

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA,
INFORMÁTICA Y MECÁNICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELÉCTRICA



TESIS

**“ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS DE LAS
DESCARGAS PARCIALES EN LOS GENERADORES DE LA
CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE MACHUPICCHU MEDIANTE
LA IMPLEMENTACION DE UN SOFTWARE 2019”**

Presentada por:

Br. Dario Willian Roldan Cajigas

Para optar al título profesional de

Ingeniero Electricista

Asesor:

Ing. Mgt. Octavio Cañihua Cayocusi

Cusco – Perú

2023

Dedicatoria

A mis padres Willian y Norma por siempre estar para mí, por su apoyo incondicional, por su confianza y por lo más grande que siempre me han dado que es, sin duda, su amor.

A mi hija Giuliana Valentina por ser el regalo más grande que me dio Dios, por ser mi fuerza, mi alegría y motivación.

A mi hermana Winy por saber que siempre puedo contar ella, por creer en mí y por su aliento constante.

A mi enamorada Johanna por siempre demostrarme su amor y apoyo emocional, por estar conmigo en todo momento y acompañarme en mis sueños y metas.

Agradecimientos

A Dios por la vida que me ha concedido, por la bendición que es mi familia y por brindarme todas sus bondades y oportunidades durante mi vida.

A los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, en especial a mi asesor de tesis, Ing. Octavio Cañihua Cayocusi, por su apoyo académico, enseñanzas y amistad. Y de esta manera aportar en mi desarrollo profesional.

A mi amigo Oscar Garcia por la oportunidad y el apoyo que me brindó para el desarrollo de mi tesis, y que nunca lo podré dejar de considerar.

PRESENTACIÓN

Señor Decano de la Facultad de Ingeniería Eléctrica, Electrónica, Informática y Mecánica, señores miembros del jurado, en cumplimiento con las disposiciones del Reglamento de Grados y Títulos Vigentes, con la finalidad de optar al título de Ingeniero Electricista, presento a vuestra consideración la Tesis intitulada: “ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS DE LAS DESCARGAS PARCIALES EN LOS GENERADORES DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE MACHUPICCHU MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SOFTWARE - 2019.”

El presente trabajo de investigación tiene como finalidad mejorar las limitaciones en el proceso de análisis e interpretación de datos de las descargas parciales en los devanados estáticos de los cuatro generadores de la Central Hidroeléctrica de Machupicchu. Y de esta manera lograr un adecuado mantenimiento preventivo.

Para lograr este propósito es necesario la implementación de un software en base a los estudios de las características de las descargas parciales, manuales, normas y técnicas de interpretación de los datos de las descargas parciales en los generadores de la central hidroeléctrica de Machupicchu.

Espero que el presente trabajo inicie nuevas bases de investigación en relación a las descargas parciales, interpretación de resultados, sistemas de monitoreo de descargas parciales en línea, es decir con los grupos en funcionamiento, al deterioro de los sistemas de aislamiento y los mantenimientos preventivos y predictivos en devanados estáticos de los generadores, de este modo poder optimizar los trabajos ya existentes o crear nuevas soluciones a estas problemáticas.

El Autor

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se centra en el análisis e interpretación de los datos de descargas parciales obtenidos de los dos sistemas de monitoreo PDM-3PORTABLE PD-TECH para los grupos 1, 2 y 3 e HYDROTRAC IRIS POWER para el grupo 4 de la Central Hidroeléctrica de Machupicchu.

La mayor dificultad a la hora de realizar un mantenimiento por descargas parciales es el análisis e interpretación de los datos obtenidos por los sistemas de monitoreo, ya que los resultados dependen de la persona que interprete los patrones gráficos y tendencias de descargas parciales.

Por tal motivo el objetivo de la investigación es optimizar el análisis e interpretación de los datos de las descargas parciales en base a la teoría de descargas parciales, normas, manuales y técnicas de interpretación de los datos de las descargas parciales, para lograr una correcta evaluación del estado y la detección preventiva de fallas en los sistemas de aislamiento de los generadores de la Central Hidroeléctrica de Machupicchu.

Para lograr este objetivo se implementó un software, esta implementación es de vital utilidad para el correcto análisis e interpretación de los datos de descargas parciales de los generadores de la Central Hidroeléctrica de Machupicchu, optimizando el tiempo en la obtención de resultados, aumentando la confiabilidad en la evaluación del estado del aislamiento para la prevención de fallas.

Palabras Claves: Descargas parciales, generador síncrono, sistemas de aislamiento, Central Hidroeléctrica de Machupicchu.

ABSTRACT

This research work focuses on the analysis and interpretation of the partial discharge data obtained from the two monitoring systems PDM-3PORTABLE PD-TECH for groups 1, 2 and 3 and HYDROTRAC IRIS POWER for group 4 of the Central Machupicchu hydroelectric.

The greatest difficulty when carrying out maintenance due to partial discharges is the analysis and interpretation of the data obtained by the monitoring systems, since the results depend on the person who interprets the graphic patterns and trends of partial discharges.

For this reason, the objective of the research is to optimize the analysis and interpretation of partial discharge data based on the theory of partial discharges, standards, manuals, and interpretation techniques of partial discharge data, in order to achieve a correct evaluation. of the state and the preventive detection of failures in the insulation systems of the generators of the Machupicchu Hydroelectric Power Plant.

To achieve this objective, a software was implemented, this implementation is of vital utility for the correct analysis and interpretation of the data of partial discharges of the generators of the Machupicchu Hydroelectric Power Plant, optimizing the time in obtaining results, increasing the reliability in the evaluation of the condition of the insulation for the prevention of failures.

CONTENIDO

DEDICATORIA	I
AGRADECIMIENTOS.....	II
PRESENTACIÓN	III
RESUMEN	IV
ABSTRACT	V
CONTENIDO.....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	XI
ÍNDICE DE TABLAS	XV
CAPÍTULO I.....	1
1. GENERALIDADES.....	1
1.1. ÁMBITO DE ESTUDIO	1
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	4
1.2.1. SITUACIÓN DEL PROBLEMA.....	4
1.2.1.1. DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN	4
1.2.1.2. PRONÓSTICO DEL HECHO	7
1.2.1.3. CONTROL DE PRONÓSTICO	10
1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	10
1.3.1. PROBLEMA GENERAL	10
1.3.2. PROBLEMA ESPECÍFICO	10
1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	11
1.4.1. OBJETIVO GENERAL	11
1.4.2. OBJETIVO ESPECÍFICO	11
1.5. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	11
1.6. ALCANCES Y LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN	12
1.7. HIPÓTESIS	13
1.7.1. HIPÓTESIS GENERAL	13
1.7.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICA	13

1.8.	IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES E INDICADORES.	13
1.8.1.	VARIABLE INDEPENDIENTE	13
1.8.1.1.	INDICADORES DE LA VARIABLE INDEPENDIENTE	13
1.8.2.	VARIABLE DEPENDIENTE	13
1.8.2.1.	INDICADORES DE LA VARIABLE DEPENDIENTE	13
1.8.3.	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	14
1.9.	EL MÉTODO	15
1.9.1.	ÁMBITO DE ESTUDIO	15
1.9.2.	TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN	15
1.9.3.	UNIDAD DE ANÁLISIS.	15
1.9.4.	POBLACIÓN DE ESTUDIO	15
1.9.5.	TAMAÑO DE MUESTRA	15
1.9.6.	TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	16
1.9.7.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE DATOS.	16
CAPÍTULO II		17
2.	MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL	17
2.1.	ANTECEDENTES DEL ESTUDIO.	17
2.2.	MARCO NORMATIVO	21
2.3.	BASES TEÓRICAS	22
2.3.1.	ESTATOR DEL GENERADOR SÍNCRONO	22
2.3.2.	DEVANADO DEL ESTATOR	23
2.3.3.	SISTEMA DE AISLAMIENTO DEL DEVANADO ESTATÓRICO	24
2.3.4.	CLASE Y TEMPERATURA ASOCIADA A MATERIALES AISLANTES	25
2.3.5.	FACTORES DEL DETERIORO DE LOS SISTEMAS DE AISLAMIENTO	26
2.3.5.1.	DETERIORO TÉRMICO	27
2.3.5.2.	IMPREGNACIÓN DEFECTUOSA	28
2.3.5.3.	BOBINADOS FLOJOS	29
2.3.5.4.	DESCARGA ELÉCTRICA EN LA RANURA	30
2.3.5.5.	CONTAMINACIÓN DE LOS CABEZALES	31
2.3.5.6.	ESPACIO INADECUADO ENTRE BOBINAS	32

2.3.5.7.	CALIDAD EN LA FABRICACIÓN ORIGINAL.....	33
2.3.6.	DESCARGAS PARCIALES	34
2.3.7.	NATURALEZA DEL FENÓMENO.....	34
2.3.8.	UNIDADES DE MEDIDA DE LAS DESCARGAS PARCIALES.....	35
2.3.8.1.	MAGNITUD.....	36
2.3.8.2.	PULSOS POR SEGUNDO (PPS).....	37
2.3.8.3.	POLARIDAD ÁNGULO DE FASE.....	38
2.4.	MARCO CONCEPTUAL.....	39
CAPÍTULO III		40
3.	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS DE LAS DESCARGAS PARCIALES.....	40
3.1.	EQUIPOS UTILIZADOS PARA LA OBTENCIÓN DE DATOS	40
3.1.1.	SISTEMA DE MONITOREO PDM-3PORTABLE PD-TECH.....	40
3.1.2.	SISTEMA DE MONITOREO HYDROTRAC IRIS POWER.....	41
3.2.	PREDOMINIO DE LA POLARIDAD DE PULSOS	42
3.2.1.	UBICACIÓN DE LAS DESCARGAS PARCIALES	42
3.2.1.1.	DESCARGAS PARCIALES EN LA SUPERFICIE DEL AISLAMIENTO	43
3.2.1.2.	DESCARGAS PARCIALES DENTRO DEL VOLUMEN DEL AISLAMIENTO	45
3.2.1.3.	DESCARGAS PARCIALES INTERNAS CERCANAS A LOS CONDUCTORES	46
3.3.	ESQUEMA DE ANÁLISIS DE LA MAGNITUD DE PULSOS (PHA).....	47
3.4.	ESQUEMA LINEAL DE LA DENSIDAD DE PULSOS (LPD)	48
3.5.	RESUMEN DE VARIABLES DE DESCARGAS PARCIALES.....	49
3.6.	PULSOS CLÁSICOS DE DESCARGAS PARCIALES	52
3.7.	PULSOS NO CLÁSICOS DE DESCARGAS PARCIALES	53
3.8.	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LA TENDENCIA	54
3.9.	RESUMEN DEL ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS DE LAS DESCARGAS PARCIALES PARA LA FASE I.....	55
3.10.	RESUMEN DEL ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS DE LAS DESCARGAS PARCIALES PARA LA FASE II.....	59
3.10.1.	PREDOMINIO DE LA POLARIDAD DE PULSOS CON LOS DATOS Qm.	59

CAPÍTULO IV	64
4. DISEÑO DE LOS SOFTWARES PARA EL ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS DE LAS DESCARGAS PARCIALES PARA LA FASE I Y FASE II DE LA CHM.	64
4.1. DISEÑO DEL SOFTWARE PARA LA FASE I DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE MACHUPICCHU	64
4.1.1. DISEÑO DE LOS MÓDULOS DEL SOFTWARE PARA LA FASE I.....	65
4.1.1.1. DISEÑO DEL MÓDULO MENÚ PRINCIPAL PARA EL SOFTWARE DE LA FASE I... 65	
4.1.1.2. DISEÑO DEL MÓDULO DATOS DE USUARIO PARA EL SOFTWARE DE LA FASE I.... 66	
4.1.1.3. DISEÑO DEL MÓDULO PARÁMETROS DE OPERACIÓN PARA EL SOFTWARE DE LA FASE I..... 68	
4.1.1.4. DISEÑO DEL MÓDULO PATRÓN GRÁFICO FASE R, S Y T 69	
4.1.1.5. DISEÑO DEL MÓDULO BASE DE DATOS 2 PARA EL SOFTWARE DE LA FASE I . 70	
4.1.1.6. DISEÑO DEL INFORME DE DESCARGAS PARCIALES PARA EL SOFTWARE DE LA FASE I..... 71	
4.1.1.7. DIAGRAMA DE FLUJO DEL SOFTWARE PARA LA FASE I..... 72	
4.2. DISEÑO DEL SOFTWARE PARA LA FASE II DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE MACHUPICCHU	73
4.2.1. DISEÑO DE LOS MÓDULOS DEL SOFTWARE PARA LA FASE II..... 73	
4.2.1.1. DISEÑO DEL MÓDULO MENÚ PRINCIPAL PARA EL SOFTWARE DE LA FASE II . 73	
4.2.1.2. DISEÑO DEL MÓDULO DATOS DE USUARIO PARA EL SOFTWARE DE LA FASE II... 74	
4.2.1.3. DISEÑO DEL MÓDULO PARÁMETROS DE OPERACIÓN PARA EL SOFTWARE DE LA FASE II 76	
4.2.1.4. DISEÑO DEL MÓDULO PARA INGRESAR LOS DATOS DE LA MAGNITUD MÁXIMA DE PULSOS (Qm)..... 77	
4.2.1.5. DISEÑO DEL MÓDULO PARA EL ESQUEMA LINEAL DE LA DENSIDAD DE PULSOS. 78	
4.2.1.6. DISEÑO DEL MÓDULO PARA LAS TENDENCIAS A TRAVÉS DEL TIEMPO..... 79	
4.2.1.7. DISEÑO DEL MÓDULO BASE DE DATOS 2 PARA EL SOFTWARE DE LA FASE II 80	
4.2.1.8. DISEÑO DEL INFORME DE DESCARGAS PARCIALES PARA EL SOFTWARE DE LA FASE II 81	
4.2.1.9. DIAGRAMA DE FLUJO DEL SOFTWARE PARA LA FASE II..... 82	

CAPÍTULO V	83
5. IMPLEMENTACIÓN DE LOS SOFTWARES PARA EL ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS DE DESCARGAS PARCIALES PARA LA FASE I Y FASE II DE LA CHM.....	83
5.1. OBTENCIÓN DE DATOS DE DESCARGAS PARCIALES DEL SISTEMA DE MONITOREO DE LA FASE I DE LA CHM	83
5.1.1. DATOS OBTENIDOS DEL GRUPO 1	84
5.1.2. DATOS OBTENIDOS DEL GRUPO 2	85
5.1.3. DATOS OBTENIDOS DEL GRUPO 3	86
5.2. OBTENCIÓN DE DATOS DE DESCARGAS PARCIALES DEL SISTEMA DE MONITOREO DE LA FASE II DE LA CHM.....	87
5.2.1. DATOS OBTENIDOS DEL GRUPO 4	88
5.2.1.1. RESUMEN DE LOS DATOS OBTENIDOS DEL GRUPO 4.....	89
5.2.1.2. RESUMEN DE LOS DATOS OBTENIDOS PARA REALIZAR LAS TENDENCIAS A TRAVÉS DEL TIEMPO.....	89
5.2.1.3. ESQUEMA LINEAL DE LA DENSIDAD DE PULSOS OBTENIDAS PARA EL GRUPO 4. .	91
5.3. GENERACIÓN DE LOS INFORMES DE DESCARGAS PARCIALES.....	92
5.4. INFORMES GENERADOS POR EL SOFTWARE: SISTEMA DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS DE DESCARGAS PARCIALES - FASE I.....	93
5.4.1. INFORME DE DESCARGAS PARCIALES GRUPO 1	93
5.4.2. INFORME DE DESCARGAS PARCIALES GRUPO 2	96
5.4.3. INFORME DE DESCARGAS PARCIALES GRUPO 3	99
5.5. INFORME GENERADO POR EL SOFTWARE: SISTEMA DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS DE DESCARGAS PARCIALES - FASE II.....	102
5.5.1. INFORME DE DESCARGAS PARCIALES GRUPO 4	102
CAPÍTULO VI.....	107
6. DEMOSTRACIÓN DE LA HIPÓTESIS.....	107
6.1. PRUEBA DE LA HIPÓTESIS GENERAL.....	107
6.1.1. EXPLICACIÓN DE LA PRUEBA DE LA HIPÓTESIS GENERAL	107
6.2. PRUEBA DE LA HIPÓTESIS ESPECÍFICA	108
6.2.1. EXPLICACIÓN DE LA PRUEBA DE LA HIPÓTESIS ESPECÍFICA.....	108

CONCLUSIONES	109
RECOMENDACIONES.....	110
BIBLIOGRAFÍA	111
ANEXOS	112

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación Geográfica del Estudio.....	1
Figura 2 Ubicación Geográfica Específica de la Central Hidroeléctrica de Machupicchu 2	
Figura 3 Diagrama Unifilar de la Central Hidroeléctrica de Machupicchu.....	3
Figura 4 Núcleo y Devanado del Estator del Generador del Grupo 1 Contaminados	5
Figura 5 Defecto por Descargas Parciales Superficiales en la Parte Recta de la Bobina ..	6
Figura 6 Defecto por Descargas Parciales Superficiales Tipo Corona	6
Figura 7 Fragmento del Informe de Descargas Parciales Realizado por el Personal de Mantenimiento de La Central Hidroeléctrica De Machupicchu	7
Figura 8 Informe de Gestión Diaria de Operación EGEMSA, Del Día Domingo 28/07/2019	8
Figura 9 Estructura del Estator de un Generador Síncrono	22
Figura 10 Devanado del Estator de una Máquina de Polos Salientes.....	23
Figura 11 Sistema de Aislamiento del Devanado del Estator.....	24
Figura 12 Diagrama Causas – Efecto para el Deterioro o Fallas Del Aislamiento	26
Figura 13 Deterioro del Recubrimiento Semiconductor	27
Figura 14 Falla del Devanado por Vacíos Cercanos a los Conductores De Cobre	28
Figura 15 Descarga Parcial por Bobinados Flojos.....	29
Figura 16 Manifestación Visual de la Actividad de Descarga de Ranura	31

Figura 17 Contaminación en los Cabezales Del Bobinado.....	32
Figura 18 Separación Inadecuada Entre Bastones Superiores a lo Largo de los Cabezales del Devanado.....	33
Figura 19 Representación Simple de una Descarga Parcial	34
Figura 20 Avalancha Inicial para la Formación De Una Descarga Parcial	35
Figura 21 Magnitud de Pulso de una Descarga Parcial	36
Figura 22 Cantidad de Pulsos de Descargas Parciales.....	37
Figura 23 Polaridad de la Descarga Parcial	38
Figura 24 Sistema de monitoreo PDM-3PORTABLE PD-TECH.....	41
Figura 25 Sistema de monitoreo HYDROTRAC IRIS POWER.....	41
Figura 26 Predominio de la Polaridad de Pulsos y Ubicación del Vacío	42
Figura 27 Patrón de descarga parcial en las ranuras con predominancia en los pulsos positivos	44
Figura 28 Patrón de descarga parcial tipo corona con predominancia en los pulsos positivos	44
Figura 29 Patrón de Descargas Parciales sin Predominancia en la Magnitud de Pulsos. 45	
Figura 30 Patrón de Descarga Parcial con Predominancia en los Pulsos Negativos.....	46
Figura 31 Análisis de Magnitud de Pulsos (PHA).....	47
Figura 32 Esquema Lineal de la Densidad de Pulsos (LPD).....	48
Figura 33 Resumen de Variables de Descargas Parciales	49
Figura 34 Barras de Salida Cortocircuitadas.	51
Figura 35 Esquema Lineal de la Densidad de Pulsos Clásicos de Descargas Parciales..	52
Figura 36 Esquema Lineal de la Densidad de Pulsos No Clásicos de Descargas Parciales	53

