la placa base o del cimientto; también se debe a un mortero deteriorado, a pernos de sujeción sueltos en la base; y a la distorsión del armazón o de la base (i.e. pata suave). El análisis de fase puede revelar una diferencia de fase de aprox.</p>

		<p>90° a 180° entre las lecturas verticales en el perno, en la base de la máquina, en la placa base y en la base en sí.</p> <p>El Tipo B por lo general se debe a pernos de soporte flojos, a fracturas en la estructura del armazón o en el pedestal del rodamiento.</p> <p>El Tipo C normalmente se genera a causa de un ajuste inadecuado entre las partes componentes originando muchas armónicas debido a la respuesta no lineal de las partes sueltas a las fuerzas dinámicas del rotor. Causa un truncamiento de la forma de onda y un piso de ruido mayor en el espectro. Con frecuencia el Tipo C se debe a que el aro exterior del rodamiento está flojo en su tapa, a un rodamiento suelto y que da vueltas en su eje, a un claro excesivo en cojinetes planos y rodamientos, o por un impulsor suelto en su eje, etc. Con frecuencia la Fase del Tipo C es inestable y puede variar entre lectura y lectura, sobre todo, si el rotor cambia de posición en el eje de un arranque a otro. A menudo, la Holgura Mecánica es altamente direccional y puede provocar lecturas notablemente diferentes si se comparan los niveles en incrementos de 30° en dirección radial en toda la caja del rodamiento. Además, tenga en cuenta que la holgura con frecuencia provoca múltiples subarmónicas a exactamente $\frac{1}{2}$ ó $\frac{1}{3}$ RPM (.5X, 1.5X, 2.5X, etc.).</p>
<p>ROZAMIENTOS DEL ROTOR</p>	 <p style="text-align: center;">RADIAL</p>	<p>Un rozamiento del rotor produce un espectro similar al de la Holgura Mecánica cuando las partes rotativas tocan los componentes estacionarios. El contacto puede ser parcial o a lo largo de toda la revolución del eje. Normalmente se genera una serie de frecuencias, que por lo general excitan una o más resonancias. Con frecuencia excitan subarmónicas de 1X (1/2, 1/3, 1/4, 1/5, 1/n), dependiendo de la ubicación de las frecuencias naturales del rotor. El rozamiento puede excitar muchas altas frecuencias (similar al ruido de banda ancha cuando un gis se pasa por el pizarrón). Puede ser muy serio y de corta duración si se debe a un eje que toca el metal babbit del cojinete plano. En el caso de cojinetes planos el problema se puede convertir en severo cuando se presenta rozamiento en toda la periferia del cojinete y el rotor se encuentra vibrando a la frecuencia de latigüe de aceite</p>  <p style="text-align: center;">ONDA APLANADA TRUNCADA</p>

<p>COJINETES PLANOS</p> <p>A. PROBLEMAS DE DESGASTE/HOLGURAS</p>		<p>Las últimas etapas de desgaste de los cojinetes planos por lo general se evidencian por la presencia de series completas de armónicas de la velocidad de giro (hasta 10 ó 20). A menudo los cojinetes planos soldados permiten amplitudes verticales altas en comparación con las horizontales, pero pueden mostrar sólo un pico pronunciado en 1X RPM. Los cojinetes planos con holguras excesivas tendrán mayores niveles de vibración cuando se presenta un desequilibrio o desalineamiento. Estos niveles serán menores cuando las holguras entre eje y carcasa se encuentran dentro de las especificaciones.</p>
<p>B. INESTABILIDAD POR REMOLINO DE ACEITE</p>		<p>La inestabilidad del Remolino de Aceite ocurre a .40 - .48X RPM y con frecuencia es muy severo. Se considera excesivo cuando la amplitud excede el 40% de los espacios de los cojinetes. El Remolino de Aceite es una vibración excitada de película de aceite en donde las desviaciones en condiciones de operación normales (ángulo y proporción de excentricidad) causan que la cuña de aceite “empuje” al eje dentro del cojinete. La fuerza desestabilizadora en dirección de la rotación resulta en un remolino (o en una precesión hacia adelante). El remolino de Aceite es inestable ya que incrementa las fuerzas centrífugas que aumentan las fuerzas del remolino. Pueden hacer que el aceite ya no soporte al eje y se vuelva inestable cuando la frecuencia del remolino coincide con la frecuencia natural del rotor. Los cambios en la viscosidad del aceite, la presión de la lubricación y las precargas externas pueden afectar el remolino de aceite</p>
<p>C. INESTABILIDAD DE LATIGUEO DE ACEITE</p>	 <p>Un mapa espectral que muestra un remolino de aceite convertirse inestabilidad del latiguo de aceite a medida que el eje alcanza sus 2x crítica</p>	<p>El Latiguo de Aceite puede ocurrir si la máquina opera en o por arriba de la frecuencia crítica de rotor 2X. Cuando al rotor se eleva a una velocidad del doble de la crítica, el remolino estará muy cerca del punto crítico del rotor y puede ocasionar una vibración excesiva por lo que la película de aceite ya no será capaz de soportar. De hecho, la velocidad del remolino “se cerrará” en el punto crítico del rotor y este pico no pasará a través, aunque a la máquina se lleve a velocidades más y más altas</p>
<p>RODAMIENTOS</p> <p>(4 Etapas de daño)</p>	<p>ETAPA 1: Las primeras indicaciones de problemas en los rodamientos aparecen en las frecuencias ultrasónicas que oscilan entre 250,000 - 350,000 Hz; luego, a medida que se incrementa el desgaste, cae a</p>	

f_n = Frecuencias Naturales de Los Componentes y de la Estructura de Soporte del Rodamiento Instalado.

FRECUENCIAS DE DEFECTO DEL COJINETE:

$$BPFI = \frac{N_b}{2} \left(1 + \frac{B_d}{P_d} \cos\theta \right) \times \text{RPM}$$

$$BPFO = \frac{N_b}{2} \left(1 - \frac{B_d}{P_d} \cos\theta \right) \times \text{RPM}$$

$$BSF = \frac{P_d}{2B_d} \left(1 - \left(\frac{B_d}{P_d} \right)^2 (\cos\theta)^2 \right) \times \text{RPM}$$

$$FTF = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{B_d}{P_d} \cos\theta \right) \times \text{RPM}$$

Donde:

BPFI = Frecuencia de la Pista Interna

BPFO = Frecuencia de la Pista Externa

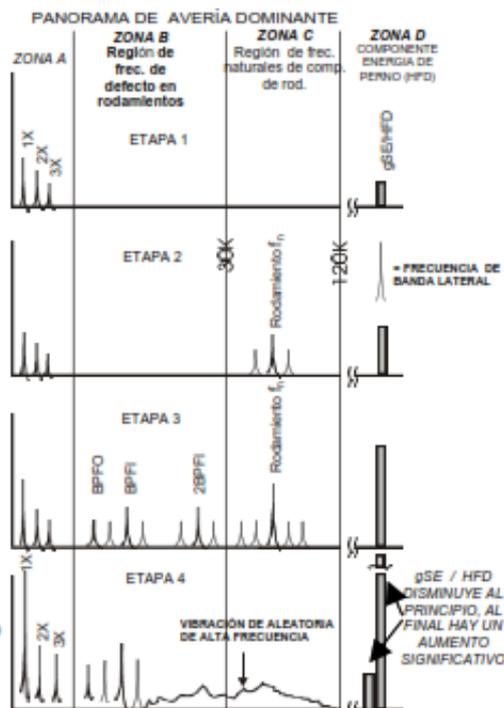
BSF = Frecuencia de Giro de Bola / Rodillo

FTF = Frec. Fundamental de la Jaula.

N_b = Número de Bolas o Rodillos

B_d = Diámetro de Bola / Rodillo (pulg. o mm)

θ = Ángulo de Contacto (grados)



aproximadamente 20,000 - 60,000 Hz (1,200,000 - 3,600,000 CPM). Éstas son frecuencias evaluadas por el filtro Spike Energy (gSE), por HFD(g) y por el Pulso de Choque (dB). Por ejemplo, la energía de Spike Energy puede aparecer por primera vez a aproximadamente .25 gSE en la Etapa 1 (el valor real depende de la ubicación de la lectura y de la velocidad de giro de la máquina). La adquisición de espectros envolventes de alta frecuencia confirma si el cojinete se encuentra o no en la Etapa 1 de Daño.

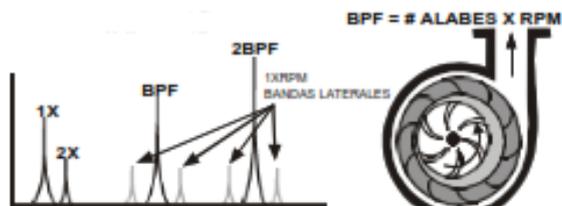
ETAPA 2: Los defectos ligeros del rodamiento comienzan a “excitar” las frecuencias naturales (f_n) de sus componentes, que generalmente ocurren en un rango de 30K - 120K CPM. Dichas frecuencias naturales también pueden ser resonancias de las estructuras de apoyo del rodamiento. Las frecuencias de bandas laterales aparecen arriba y abajo del pico de frecuencia natural al final de la Etapa 2. La energía Spike Energy crece (por ejemplo, de .25 a .50 gSE).

ETAPA 3: Aparecen armónicas y frecuencias de defectos del rodamiento. A medida que el desgaste progresa, aparecen más armónicas de frecuencias de defecto y el número de bandas laterales crecen, tanto alrededor de éstas y de las frecuencias naturales del componente del cojinete. La energía Spike Energy continúa incrementándose (por ejemplo, de .5 a más de 1 gSE). En esta etapa por lo general el desgaste es visible y se puede extender a toda la periferia del cojinete, sobre todo cuando varias bandas laterales bien formadas acompañan a las armónicas de frecuencias de defecto del rodamiento. Los espectros demodulados de alta frecuencia y envolventes ayudan a confirmar la Etapa III. **¡Reemplace los rodamientos ahora! (independientemente de las amplitudes de frecuencia defectuosas del rodamiento en los espectros de vibración).**

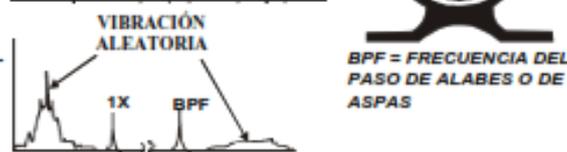
ETAPA 4: Hacia el final, incluso se afecta la amplitud 1X RPM. Crece, y normalmente causa el crecimiento de muchas armónicas de 1X. Las frecuencias naturales discretas de rodamientos y de componentes comienzan a “desaparecer” y se reemplazan con “piso de ruido” de alta frecuencia, de banda ancha y aleatorio. Además, las amplitudes tanto del piso de ruido de alta frecuencia y de Spike

FUERZAS HIDRÁULICAS Y AERODINÁMICAS

**A. PASO DE ALABES/
PASO DE ASPAS**



**B. TURBULENCIA DEL
FLUJO**



C. CAVITACIÓN

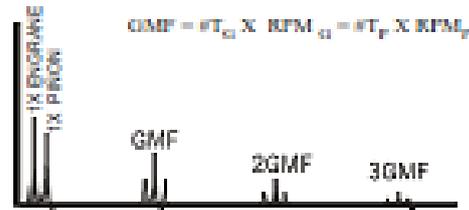


Energy pueden en efecto disminuir; sin embargo, justo previo al paro catastrófico, la energía Spike Energy y HFD por lo general crecen a amplitudes excesivas.