Figura 37 Diseño del Módulo Menú Principal	65
Figura 38 Diseño del Módulo Datos de Usuario	66
Figura 39 Hoja Base de datos 1, Para el Software de la Fase I	67
Figura 40 Diseño del Módulo Parámetros de Operación.....	68
Figura 41 Diseño del Módulo Patrón Gráfico	69
Figura 42 Diseño del Módulo Base De Datos 2 Para el Software de la Fase I.....	70
Figura 43 Diseño del Informe de Descargas Parciales Para el Software de la Fase I	71
Figura 44 Diseño Del Módulo Menú principal.....	73
Figura 45 Diseño del Módulo Datos de Usuario para el software de la fase II.....	74
Figura 46 Base de datos 1 para el software de la fase II.....	75
Figura 47 Diseño del Módulo Parámetros de Operación Para el Software de la Fase II.	76
Figura 48 Diseño del Módulo para Ingresar los Datos de la Magnitud Máxima de pulsos (Qm)	77
Figura 49 Diseño del Módulo Esquema Lineal de la Densidad de Pulsos	78
Figura 50 Diseño del Módulo Para las Tendencias a Través del tiempo.....	79
Figura 51 Diseño del Módulo Base de Datos 2 Para el Software de la Fase II.....	80
Figura 52 Diseño del Informe de Descargas Parciales para el Software de la Fase II	81
Figura 53 Obtención de Datos de Descargas Parciales Fase I. Marzo 2022	83
Figura 54 Datos Obtenidos del Grupo 1, Con Fecha el 22/03/2022.....	84
Figura 55 Datos Obtenidos del Grupo 2, Con Fecha El 22/03/2022	85
Figura 56 Datos Obtenidos del Grupo 3, Con Fecha El 22/03/2022	86
Figura 57 Extracción de Datos de Descargas Parciales Fase II. Marzo 2022	87
Figura 58 Datos Obtenidos del Grupo 4, Marzo 2022.....	88

Figura 59 Datos Obtenidos del Grupo 4, Enero, Febrero 2022	88
Figura 60 Esquema Lineal de la Densidad de Pulsos – Grupo 4 Fase R.....	91
Figure 61 Esquema Lineal de la Densidad de Pulsos – Grupo 4 Fase S.....	91
Figura 62 Esquema Lineal de la Densidad de Pulsos – Grupo 4 Fase T	92
Figura 63 Interfaz Gráfica del Menú Principal – Fase I	114
Figura 64 Interfaz Gráfica de los Datos de Usuario – Fase I.....	116
Figura 65 Interfaz Gráfica de los Parámetros de Operación – Fase I.....	117
Figura 66 Interfaz Gráfica Para La Comparación De Patrones Y Niveles de Densidad de la Nube de Descargas Parciales.....	118
Figura 67 Interfaz Gráfica del Menú Principal para la Generación del Informe – Fase II	119
Figura 68 Interfaz Gráfica Del Menú Principal – Fase II.....	120
Figura 69 Interfaz Gráfica de los Datos de Usuario – Fase II	122
Figura 70 Interfaz Gráfica de los Parámetros de Operación – Fase II.....	123
Figura 71 Interfaz Gráfica para el Análisis de Magnitud de Pulsos (PPS / mV).....	123
Figura 72 Interfaz Gráfica para el Esquema Lineal de la Densidad de Pulsos (mV / Ángulo de Fase)	123
Figura 73 Interfaz Gráfica para la Tendencia de Descargas Parciales a Través del Tiempo	123
Figura 74 Interfaz Gráfica del Menú Principal para la Generación del Informe – Fase II	123

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Estimaciones de Costos y Cantidades De Energía que se Deja de Generar al Parar Un Día En La Central Hidroeléctrica de Machupicchu.	9
Tabla 2 Operacionalización de Variables	14
Tabla 3 Clase y Características de los Materiales Aislantes	25
Tabla 4 Diferencia Entre Descargas Parciales En Las Ranuras Y Descargas Parciales Tipo Corona.....	44
Tabla 5 Resumen Estadístico de Valores Qm Para Máquinas De 13 – 15 Kv	50
Tabla 6 Límites de Operación para Realizar las Tendencias de Descargas Parciales	54
Tabla 7 Ciclo de Procesamiento de Datos para la Fase I De La Central Hidroeléctrica de Machupicchu.	55
Tabla 8 Ciclo de Procesamiento de Datos para La Fase II De La Central Hidroeléctrica De Machupicchu.....	60
Tabla 9 Ciclo De Procesamiento de Datos para Descargas Parciales No Clásicas.....	63
Tabla 10 Resumen de los Datos Qm Obtenidos para el Día 22/03/2022.....	89
Tabla 11 Resumen de Datos Qm a Través del Tiempo para la Fase R.....	89
Tabla 12 Resumen de datos Qm a Través del Tiempo para la Fase S	90
Tabla 13 Resumen de datos Qm a Través del Tiempo para la Fase T.....	90
Tabla 14 Comparación del antes y después de implementar los Softwares de Análisis e Interpretación de los Datos de Descargas Parciales Para la Fase I y Fase II de la CHM.	107

CAPÍTULO I

1. GENERALIDADES

1.1. ÁMBITO DE ESTUDIO

La ubicación geográfica del presente estudio, se encuentra en la sierra sur del Perú, específicamente la Central Hidroeléctrica de Machupicchu está ubicada en la provincia de Urubamba del departamento del Cusco. (Ver Figura. 1 y 2).

El ámbito de análisis y evaluación para este estudio, comprenderá los 04 generadores síncronos de la Central Hidroeléctrica de Machupicchu (Ver Figura. 3)

Figura 1

Ubicación Geográfica del Estudio



Fuente: Instituto Geográfico Nacional, Instituto Nacional de estadística e informática, Instituto Nacional de recursos naturales, Ministerio de transportes, PromPeru, Grupo Geo Graphos.

Figura 2

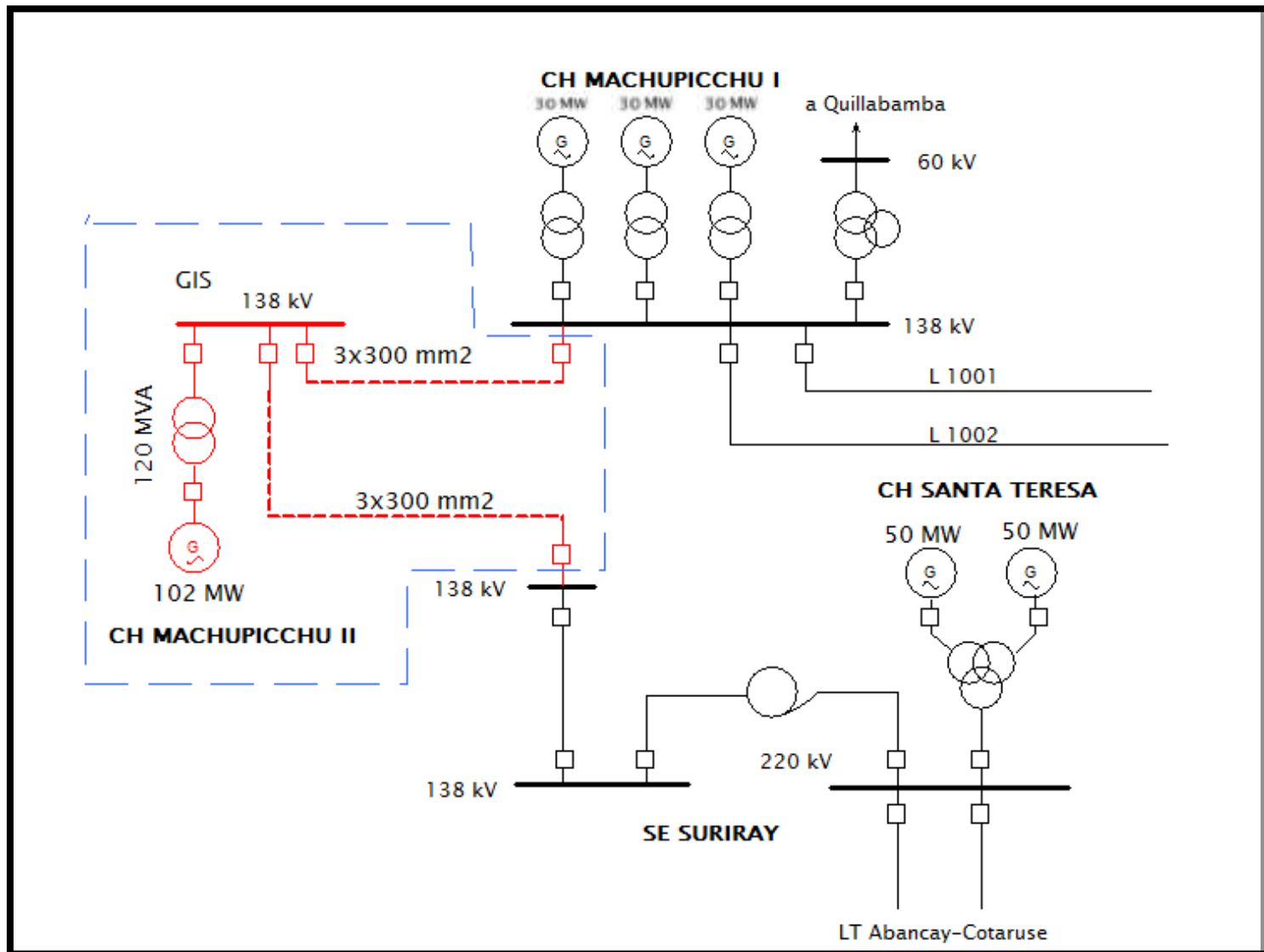
Ubicación Geográfica Específica de la Central Hidroeléctrica de Machupicchu



Fuente: Google Maps.

Figura 3

Diagrama Unifilar de la Central Hidroeléctrica de Machupicchu



Fuente: EGEMSA - Empresa de Generación Eléctrica Machupicchu S.A.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.2.1. SITUACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1.1. DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN

En la Central hidroeléctrica de Machupicchu (CHM), se tiene 4 generadores en 4 grupos hidroeléctricos, 3 grupos de generación en la fase I y 1 grupo en la fase II, los cuales al ser de alta potencia necesitan tener un control constante de Descargas Parciales (DP). El personal de mantenimiento especializado hace un análisis e interpretación mensual del estado del aislamiento de los cuatro generadores basándose en algunas normas y experiencia personal, y de un largo periodo de tiempo en la obtención de resultados. Lo cual hace que los resultados del análisis e interpretación sean limitados, la figura 7 muestra un fragmento del informe de descargas parciales realizado por el personal de mantenimiento.

Actualmente los grupos cuentan con dos sistemas de monitoreo de descargas parciales, para la fase I se tiene el sistema de monitoreo PDM-3PORTABLE PD-TECH, y para la fase II el sistema de monitoreo HydroTrac Iris Power.

Sin embargo, la CHM no cuenta con un sistema que optimice el proceso de análisis e interpretación de los datos de las descargas parciales y que obtenga resultados instantáneos de mayor confiabilidad, que determine el nivel de deterioro de los sistemas de aislamiento por efecto de las descargas parciales.

En consecuencia, al mantenerse en condiciones de no contar con este sistema que optimice el proceso de análisis e interpretación de los datos de las descargas parciales, la posibilidad que ocurra una o más fallas en los sistemas de aislamiento de los generadores es más alta.

En referencia a los daños encontrados por efecto de las descargas parciales en el “mantenimiento especializado de 100,000 horas del grupo 1 de generación de la Central Hidroeléctrica de Machupicchu” realizado por la empresa ANDRITZ HYDRO en el año 2018.

Se pudo observar que existen daños a causa de las descargas parciales en el generador del grupo 1 de la Central Hidroeléctrica de Machupicchu, los cuales se detallan a continuación:

1. Durante la inspección del núcleo del estator y de los devanados se notó algo de contaminación una cantidad importante de aceite estaba presente dentro de la unidad y las cuñas estaban particularmente sucias. Como también suciedad/lodo en los devanados del voladizo como se observa en la figura 4, probablemente debido a la vibración de la unidad en algunas áreas, esta suciedad/lodo comienza a quemarse. Todo esto conlleva a la creación de descargas parciales superficiales, como se observa en la figura 5.

Figura 4

Núcleo y Devanado del Estator del Generador del Grupo 1 Contaminados



Fuente: ANDRITZ HYDRO GMBH 2018

Figura 5

Defecto por Descargas Parciales Superficiales en la Parte Recta de la Bobina



Fuente: ANDRITZ HYDRO GMBH 2018

2. Como también a la identificación del deterioro de los devanados por efecto de descargas parciales superficiales tipo corona.

Figura 6

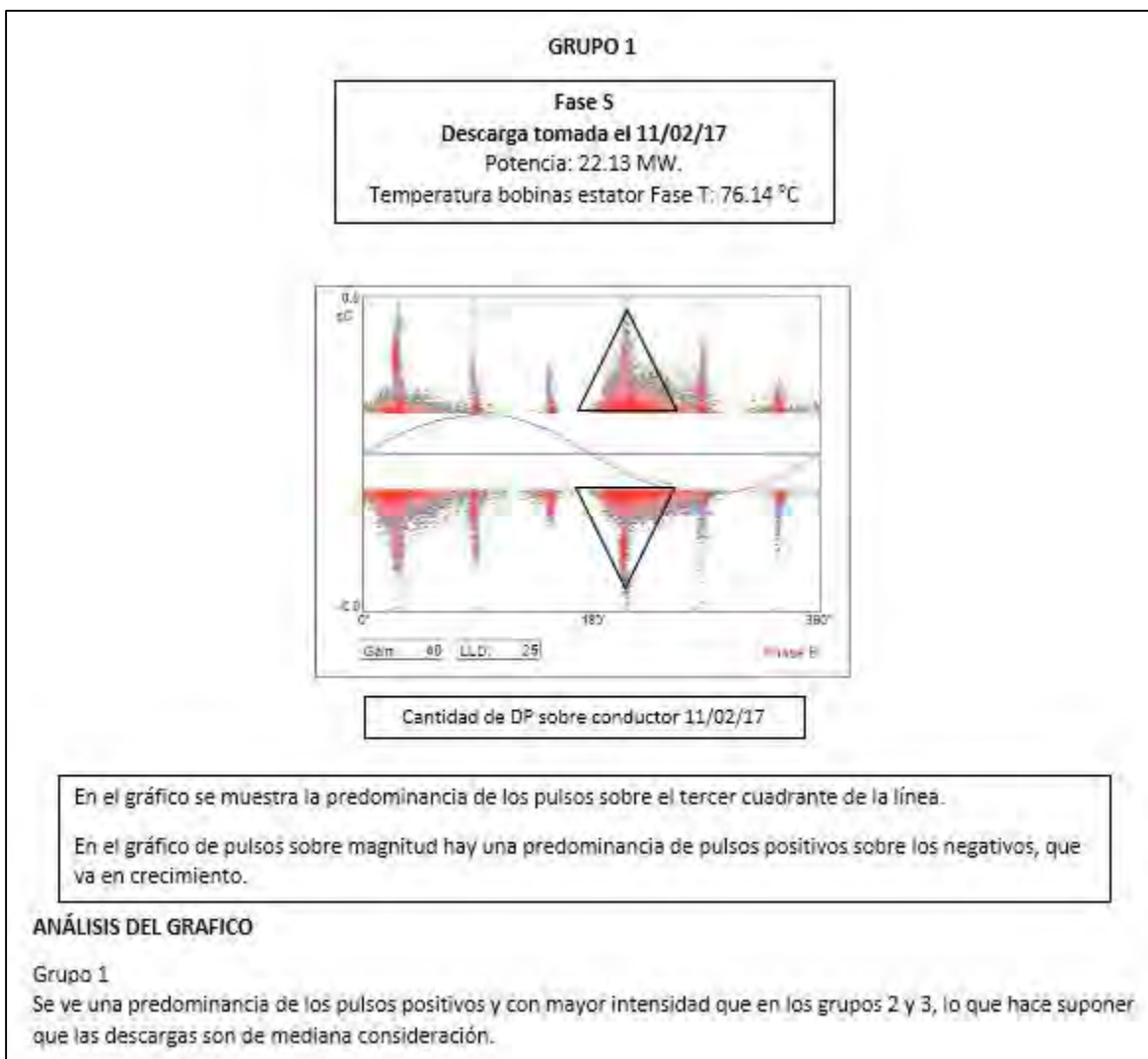
Defecto por Descargas Parciales Superficiales Tipo Corona



Fuente: ANDRITZ HYDRO GMBH 2018

Figura 7

Fragmento del Informe de Descargas Parciales Realizado por el Personal de Mantenimiento de La Central Hidroeléctrica De Machupicchu



Fuente: Mantenimiento Eléctrico - EGEMSA

1.2.1.2. PRONÓSTICO DEL HECHO

Considerando que la Central hidroeléctrica de Machupicchu continúe sin implementar un sistema que optimice el proceso de análisis e interpretación para los datos de descargas parciales, hace que se incremente el riesgo de realizar un inadecuado análisis e interpretación de los datos de

descargas parciales, y como consecuencia aumente la posibilidad de ocurrencia de fallas en el sistema de aislamiento de los generadores de la Central hidroeléctrica de Machupicchu.

Haciendo estimaciones del impacto que tendría la central por una o más fallas en el aislamiento del devanado de los generadores, tendríamos las siguientes consecuencias:

- Parada de los grupos de generación
- Dejar de generar energía eléctrica.
- Costos por dejar de generar energía eléctrica.

Figura 8

Informe de Gestión Diaria de Operación EGEMSA, Del Día Domingo 28/07/2019

Se envía el Informe de Gestión Diaria de Operación del día		Domingo, 28 de julio de 2019
Puntos Resaltantes:		
Energía Programada por el COES		3,191.80 MWh
Energía Ejecutada por EGEMSA		3,145.19 MWh
Energía Ejecutada por C.H. Santa Teresa		1,656.58 MWh
Potencia Promedio Ejecutada por el grupo G1		0.00 MW
Potencia Promedio Ejecutada por el grupo G2		19.71 MW
Potencia Promedio Ejecutada por el grupo G3		19.31 MW
Potencia Promedio Ejecutada por el grupo G4		92.05 MW
Potencia Máxima Ejecutada por C.H. Machupicchu		139.44 MW
Potencia Promedio Ejecutada por C.H. Machupicchu		131.07 MW
Costo Marginal Ideal Promedio Ejecutado (Barra de Referencia Santa Rosa 220KV)		26.13 N.S./MWh
Costo Marginal Promedio Ejecutado (Barra de Referencia Montalvo 220KV)		27.91 N.S./MWh
Costo Marginal Promedio Ejecutado (Barra de Referencia Machupicchu 138KV)		25.93 N.S./MWh
Costo Marginal Programado para el día 29/07/2019		27.92 N.S./MWh
Caudal Máximo del Río Vilcanota		45.45 m3/s.
Caudal Mínimo del Río Vilcanota		44.45 m3/s.
Desembalse de la Represa de Sibinacocha		10.00 m3/s.
Volumen Acumulado en la Represa de Sibinacocha		87.64 MM3
La máxima demanda Ejecutada del SEIN ocurrió a las	19:30	horas y fue de
		6,111.40 MW
La máxima demanda Ejecutada del SEIN en el mes ocurrió el	17/07/2019	a las
		19:00 horas y fue de
		6,740.00 MW
La máxima demanda Programada del SEIN para el día 29/07/2019 es a las 20:00 horas con el valor de		6,385.48 MW

Fuente: Centro de control Dolores Pata

Con los datos de la figura 8. Podemos estimar cuales serían las cantidades de energía eléctrica que se dejaría de producir, por una o más fallas en el aislamiento de los generadores de la central hidroeléctrica de Machupicchu.

Tabla 1

Estimaciones de Costos y Cantidades De Energía que se Deja de Generar al Parar Un Día En La Central Hidroeléctrica de Machupicchu.

GRUPOS DE GENERACIÓN	CANTIDAD DE ENERGÍA QUE DEJA DE GENERAR AL PARAR	COSTO DE LA ENERGÍA QUE DEJA DE GENERAR AL PARAR
	1 DÍA (MW.h)	1 DÍA (S./)
GRUPO 1	En mantenimiento	En mantenimiento
GRUPO 2	473.04	13 207.27
GRUPO 3	463.44	12 939.24
GRUPO 4	2 209.2	61 680.86
TODA LA CENTRAL	3 145.68	87 827.38

Fuente: elaboración propia

Por lo tanto, se pronostica que, si la central continúa sin contar con un sistema que optimice el proceso de análisis e interpretación de los datos de las descargas parciales, la posibilidad que ocurra una o más fallas en el aislamiento es mucho mayor. Ya que, si llega a ocurrir una o más fallas en los sistemas de aislamiento por efecto de las descargas parciales, se estima que la empresa EGEMSA dueña de la central, dejará de producir grandes cantidades de energía eléctrica y como consecuencia de ello, tendría grandes pérdidas económicas, las cuales podemos observar en la tabla 1.

1.2.1.3. CONTROL DE PRONÓSTICO

Para que el pronóstico no ocurra se elaboró un software en el programa – VBA (Visual Basic for Application) de Microsoft Excel, basado en aspectos teóricos, antiguas lecturas, experiencia, manuales y normas internacionales, que den resultados automatizados más concretos, óptimos y en menor tiempo para determinar el nivel de deterioro de los sistemas de aislamiento por efecto de las descargas parciales.

1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.3.1. PROBLEMA GENERAL

¿Cómo analizar e interpretar los datos de las descargas parciales en los generadores de la Central hidroeléctrica de Machupicchu mediante la implementación de un software?

1.3.2. PROBLEMA ESPECÍFICO

¿De qué manera se diseñaría un software que analice e interprete los datos de las descargas parciales en los generadores de la Central hidroeléctrica de Machupicchu?

1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. OBJETIVO GENERAL

Analizar e interpretar los datos de las descargas parciales en los generadores de la Central hidroeléctrica de Machupicchu utilizando el software implementado.

1.4.2. OBJETIVO ESPECÍFICO

Diseñar el software que analice e interprete los datos de las descargas parciales en los generadores de la Central hidroeléctrica de Machupicchu.

1.5. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La mayor dificultad a la hora de realizar un mantenimiento por descargas parciales es el proceso de análisis e interpretación de los datos obtenidos por los sistemas de monitoreo, ya que los resultados dependen de la persona que interprete los patrones gráficos y las tendencias de descargas parciales.

Por tal motivo se debe de implementar un sistema de análisis e interpretación de datos de las descargas parciales, optimizando el tiempo en la obtención de resultados y aumentando la confiabilidad en la evaluación del nivel de deterioro de los sistemas de aislamiento en los generadores de la CHM, para la prevención de fallas.

A nivel técnico, este trabajo de investigación tiene gran relevancia, debido a que no se tiene una forma optimizada de interpretar los datos de las descargas parciales en la actualidad.

A nivel económico y social, un correcto análisis de las descargas parciales podrá prevenir fallas a futuro las cuales si llegasen a surgir producirían severos daños en el sistema de aislamiento de la máquina, lo que conllevaría a parar la generación de energía eléctrica en la central, el cual produciría pérdidas económicas en generación, así como también costos elevados en reparaciones.

1.6. ALCANCES Y LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

Para poder cumplir con los objetivos de este trabajo, la presente investigación analizará preliminarmente, los datos que se obtienen actualmente de los sistemas de monitoreo de descargas parciales en los generadores de la CHM, así como también la información referente a los factores de deterioro en los sistemas de aislamiento, las normas y procedimientos de análisis e interpretación de descargas parciales en máquinas síncronas. Para posteriormente realizar un sistema que contenga toda la información respecto a los sistemas de aislamiento, patrones gráficos, unidades de medida de las descargas parciales, polaridad de las descargas parciales; así como también las normas aplicadas a la interpretación de descargas parciales en máquinas síncronas, y otras particularidades que ayuden al análisis e interpretación de los datos de descargas parciales.

En cuanto a las limitaciones de la investigación, para la obtención de los datos de descargas parciales programada para inicios del año 2020. Se tuvo que postergar por motivos de la Emergencia Sanitaria declarada por el Decreto Supremo N° 044-2020-PCM, razón por la cual los datos de descargas parciales en el presente trabajo tienen por fecha marzo del 2022. Fecha en la cual recién se pudo obtener los datos de descargas parciales de los generadores de la CHM.

1.7. HIPÓTESIS

1.7.1. HIPÓTESIS GENERAL

Con el análisis e interpretación de los datos de las descargas parciales mediante la implementación del software se optimiza la prevención de fallas en los generadores de la Central Hidroeléctrica de Machupicchu.

1.7.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICA

El diseño del software para el análisis e interpretación de los datos de las descargas parciales en los generadores de la Central Hidroeléctrica de Machupicchu incluye: algoritmos, códigos de programación e interfaces.

1.8. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES E INDICADORES.

1.8.1. VARIABLE INDEPENDIENTE

- a) Software para el análisis e interpretación.

1.8.1.1. INDICADORES DE LA VARIABLE INDEPENDIENTE

- a) Velocidad en el análisis e interpretación de los datos de descargas parciales.
- b) Confiabilidad en los resultados.

1.8.2. VARIABLE DEPENDIENTE

- a) Descargas Parciales.

1.8.2.1. INDICADORES DE LA VARIABLE DEPENDIENTE

- a) Magnitud de las descargas parciales.
- b) Pulsos por segundo.
- c) Polaridad del pulso.

1.8.3. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Tabla 2

Operacionalización de Variables

VARIABLE INDEPENDIENTE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES
Software para el análisis e interpretación	Un Software es un término informático que hace referencia a un programa o conjunto de programas de cómputo, así como datos, procedimientos y pautas que permiten realizar distintas tareas en un sistema informático. En este caso utilizado para la evaluación de datos de descargas parciales.	<ul style="list-style-type: none"> •Aplicación del software para la interpretación de los datos de descargas parciales. •Con la aplicación del software existe menor posibilidad que ocurra una falla en el aislamiento de los generadores de la central. 	<p>Los principales son:</p> <ul style="list-style-type: none"> •Velocidad en la interpretación de los datos de descargas parciales. •Confiabilidad en los resultados
VARIABLE DEPENDIENTE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES
Descargas Parciales	Una descarga parcial (DP) de acuerdo a la definición del IEEE, es una descarga eléctrica o chispa que puentea (cortocircuita) solo parcialmente el aislamiento de un conductor. Es decir, la chispa se produce entre el conductor y el aislamiento y no termina de descargarse hacia otro elemento conductor, de ahí el término "Parcial", esto indica que no hay una ruptura del aislamiento, pues el resto del sistema aislante puede seguir cumpliendo su función	<ul style="list-style-type: none"> •Aumento de la intensidad de campo eléctrico dentro de las cavidades o agujeros. •Pulsos de corriente dentro del aislante. •A mayor magnitud de Descargas Parciales, mayor es el tamaño de los agujeros en el sistema aislante. 	<p>Los principales son:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Magnitud de las DP • Pulsos por segundo • Polaridad del pulso.

Fuente: Elaboración propia

1.9. EL MÉTODO

1.9.1. ÁMBITO DE ESTUDIO

La ubicación geográfica del presente estudio, se encuentra en la sierra sur del Perú, específicamente la Central hidroeléctrica de Machupicchu está ubicada en la provincia de Urubamba del departamento del Cusco. (Ver Figura. 1 y 2).

1.9.2. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN

Por la naturaleza del estudio, esta investigación es del tipo APLICADA, porque se usará el conocimiento para resolver una problemática actual.

De acuerdo al alcance o nivel de investigación es EXPLICATIVO, ya que explica el por qué el análisis e interpretación de datos de las descargas parciales causan una óptima evaluación del estado de los sistemas de aislamiento de los generadores de la Central hidroeléctrica de Machupicchu.

De acuerdo al enfoque es de carácter MIXTA, Ya que se obtendrá datos y resultados tanto cuantitativos y cualitativos para la implementación de nuevos esquemas y ajustes.

1.9.3. UNIDAD DE ANÁLISIS.

La unidad de análisis comprenderá los sistemas de aislamiento de los devanados estáticos de los cuatro generadores síncronos de la Central hidroeléctrica de Machupicchu.

1.9.4. POBLACIÓN DE ESTUDIO

Para este estudio de investigación, la población estará conformado por los cuatro generadores de la Central hidroeléctrica de Machupicchu.

1.9.5. TAMAÑO DE MUESTRA

Los cuatro estatores de los generadores de la central hidroeléctrica de Machupicchu.

1.9.6. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Las técnicas de recolección de datos son:

- a) **La observación de campo**, recolección de datos de primera mano, cómo son los datos de las descargas parciales que son indispensables para el presente trabajo.
- b) **El análisis documental**, una vez definida de forma clara nuestros objetivos del estudio de tesis, se realizarán rastreos de informaciones historiales, esto con el fin de lograr lo requerido. Los documentos a revisar serán normas, libros, artículos, manuales, documentos de la especialidad, fichas técnicas y tesis.

1.9.7. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE DATOS.

Para el análisis de datos fue necesario utilizar diferentes estadígrafos de análisis cuantitativo y cualitativo, como son los percentiles e histogramas.

También se utilizó la herramienta de análisis, comparación e interpretación de datos, Microsoft Excel – VBA (Visual Basic for Application).

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

2.1. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO.

- **GÜERE (2012)**, Diagnóstico En Línea Mediante Descargas Parciales Como Técnica De Mantenimiento Predictivo Del Devanado Estatórico De Los Alternadores De Electroperu S.A. Lima, Perú.

El objetivo de su trabajo fue mostrar las pruebas de diagnóstico de descargas parciales en el devanado del estator de los generadores de ELECTROPERU S.A., para indicar la condición del aislamiento en las máquinas generadoras.

Observando que la prueba de descargas parciales (DP) constituye una herramienta muy importante de diagnóstico del devanado del estator, dado que permite obtener los datos de las magnitudes de los pulsos de las DP generalmente en milivoltios (mV) con la ventaja que el generador eléctrico está en condiciones operativas (C.H. SAM: 114 MW, 13.8 kV, 450 RPM y C.H. RON: 72 MW, 13.8 kV, 200 RPM), evitando así parar los grupos generadores para la toma de medidas de las DP y pérdidas económicas de generación.

Como también demostró que al evaluar el retorno de inversión al adquirir el equipo IRIS POWER PDA – IV y accesorios para el monitoreo de las descargas parciales de las máquinas generadoras de ELECTROPERU S.A. por un costo total de S/. 509,286.94 respecto al contratar a una empresa de servicios para el monitoreo de las descargas parciales para todos los grupos generadores por un costo total de S/. 378,675.00, se obtiene un retorno de la inversión aproximadamente en 1 año y 4 meses, recuperando en poco tiempo la inversión, haciendo factible la adquisición del equipo.

Finalmente vio que la interpretación de datos de las descargas parciales se mejora a través de la experiencia de las mismas, es decir, que con un monitoreo constante se mejorará en la interpretación, llegando a la conclusión que al aplicar la tecnología de IRIS POWER PDA – IV; esta se convierte en una herramienta de uso muy relevante, para mejorar el mantenimiento predictivo del estator de los generadores eléctricos.

- **Castillo (2018)**, Aplicación, Análisis Y Diagnóstico Del Monitoreo En Línea De Descargas Parciales En El Aislamiento De Motores Anillo De Gran Potencia (24 MW / 16 MW) Que Accionan Molinos Gearless Mill Drive Gmd. Arequipa, Perú.

Tuvo como objetivo la aplicación de un sistema de detección de Descargas Parciales normalizados internacionalmente para poder diagnosticar el estado del aislamiento de motores de una planta concentradora en la industria minera. Puesto que el monitoreo constante y la confiabilidad en los resultados impactan directamente en gran cuantía a la producción de Cobre de la Compañía Minera Antapacay.

Y con la finalidad de seleccionar el equipamiento, tipo y modelo de instalación de estos equipos y así poder medir el estado del aislamiento de estos motores en forma constante (día a día) y a partir de ello planificar y programar el desarrollo de estrategias de mantenimiento aplicando herramientas adecuadas para dar y asegurar la confiabilidad y disponibilidad de estos motores a nivel de aislamiento de manera efectiva y bajos costos. Los resultados demostraron que, La medición en línea de DP tiene capacidad de análisis de tendencias, desde el punto de vista de mantenimiento, tener esta herramienta que pueda prevenir acerca de problemas incipientes, proporciona los medios para planear las actividades necesarias y con esto minimizar costos y tiempos muertos.

Proporcionando al personal de mantenimiento la información por monitoreo de posibles descargas en ranuras, delaminación del aislamiento y descargas en cabezales.

En conclusión, el mantenimiento preventivo y predictivo de descargas parciales en motores eléctricos de M.T y gran potencia necesita un histórico de atenciones en mediciones y/o pruebas eléctricas a la parte activa del motor, con ello se podrá tomar decisiones tempranas para las reparaciones y mantenimientos correspondientes en fechas de paradas de planta planificadas con las estrategias y recursos programados.

- **Vanegas (2016)**, Desarrollo De Un Sistema Prototipo De Medición Y Análisis De Descargas Parciales Generadas En Laboratorio. Santiago de Cali, Colombia.

En su investigación buscó desarrollar un sistema prototipo de medición y análisis de pulsos eléctricos de descargas parciales generadas en laboratorio, implementando un sistema de medición y adquisición de señales eléctricas originadas por las descargas parciales, para así desarrollar una aplicación software que permita realizar la clasificación de pulsos de descargas parciales.

Los resultados demostraron que las descargas parciales son un fenómeno de carácter estocástico, que varían con muchos factores como: temperatura, dimensiones y presión de la cavidad, tensión eléctrica aplicada, condiciones y características del aislamiento, el tiempo etc.

Y que el diagrama de fase resuelta es utilizado para identificar el tipo de descarga parcial, dependiendo de la forma del patrón, de la magnitud y ángulo de fase de los pulsos detectados. El diagrama de fase resuelta es altamente dependiente del sistema de

medida y sus propiedades (linealidad del sensor, rango de medición, tensión aplicada) y de las condiciones de medida (la cantidad de perturbaciones).

Los patrones también cambian durante el tiempo, esto significa que hay múltiples patrones que describen el mismo tipo de defecto.

Finalmente, el software de análisis de descargas parciales desarrollado por el autor permite visualizar las señales medidas en un osciloscopio virtual en tiempo real. Una vez el usuario configure los parámetros de adquisición, se puede obtener el diagrama de fase resuelta y el gráfico de altura de pulsos. Además, el programa realiza el conteo del número de pulsos detectados, calcula los parámetros Q_m y NQN , también se puede obtener la forma de onda de un pulso de DP individual y su espectro en frecuencia. Las mediciones se realizan en volts.

Los patrones en fase resuelta y el gráfico de análisis de altura de pulsos son similares a los obtenidos con los equipos comerciales y los parámetros fueron en general similares en magnitud o conservan la misma tendencia, los resultados validan el desempeño del sistema propuesto.

2.2. MARCO NORMATIVO

Las normativas más importantes sobre el análisis e interpretación de descargas parciales en máquinas eléctricas rotativas de alta tensión son:

- **IEEE 1434 (de 2000)**

Esta guía trata temas como las mediciones de descargas parciales (" Partial discharges". PD) cuando las máquinas eléctricas rotativas están en servicio ("on-line") y cuando no ("off-line"), al igual que mediciones para comprobar cómo afectan las descargas parciales a las bobinas y barras individuales. Todas estas pruebas son aplicables en el momento de fabricación, instalación, operación y mantenimiento del bobinado en máquinas rotativas de corriente alterna.

- **IEEE 1434 (de 2014)**

Esta guía trata desde la naturaleza de las descargas parciales como las mediciones de las mismas en barras, bobinas y en ensayos con la máquina "on-line" y "off-line". También describe los diferentes sensores y sistemas de medición de descargas parciales, así como el procesamiento e interpretación de los datos obtenidos, siendo a su vez muy similar a la norma anterior del año 2000. Todas las mediciones que se describen en esta guía pueden ser de gran utilidad para el proceso de fabricación, instalación, operación y mantenimiento de los bobinados de las máquinas eléctricas rotativas

- **IEC 60034 27-2 (2012-2013)**

En este caso, la norma IEC es una especificación técnica en donde se recoge información para conocer la actividad de las descargas parciales en máquinas rotativas on-line de alta tensión abordando diversos aspectos esenciales sobre las mismas como las técnicas e instrumentos de medición, la normalización de las mediciones, reducción de ruido, los procedimientos de medición y la documentación e interpretación de resultados. Los mismos métodos de medición,

procedimientos y dispositivos pueden ser utilizados para detectar chispas eléctricas y arcos eléctricos. En esta norma podemos encontrar de forma más detallada los sensores y diferentes sistemas de medición de descargas parciales. También se incluyen el procesamiento e interpretación de la información recogida en los diferentes ensayos.