Frecuencia de Paso de Alabes (BPF por sus siglas en inglés) = Núm. de Alabes (o Aspas) X RPM. Esta frecuencia es inherente en bombas, ventiladores y compresores y por lo general no presenta problemas. Sin embargo, un BPF de amplitud grande (y armónicas) puede generarse en una bomba en caso de que el espacio entre los álabes y los difusores estacionarios no sea igual en toda la periferia. Además, el BPF (o armónicas) puede coincidir algunas veces con una frecuencia natural del sistema causando alta vibración. El BPF alto puede generarse en caso de que el anillo de desgaste del impulsor se atore en el eje, o en caso de que fallen las soldaduras de los difusores. Así mismo, el BPF alto puede deberse a doblamientos abruptos en la tubería (o en el ducto), a obstrucciones que interrumpen el flujo, a los ajustes del amortiguador o si la bomba o el rotor del abanico se posicionan de forma excéntrica dentro de la caja. Con frecuencia la turbulencia del flujo ocurre en los sopladores debido a variaciones en la presión o en la velocidad del aire que pasa a través del abanico o de los ductos conectados. Este trastorno de flujo causa una turbulencia que generará una vibración de baja frecuencia aleatoria, típicamente en el rango de 50 a 2000 CPM. En caso de que ocurra una sacudida dentro del compresor, puede haber una vibración de alta frecuencia de banda ancha aleatoria. La turbulencia excesiva también puede generar alta frecuencia en la banda ancha. La cavitación normalmente genera una energía de banda ancha de frecuencia más alta y aleatoria que algunas veces se superpone con las armónicas de frecuencia de paso de álabes. Por lo general, indica presión insuficiente de succión. La cavitación puede ser destructiva en la parte interna de la bomba si no se corrige. Puede dañar en especial a los álabes del impulsor. Cuando está presente, con frecuencia se oye como si pasara “arena” a través de la bomba. Por lo general, la cavitación se debe a un flujo interno insuficiente. Puede ocurrir durante una inspección y desaparecer en la siguiente inspección (si se hacen cambios en los ajustes de la válvula de succión.)

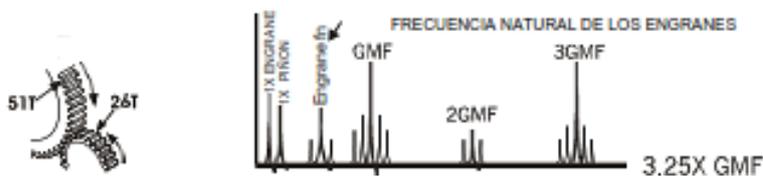
ENGRANES.

A. Espectro normal



El Espectro Normal muestra las Velocidades del Engrane y del Piñón junto con la Frecuencia de engranaje de Engranajes (GMF) y armónicas de GMF muy pequeñas. Las armónicas GMF cuentan por lo general con bandas laterales de velocidad de giro a su alrededor. Todos los picos son de amplitud baja, y no se alteran las frecuencias naturales de los engranes. Se recomienda FMAX en 3.25X GMF (mínimo) cuando se conoce el número de dientes. Si no se conoce el número de dientes, fije el FMAX en 200X RPM en cada eje

B. Desgaste del diente



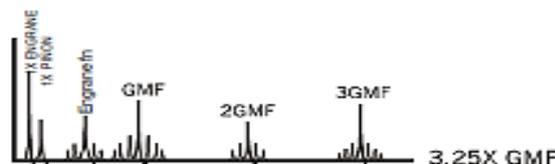
El indicador clave del Desgaste del Diente es la excitación de la Frecuencia Natural del Engrane (fn), junto con las bandas laterales alrededor de ésta, espaciadas en la velocidad de giro del engrane defectuoso. La Frecuencia de Engranaje (GMF) puede o no cambiar la amplitud, aunque las bandas laterales de amplitud alta y el número de bandas laterales que rodean el GMF por lo general ocurren cuando se nota el desgaste. Las bandas laterales pueden ser un mejor indicador del desgaste, que las frecuencias GMF en sí. Además, las altas amplitudes ocurren por lo general en 2XGMF o en 3XGMF (especialmente en 3XGMF), aun cuando la amplitud GMF sea aceptable

C. Carga del diente

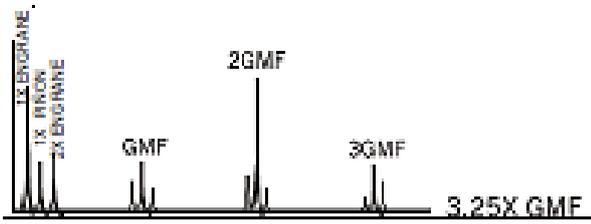
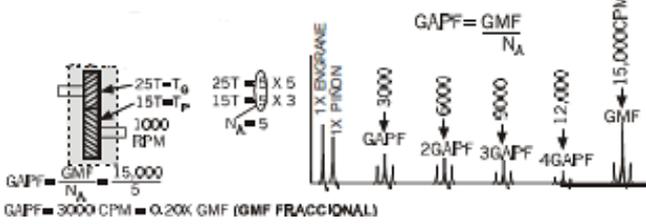


Normalmente las Frecuencias de Engranaje son muy sensibles a la carga. Las altas amplitudes GMF no necesariamente indican un problema, sobre todo si las amplitudes de las bandas lateral permanecen en un nivel bajo, y no se excitan las frecuencias naturales del engrane. Cada análisis debe realizarse a máxima carga para poder tener espectros comparativos en un programa de monitoreo

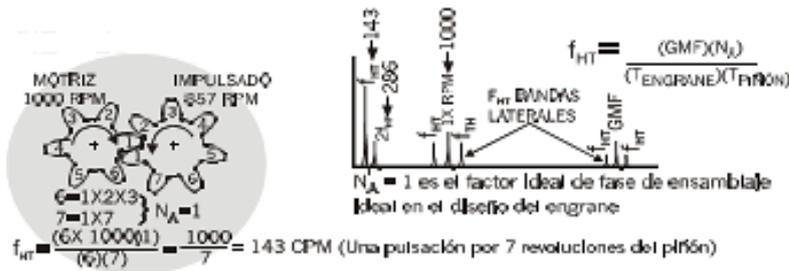
D. Excentricidad del engrane y backlash



Las bandas laterales de amplitud relativamente alta alrededor de las armónicas GMF normalmente sugieren una excentricidad de engranes, un backlash inapropiado, o ejes no paralelos que permiten que la rotación de un eje “module” la amplitud GMF o la velocidad de giro del otro engrane. Se puede diferenciar el engrane defectuoso por el espaciado de las frecuencias de las bandas laterales. Además, el nivel 1XRPM del engrane excéntrico por lo general será alto si la excentricidad es el problema principal. Normalmente, el backlash inapropiado excita a la armónica GMF y a la Frecuencia Natural del Engrane, ambas tendrán bandas laterales de 1X RPM.

	<p>En el caso de backlash inapropiado, las amplitudes disminuirán al incrementar la carga del sistema.</p>
<p>E. Desalineación del engrane</p> 	<p>La Desalineación de Engranés casi siempre excita armónicas GMF de segundo orden o más altas, las cuales tienen bandas laterales de la velocidad de giro. Con frecuencia sólo muestra una amplitud pequeña de 1X GMF, pero niveles mucho más altos en 2X ó 3X GMF. Es importante fijar el FMAX lo suficientemente alto para capturar por lo menos una armónica de 3 GMF. Además, las bandas laterales alrededor de 2XGMF con frecuencia serán espaciadas a 2X RPM. Observe que las amplitudes de las bandas laterales no son iguales en los lados izquierdo y derecho del GMF y de las armónicas GMF debido a la desalineación del diente. Causa un patrón de desgaste disparado.</p>
<p>F. Diente estrellado/roto</p> 	<p>Un Diente Quebrado o Agrietado generará una alta amplitud en 1X RPM en este engrane únicamente en la forma de onda, además de que excitará la frecuencia natural del engrane mostrando bandas laterales de 1X. Se detecta mejor en la forma de onda que mostrará un pico pronunciado cada vez que el diente con el problema haga contacto con los dientes en el engrane complementario. El tiempo entre los impactos (D) corresponderá a 1/RPM de un engrane con problemas. Las amplitudes de los Picos de Impacto en la forma de onda serán normalmente 10 a 20 veces ¡más altas que aquéllas a 1X RPM en el espectro!</p>
<p>G. Problemas de fase en el ensamble del engrane</p> 	<p>La Frecuencia de Fase del Ensamble del Engrane (GAPF) puede resultar en Frecuencias de engranaje fraccionales (si $N_A > 1$). Literalmente significa que el diente de engrane (T_G/N_A) contactará a los dientes del piñón (T_P/N_A) y generará patrones de desgaste N_A, donde N_A en una combinación de diente dada equivale al producto de los factores primos comunes al número de dientes en el engrane y en el piñón ($N_A =$ Factor de Fase de Ensamblaje). GAPF (o armónicas) pueden aparecer desde el principio si existieron problemas de manufactura. Además, su aparición repentina en un espectro de monitoreo periódico puede indicar un daño en caso de que las partículas contaminantes pasen a través del endentado, resultando en un daño a los dientes de ambos engranes por los cuales pasó la partícula.</p>

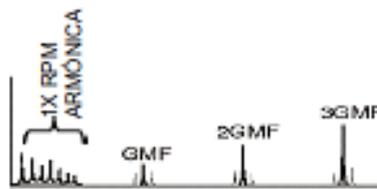
H. Frecuencia de encuentro de dientes



La Frecuencia de Encuentro de Dientes (fHT) ocurre cuando se presentan daños tanto en el engrane como en el piñón, que pudieron haber ocurrido durante el proceso de manufactura debido al mal manejo, o en el campo. Puede causar una alta vibración, pero ya que esto ocurre en frecuencias bajas predominantemente menores a 600 CPM, por lo general se pasa por alto. Un juego de engranes con este problema repetitivo del diente normalmente emite un “ronquido”. El efecto máximo ocurre cuando los dientes dañados del piñón y del engrane se encuentran (en algunas transmisiones, esto puede ocurrir únicamente en 1 de cada 10 a 20 revoluciones, dependiendo de la fórmula fHT). Observe que TENGANE y TPIÑÓN se refieren al número de dientes en el engrane y el piñón respectivamente. NA es el Factor de Fase de Ensamble definido anteriormente. Con frecuencia modulará los picos del GMF y RPM del Engrane.