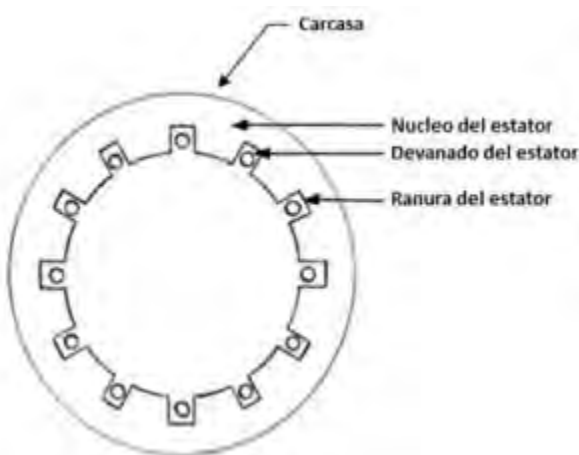
2.3. BASES TEÓRICAS

2.3.1. ESTATOR DEL GENERADOR SÍNCRONO

Es la parte de la máquina que está fija o sujeta a una base, Denominado armadura o inducido, está conformado básicamente por el núcleo magnético en el cual están troqueladas un determinado número de ranuras y dientes en la superficie interna, las ranuras contienen a los devanados de tipo distribuido aislados adecuadamente, mientras que los dientes son los conductores del flujo magnético provenientes del campo y la armadura, el núcleo se construye de material magnético laminado el cual también es aislado para reducir las pérdidas por corrientes parásitas. (Thaler y Wilcox, 1974)¹

Figura 9

Estructura del Estator de un Generador Síncrono



Fuente: F. Mar, Dep.tecnología / Prof. maría José González.

¹ Thaler George & Wilcox Milton, (1974), Máquinas Eléctricas: Estado dinámico y permanente, México DF, México.

2.3.2. DEVANADO DEL ESTATOR

En el devanado del estator se induce la f.e.m, por eso es también es llamado el devanado inducido ilustrado en la Figura 10. Los devanados del estator están fabricados con diferentes tipos de aislamientos, dependiendo de su antigüedad, como son a base de asfalto, resina poliéster o resina epoxi, está utiliza diferentes medios y tipos de enfriamiento como son aire, hidrogeno en circuito abierto o circuito cerrado, o enfriado directamente o indirectamente por agua y aire.

Figura 10

Devanado del Estator de una Máquina de Polos Salientes.



Fuente: Devanados de a.c, Castro 2010.

Los devanados son una de las partes más importantes del estator de los generadores síncronos, son los que demandan mayores recursos tecnológicos, desarrollo, investigación y mantenimiento especializado continuo.

Aproximadamente el 66% de las fallas en las máquinas eléctricas ocurren en los devanados del estator, siendo así las fallas más frecuentes. (Castro, 2010, pp. 1-47).

2.3.3. SISTEMA DE AISLAMIENTO DEL DEVANADO ESTATÓRICO

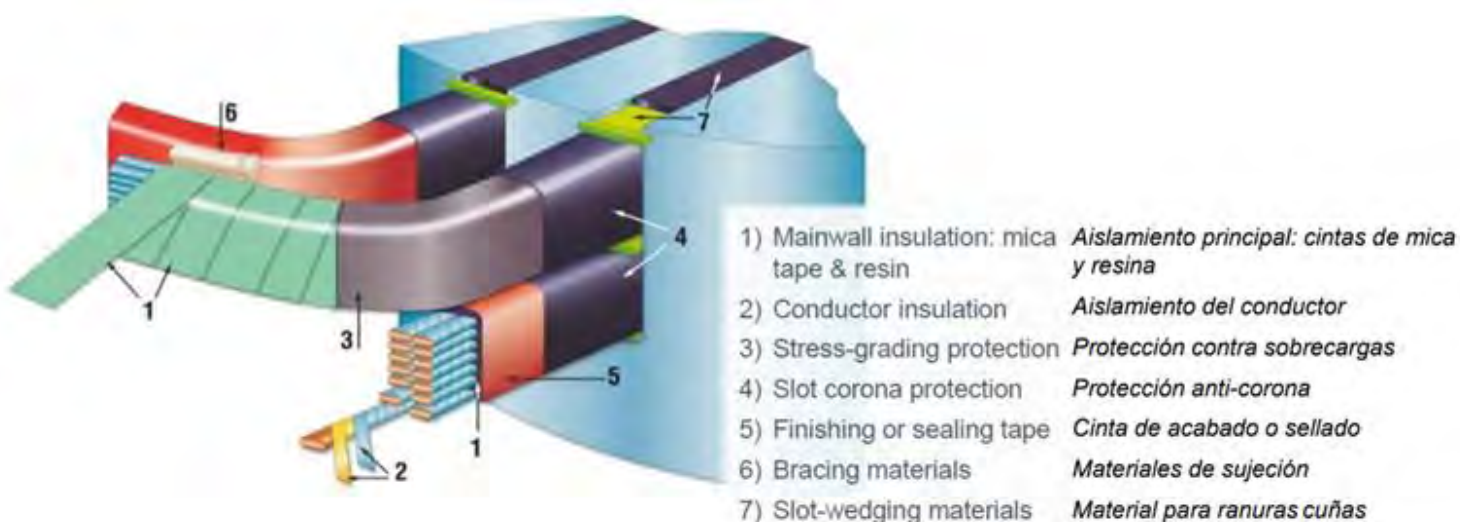
El sistema de aislamiento del devanado del estator contiene varios componentes y características diferentes, que en conjunto se encargan de garantizar que:

- No se presente cortocircuito en los circuitos eléctricos del generador.
- Exista una buena transferencia de calor desde el conductor hasta el núcleo, que en este caso actuaría como un disipador de calor.
- Que los conductores no vibren a causa de las fuerzas magnéticas.

La función principal de un sistema de aislamiento es separar los componentes que se encuentran a diferentes potenciales o pertenecen a diferentes circuitos como se observa en la Figura 11. Además, mejoran la resistencia de la estructura del bobinado, actúa como un conductor de calor entre el bobinado y el entorno, además protege al bobinado de factores externos como la suciedad y los productos químicos.

Figura 11

Sistema de Aislamiento del Devanado del Estator.



Fuente: ANDRITZ HYDRO GMBH 2018

2.3.4. CLASE Y TEMPERATURA ASOCIADA A MATERIALES AISLANTES

Las principales clases de aislamiento y características técnicas asociadas de los materiales aislantes se muestran a continuación en la Tabla N ° 3.

Tabla 3

Clase y Características de los Materiales Aislantes

Clase	Temperatura (°C)	Composición
A	105	Fibras naturales y artificiales impregnadas (no tiene mica), su transferencia de calor y su capacidad para evitar el ingreso de humedad y aceite es deficiente.
E	120	Materiales orgánicos sintéticos tales como fibras, resinas y barnices.
B	130	Cinta de mica con soporte orgánico, tales como asbesto o resina poliéster.
F	155	Cinta de mica con soporte de resina epóxica. Esta resina tiene características de cohesión mecánica y estabilidad a altas temperaturas, superiores a la resina poliéster. El aislamiento es menos susceptible de delaminación y formación de huecos.
H	180	Hule siliconado, se deposita sobre fibra de vidrio para fabricar cintas. Su uso como aislamiento principal se limita a tensiones de hasta 4kV por la ausencia de mica. Este material es vulnerable a daños mecánicos.
C	>180	Mica, cerámica, vidrio, cuarzo, solos o con aglutinantes inorgánicos.

Fuente: IEC 60085:2007.

Nota. El aislamiento utilizado en los devanados estáticos de la Central Hidroeléctrica de Machupicchu es de clase F.

2.3.5. FACTORES DEL DETERIORO DE LOS SISTEMAS DE AISLAMIENTO

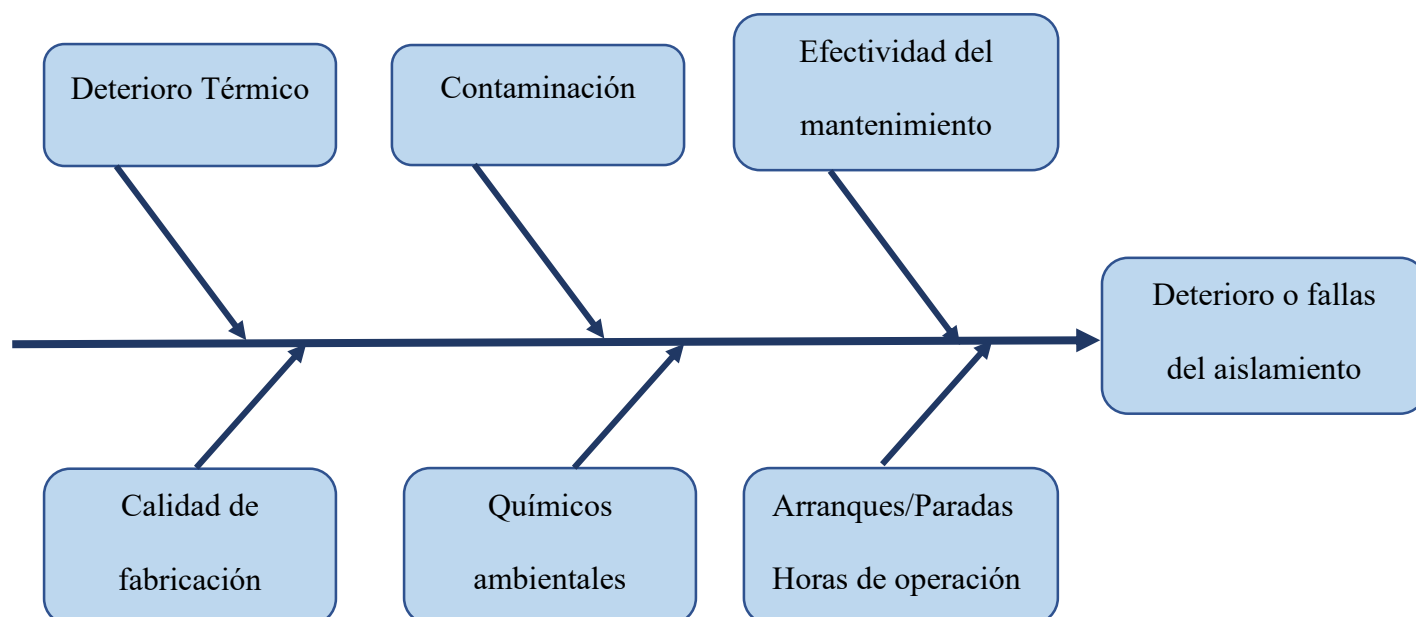
La degradación de un aislante sólido por las descargas parciales es el resultado de un conjunto complejo de fenómenos.

El primer paso en la mayoría de los mecanismos de falla, es la creación de vacíos llenos de gas. Estos vacíos son el resultado de la degradación de la resina impregnada. Pueden ser internos al sistema de aislación (deterioro térmico, impregnación incorrecta) o en la superficie de la bobina (devanado flojo, descarga en las ranuras, deterioro de las cintas o pintura semiconductor, contaminación, espaciado inadecuado) (Güere,2012, p.25)².

Se debe de determinar los factores de mayor impacto, a fin de tomar las acciones correspondientes. En la Figura 12 se muestra el diagrama causa - efecto, en la cual se indica las posibles causas de falla o deterioro del sistema de aislamiento en los Generadores de la CHM.

Figura 12

Diagrama Causas – Efecto para el Deterioro o Fallas Del Aislamiento



Fuente: Análisis de causas y raíz de fallas, A. Castillo 2016.

² Ángel Güere, (2012), Diagnóstico en línea mediante descargas parciales como técnica de mantenimiento predictivo del devanado estático de los alternadores de electroperu s.a

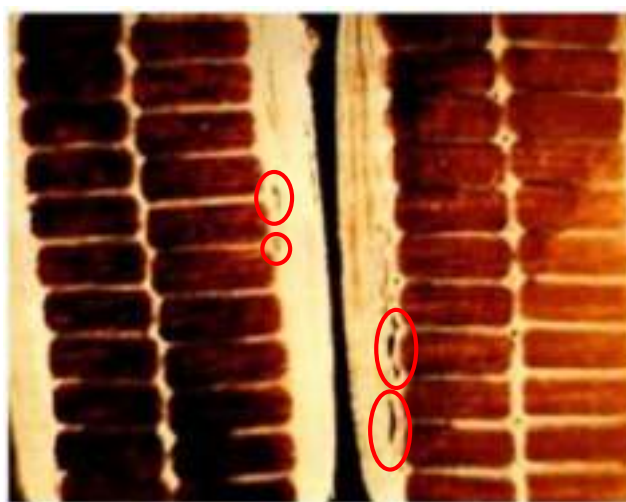
2.3.5.1. DETERIORO TÉRMICO

El deterioro térmico puede ocurrir como resultado de sobrecargas, enfriamiento deficiente, desequilibrio del voltaje entre fases y deficiencias en el diseño. Como en la mayoría de los sistemas de aislamiento, el daño es acumulativo, irreversible y da como resultado la disminución en la capacidad de la resina adherente (epoxi o poliéster) para mantener mecánicamente unidas las capas de aislamiento. Esta pérdida de unión mecánica permite la formación de vacíos entre las capas de cinta que forman el grosor del aislamiento. A medida que las capas de cinta se van delaminando, los conductores se pueden liberar lo suficiente como para vibrar, creando descargas parciales en los vacíos, como se muestra en la figura 13.

En realidad, las máquinas eléctricas rotativas operan a temperaturas promedio de entre 90 y 100°C medidas con sensores de temperatura. Sin embargo, algunos puntos en sus devanados pueden tener temperaturas sustancialmente mayores a esos promedios, esto depende del grado de limpieza de devanados y núcleo, del estado y desempeño del sistema de ventilación y enfriamiento.

Figura 13

Deterioro del Recubrimiento Semiconductor



Fuente: Estudio del fenómeno de descargas parciales en aislamientos sólidos de los devanados de máquinas rotativas de corriente alterna, García 2011.

2.3.5.2. IMPREGNACIÓN DEFECTUOSA

Algunas veces durante el proceso de impregnación, inadvertidamente se dejan vacíos dentro del aislamiento principal. Esto puede ocurrir debido a un vacío o presión inadecuados, muy alta viscosidad de la resina, temperaturas inadecuadas, u objetos extraños encajados en las cintas.

En la presencia de tensión, ocurrirán descargas parciales a través de estos vacíos y atacarán a la resina orgánica. Este ataque puede conducir a cortos en las hebras o espiras si los vacíos están cerca de los conductores de cobre y eventualmente dentro de los 2 a 5 años puede ocurrir la falla del devanado como se muestra en la figura 14. Si los vacíos están en el centro del grosor del aislamiento principal, son más benignos y de menor magnitud, por lo tanto, la falla puede tomar muchos años en manifestarse.

Un problema adicional debido a la impregnación deficiente es que los vacíos internos crean una barrera térmica, inhibiendo la transferencia de calor desde el cobre al núcleo dando como resultado una más alta tensión térmica. Debido a las complejidades presentes durante el proceso de impregnación, la aplicación deficiente se da más en estatores impregnados con el sistema VPI global o en bobinas ricas en resinas fabricadas usando cintas viejas.

Figura 14

Falla del Devanado por Vacíos Cercanos a los Conductores De Cobre



Fuente: ANDRITZ HYDRO 2018

2.3.5.3. BOBINADOS FLOJOS

Si están instalados apropiadamente, las cuñas y el empaque lateral deberían prevenir aflojamientos en el devanado. Sin embargo, como algunas resinas del aislamiento se contraen cuando se curan, las bobinas pueden achicarse y por lo tanto quedar flojas en la ranura. También parte de las cuñas y materiales de empaque pueden volverse quebradizos y achicarse con el paso del tiempo, permitiendo que el bobinado se afloje. Si las bobinas están flojas, esta flojedad rápidamente permitirá que la dura superficie del núcleo laminado del estator dañe las capas que recubren la superficie del devanado. Las partes afectadas de la bobina crean discontinuidades en la superficie, permitiendo la creación de tensiones a través de estos lugares aislados, o entre estos y el núcleo del estator. Si la tensión excede el punto de ruptura dieléctrica del medio gaseoso, ocurrirá una descarga parcial, como se muestra en la figura 15.

Figura 15

Descarga Parcial por Bobinados Flojos



Fuente: ANDRITZ HYDRO 2018

2.3.5.4. DESCARGA ELÉCTRICA EN LA RANURA

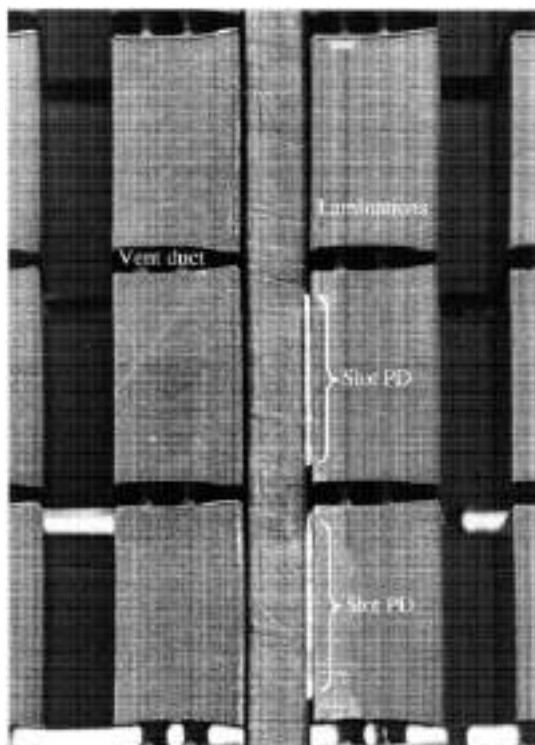
Descarga de ranura es el término dado a las descargas parciales que ocurren entre la superficie de la bobina y el hierro del estator, como se observa en la figura 16.

Si la capa semiconductor en la superficie del bobinado se deteriora, da como resultado la creación de descargas parciales en la ranura y la producción de ozono. Tanto las descargas parciales como el ozono acelerarán la descomposición de las resinas orgánicas adherentes epoxi o poliéster. Debido a esta descomposición de las resinas, las bobinas disminuirán de tamaño y pueden aflojarse. Si se permite que se aflojen, las superficies semiconductoras de las bobinas son las primeras en dañarse.

Para este caso, la falla causada por ruptura dieléctrica puede tomar décadas. Por eso, las máquinas con daños menores en las superficies de las bobinas pueden todavía dar muchos años de operación confiable, siempre y cuando se evite el movimiento mediante el cambio de las cuñas dañadas. Una vez dañadas, las superficies semiconductoras son muy difíciles de restaurar, por lo tanto, la prevención es lo más importante de todo. Los devanados con cintas o pintura semiconductoras severamente dañadas, requerirán su reemplazo debido a la gran producción de ozono.

Figura 16

Manifestación Visual de la Actividad de Descarga de Ranura



Fuente: Partial Discharge Signal Interpretation for Generator Diagnostics, Hudon y Bélec 2005

2.3.5.5. CONTAMINACIÓN DE LOS CABEZALES

Cuando cualquier clase de contaminación conductiva ya sea de humedad o aceite mezclado con polvo/suciedad contamina una máquina, es posible que se cree un conducto o senda eléctrica a través de los bloques de montaje de los cabezales o a lo largo de los cabezales mismos. El camino eléctrico se debe a que la contaminación introduce una senda conductiva entre dos bobinas adyacentes de diferente potencial y muy a menudo de diferentes fases. Como resultado de este fenómeno, las descargas parciales pueden ocurrir y atacar la superficie del aislamiento. Puede ocurrir un deterioro permanente de fase a fase o de fase a tierra y eventualmente la falla del aislamiento puede ser posible. La condensación de la humedad en la sección de la ranura puede provocar problemas si la máquina ha estado parada. El aceite tiende a disolverse, aflojar los

componentes del sistema de aislamiento y puede atraer polvo que reduce la transferencia de calor desde la superficie bobinada, reduciendo por lo tanto la vida útil del aislamiento. En máquinas abiertas, el aceite, en combinación con el polvo, puede tapar los pasos de aire y causar sobrecalentamiento. Normalmente este es un mecanismo de falla muy lento (un período de tiempo mayor de 5 a 10 años).

Figura 17

Contaminación en los Cabezales Del Bobinado



Fuente: ANDRITZ HYDRO 2018

2.3.5.6. ESPACIO INADECUADO ENTRE BOBINAS

A fin de reducir el tamaño de las bobinas y ahorrar cobre o reducir pérdidas, los fabricantes ocasionalmente fallan en dejar el espaciado adecuado entre las bobinas en los cabezales del devanado, como se muestra en la figura 18. Si usted tiene dos componentes adyacentes de diferentes fases e insuficiente espaciado entre ellos, es casi seguro que ocurrirá una actividad de descarga parcial entre los dos. En máquinas enfriadas con aire esto dejará como residuo un polvo blanco. Estas descargas erosionarán lentamente el aislamiento y eventualmente se producirá la ruptura dieléctrica. Cuanto más cerca estén las bobinas o los componentes más rápido se producirá la falla. Generalmente estas fallas de fase a fase toman años en desarrollarse, pero producen

grandes cantidades de ozono en máquinas enfriadas por aire. La combinación de espacio inadecuado y ambiente de operación contaminado puede proveer un terreno fértil para la actividad de descarga parcial.

Figura 18

Separación Inadecuada Entre Bastones Superiores a lo Largo de los Cabezales del Devanado



Fuente: Diagnóstico de Generadores Eléctricos de Potencia con Técnicas de Monitoreo en Línea y Fuera de Línea, Campuzano 2016

2.3.5.7. CALIDAD EN LA FABRICACIÓN ORIGINAL

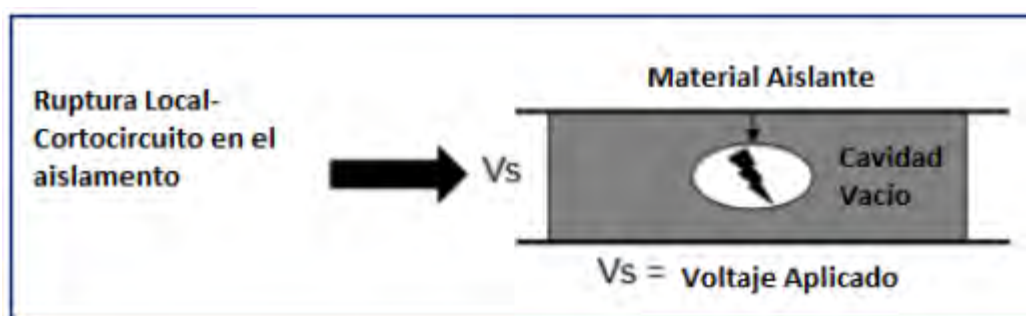
El diseño y procesos empleados en la fabricación original del aislamiento, pueden tener causa efecto con su falla. El uso de altos gradientes de tensión y el acomodo del conjunto núcleo y bobinado, en un volumen pequeño, facilitan la generación de descargas parciales. Ambas decisiones conducen a una alta probabilidad de falla de aislamiento; también es común encontrar huecos entre los costados de las bobinas, o agujeros dentro del aislante que son producidos por un proceso de impregnación mal realizado, todo esto conducirá a una delaminación del aislamiento.

2.3.6. DESCARGAS PARCIALES

Una descarga parcial (DP) de acuerdo a la definición del Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE 1434, 2014)³, es una descarga eléctrica o chispa que puentea (cortocircuita) solo parcialmente el aislamiento de un conductor. Es decir, la chispa se produce entre el conductor y el aislamiento y no termina de descargarse hacia otro elemento conductor, de ahí el término “Parcial”, esto indica que no hay una ruptura del aislamiento, pues el resto del sistema aislante puede seguir cumpliendo su función.

Figura 19

Representación Simple de una Descarga Parcial



Fuente: EN 60270:2001, "High-Voltage Test Techniques - Partial Discharge Measurements"

2.3.7. NATURALEZA DEL FENÓMENO

Cuando el material aislante es sometido a una diferencia de potencial y debido a la presencia de un campo eléctrico el cual tiende a concentrarse en la cavidad, se produce la ionización del gas presente en éstas, dando origen a una descarga eléctrica.

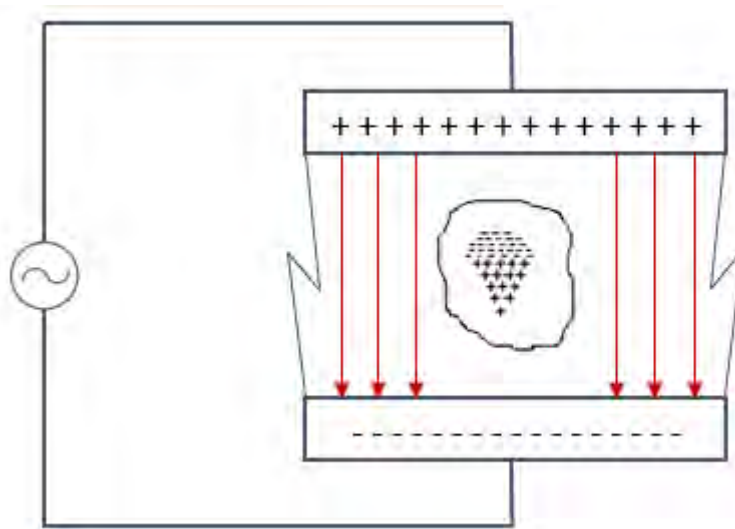
La ionización es un proceso físico, el cual se inicia cuando un electrón libre o un ion negativo llega a un espacio lleno de algún material ionizable, por ejemplo, gas donde exista un campo eléctrico. Si un electrón tiene la suficiente libertad para moverse en el gas, éste adquirirá

³ IEEE Std 1434-2014 (Revision of IEEE Std 1434-2000), IEEE Guide for the Measurement of Partial Discharges in AC Electric Machinery.

una gran energía dinámica tal que en la colisión del electrón y una molécula neutra se liberará un electrón de ésta por el impacto. Así cada vez que esto suceda se liberará un nuevo electrón capaz de producir el mismo efecto, logrando de esta forma que el número de electrones libres aumente, produciendo así el efecto avalancha, como se observa en la figura 20.

Figura 20

Avalancha Inicial para la Formación De Una Descarga Parcial



Fuente: Descargas parciales en transformadores secos encapsulados, A. Granero 2015.

2.3.8. UNIDADES DE MEDIDA DE LAS DESCARGAS PARCIALES

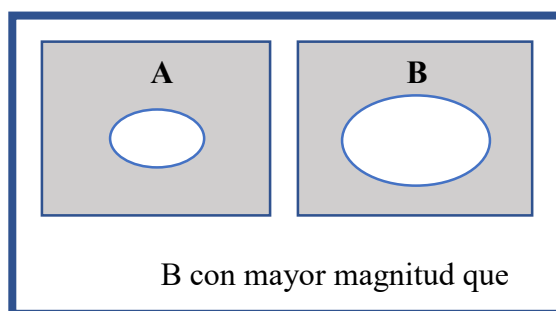
Los pulsos de DP se registran junto con sus diferentes parámetros de pulsos, como son: magnitud, pulsos por segundo, fase y polaridad. No existe una unidad de medida específica para las descargas parciales, que como se sabe son pequeños pulsos de corriente eléctrica dentro del sistema aislante, sin embargo, existen ciertas unidades de medida que toman en cuenta los parámetros de las DP, las cuales han ayudado mucho a la hora de presentar datos y describir patrones gráficos.

2.3.8.1. MAGNITUD

La magnitud de una DP está estrechamente ligada con el tamaño de los agujeros o lo que es lo mismo a la gravedad del daño del sistema aislante, esto quiere decir que a mayor magnitud de DP, mayor es el tamaño de los agujeros en el sistema aislante. La unidad de medida más aplicable para la magnitud de DP es el “Mili voltio (mV)”. La Figura 21 trata de explicar mejor este concepto.

Figura 21

Magnitud de Pulso de una Descarga Parcial



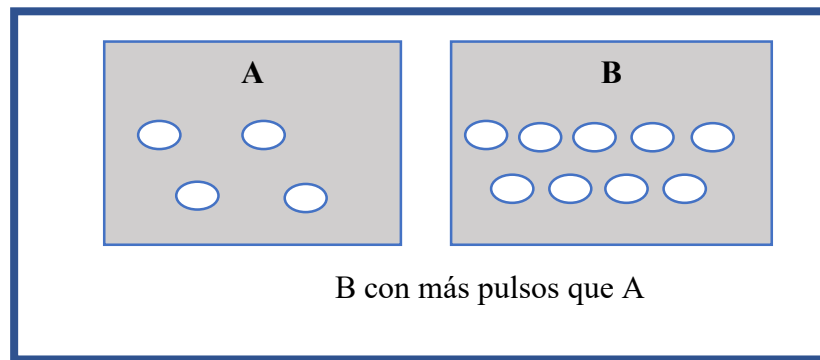
Fuente: Seminario de descargas parciales en máquinas rotativas, Unitronics Electric-Iris Power 2008.

2.3.8.2. PULSOS POR SEGUNDO (PPS)

Esta unidad está directamente relacionada con la cantidad de agujeros o lo que es lo mismo, con la extensión del daño dentro del sistema aislante, representa el conteo de pulsos en la unidad de tiempo, ver Figura 22.

Figura 22

Cantidad de Pulsos de Descargas Parciales



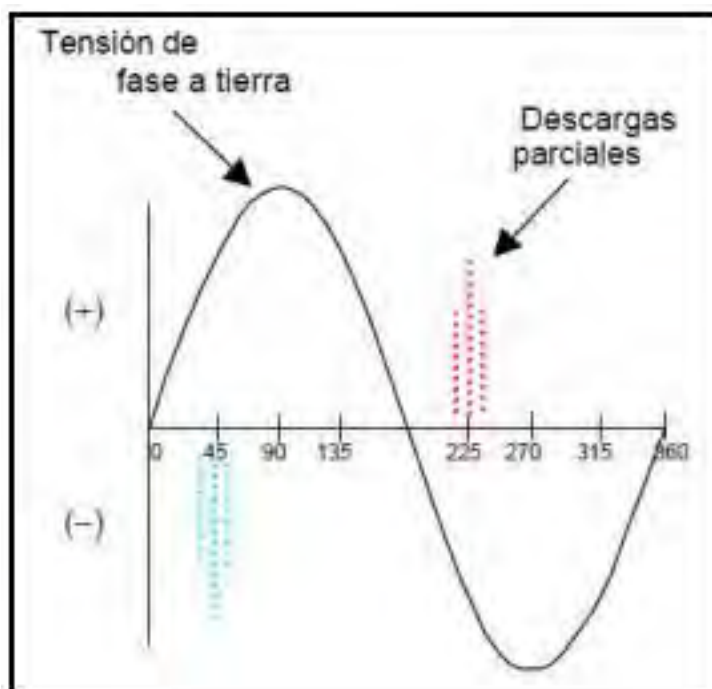
Fuente: Seminario de descargas parciales en máquinas rotativas, Unitronics Electric-Iris Power 2008.

2.3.8.3. POLARIDAD ÁNGULO DE FASE

Esta medida tiene relación directa con la ubicación de los agujeros, es decir, el tipo de daño. Respecto a la tensión de la red los pulsos DP que se agrupan durante el semiciclo positivo de la tensión son de polaridad negativa y las DP originadas en el semiciclo negativo, son de polaridad positiva, ver Figura 23.

Figura 23

Polaridad de la Descarga Parcial



Fuente: Seminario de descargas parciales en máquinas rotativas, Unitronics Electric-Iris Power 2008.

2.4. MARCO CONCEPTUAL

Generador síncrono: También conocido como alternador síncrono o sincrónico, es un tipo de máquina eléctrica rotativa capaz de transformar energía mecánica en energía eléctrica. Las componentes constructivas de la máquina síncrona son generalmente el sistema de excitación, el rotor o campo y el estator o armadura. Su velocidad de rotación se mantiene constante y tiene un vínculo rígido con la frecuencia de la red.

Estator o armadura: Parte fija de la máquina, montada envuelta del rotor de forma que el mismo pueda girar en su interior, también constituido de un material ferromagnético envuelto en un conjunto de enrollamientos distribuidos al largo de su circunferencia. Los enrollamientos del estator son alimentados por un sistema de tensiones alternadas trifásicas.

Descargas Parciales: Una descarga parcial es un fenómeno de ruptura parcial del dieléctrico y que está confinado y localizado en una pequeña parte de un medio aislante.

Fallas en el aislamiento: Los aislamientos tienen una alta rigidez dieléctrica, que les permite soportar altos niveles de tensión mientras mantienen, sostienen y separan los conductores y zonas activas de las máquinas eléctricas. Sin embargo, esta propiedad dieléctrica puede disminuir con el tiempo dependiendo de los esfuerzos térmicos, mecánicos y factores ambientales o químicos a los que se ha sometido el aislante, lo que acelera el envejecimiento y propicia un fallo posterior.

Software: Un Software es un término informático que hace referencia a un programa o conjunto de programas de cómputo, así como datos, procedimientos y pautas que permiten realizar distintas tareas en un sistema informático.

CAPÍTULO III

3. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS DE LAS DESCARGAS PARCIALES

Por lo descrito hasta el momento, se sabe que las descargas parciales actúan en el seno de un dieléctrico provocando la degradación progresiva del material a consecuencia de procesos complejos de degradación, por lo general estos procesos son lentos y las DP son indicativos, síntomas de diversos procesos de degradación. Al tener un concepto claro de que son las DP, porque se producen y como medirlas correctamente, ahora se debe analizar e interpretar los datos de las descargas parciales, para deducir de ellos el estado en el que se encuentran los sistemas de aislamiento de los devanados estáticos de cada generador de la CHM.

3.1. EQUIPOS UTILIZADOS PARA LA OBTENCIÓN DE DATOS

En la Central hidroeléctrica de Machupicchu, se tiene 2 sistemas de monitoreo para descargas parciales, tanto para la fase I como para la fase II. Ambos sistemas con la capacidad de adquirir los datos de las descargas parciales on-line, es decir, con los grupos en funcionamiento.

3.1.1. SISTEMA DE MONITOREO PDM-3PORTABLE PD-TECH

Equipo utilizado para la medición, filtración y la presentación de datos de descargas parciales en los devanados estáticos de los generadores de la Fase I de la CHM.

Figura 24

Sistema de monitoreo PDM-3PORTABLE PD-TECH



Fuente: Elaboración propia

3.1.2. SISTEMA DE MONITOREO HYDROTRAC IRIS POWER

Equipo utilizado para la medición, filtración y la presentación de datos de descargas parciales en los devanados estáticos de los generadores de la Fase II de la CHM.

Figura 25

Sistema de monitoreo HYDROTRAC IRIS POWER



Fuente: Elaboración propia

3.2. PREDOMINIO DE LA POLARIDAD DE PULSOS

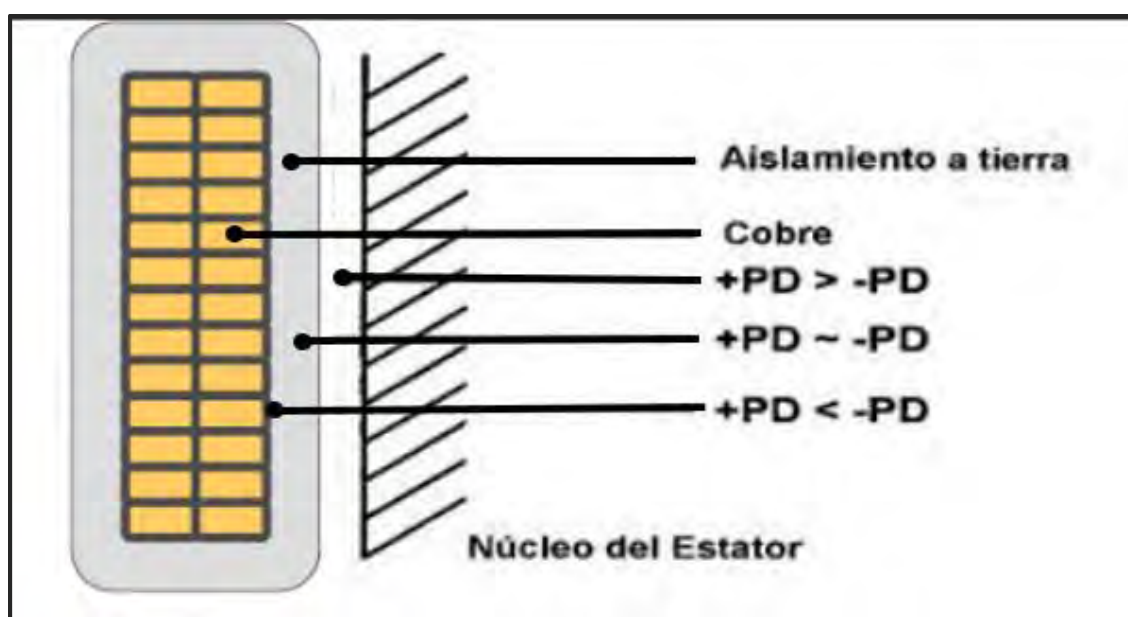
Se considera que hay una predominancia de polaridad, si la magnitud de las DP de una de las polaridades es mayor aproximadamente en un 50% respecto a la otra polaridad y esto es indicativo de la existencia de diferentes mecanismos de degradación del aislamiento. Mediante el análisis de la predominancia de polaridades de pulso, es posible determinar que mecanismo de falla es el predominante. (Iris Power, 2004).