ENGRANES (CONTINUACIÓN)

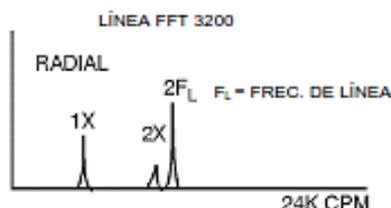
1. AJUSTE HOLGADO DEL COJINETE



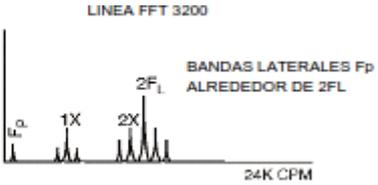
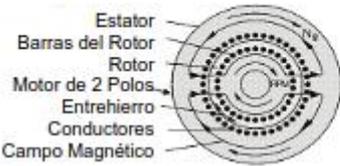
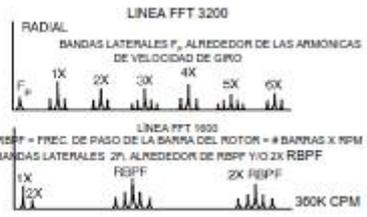
El huelgo excesivo de los rodamientos que sostienen los engranes no únicamente pueden excitar las armónicas de velocidad de giro, sino que a menudo también causará una respuesta de amplitud alta en GMF, 2GMF y/o 3GMF. En realidad, estas amplitudes altas en GMF, responden a, y no son la causa de, la holgura dentro de los rodamientos que sostienen a los engranes. Este huelgo excesivo puede ser causa de un desgaste mayor en los rodamientos o por un ajuste inapropiado de un cojinete plano durante la instalación. Si no se corrige, puede causar un desgaste excesivo en los engranes y dañar otros componentes

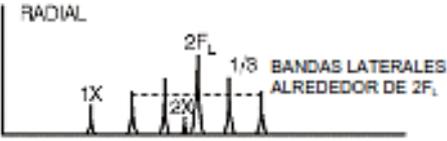
MOTORES DE INDUCCIÓN AC

A. EXCENRICIDAD DEL ESTATOR, LAMINACIÓN EN CORTOCIRCUITO O ESTATOR SUELTO



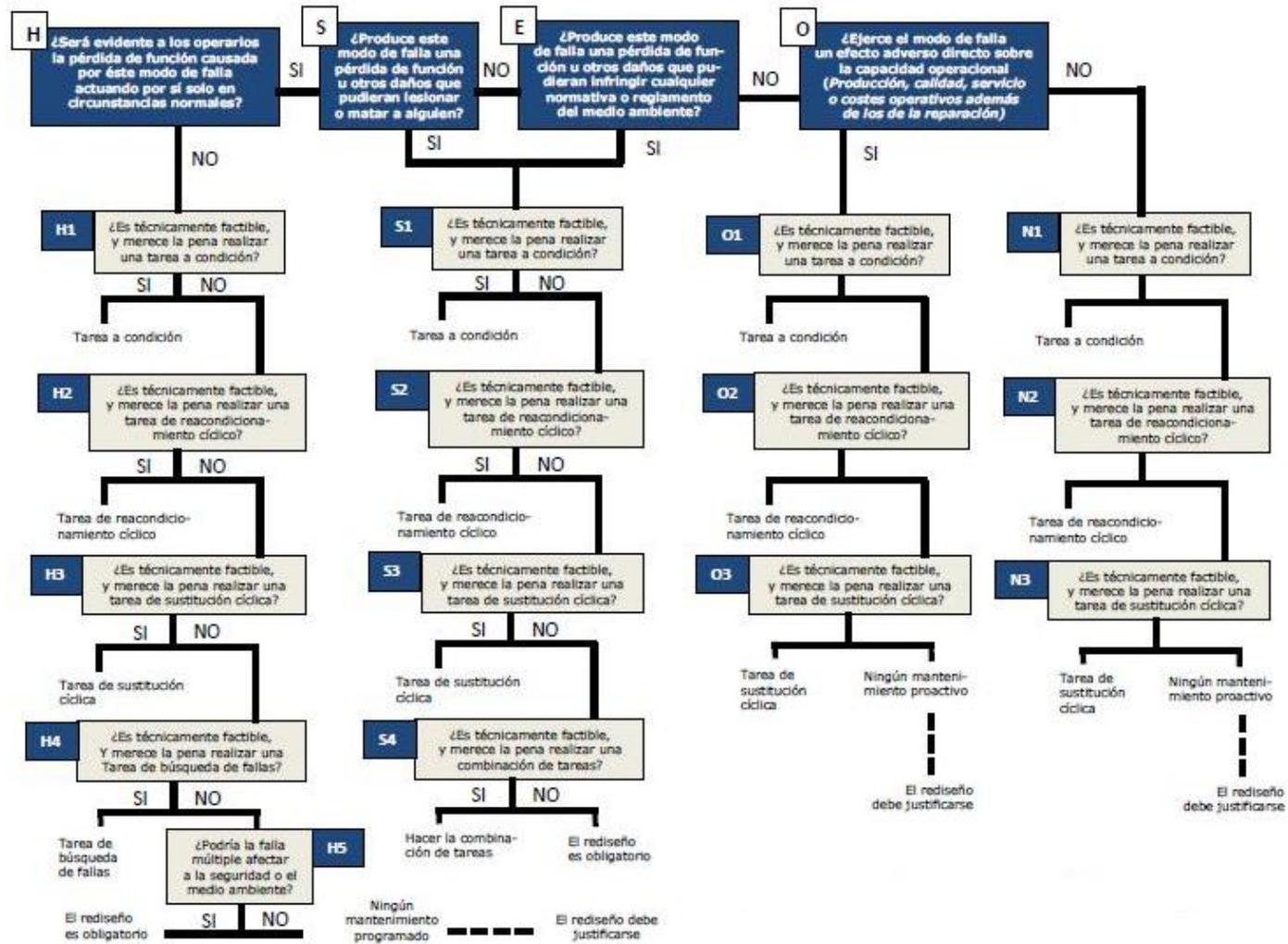
Los problemas en el estator generan una alta vibración a 2X la frecuencia de la línea eléctrica (2FL). La excentricidad del estator produce un entrehierro irregular estacionario entre el rotor y el estator, lo cual produce una vibración muy direccional. El entrehierro no debe exceder más del 5% para motores de inducción y el 10% para motores sincrónicos. Las patas suaves y las bases torcidas pueden dar como resultado un estator excéntrico. El estator suelto a su carcasa se debe a una holgura o debilidad en el soporte del estator. Las laminaciones del estator con cortocircuito pueden causar un calentamiento irregular, el cual puede distorsionar al estator en sí. Esto

		<p>produce una vibración inducida por efectos térmicos que puede incrementarse significativamente con el tiempo de operación, causando una distorsión en el estator y problemas en el entrehierro</p>
<p>B. ROTOR EXCÉNTRICO (Entrehierro variable giratorio)</p> <div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> <div style="margin-right: 20px;"> <p>F_L = Frec. de línea eléctrica N_s = Velocidad síncrona = 120 FL / P F_s = Frec. de deslizamiento = $N_s - \text{RPM}$ F_p = Frec. del paso de polos = $F_s \times P$ P = # de Polos</p> </div>  </div>		<p>El rotor excéntrico produce un entrehierro variable entre el rotor y el estator, lo cual produce una vibración pulsante (normalmente entre 2FL y la armónica de velocidad de giro más cercana). Por lo regular se requiere un espectro de “zoom” para separar 2FL y la armónica de velocidad de giro. Los rotores excéntricos generan 2FL, rodeados por bandas laterales de frecuencia de Paso de Polos (F_p), así como por bandas laterales de F_p que se encuentran alrededor de la velocidad de giro. F_p aparece por sí misma a una frecuencia baja (Frecuencia de Paso de Polo = Frecuencia de Deslizamiento X # de Polos). Los valores comunes de F_p oscilan entre 20 y 120 CPM (0.3 - 2.0 Hz). Una pata suave o un desalineamiento provoca a menudo un entrehierro variable debido flexiones mecánicas (de hecho, es un problema mecánico; no eléctrico).</p>
<p>C. PROBLEMAS EN EL ROTOR</p> <div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> <div style="margin-right: 20px;">  </div> <div>  </div> </div>		<p>Las barras del rotor Rotas o agrietadas o anillos de corto circuito rotos o agrietados; uniones en mal estado entre las barras del rotor y los anillos de cortocircuito; o laminaciones del rotor en cortocircuito, producirán una alta vibración de velocidad de giro en 1X con bandas laterales de frecuencia del paso de polos (F_p). Además, estos problemas a menudo generarán que las bandas laterales F_p estén alrededor de la segunda, tercera, cuarta y quinta armónica de velocidad de giro. Las barras del rotor abiertas o sueltas se indican mediante bandas laterales de frecuencia de línea 2X (2FL) que rodean la frecuencia de paso de las barras del rotor (RBPF) y/o su armónica (RBPF = número de barras X RPM). A menudo causará niveles altos en 2X RBPF, con sólo una pequeña amplitud en 1X RBPF. La producción de chispas eléctricamente inducidas entre las barras sueltas del rotor y los anillos de sujeción mostrarán niveles altos en 2X RBPF (con bandas laterales 2FL); pero sin incremento o con un incremento muy pequeño en las amplitudes de 1X RBPF</p>

<p>D. PROBLEMAS DE FASE (Conector suelto)</p>		<p>Los problemas de fase debido a conectores sueltos o rotos pueden causar una vibración excesiva en la frecuencia de línea de 2X (2FL), la cual presentará bandas laterales alrededor de ésta, con un espaciado de 1/3 de la frecuencia de línea (1/3 FL). Los niveles en 2FL pueden exceder 1.0 pulg/seg. Si no se corrigen. Éste es un problema en particular si el conector defectuoso sólo hace un contacto esporádico. Los conectores sueltos o partidos se deben reparar para prevenir un daño mayor</p>
<p>DESALINEAMIENTO DE BANDAS / POLEAS</p>		<p>El desalineamiento de las poleas produce una alta vibración en 1X RPM, sobre todo en la dirección axial. La proporción de amplitudes entre los equipos motriz y conducido dependerá del lugar donde se tomaron las lecturas, así como de la masa y rigidez de las estructuras. A menudo con el desalineamiento de las poleas, la vibración axial más alta en el motor estará en las RPM del abanico o viceversa. Se puede confirmar midiendo la fase con el filtro a las RPM de la polea con mayor nivel de vibración axial, y enseguida comparando las lecturas axiales en cada rotor.</p>
<p>POLEAS EXCÉNTRICAS</p>		<p>Las poleas excéntricas causan una alta vibración en 1X RPM de la polea excéntrica. Normalmente la amplitud es más alta cuando está en línea con las bandas y se debe presentar tanto en los apoyos del equipo motriz como en el conducido. En ocasiones es posible equilibrar las poleas excéntricas, al colocar arandelas en los pernos de seguridad. No obstante, aunque se equilibren, la excentricidad provocará una vibración y tensiones de fatiga reversibles en la banda. La excentricidad de la polea se puede confirmar con un análisis de fase en donde se muestren diferencias en la fase vertical y horizontal de casi 0° a 180°</p>
<p>RESONANCIA DE LA BANDA</p>		<p>La Resonancia de la Banda puede causar amplitudes altas si la frecuencia natural de la banda se acerca, o coincide con el las RPM's de los equipos motriz o conducido. La Frecuencia Natural de la Banda se puede alterar al cambiar la tensión de la misma, la longitud de la banda o la sección transversal. La frecuencia natural se puede medir con el método de prueba de impacto con el equipo fuera de operación. Sin embargo, cuando se encuentra en operación, la</p>