3.2.1. UBICACIÓN DE LAS DESCARGAS PARCIALES

La polaridad de los pulsos y su predominancia dice mucho sobre el mecanismo de falla pertinente. Varios mecanismos de falla producen vacíos o cavidades en ciertas ubicaciones del aislamiento. Observando la polaridad del pulso y su predominancia es a menudo posible determinar la ubicación del vacío y que mecanismo de falla es dominante, como se muestra en la Figura 26.

Figura 26

Predominio de la Polaridad de Pulsos y Ubicación del Vacío



Fuente: Interpretation of PD Results On-line Testing, Iris Power 2004.

3.2.1.1. DESCARGAS PARCIALES EN LA SUPERFICIE DEL AISLAMIENTO

Bobinas flojas, cintas o pintura semiconductoras de baja calidad, contaminación de la superficie o envejecimiento pueden causar descargas parciales en la superficie. Las DP que se originan entre la superficie de la bobina y el hierro del núcleo conectado a tierra, son llamadas descargas de ranura.

Estas DP ocurren entre electrodos hechos de diferentes materiales. Aquí las cargas positivas inmóviles en el aislamiento y las cargas móviles negativas del electrodo metálico a tierra hacen que los pulsos ocurran durante el ciclo negativo de Corriente Alterna. Como el electrodo metálico está a tierra, los pulsos de descargas parciales observables serán predominantemente positivos.

Estas pueden ser de tipo:

a. DESCARGAS PARCIALES EN LAS RANURAS

Ocurren entre la superficie de la bobina y el núcleo del estator. Se puede decir que las descargas parciales causadas por un devanado flojo y problemas con las capas semiconductoras crean descargas parciales en la ranura. El patrón gráfico para los pulsos de descargas parciales en las ranuras es predominantemente positivo.

b. DESCARGAS PARCIALES TIPO CORONA

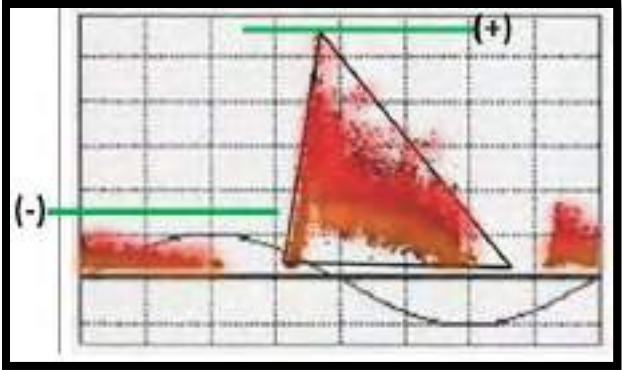
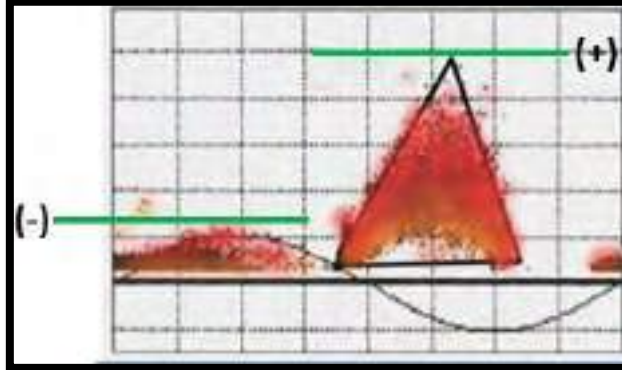
Es una forma de descarga parcial que se produce por la ionización del medio gaseoso alrededor de los conductores, que suele darse por contaminación de la superficie o envejecimiento. Esto suele estar indicado por polvos blancos en la superficie, en bordes y debajo de las cintas semiconductoras.

Al igual que en las DP en las ranuras, el patrón gráfico para los pulsos de descargas parciales tipo corona es predominantemente positivo, pero con una forma triangular distinta en la nube de pulsos, Como se muestra en la tabla 4.

Tabla 4

Diferencia Entre Descargas Parciales En Las Ranuras Y Descargas Parciales Tipo Corona

DESCARGAS PARCIALES EN LA SUPERFICIE DEL AISLAMIENTO

DESCARGAS PARCIALES EN LAS RANURAS	DESCARGAS PARCIALES TIPO CORONA
<p>Figura 27</p> <p><i>Patrón de descarga parcial en las ranuras con predominancia en los pulsos positivos</i></p>  <p>El patrón en el semiciclo negativo tiene una forma triangular distinta con un fuerte aumento alrededor del voltaje negativo cero.</p>	<p>Figura 28</p> <p><i>Patrón de descarga parcial tipo corona con predominancia en los pulsos positivos</i></p>  <p>En comparación con las descargas de ranura, la forma triangular es diferente. Más orientado al voltaje máximo en el semiciclo negativo.</p>

Fuente: Sources of Partial Discharges in Rotating Machines: General Interpretation Scheme for ICMmonitor Data. PD Tech, 1999.

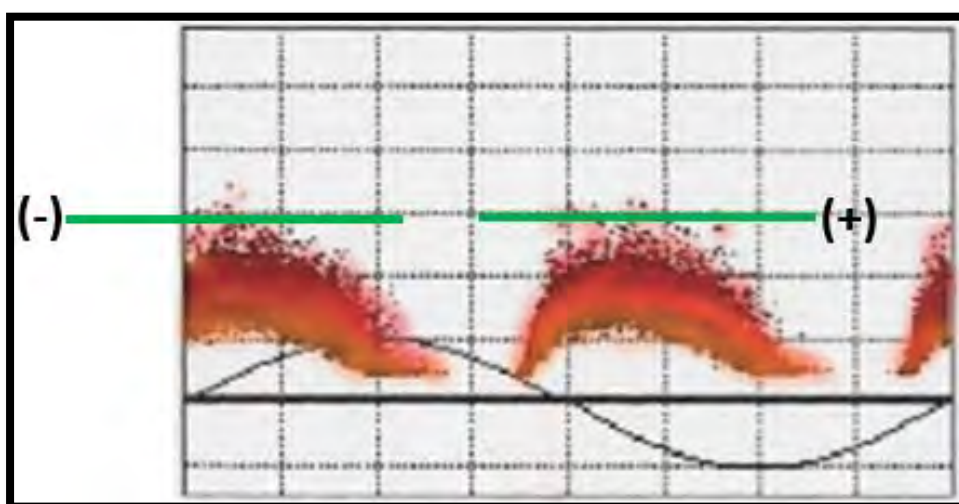
3.2.1.2. DESCARGAS PARCIALES DENTRO DEL VOLUMEN DEL AISLAMIENTO

Los devanados de las máquinas que no han sido impregnadas apropiadamente o que han estado funcionando por varios años a altas temperaturas tienden a desarrollar vacíos dentro del volumen del aislamiento. Cuando esto ocurre el material aislante pierde su fuerza de adhesión, las cintas de aislamiento comienzan a separarse (delaminación).

Una vez que ocurre la descarga parcial, la tensión a través del hueco se estabiliza al nivel requerido para mantener la actividad de descarga. Como el ciclo de Corriente Alterna revierte la polaridad, estas cargas causarán otra condición de sobretensión en la polaridad opuesta y entonces ocurrirá otra descarga parcial. Si ambos lados del vacío tienen materiales similares de aislamiento, entonces la distribución de la carga será igual durante los ciclos positivo y negativo. En teoría, como se muestra en la Figura 29 habrá dos pulsos de descargas parciales observables en cada ciclo de Corriente Alterna de igual magnitud y polaridad opuesta.

Figura 29

Patrón de Descargas Parciales sin Predominancia en la Magnitud de Pulsos



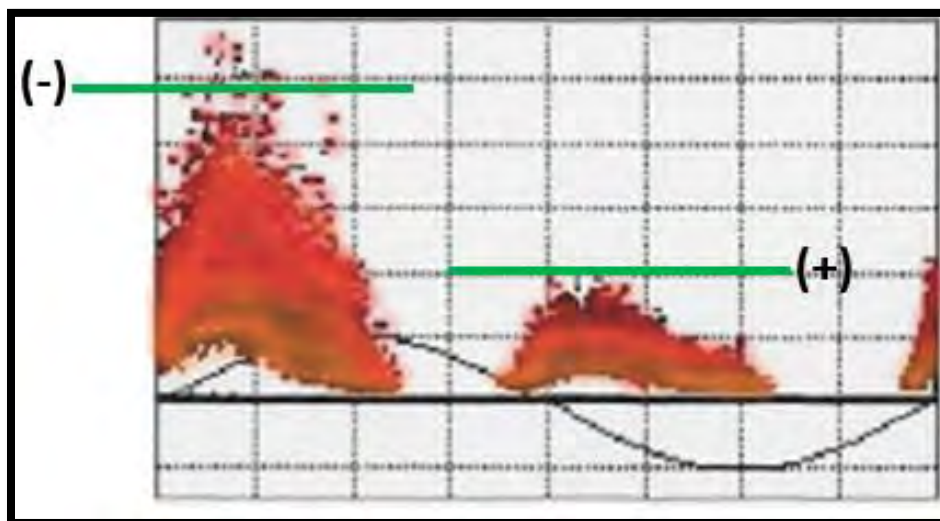
Fuente: Sources of Partial Discharges in Rotating Machines: General Interpretation Scheme for ICMmonitor Data. PD Tech, 1999.

3.2.1.3. DESCARGAS PARCIALES INTERNAS CERCANAS A LOS CONDUCTORES

Una máquina que frecuentemente se carga y descarga (ciclaje de carga) o que se recalienta severamente, desarrolla vacíos cerca de los conductores de cobre. Un vacío entre el conductor de cobre y el aislamiento, exhibe un fenómeno diferente a aquellos que se encuentran en la masa del aislamiento. Aunque los mecanismos básicos de ruptura son los mismos, a causa de que los electrodos son de distintos materiales, ocurre un predominio en la polaridad. La movilidad de los iones positivos en la superficie del aislamiento es menor que la de los iones negativos en la superficie del conductor. El resultado es el predominio de iones negativos migrando a través del hueco hacia la superficie positiva del aislamiento, como se muestra en la figura 30.

Figura 30

Patrón de Descarga Parcial con Predominancia en los Pulsos Negativos



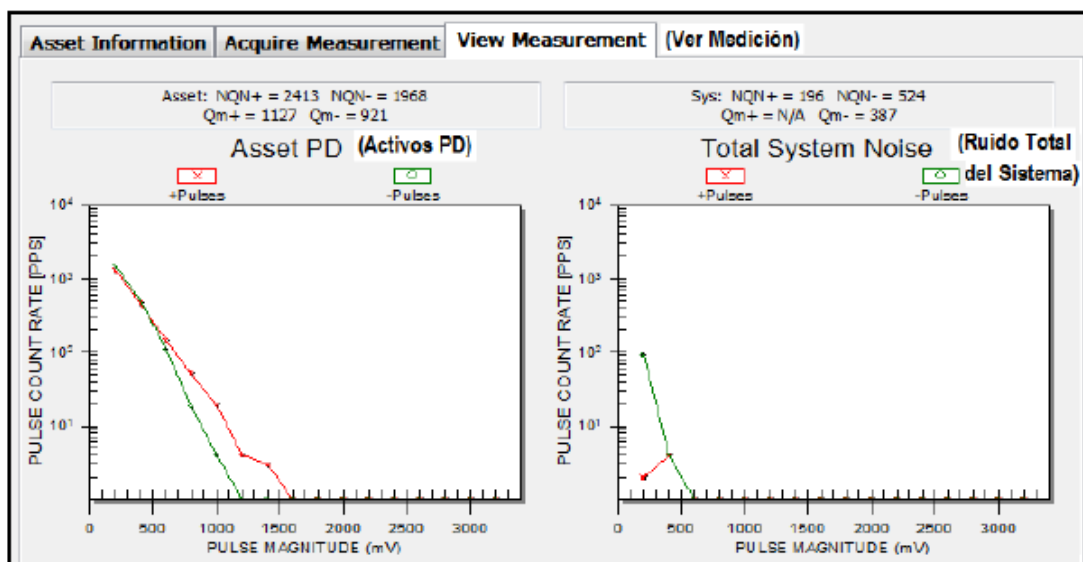
Fuente: Sources of Partial Discharges in Rotating Machines: General Interpretation Scheme for ICMmonitor Data. PD Tech, 1999.

3.3. ESQUEMA DE ANÁLISIS DE LA MAGNITUD DE PULSOS (PHA)

Los esquemas de Análisis de Magnitud del pulso (PHA) representan la relación entre la magnitud de los pulsos y la frecuencia de repetición de esos pulsos para los contadores de descargas parciales de polaridades positiva y negativa, como se muestra en la Figura 31.

Figura 31

Análisis de Magnitud de Pulsos (PHA)



Fuente: Sistema de monitoreo HYDROTRAC IRIS POWER

El eje horizontal es la representación lineal de la magnitud de los pulsos (mV), mientras que el eje vertical es la representación logarítmica del número de pulsos por segundo (PPS). Los instrumentos Iris pueden ser operados usando varios rangos de prueba y cada rango permite dos distintas velocidades para las pruebas: 1 segundo y 5 segundos. Los pulsos siempre se muestran con base a 1 segundo. Cuanto más grande el número de pulsos por segundo, más generalizado es el deterioro en el devanado. Cuanta más alta es la magnitud de los pulsos de descargas parciales, más severo es el deterioro. La comparación de descargas parciales positivas y negativas indicaran que las descargas parciales están dentro de la masa del aislamiento, cerca de los conductores, o en la superficie del aislamiento.

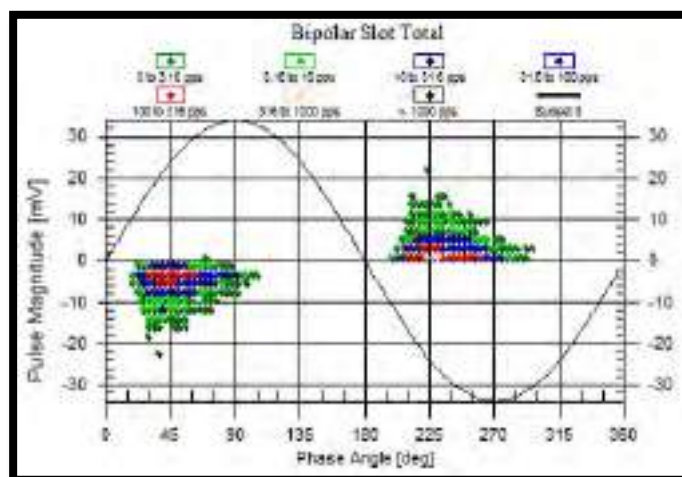
3.4. ESQUEMA LINEAL DE LA DENSIDAD DE PULSOS (LPD)

El Esquema Lineal de la densidad de los pulsos es el tipo de gráfico más comúnmente utilizado para presentar los datos de descargas parciales. Este esquema en dos dimensiones muestra la magnitud de descarga parcial (eje vertical) como una función del ángulo de la fase de la señal de referencia sinusoidal de 50/60Hz (eje horizontal). Un código de color provee información acerca de la frecuencia en que el pulso ocurre para cualquier combinación de fase-ángulo y magnitud.

En el análisis de fase, la referencia de voltaje usualmente elegida para una medición dada es la referencia del voltaje de fase-tierra de la fase sujeta a la prueba en línea. Se debe tener en cuenta que la unidad más grande de la escala en la fase en el esquema (eje x) es de 45° y la más pequeña es de 15° . Esto permite una rápida identificación del valor del ángulo de la fase en la cual se centra un grupo de descargas parciales dado. Específicamente, esto permite una rápida discriminación entre las fuentes de descargas parciales en la superficie, internas y las fuentes de descargas parciales interfaciales, como se observa en la figura 32.

Figura 32

Esquema Lineal de la Densidad de Pulsos (LPD)



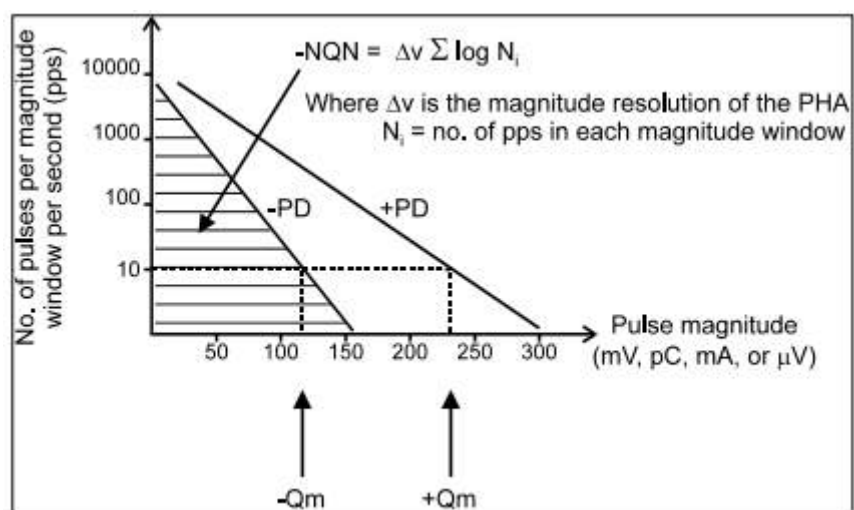
Fuente: Sistema de monitoreo HYDROTRAC IRIS POWER

3.5. RESUMEN DE VARIABLES DE DESCARGAS PARCIALES

Los instrumentos Iris calculan las cantidades Q_m y NQN basados en el esquema de Análisis de Magnitud de los Pulsos (PHA). El NQN , Cantidad Numérica Normalizada, es una cantidad de descarga parcial que es proporcional al total de la descarga parcial medida por un sensor de descargas parciales. El NQN negativo se refiere al total de actividad de pulsos de descargas parciales negativos, mientras que el NQN positivo, se refiere al total de la actividad de descargas parciales proveniente de pulsos positivos. NQN es un indicador de la condición promedio del aislamiento del devanado del estator (ver Figura 33). El Q_m , o Magnitud Máxima, es la magnitud de los pulsos medidos directamente a una frecuencia de repetición de 10 pulsos por segundo, y que corresponde a la máxima actividad de descargas parciales. El Q_m es un indicador de la severidad de las descargas parciales en la parte más deteriorada del devanado. El Q_m positivo o negativo se refiere a la máxima actividad de descargas parciales proveniente de pulsos de descargas parciales positivas o negativas, respectivamente. (Iris Power, 2004).

Figura 33

Resumen de Variables de Descargas Parciales



Fuente: Interpretation of PD Results On-line Testing, Iris Power 2004.

Tanto Qm como NQN son variables normalizadas de las descargas parciales, ambos con la capacidad para ver el nivel de deterioro del aislamiento por descargas parciales y las tendencias de los datos a través del tiempo.

Por lo señalado en el manual Interpretation of PD Results On-line Testing, Iris Power 2004, usaremos la variable “Qm”, para ver el nivel de deterioro del aislamiento por descargas parciales.

La Tabla 5, presenta resúmenes estadísticos de valores Qm basados en la base de datos IRIS 2004, estos contienen más de 60, 000, resultados de pruebas. Los datos están separados por sensor, gas refrigerante y rango de voltaje. Todos estos datos fueron adquiridos con el instrumento de pruebas IRIS. Cada tabla muestra los promedios, máximos y los rangos percentiles, 25th, 50th, 75th, 90th, y 95th. El 25th percentil es la magnitud de Qm cuyo 25% de los resultados de pruebas son inferiores y son muy pequeños como para interpretar. De igual forma para 50%, 75%, 90%.

Tabla 5

Resumen Estadístico de Valores Qm Para Máquinas De 13 – 15 Kv

RANGOS PERCENTILES	NIVELES DE COMPARACIÓN	VALORES Qm (mV)
< 25%	Despreciable	< 38
< 50%	Bajo	< 96
< 75%	Típica	< 194
< 90 %	Moderado	< 392
< 95%	Alto	< 647
> 95%	Muy alto	> 719
Max	Máximo	3000 ^a

Fuente: Interpretation of PD Results On-line Testing, Iris Power 2004.

Nota. ^a El valor Q_m para el máximo riesgo de ruptura dieléctrica en los datos estadísticos de Iris Power es de 3680 mV, este valor fue reemplazado por 3000 mV, porque se encontró información sobre una falla en una máquina con las mismas características a las del generador del Grupo N° 4 de la CHM, en niveles de tensión, potencia eléctrica y sistemas aislantes. La falla se produjo el 26 de junio del 2010, y esta fue: cortocircuito entre las Fases U y V en las barras de salida del generador del Grupo N° 7 de la Central Hidroeléctrica Santiago Antúnez de Mayolo (C.H. Sam) como se observa en la figura 34. Esta falla por descargas parciales tenía picos de magnitudes Q_{m+} de 2428 mV y Q_{m-} de 3435 mV.

Figura 34

Barras de Salida Cortocircuitadas.



Fuente: Diagnóstico en Línea Mediante Descargas Parciales como Técnica de Mantenimiento Predictivo del Devanado Estatórico de los Alternadores de Electroperu S.A, GÜERE 2012.

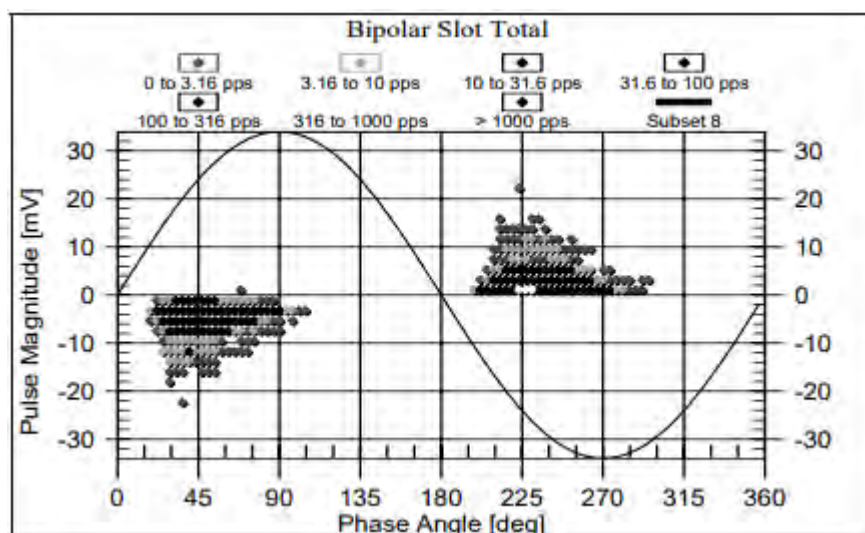
3.6. PULSOS CLÁSICOS DE DESCARGAS PARCIALES

Los pulsos clásicos de DP se generan por los esfuerzos de tensión que causa el voltaje de fase a tierra. Las descargas parciales que se originan dentro de la porción de la ranura en la bobina se centran a 45° para pulsos negativos y 225° para los pulsos positivos, como se observa en la figura 32. Esta es la posición clásica para los pulsos dependientes de los niveles de tensión de fase a tierra. Por lo tanto, este patrón es indicativo de la existencia de descargas parciales en la ranura.

El predominio positivo es una indicación de descargas parciales de superficie debido a desajuste de las bobinas, descargas eléctricas en las ranuras o arcos en la superficie de las cintas o pinturas semiconductoras. El predominio negativo indica descargas parciales internas por deterioro térmico, daño debido a cambios de carga o excesivas puestas en marcha/sobretensión o impregnación inadecuada durante la fabricación.

Figura 35

Esquema Lineal de la Densidad de Pulsos Clásicos de Descargas Parciales



Fuente: Interpretation of PD Results On-line Testing, Iris Power 2004.

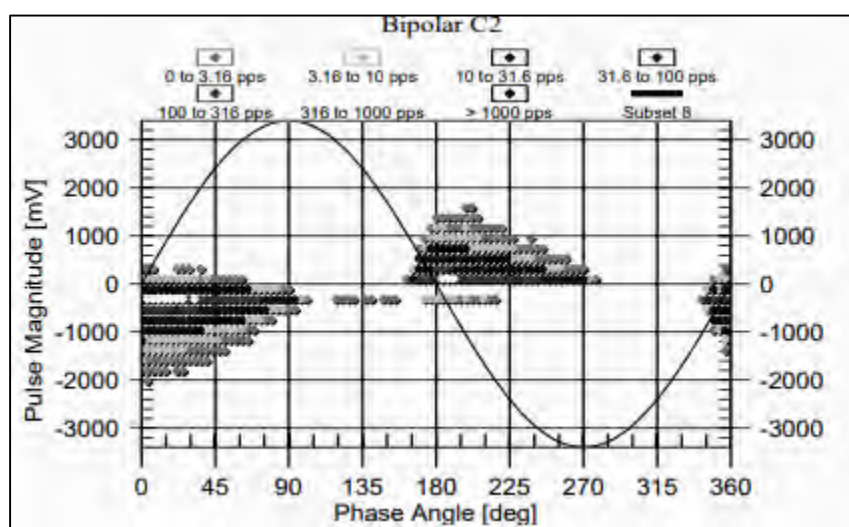
3.7. PULSOS NO CLÁSICOS DE DESCARGAS PARCIALES

Se dice que los pulsos DP no son clásicos, si la agrupación de los pulsos de DP se da en ubicaciones de 15° para pulsos negativos y 255° para los pulsos positivos del ciclo de voltaje de fase a tierra. Este tipo de descargas parciales se da entre fase a fase. Una causa para que se generen pulsos de DP no clásicos, es que se dé una separación que no es uniforme en la zona de cabezales del devanado estatórico de un generador.

Hay otras dos posiciones donde comúnmente ocurren descargas parciales no clásicas: 0° y 180° , ó 90° y 270° , a 0° y 180° , las descargas parciales son usualmente de una fuente afectada por vibraciones mecánicas, como por ejemplo una conexión floja u oxidada. Los pulsos que se agrupan alrededor de los 90° y 270° provienen por lo general de algún tipo de arco eléctrico al aire libre, o efecto corona a lo largo de una superficie muy deteriorada y estrés en la cubierta semiconductor. La magnitud de esta actividad es bastante baja, pero con el envejecimiento de los devanados estos pulsos de DP alcanzan proporciones altísimas hasta hacerse más notorias.

Figura 36

Esquema Lineal de la Densidad de Pulsos No Clásicos de Descargas Parciales



Fuente: Interpretation of PD Results On-line Testing, Iris Power 2004.

3.8. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LA TENDENCIA

El primer paso para el análisis e interpretación consiste en comparar los resultados de las actuales mediciones con los resultados de ensayos anteriores, los valores $\pm Q_m$ serán de mucha utilidad para realizar las tendencias. Para establecer una línea de tendencia los parámetros de operación como la tensión, potencia y temperatura del devanado estatórico, deben de ser lo más similares a la prueba anterior.

Para realizar las comparaciones directas entre las pruebas se recomienda mantener las condiciones de operación dentro de los siguientes rangos mostrados en la Tabla 6.

Tabla 6

Límites de Operación para Realizar las Tendencias de Descargas Parciales

PARÁMETRO DE OPERACIÓN	RANGO
Tensión	+/- 200 V
Potencia	+/- 10%
Temperatura del devanado del estator	+/- 5 °C

Fuente: An insulation deterioration diagnostic method for generations windings. Japan IERE Council, Suichi Akí, 1991.

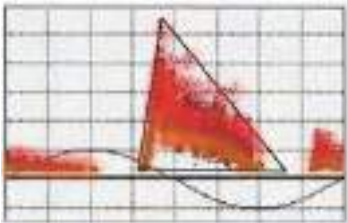
Para Akí (1991) cuando se establece una tendencia lineal para las pruebas de DP tomadas durante un período, es obvio que se mostraran variaciones altas y bajas entre las sucesivas pruebas. Sin embargo, la antigüedad del aislamiento de un sistema, hará más fácil de comprender el incremento de DP con el tiempo. El envejecimiento es un proceso lento por lo tanto no es de esperarse un incremento repentino de DP.

3.9. RESUMEN DEL ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS DE LAS DESCARGAS PARCIALES PARA LA FASE I

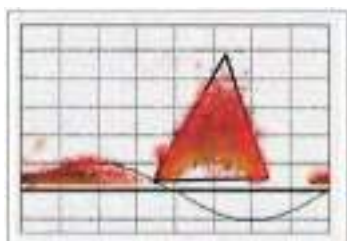
La tabla 7 resume los datos de entrada, el procesamiento de datos y datos de salida para un mejor análisis e interpretación de los datos de las descargas parciales para la fase I de la CHM.

Tabla 7

Ciclo de Procesamiento de Datos para la Fase I De La Central Hidroeléctrica de Machupicchu.

DESCARGAS PARCIALES EN LA SUPERFICIE DEL AISLAMIENTO		
DATOS DE ENTRADA	PROCESAMIENTO DE DATOS	DATOS DE SALIDA
PATRÓN GRÁFICO	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DEL PATRÓN GRÁFICO	RECOMENDACIONES
<p>DESCARGAS PARCIALES EN LAS RANURAS</p> 	<p>La actividad de descargas parciales muestra una predominancia en la magnitud de pulsos positivos sobre los negativos, esto indica la existencia de descargas parciales en la superficie del aislamiento, y puede ser debido a:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Desajustes de las bobinas • Que el recubrimiento semiconductor de las bobinas en la zona de las ranuras este dañado • Descargas eléctricas en las ranuras. 	<ul style="list-style-type: none"> • Se recomienda inspección visual (mediante una cámara boroscópica), para visualizar los daños ocasionados entre la ranura y las zonas de recubrimiento semiconductor de las barras. • Se debe de realizar limpieza de la superficie del estator, y de ser el caso, reparación del recubrimiento dañado. • En el caso que la máquina este inoperativa, tener siempre encendido el sistema de calefacción.

DESCARGAS PARCIALES EN LA SUPERFICIE DEL AISLAMIENTO

DATOS DE ENTRADA**PROCESAMIENTO DE DATOS****DATOS DE SALIDA****ANÁLISIS E****PATRÓN GRÁFICO****INTERPRETACIÓN DEL****RECOMENDACIONES****PATRÓN GRÁFICO**
**DESCARGAS
PARCIALES TIPO
CORONA**


La actividad de descargas parciales es de tipo corona, muestra una predominancia en la magnitud de pulsos positivos sobre los negativos, y puede ser debido a:

- Desajustes de las bobinas
- Que el recubrimiento semiconductor de las bobinas en la zona de las ranuras este dañado.
- Contaminación de la superficie o envejecimiento. Esto suele estar indicado por polvos blancos en la superficie, bordes y debajo de las cintas semiconductoras.

- Se recomienda inspección visual (mediante una cámara boroscópica), para visualizar los daños ocasionados entre la ranura y las zonas de recubrimiento semiconductor de las barras.

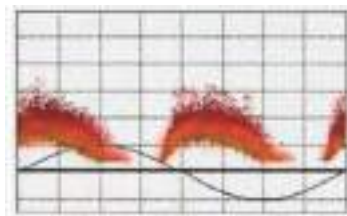
- Se debe de realizar limpieza de la superficie del estator, y de ser el caso, reparación del recubrimiento dañado.

- En el caso que la máquina este inoperativa, tener siempre encendido el sistema de calefacción.
-

DESCARGAS PARCIALES DENTRO DEL VOLUMEN DEL AISLAMIENTO

DATOS DE ENTRADA**PROCESAMIENTO DE DATOS****DATOS DE SALIDA**

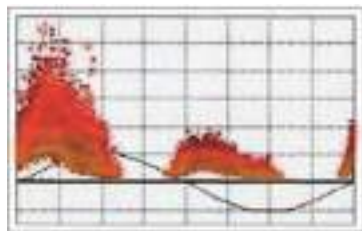
ANÁLISIS E
PATRONES GRÁFICOS**INTERPRETACIÓN DEL****RECOMENDACIONES**

PATRÓN GRAFICO


La actividad de descargas parciales muestra que no existe predominancia en la polaridad de pulsos, esto indica la existencia de Descargas parciales dentro del volumen del aislamiento, normalmente es el resultado del deterioro térmico (Sobrecalentamiento), que ha hecho que el material aislante pierda su fuerza de adhesión.

- Lo más recomendable es reducir la temperatura de refrigeración de los devanados, lo cual podría hacer más lenta la degradación.
 - Limpiar los radiadores de la presencia de aceite.
 - En el caso que la máquina este inoperativa, tener siempre encendido el sistema de calefacción.
-

DESCARGAS PARCIALES INTERNAS CERCANAS A LOS CONDUCTORES

DATOS DE ENTRADA**PROCESAMIENTO DE DATOS****DATOS DE SALIDA****ANÁLISIS E****PATRONES GRÁFICOS****INTERPRETACIÓN DEL****RECOMENDACIONES****PATRÓN GRAFICO**

La actividad de descargas parciales muestra una predominancia en la magnitud de pulsos negativos sobre los positivos, esto indica la existencia de Descargas parciales internas cercanas a los conductores, y puede ser debido a:

- Deterioro térmico.
- Arranques y paros excesivos, sobretensión.
- las cintas de aislamiento comienzan a separarse (delaminación).
- Impregnación inadecuada durante la fabricación.

- Es posible retardar el proceso de degradación evitando cambios bruscos en los procedimientos de operación, revisar la temperatura de operación de la máquina.

- En el caso que la máquina este inoperativa, tener siempre encendido el sistema de calefacción.

Fuente: Sources of Partial Discharges in Rotating Machines: General Interpretation Scheme for ICMmonitor Data. PD Tech, (1999); IEEE Guide for the Measurement of Partial Discharges in AC Electric Machinery. IEEE Std 1434-2014 (Revision of IEEE Std 1434-2000).

3.10. RESUMEN DEL ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS DE LAS DESCARGAS PARCIALES PARA LA FASE II

3.10.1. PREDOMINIO DE LA POLARIDAD DE PULSOS CON LOS DATOS Q_m .

Para determinar el predominio de la magnitud de pulsos se hará la comparación entre las magnitudes máximas Q_{m+} y Q_{m-} .

- Si el cociente de la división de estas cantidades es mayor a 1.5, entonces, existe predominio de pulsos Positivos

$$\frac{Q_{m+}}{Q_{m-}} > 1.5$$

- Si el cociente de la división de estas cantidades es semejante, entonces, no existe predominancia de polaridad de pulsos.

$$Q_{m+} \sim Q_{m-}$$

$$0.5 \leq \frac{Q_{m+}}{Q_{m-}} \leq 1.5$$

- Si el cociente de la división de estas cantidades es menor a 0.5, entonces, existe predominio de pulsos Negativos.

$$\frac{Q_{m+}}{Q_{m-}} < 0.5$$

Nota. Los valores 1.5 y 0.5 son referenciados de: Seminario técnico de descargas parciales en máquinas rotativas. Madrid, 2008. UNITRONICS ELECTRIC - IRIS POWER.

La tabla 8 resume los datos de entrada, el procesamiento de datos y datos de salida para la elaboración del software para la fase II.

Tabla 8

Ciclo de Procesamiento de Datos para La Fase II De La Central Hidroeléctrica De Machupicchu

DESCARGAS PARCIALES EN LA SUPERFICIE DEL AISLAMIENTO		
DATOS DE ENTRADA	PROCESAMIENTO DE DATOS	DATOS DE SALIDA
	ANÁLISIS E	
MAGNITUDES	INTERPRETACIÓN DE LAS	RECOMENDACIONES
MÁXIMAS (Q_{m+} y Q_{m-})	MAGNITUDES MÁXIMAS	
PREDOMINIO DE	La actividad de descargas parciales muestra una predominancia en la magnitud de pulsos positivos sobre los negativos, esto indica la existencia de descargas parciales en la superficie del aislamiento, y puede ser debido a:	<ul style="list-style-type: none"> • Se recomienda inspección visual (mediante una cámara boroscópica), para visualizar los daños ocasionados entre la ranura y las zonas de recubrimiento semiconductor de las barras.
PULSOS POSITIVOS	<ul style="list-style-type: none"> • Desajustes de las bobinas 	<ul style="list-style-type: none"> • Se debe de realizar limpieza de la superficie del estator, y de ser el caso, reparación del recubrimiento dañado.
+Q_m > -Q_m	<ul style="list-style-type: none"> • Que el recubrimiento semiconductor de las bobinas en la zona de las ranuras este dañado • Descargas eléctricas en las ranuras. • Contaminación de la superficie o envejecimiento. Esto suele estar indicado por polvos blancos en la superficie, bordes y debajo de las cintas semiconductoras. 	<ul style="list-style-type: none"> • En el caso que la máquina este inoperativa, tener siempre encendido el sistema de calefacción.

DESCARGAS PARCIALES DENTRO DEL VOLUMEN DEL AISLAMIENTO

DATOS DE ENTRADA	PROCESAMIENTO DE DATOS	DATOS DE SALIDA
MAGNITUDES MÁXIMAS (Qm+ y Qm-)	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LAS MAGNITUDES MÁXIMAS	RECOMENDACIONES
NO EXISTE PREDOMINANCIA EN LA POLARIDAD DE PULSOS +Qm ~ -Qm	<p>La actividad de descargas parciales muestra que no existe predominancia en la polaridad de pulsos, esto indica la existencia de Descargas parciales dentro del volumen del aislamiento, normalmente es el resultado del deterioro térmico (Sobrecalentamiento), que ha hecho que el material aislante pierda su fuerza de adhesión.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Lo más recomendable es reducir la temperatura de refrigeración de los devanados, lo cual podría hacer más lenta la degradación. • Limpiar los radiadores de la presencia de aceite. • En el caso que la máquina este inoperativa, tener siempre encendido el sistema de calefacción.