	Frecuencia Natural de la Banda tiende a ser ligeramente más alta en la parte más tensada y a ser más baja en la parte más holgada
--	---

ANEXO B: Diagrama de Decisión



ANEXO C: Fichas Técnicas

Grupo generador 1

Turbina

	Nombre	Turbina	
	Nivel Taxonómico	7 Según Norma ISO 14224	
	Tipo	Pélton de eje horizontal	
	Código	CLP-SG01-GE01-T01	
Características			
Marca	No Disponible		
Tipo de material	Acero con protección anticorrosiva (cromo)	Número de álabes	32
Peso	700kg	Origen	Estados Unidos

Volante de Inercia

	Nombre	Volante de inercia	
	Nivel Taxonómico	7 Según Norma ISO 14224	
	Tipo	No Disponible	
	Código	CLP-SG01-GE01-VI01	
Características			
Marca	No Disponible		
Tipo de material	Acero	Dimensiones	2m de diámetro x 0,15m de espesor
Peso	900 kg	Origen	Estados Unidos

Excitatriz

	Nombre		Excitatriz
	Nivel Taxonómico		7 Según Norma ISO 14224
	Tipo		Corriente Continua
	Código		CLP-SG01-GE01-E01
CARACTERÍSTICAS			
MARCA	GENERAL ELECTRIC		
MODELO	16G395	FRAME	10
TIPO	EF	FORMA	EB
CORRIENTE	60 A	VELOCIDAD	1200 RPM
VOLTAJE SIN CARGA	0	VOLTAJE A PLENA CARGA	125 V
POTENCIA	7.5 kW	TEMPERATURA DE TRABAJO	40°C
NUMERO DE SERIE	1758494	PROCEDENCIA	USA

Generador

	Nombre		Generador Eléctrico
	Nivel Taxonómico		7 Según Norma ISO 14224
	Tipo		Sincrónico
	Código		CLP-SG01-GE01-MA01
CARACTERÍSTICAS			
MARCA	GENERAL ELECTRIC		
PROCEDENCIA	USA	VELOCIDAD	1200 RPM
MODELO	GEH-709G	FORMA	AL
TIPO	ATB	VOLTAJE	6900V
POTENCIA REACTIVA	625kVA	CORRIENTE DE LA ARMADURA	52.3 A
FACTOR DE POTENCIA	0,8	POTENCIA	500kW
NUMERO DE FASES	3	CABALLOS DE VAPOR (CV)	60
VOLTAJE DE EXCITACIÓN	125V	CORRIENTE A PLENA CARGA	36 A
CONT	N/A	FRAME	N/A
POTENCIA REACTIVA	625kVA	TEMPERATURA DE TRABAJO	50°C

TEMPERATURA DE TRABAJO EN LA ARMADURA	80°C	NUMERO DE SERIE	5607040
--	------	------------------------	---------

Grupo generador 2

Turbina

	Nombre	Turbina	
	Nivel Taxonómico	7 Según Norma ISO 14224	
	Tipo	Pélton de eje horizontal	
	Código	CLP-SG01-GE01-T02	
Características			
Marca	No Disponible		
Tipo de material	Acero con protección anticorrosiva (cromo)	Número de álabes	32
Peso	700kg	Origen	Estados Unidos

Volante de Inercia

	Nombre	Volante de inercia	
	Nivel Taxonómico	7 Según Norma ISO 14224	
	Tipo	No Disponible	
	Código	CLP-SG01-GE01-VI02	
Características			
Marca	No Disponible		
Tipo de material	Acero	Dimensiones	2m de diámetro x 0,15m de espesor
Peso	900 kg	Origen	Estados Unidos

Excitatriz

	Nombre		Excitatriz
	Nivel Taxonómico		7 Según Norma ISO 14224
	Tipo		Corriente Continua
	Código		CLP-SG01-GE01-E02
CARACTERÍSTICAS			
MARCA	GENERAL ELECTRIC		
MODELO	16G395	FRAME	10
TIPO	EF	FORMA	EB
CORRIENTE	60 A	VELOCIDAD	1200 RPM
VOLTAJE SIN CARGA	0	VOLTAJE A PLENA CARGA	125 V
POTENCIA	7.5 kW	TEMPERATURA DE TRABAJO	40°C
NUMERO DE SERIE	1758494	PROCEDENCIA	USA

Generador

	Nombre		Generador Eléctrico
	Nivel Taxonómico		7 Según Norma ISO 14224
	Tipo		Sincrónico
	Código		CLP-SG01-GE01-MA02
CARACTERÍSTICAS			
MARCA	GENERAL ELECTRIC		
PROCEDENCIA	USA	VELOCIDAD	1200 RPM
MODELO	GEH-709G	FORMA	AL
TIPO	ATB	VOLTAJE	6900V
POTENCIA REACTIVA	625kVA	CORRIENTE DE LA ARMADURA	52.3 A
FACTOR DE POTENCIA	0,8	POTENCIA	500kW
NUMERO DE FASES	3	CABALLOS DE VAPOR (CV)	60

VOLTAJE DE EXCITACIÓN	125V	CORRIENTE A PLENA CARGA	36 A
CONT	N/A	FRAME	N/A
POTENCIA REACTIVA	625kVA	TEMPERATURA DE TRABAJO	50°C
TEMPERATURA DE TRABAJO EN LA ARMADURA	80°C	NUMERO DE SERIE	5607040

Grupo generador 3

Turbina

	Nombre	Turbina	
	Nivel Taxonómico	7 Según Norma ISO 14224	
	Tipo	Pélton de eje horizontal	
	Código	CLP-SG01-GE01-T03	
Características			
Marca	No Disponible		
Tipo de material	Acero con protección anticorrosiva (cromo)	Número de álabes	32
Peso	700kg	Origen	Estados Unidos

Volante de Inercia

	Nombre	Volante de inercia	
	Nivel Taxonómico	7 Según Norma ISO 14224	
	Tipo	No Disponible	
	Código	CLP-SG01-GE01-VI03	
Características			
Marca	No Disponible		
Tipo de material	Acero	Dimensiones	2m de diámetro x 0,15m de espesor
Peso	900 kg	Origen	Estados Unidos

Excitatriz

	Nombre		Excitatriz
	Nivel Taxonómico		7 Según Norma ISO 14224
	Tipo		Corriente Continua
	Código		CLP-SG01-GE01-E03
CARACTERÍSTICAS			
MARCA	GENERAL ELECTRIC		
MODELO	16G395	FRAME	10
TIPO	EF	FORMA	EB
CORRIENTE	60 A	VELOCIDAD	1200 RPM
VOLTAJE SIN CARGA	0	VOLTAJE A PLENA CARGA	125 V
POTENCIA	7.5 kW	TEMPERATURA DE TRABAJO	40°C
NUMERO DE SERIE	1758494	PROCEDENCIA	USA

Generador

	Nombre		Generador Eléctrico
	Nivel Taxonómico		7 Según Norma ISO 14224
	Tipo		Sincrónico
	Código		CLP-SG01-GE01-MA03
CARACTERÍSTICAS			
MARCA	GENERAL ELECTRIC		
PROCEDENCIA	USA	VELOCIDAD	1200 RPM
MODELO	GEH-709G	FORMA	AL
TIPO	ATB	VOLTAJE	6900V
POTENCIA REACTIVA	625kVA	CORRIENTE DE LA ARMADURA	52.3 A

FACTOR DE POTENCIA	0,8	POTENCIA	500kW
NUMERO DE FASES	3	CABALLOS DE VAPOR (CV)	60
VOLTAJE DE EXCITACIÓN	125V	CORRIENTE A PLENA CARGA	36 A
CONT	N/A	FRAME	N/A
POTENCIA REACTIVA	625kVA	TEMPERATURA DE TRABAJO	50°C
TEMPERATURA DE TRABAJO EN LA ARMADURA	80°C	NUMERO DE SERIE	5607040

Grupo generador 4

Turbina

	Nombre	Turbina	
	Nivel Taxonómico	7 Según Norma ISO 14224	
	Tipo	Pélton de eje horizontal	
	Código	CLP-SG01-GE01-T04	
Características			
Marca	No Disponible		
Tipo de material	Acero con protección anticorrosiva (cromo)	Número de álabes	32
Peso	900kg	Origen	Estados Unidos

Volante de Inercia

	Nombre	Volante de inercia	
	Nivel Taxonómico	7 Según Norma ISO 14224	
	Tipo	No Disponible	
	Código	CLP-SG01-GE01-VI04	
Características			
Marca	No Disponible		
Tipo de material	Acero	Dimensiones	2m de diámetro x 0,15m de espesor

Peso	1200 kg	Origen	Estados Unidos
-------------	---------	---------------	----------------

Excitatriz

	Nombre	Excitatriz	
	Nivel Taxonómico	7 Según Norma ISO 14224	
	Tipo	Corriente Continua	
	Código	CLP-SG01-GE01-E04	
CARACTERÍSTICAS			
MARCA	AEG		
MODELO	G-GEN 260/730	Cos φ	Cont/2min
TIPO	G 5138/6	EXC	67/80 V
CORRIENTE	6/10 A	VELOCIDAD	1660 RPM
POTENCIA	16/229 kW	TEMPERATURA DE TRABAJO	40°C
C.I de aislamiento	B	PROCEDENCIA	USA

Generador

	Nombre	Generador Eléctrico	
	Nivel Taxonómico	7 Según Norma ISO 14224	
	Tipo	Sincrónico	
	Código	CLP-SG01-GE01-MA04	
CARACTERÍSTICAS			
MARCA	AEG		
PROCEDENCIA	USA	VELOCIDAD	1660 RPM
MODELO	Trif Gen	FRECUENCIA	60 Hz
TIPO	S6668/8	VOLTAJE	6900V
POTENCIA REACTIVA	1785kVA	CORRIENTE DE LA ARMADURA	157 A

FACTOR DE POTENCIA	0,8	POTENCIA	1500kW
NUMERO DE FASES	3	C.I de aislamiento	B
VOLTAJE DE EXCITACIÓN	60V	CORRIENTE A PLENA CARGA	218 A
POTENCIA REACTIVA	625kVA	TEMPERATURA DE TRABAJO	50°C
TEMPERATURA DE TRABAJO EN LA ARMADURA	80°C	NUMERO DE SERIE	260/602

ANEXO D: Configuración del software Maintraq Predictive

Para poder realizar la toma de datos con el analizador de vibraciones lo primero que se debe hacer es crear una ruta de programación utilizando el software Maintraq Predictive y será para los dos grupos de generación como se detalla a continuación.

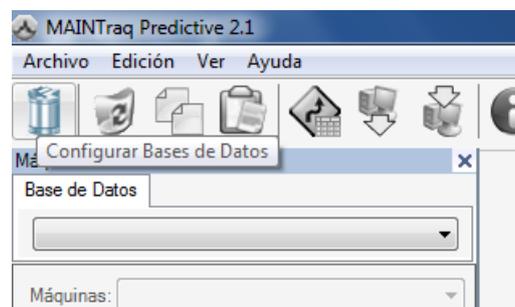
- Abrimos el software haciendo doble click sobre el icono



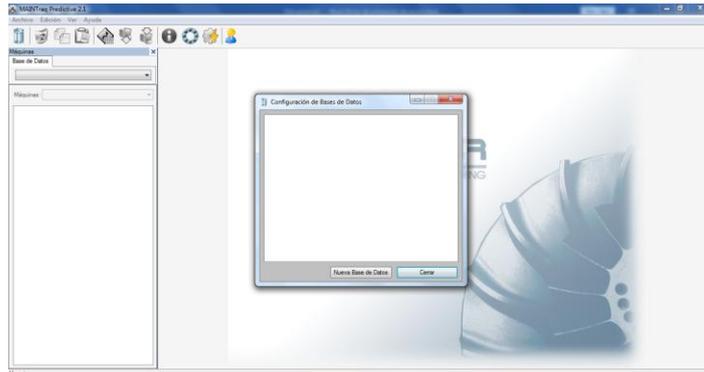
- Una vez hecho eso se abrirá una plataforma como se muestra en la figura.



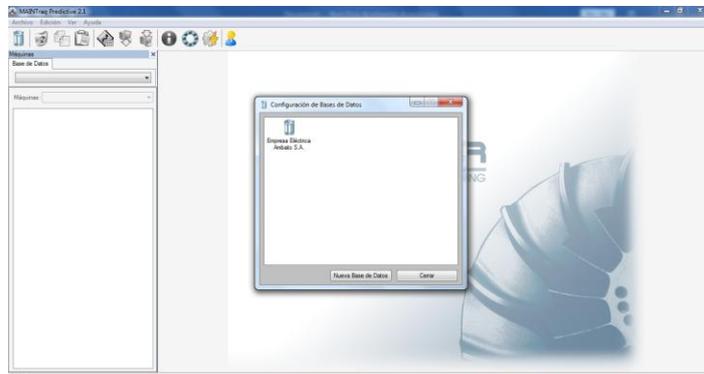
- Una vez abierta la plataforma nos dirigimos hacia el ícono que está ubicado en la parte superior izquierda se mostrará un recuadro que dice configurar base de datos como se muestra en la figura.



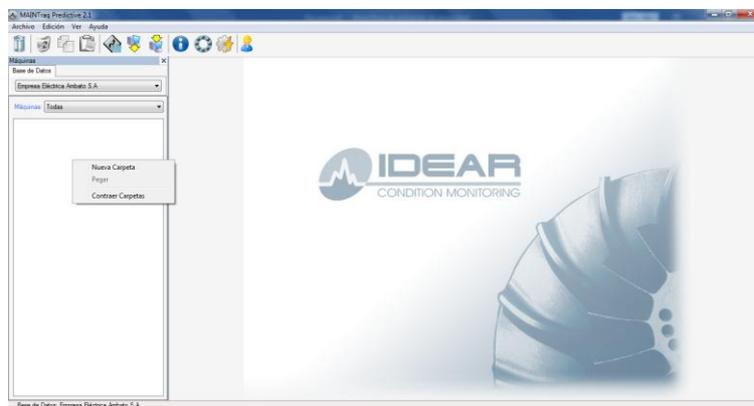
- Hacemos click en el ícono antes mencionado y nos mostrará un recuadro que dice configuración de base de datos como se muestra en la figura, en ese mismo recuadro en la parte inferior se encuentran dos recuadros uno dice nueva base de datos y el otro dice cerrar hacemos click en nueva base de datos.



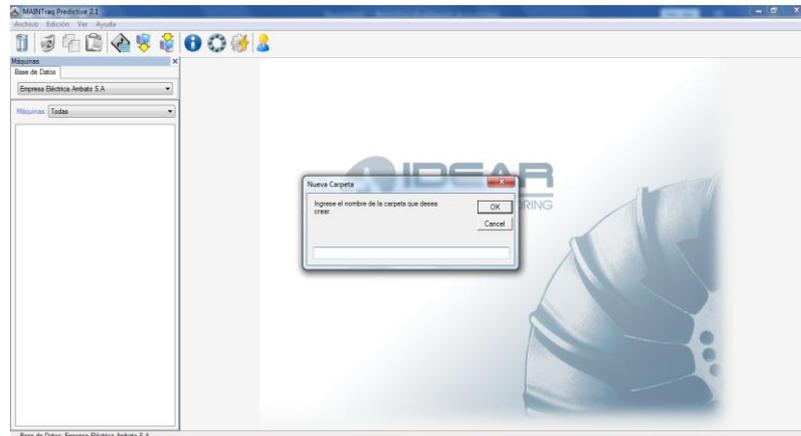
- Escribimos el nombre de la empresa donde se realizará la base de datos como se muestra en la figura, en este caso se trata de la Empresa Eléctrica Ambato S.A.



- A continuación, para continuar con la programación debemos crear una jerarquía de las máquinas existentes en la planta para ello hacemos click derecho en la región vacía de la izquierda como se muestra en la figura, mostrará un mensaje para crear carpetas y seleccionamos nueva carpeta.



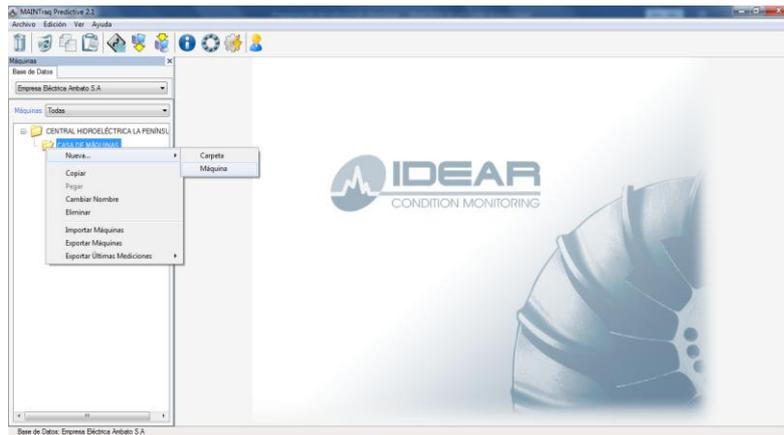
- Una vez hecho esto se mostrará un recuadro para poner el nombre de la carpeta que vamos a crear y la llamaremos Central Hidroeléctrica La Península como se muestra en la figura



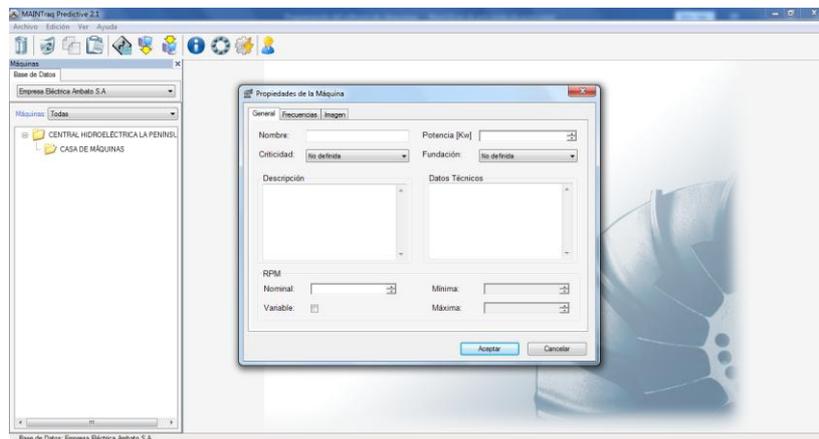
- Así mismo vamos a crear una subcarpeta a la que llamaremos casa de máquinas en este caso hacemos click derecho sobre la carpeta que creamos anteriormente y volvemos a escribir el nombre de la nueva carpeta como se muestra en la figura.



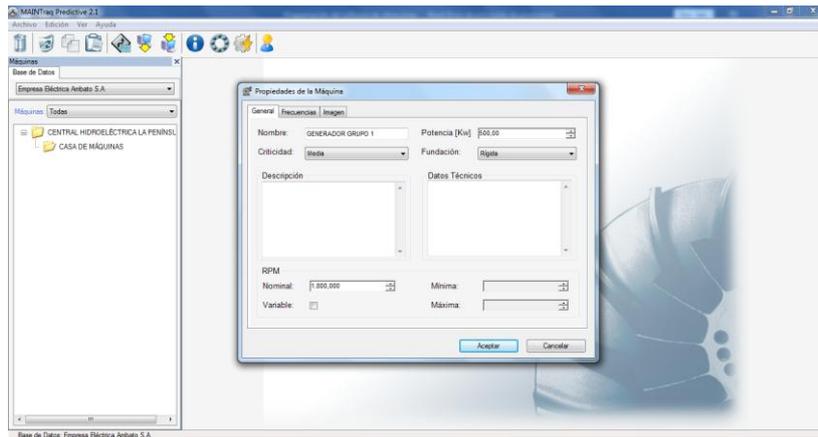
- En esta carpeta es donde vamos a crear los equipos que vamos a analizar, de la misma forma hacemos click derecho sobre la carpeta y nos mostrará si queremos agregar una carpeta o una máquina seleccionamos máquina como se muestra en la figura.



- Al seleccionar en máquina aparecerá un recuadro con el nombre propiedades de la máquina más abajo se encuentran tres recuadros como se muestra en la figura, uno dice general, otro dice frecuencia y el último dice imagen los que deben ser llenados con los parámetros de la máquina que vamos a analizar.



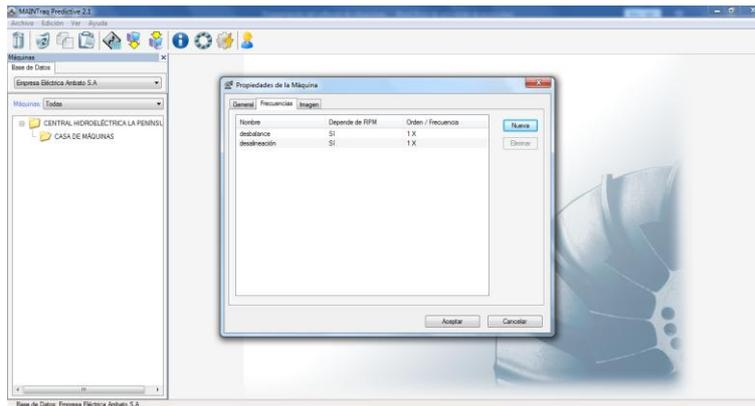
- En el recuadro general que se muestra en la figura ponemos el nombre de la máquina en este caso será **generador grupo 1** o **generador grupo 2** también ingresamos la potencia que es de 500 kW para ambos grupos, ingresamos la velocidad nominal de 1800rpm, la criticidad la ponemos como de criticidad media y finalmente la fundación rígida.



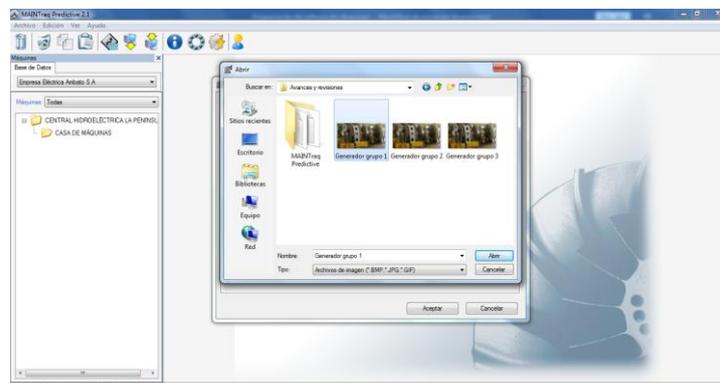
- En el recuadro frecuencia que se muestra en la figura es donde vamos a poner la frecuencia de falla de la máquina para esto hacemos click en nueva y se mostrará un cuadro en el cual vamos a poner el nombre de la frecuencia de la falla como lo es el desbalance y la desalineación, si depende de la velocidad y el orden de la frecuencia como es el 1X tanto para el grupo 1 como para el grupo 2 una vez llenado el recuadro hacemos click en aceptar.



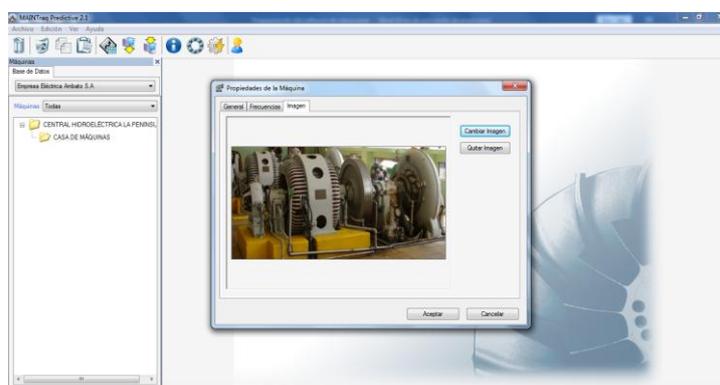
- Una vez hecho esto se mostrará puesto en el cuadro de frecuencia los parámetros antes mencionados como indica la figura.



- Por último nos dirigimos hacia el recuadro de imagen que se muestra en la figura aquí vamos a cargar una imagen referente a la máquina que vamos a analizar, hacemos click en el cuadro cambiar imagen, seleccionamos de nuestra carpeta la imagen que vamos a poner en el software.



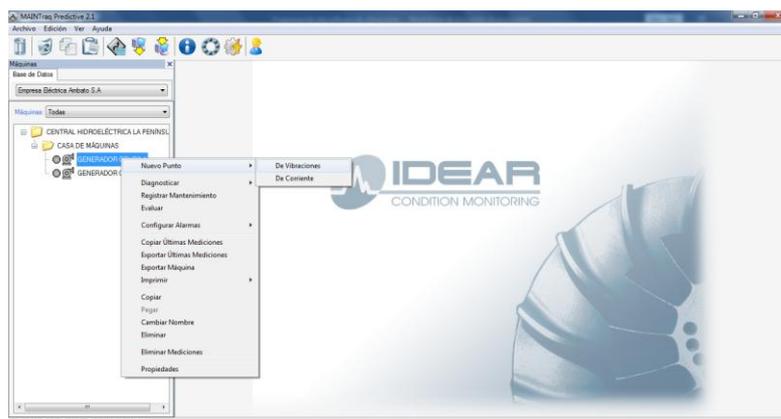
- Una vez seleccionada la imagen hacemos click en abrir, la imagen se cargará y finalizamos dando en aceptar tanto para el grupo 1 como el grupo 2 como se muestra en la figura.



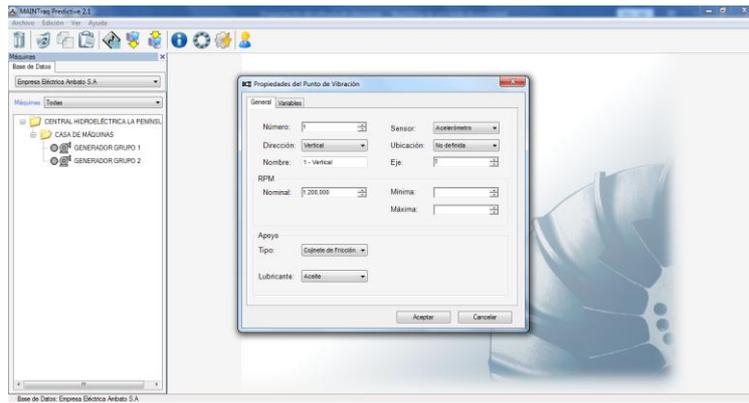
- Para comprobar que los grupos ya están en la carpeta que hemos creado hacemos click en el signo de (+) que se muestra en la figura y se mostrarán los grupos.



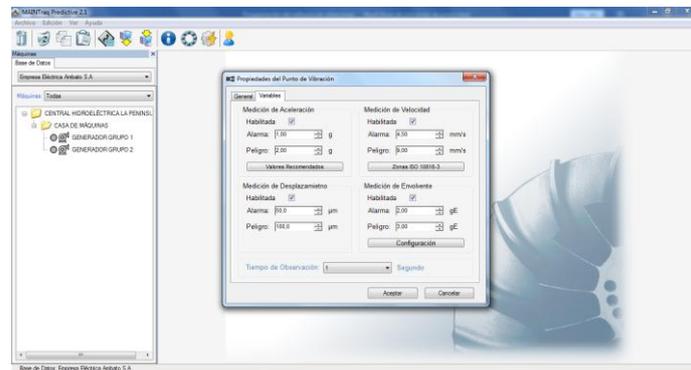
- Ahora procedemos a crear los puntos de análisis para ello hacemos click derecho sobre la máquina como se muestra en la figura, aparecerá un recuadro con una lista de selección elegimos la primera que dice nuevo punto y se desplegará otro recuadro con dos alternativas una de vibraciones y otra de corriente elegimos de vibraciones tanto para el grupo 1 como para el grupo 2.



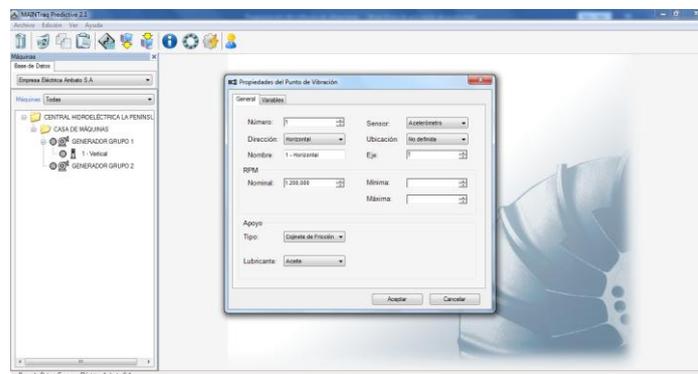
- Una vez seleccionado el tipo de punto que vamos a hacer se mostrará un cuadro para llenar los parámetros del primer punto, en la parte general vamos a llenar como se muestra en la figura; en número ponemos 1, en dirección seleccionamos vertical, en nombre escribimos 1 – Vertical, en RPM nominal escribimos 1200, en apoyo ahí mismo en tipo elegimos cojinete de fricción en lubricante elegimos aceite y en eje elegimos 1 para la primera posición del punto 1 que será la posición vertical.



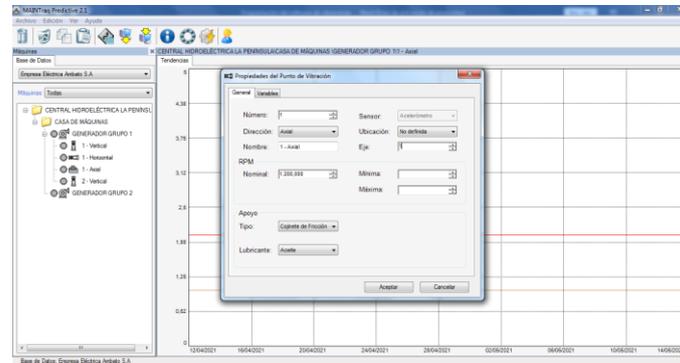
- Nos dirigimos a la parte de variables en la figura y los dejamos con los datos que tiene cargados por defecto luego de eso hacemos click en aceptar tanto para el grupo 1 como para el grupo 2 el procedimiento es el mismo.



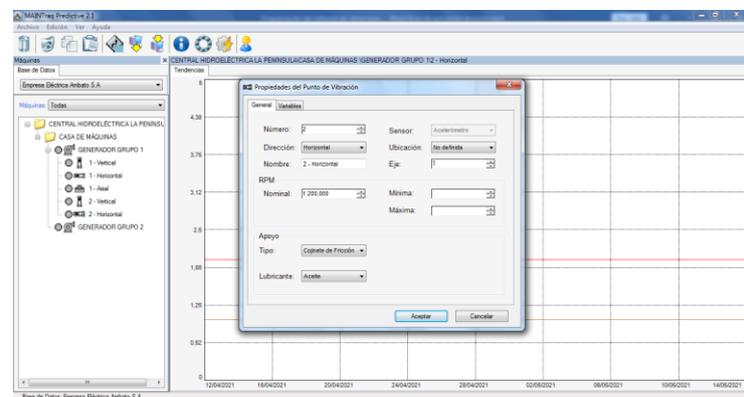
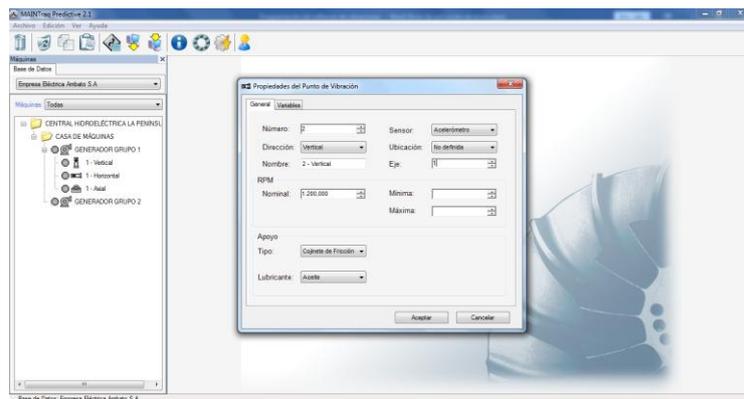
- Para la segunda posición hacemos el mismo procedimiento de la primera posición del punto 1 lo único que cambiamos es la orientación que ahora será horizontal con los mismos datos como se muestra en la figura.

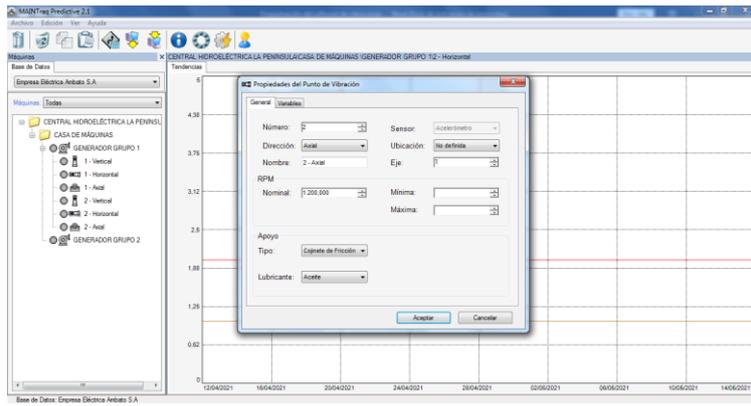


- Repetimos el procedimiento hecho en la primera y segunda posición, ahora cambiamos la orientación a Axial, hacemos click en aceptar y se habrán creado las tres primeras posiciones en el punto 1 como se muestra en la figura.

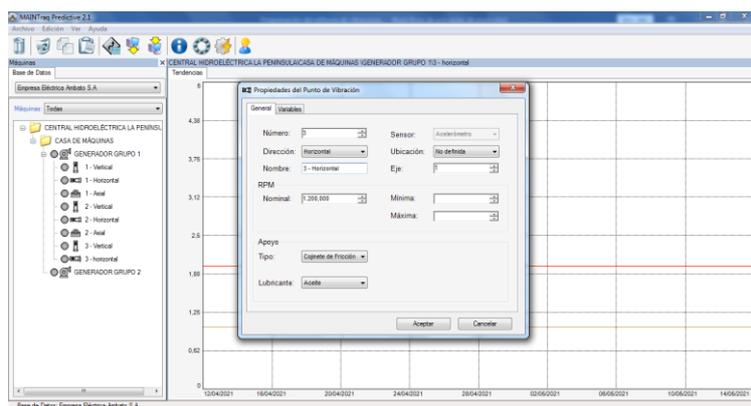
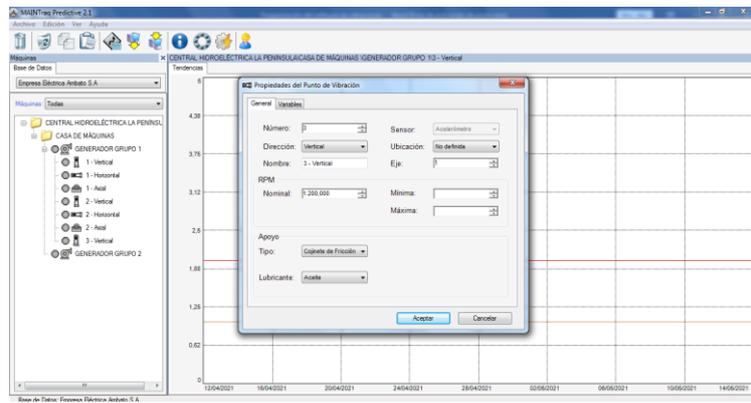


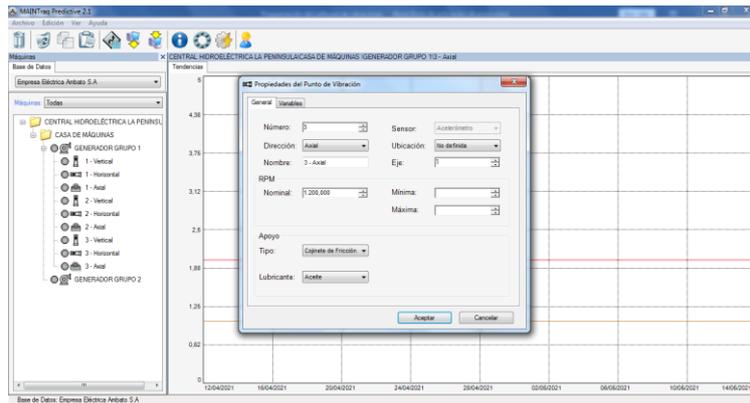
- Para el punto 2 hacemos el mismo procedimiento del punto 1 con las tres posiciones lo único que cambiamos es el número que ahora será: 2 – vertical; 2 – horizontal y 2 – axial respectivamente.



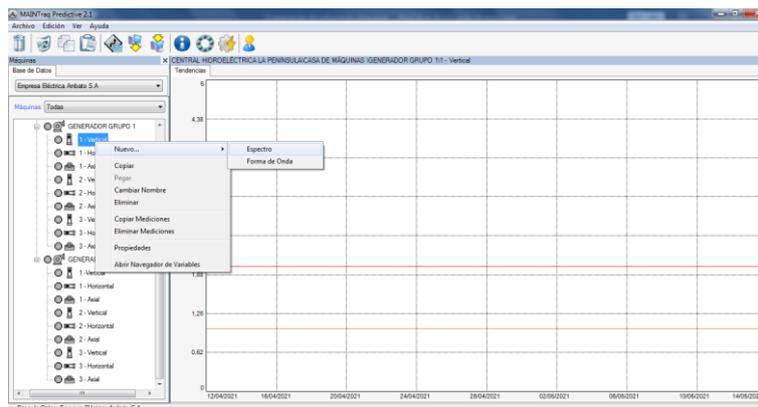


- Para el punto 3 hacemos el mismo procedimiento del punto 1 con las tres posiciones lo único que cambiamos es el número que ahora será: 3 – vertical, 3 – horizontal y 3 – axial respectivamente.

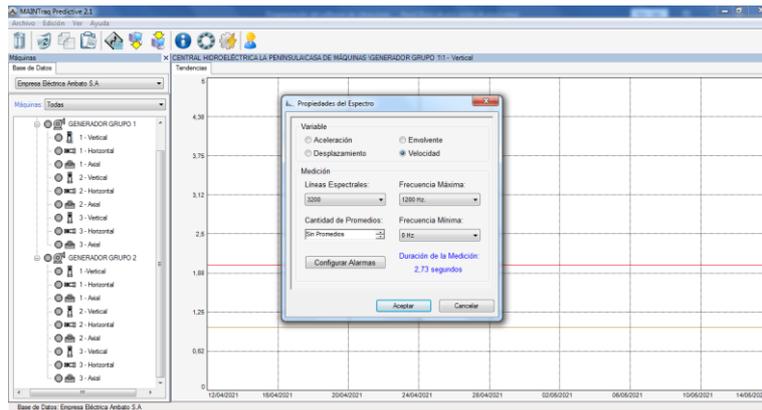




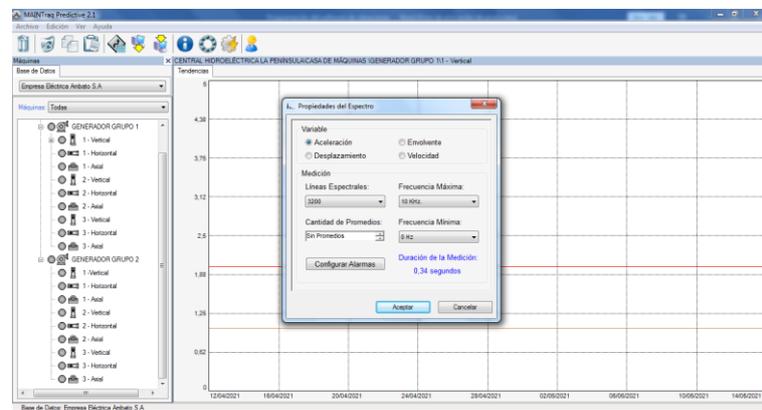
- Una vez creados los puntos ahora vamos a configurar los espectros de cada posición en la que se encuentra ubicado el punto la primera posición es la vertical y los espectros que se configurarán son: velocidad, aceleración, desplazamiento y envolvente. Primero vamos por la velocidad para ello hacemos click derecho sobre la posición 1 – vertical y nos mostrará una lista de opciones elegimos la primera que dice nuevo se abrirá otro cuadro con dos opciones una dice espectro y la otra dice forma de onda elegimos espectro como indica la figura.



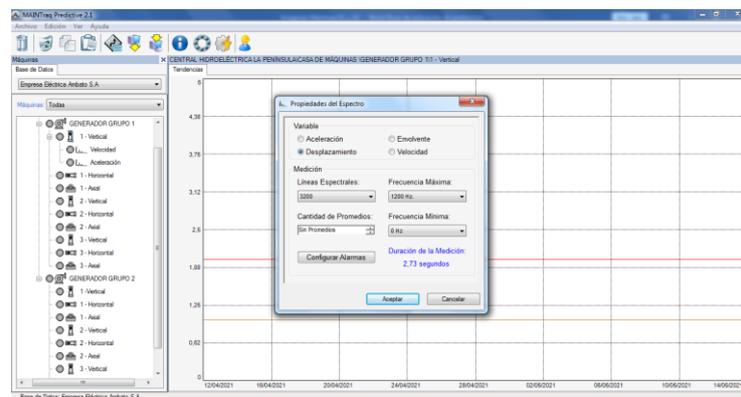
- Al elegir espectro se abrirá un cuadro en donde elegiremos las variables del análisis comenzamos con la velocidad ver en la figura, seleccionamos 3200 líneas espectrales y 1200 Hertz (Hz) hacemos click en aceptar.



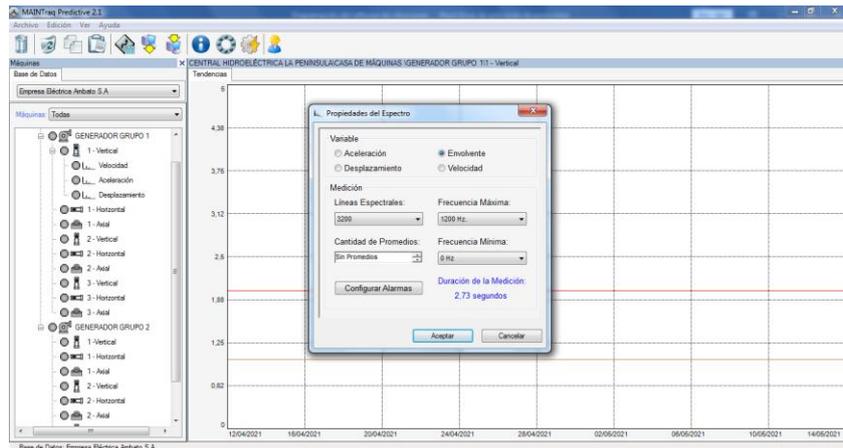
- Hacemos el mismo procedimiento y esta vez elegimos aceleración ver en la figura, seleccionamos 3200 líneas espectrales y 10 kilo Hertz (kHz) hacemos click en aceptar.



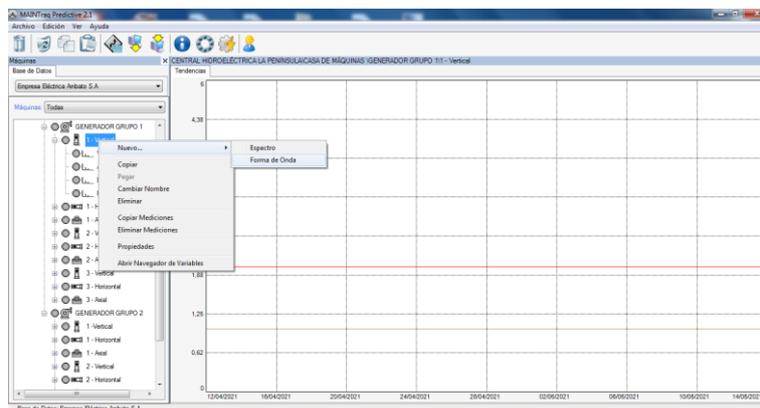
- Hacemos el mismo procedimiento y esta vez elegimos desplazamiento ver en la figura, seleccionamos 3200 líneas espectrales y 1200 Hertz (Hz) hacemos click en aceptar.



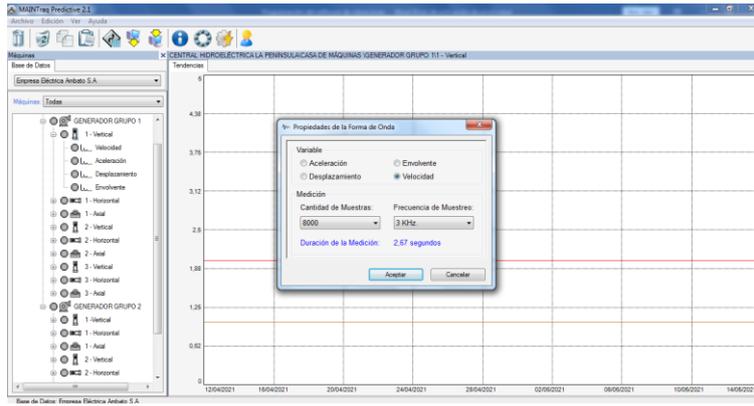
- Hacemos el mismo procedimiento y esta vez elegimos envolvente ver en la figura, seleccionamos 3200 líneas espectrales y 1200 Hertz (Hz) hacemos click en aceptar.



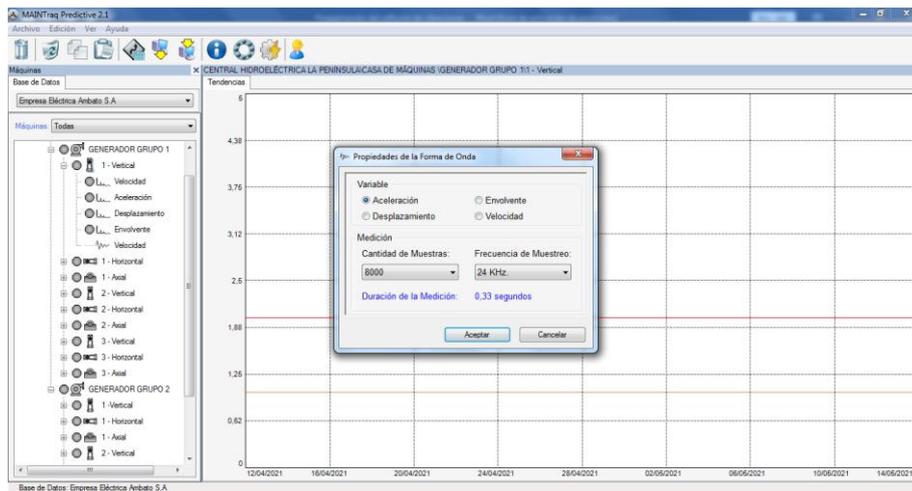
- Hacemos el mismo procedimiento para el resto de posiciones en los demás puntos de análisis tanto en el grupo 1 como en el grupo 2.
- Una vez terminado de configurar los espectros de cada posición, ahora vamos a configurar las formas de onda de la misma manera que empezamos con los espectros también se configurarán las variables de: velocidad, aceleración, desplazamiento y envolvente. Primero vamos por la velocidad para ello hacemos click derecho sobre la posición 1 – vertical y nos mostrará una lista de opciones elegimos la primera que dice nuevo se abrirá otro cuadro con dos opciones una dice espectro y la otra dice forma de onda en esta ocasión elegimos forma de onda como indica la figura.



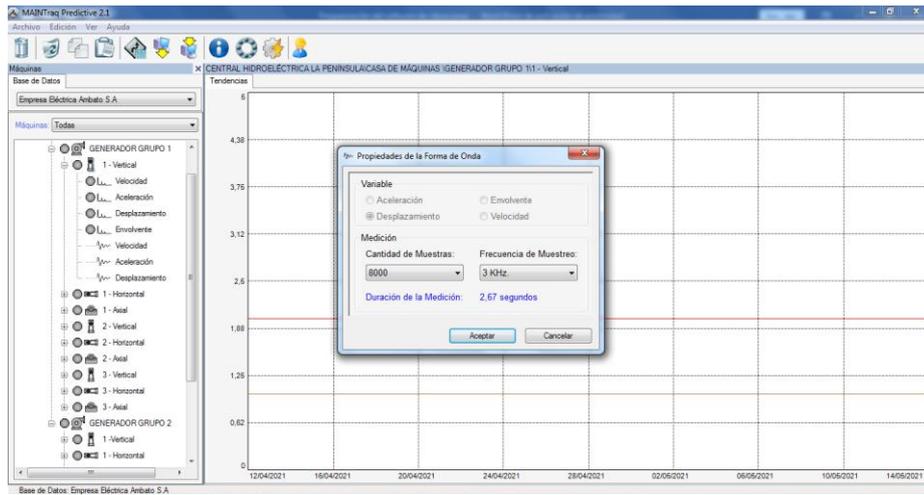
- Al elegir forma de onda se abrirá un cuadro en donde elegiremos las variables del análisis comenzamos con la velocidad, seleccionamos 8000 en cantidad de muestras, 3 kilo Hertz (kHz) en frecuencia de muestreo y hacemos click en aceptar como se muestra en la figura.



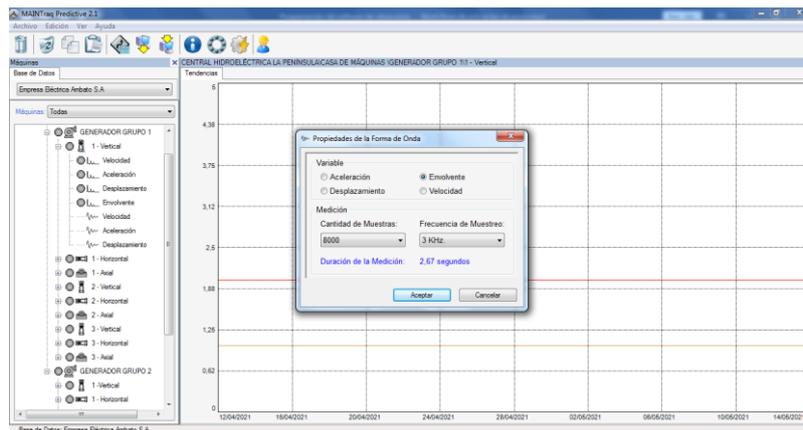
- Hacemos el mismo procedimiento y esta vez elegimos aceleración ver en la figura, seleccionamos 8000 en cantidad de muestras, 24 kilo Hertz (kHz) en frecuencia de muestreo y hacemos click en aceptar.



- Hacemos el mismo procedimiento y esta vez elegimos desplazamiento ver en la figura, seleccionamos 8000 en cantidad de muestras, 3 kilo Hertz (kHz) en frecuencia de muestreo y hacemos click en aceptar.



- Hacemos el mismo procedimiento y esta vez elegimos envolvente ver en la figura, seleccionamos 8000 en cantidad de muestras, 3 kilo Hertz (kHz) en frecuencia de muestreo y hacemos click en aceptar.



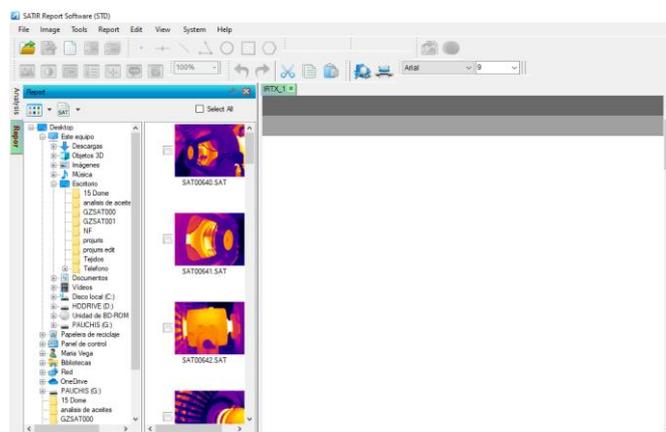
- Hacemos el mismo procedimiento para el resto de posiciones en los demás puntos de análisis tanto en el grupo 1 como en el grupo 2 y la programación de todos los parámetros que vamos a analizar los cargaremos al instrumento de medición Vibracheck 200 por medio de un cable de datos.

ANEXO E: Configuración del software Satir Report

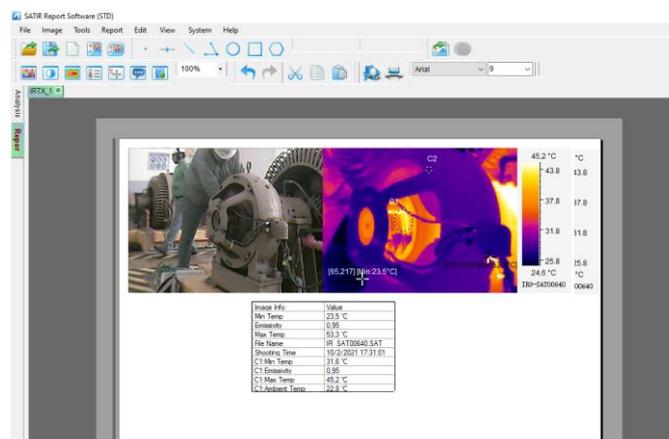
Abrimos el programa SATIR Report Software, hacemos doble click en el ícono que se muestra en la figura.



En la parte izquierda se despliega las imágenes térmicas y tomadas anteriormente



Arrastramos la imagen que queremos analizar al espacio en blanco que está a lado derecho del programa, luego nos dirigimos al lado superior izquierdo del programa elegimos el ícono en este caso el círculo, observamos el o los puntos donde presenta mayor temperatura el Termograma y después no vamos al ícono de Report donde se despliega la herramienta table, lo que nos ayudará a realizar el análisis dentro de herramienta table, como se muestra en la figura:



ANEXO G: Plan preventivo Central La Península

PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO								
		ACTIVIDADES CENTRAL LA PENÍNSULA	FRECUENCIA					ACTIVIDAD POR TURNO
No	CÓDIGO	UNIDADES DE GENERACIÓN 1, 2, 3 Y 4	DIARIO	SEMANAL	MENSUAL	SEMESTRAL	ANUAL	
1	PMP-001	Control de nivel y estado de aceite del sistema de lubricación						1, 2 y 3
2	PMP-002	Revisión de fugas de aceite						1, 2 y 3
3	PMP-003	Limpieza de polvo y manchas de las unidades						1
4	PMP-004	Limpieza de filtros de aceite						2
5	PMP-005	Pintado exterior de las unidades						1, 2 y 3
6	PMP-006	Revisión del estado de las bandas de los reguladores						1, 2 y 3
7	PMP-007	Revisión de carbones de la excitatriz y anillo						1, 2 y 3
8	PMP-008	Lubricación y engrasado de partes móviles de las unidades						
9	PMP-009	Revisión, detección y comunicación de anomalías en las unidades como: vibraciones, sonido excesivo, etc.						1, 2, 3 y Jefe de MTTO.
10	PMP-010	Limpieza de los tableros de control de las unidades						1 y 2
11	PMP-011	Revisión del estado de los circuitos eléctricos de los tableros						1
12	PMP-012	Revisión del estado de los tableros de control						1