DESCARGAS PARCIALES INTERNAS CERCANAS A LOS CONDUCTORES

DATOS DE ENTRADA	PROCESAMIENTO DE DATOS	DATOS DE SALIDA
MAGNITUDES MÁXIMAS (Q_{m+} y Q_{m-})	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LAS MAGNITUDES MÁXIMAS	RECOMENDACIONES
PREDOMINIO DE PULSOS NEGATIVOS +Q_m < -Q_m	<p>La actividad de descargas parciales muestra una predominancia en la magnitud de pulsos negativos sobre los positivos, esto indica la existencia de Descargas parciales internas cercanas a los conductores, y puede ser debido a:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Deterioro térmico • Arranques y paros excesivos, sobretensión. • las cintas de aislamiento comienzan a separarse (delaminación). • Impregnación inadecuada durante la fabricación. 	<ul style="list-style-type: none"> • Es posible retardar el proceso de degradación evitando cambios bruscos en los procedimientos de operación, revisar la temperatura de operación de la máquina. • En el caso que la máquina este inoperativa, tener siempre encendido el sistema de calefacción.

Fuente: Interpretation of PD Results On-line Testing, Iris Power 2004; IEEE Guide for the Measurement of Partial Discharges in AC Electric Machinery. IEEE Std 1434-2014 (Revision of IEEE Std 1434-2000).

Tabla 9*Ciclo De Procesamiento de Datos para Descargas Parciales No Clásicas*

DESCARGAS PARCIALES NO CLÁSICAS		
DATOS DE ENTRADA	PROCESAMIENTO DE DATOS	DATOS DE SALIDA
ÁNGULO DE FASE DE LA GRÁFICA LPD	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DEL ÁNGULO DE FASE	RECOMENDACIONES
Las descargas parciales no clásicas se concentran alrededor de (0°, 15°,90°, 180°, 255° y 270°)	<p>Existencia de Descargas parciales no clásicas, se da Entre fase – fase, en los cabezales, debido a:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Contaminación en los cabezales. • Espacio inadecuado entre bobinas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Efectuar planes de mantenimientos periódicos, para una exhaustiva inspección y limpieza de cabezales. • Evitar que la maquina este inoperativa sin tener encendido el sistema de calefacción

Fuente: Interpretation of PD Results On-line Testing, Iris Power 2004; IEEE Guide for the Measurement of Partial Discharges in AC Electric Machinery. IEEE Std 1434-2014 (Revision of IEEE Std 1434-2000).

CAPÍTULO IV

4. DISEÑO DE LOS SOFTWARES PARA EL ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS DE LAS DESCARGAS PARCIALES PARA LA FASE I Y FASE II DE LA CHM.

Se diseñó dos softwares, el primer software para la fase I de la CHM, que tendrá el nombre de: “Sistema de Análisis e Interpretación de datos de descargas parciales Fase I”, y el segundo software para la fase II de la CHM, que tendrá el nombre de: “Sistema de Análisis e Interpretación de datos de descargas parciales Fase II”.

Para el diseño de ambos softwares se utilizó el programa VBA (Visual Basic for Application) de Microsoft Excel.

VBA es un lenguaje de programación que permite automatizar los flujos de trabajo repetitivos y generar herramientas prácticas para la gestión de proyectos.

Los códigos de programación para los dos softwares se detallan en el anexo B.

4.1. DISEÑO DEL SOFTWARE PARA LA FASE I DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE MACHUPICCHU.

El software, sistema de análisis de datos de descargas parciales Fase I, está diseñado para determinar el nivel de deterioro de los sistemas de aislamiento por efecto de las descargas parciales para los grupos 1, 2 y 3 que conforman la fase I de la central hidroeléctrica de Machupicchu, basándose en el análisis e interpretación de datos de descargas parciales vistos en el capítulo anterior, para así lograr un resultado automatizado más concreto, óptimo y en menor tiempo en la obtención de resultados.

4.1.1. DISEÑO DE LOS MÓDULOS DEL SOFTWARE PARA LA FASE I

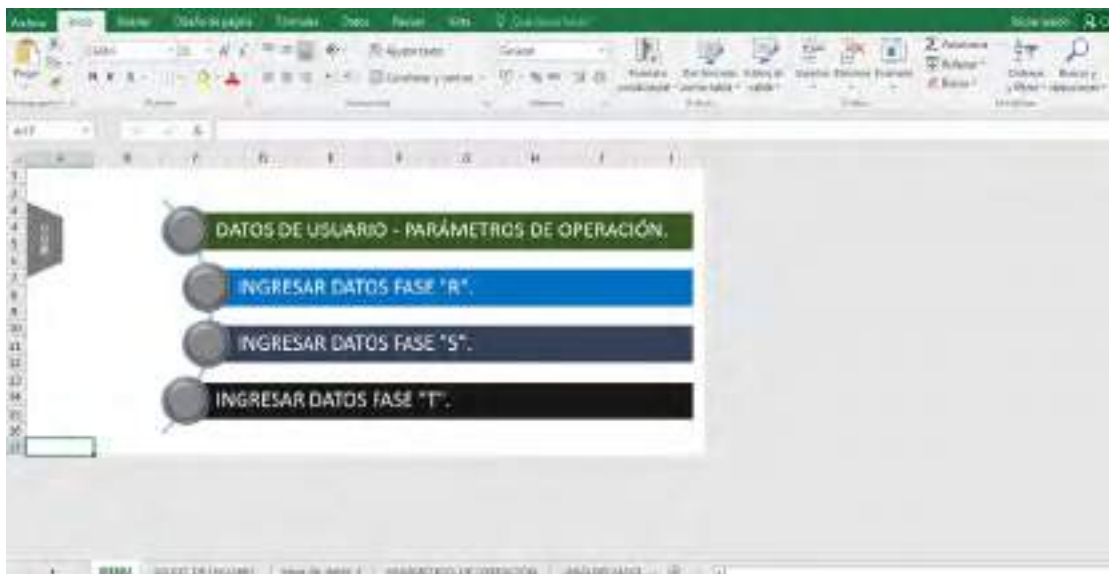
4.1.1.1. DISEÑO DEL MÓDULO MENÚ PRINCIPAL PARA EL SOFTWARE DE LA FASE I

En la figura 37 se observa los inicios del diseño del menú principal para el software de la fase I.

Este módulo está diseñado para dirigirnos de un módulo a otro y poder regresar siempre a la página de inicio.

Figura 37

Diseño del Módulo Menú Principal



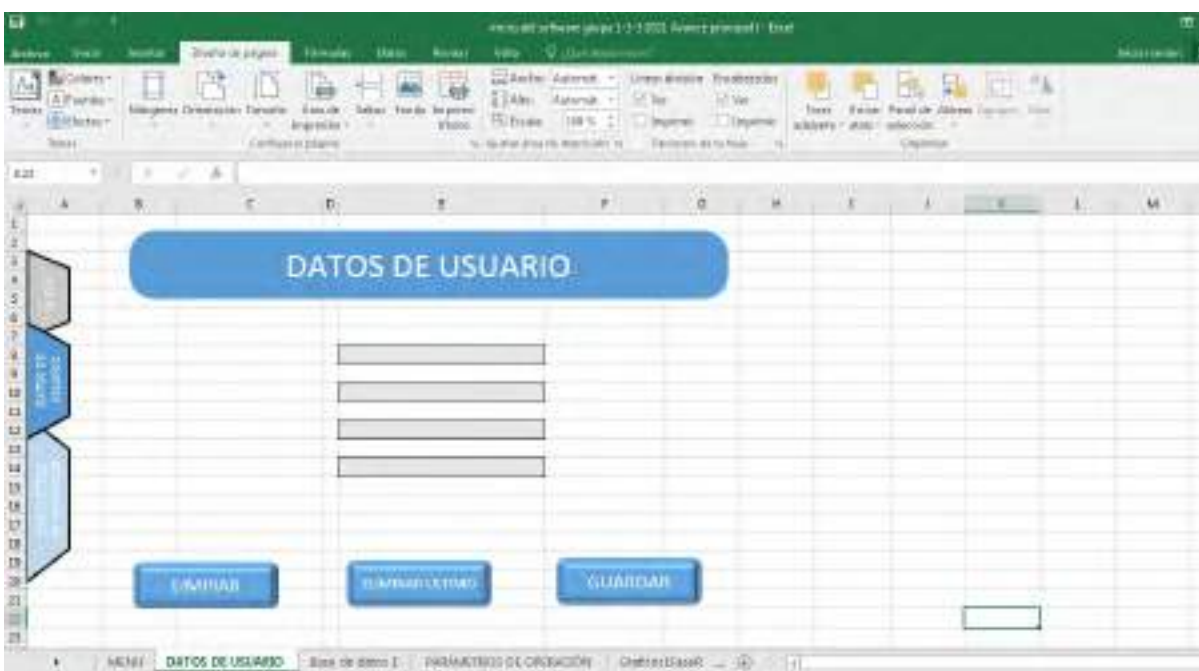
Fuente: Elaboración propia

4.1.1.2. DISEÑO DEL MÓDULO DATOS DE USUARIO PARA EL SOFTWARE DE LA FASE I

Los componentes mostrados en la figura 38 están diseñados para ser almacenados en la hoja llamada Base de datos 1 para el software de la fase I, como se observa en la figura 39.

Figura 38

Diseño del Módulo Datos de Usuario



Fuente: Elaboración propia

Figura 39

Hoja Base de datos 1, Para el Software de la Fase I

The screenshot shows an Excel spreadsheet with the following data:

FECHA	NÚMERO DE INFORME	ENCARGADO	ÁREA
01-may-21	323232	Dario willian Roldan Cajigas	Mantenimiento Eléctrico
25-feb-21	1402171	Dario willian Roldan Cajigas	Mantenimiento Eléctrico
20-oct-21	22222	Dario willian Roldan Cajigas	Mantenimiento Eléctrico
10-oct-20	32313232	Prueba 1	Mantenimiento Eléctrico
10-oct-20	32313232	Prueba 2	Mantenimiento Eléctrico

Fuente: Elaboración propia

Esta hoja de cálculo está diseñada para almacenar los datos de entrada del usuario, y de esta manera poder realizar la recopilación de estos datos para la elaboración automática del informe de las descargas parciales.

4.1.1.3. DISEÑO DEL MÓDULO PARÁMETROS DE OPERACIÓN PARA EL SOFTWARE DE LA FASE I

Se diseñó este módulo para los datos de los parámetros de operación, cuyos datos son almacenados en la misma hoja, como se muestra en la figura 40, simultáneamente estos datos son recopilados para la elaboración automática del informe de las descargas parciales.

Figura 40

Diseño del Módulo Parámetros de Operación

The screenshot shows an Excel spreadsheet with the following content:

PARÁMETROS DE OPERACIÓN

TENSIÓN: 11.8 kV

POTENCIA: 100.40 MW

TEMPERATURA DEL DEVANADO DEL ESTATOR FASE R: 88.20 °C

TEMPERATURA DEL DEVANADO DEL ESTATOR FASE S: 79.68 °C

TEMPERATURA DEL DEVANADO DEL ESTATOR FASE T: 88.16 °C

ULTIMOS PARÁMETROS DE OPERACIÓN TOMADOS PARA LA REGISTRO

TENSIÓN	POTENCIA	TEMPERATURA	TEMPERATURA	TEMPERATURA
11.8 kV	100.40 MW	80.20 °C	79.68 °C	80.16 °C
11.8 kV	100.30 MW	80.20 °C	79.65 °C	80.23 °C
11.8 kV	100.30 MW	80.20 °C	79.65 °C	80.23 °C
11.8 kV	100.30 MW	80.20 °C	79.65 °C	80.23 °C
11.8 kV	100.30 MW	80.20 °C	79.65 °C	80.23 °C
11.8 kV	100.30 MW	80.20 °C	79.65 °C	80.23 °C

Buttons: LIMPIAR, ELIMINAR ÚLTIMO, GUARDAR

Sheet tabs: DATOS DE USUARIO, Base de datos 1, **PARÁMETROS DE OPERACIÓN**, Grafico de fase R, Grafico de fase S, Grafico de fase T

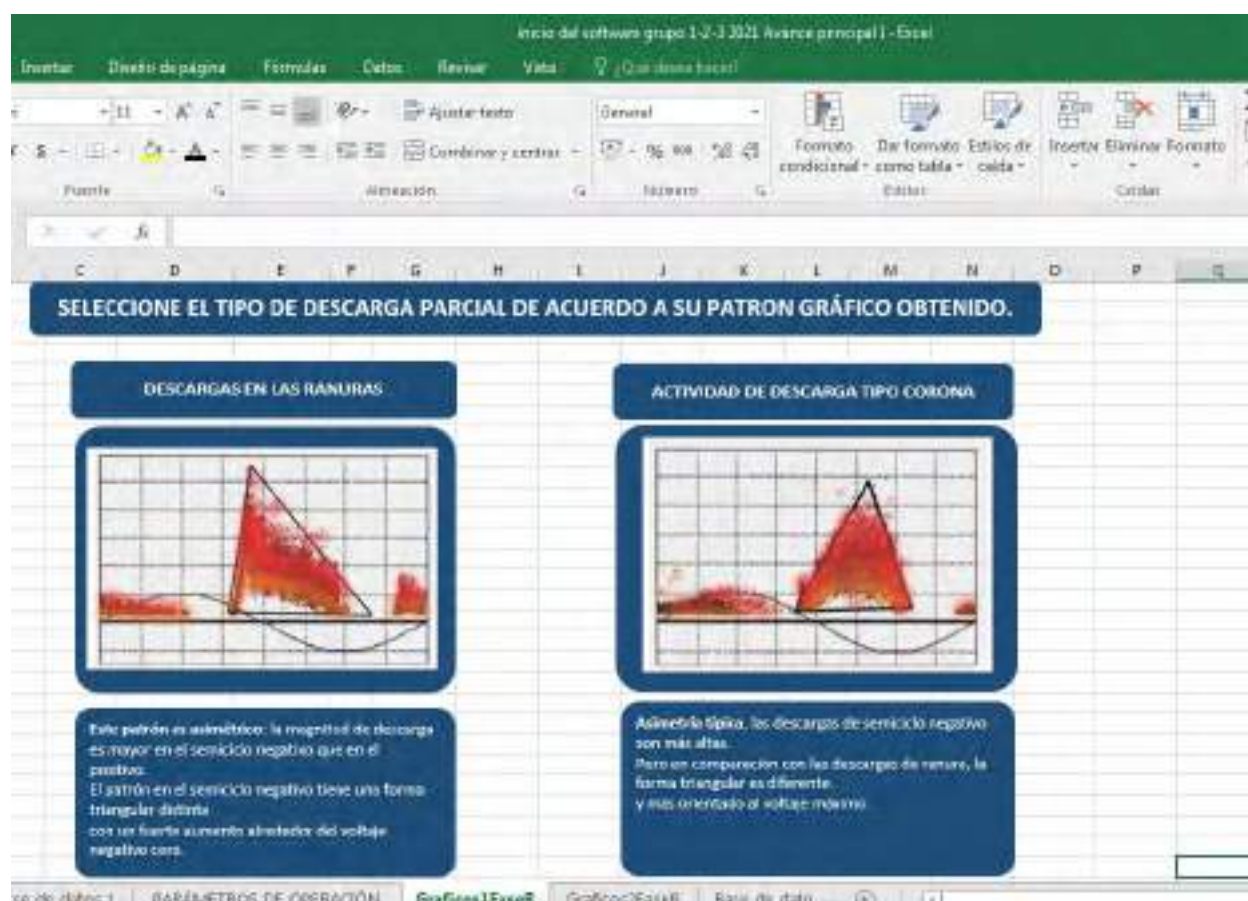
Fuente: Elaboración propia

4.1.1.4. DISEÑO DEL MÓDULO PATRÓN GRÁFICO FASE R, S Y T

Este módulo es diseñado con la inserción de los patrones gráficos de las descargas parciales establecidas por las normas y manuales respectivos, para luego ser comparadas con los patrones gráficos obtenidos del sistema de monitoreo de descargas parciales de la Central Hidroeléctrica de Machupicchu. Y de esta manera poder elegir el patrón gráfico más adecuado para su análisis e interpretación.

Figura 41

Diseño del Módulo Patrón Gráfico



Fuente: Elaboración propia

4.1.1.5. DISEÑO DEL MÓDULO BASE DE DATOS 2 PARA EL SOFTWARE DE LA FASE I

Este módulo es diseñado para que de acuerdo al patrón grafico seleccionado, el software elija automáticamente la interpretación y la recomendación respectiva.

Figura 42

Diseño del Módulo Base De Datos 2 Para el Software de la Fase I

Comparación Qm	Interpretación	Recomendación
Qm+	<p>La actividad de descargas parciales muestra una predominancia en la magnitud de pulsos positivos sobre los negativos, esto indica la existencia de descargas parciales en la superficie del aislamiento, y puede ser debido a:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Desajustes de las bobinas • Que el recubrimiento semiconductor de las bobinas en la zona de las ranuras este dañado • Descargas eléctricas en las ranuras. 	<p><input type="checkbox"/> Se recomienda inspección visual (mediante una cámara boroscópica), para visualizar los daños ocasionados entre la ranura y las zonas de recubrimiento semiconductor de las bobinas.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Se debe de realizar limpieza de la superficie del estator, y de ser el caso, reparación del recubrimiento dañado. • En el caso que la máquina este inoperativa, tener siempre encendido el sistema de calefacción.
Qm+=Qm-	<p>La actividad de descargas parciales muestra que no existe predominancia en la polaridad de pulsos, esto indica la existencia de Descargas parciales dentro del volumen del aislamiento, normalmente es el resultado del deterioro térmico (Sobrecalentamiento), que ha hecho que el material aislante pierda su fuerza de adhesión.</p>	<p><input type="checkbox"/> Lo más recomendable es reducir la temperatura de refrigeración de los devanados, lo cual podría hacer más lenta la degradación.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Limpiar los radiadores de la presencia de aceite. • En el caso que la máquina este inoperativa, tener siempre encendido el sistema de calefacción.
Qm-	<p>La actividad de descargas parciales muestra una predominancia en la magnitud de pulsos negativos sobre los positivos, esto indica la existencia de Descargas parciales internas cercanas a los conductores, y puede ser debido a:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Deterioro térmico • Arranques y paros excesivos, sobretensión. • las cintas de aislamiento comienzan a separarse (delaminación). • Impregnación inadecuada durante la fabricación. 	<ul style="list-style-type: none"> • Es posible retardar el proceso de degradación evitando cambios bruscos en los procedimientos de operación, revisar la temperatura de operación de la máquina. • En el caso que la máquina este inoperativa, tener siempre encendido el sistema de calefacción.

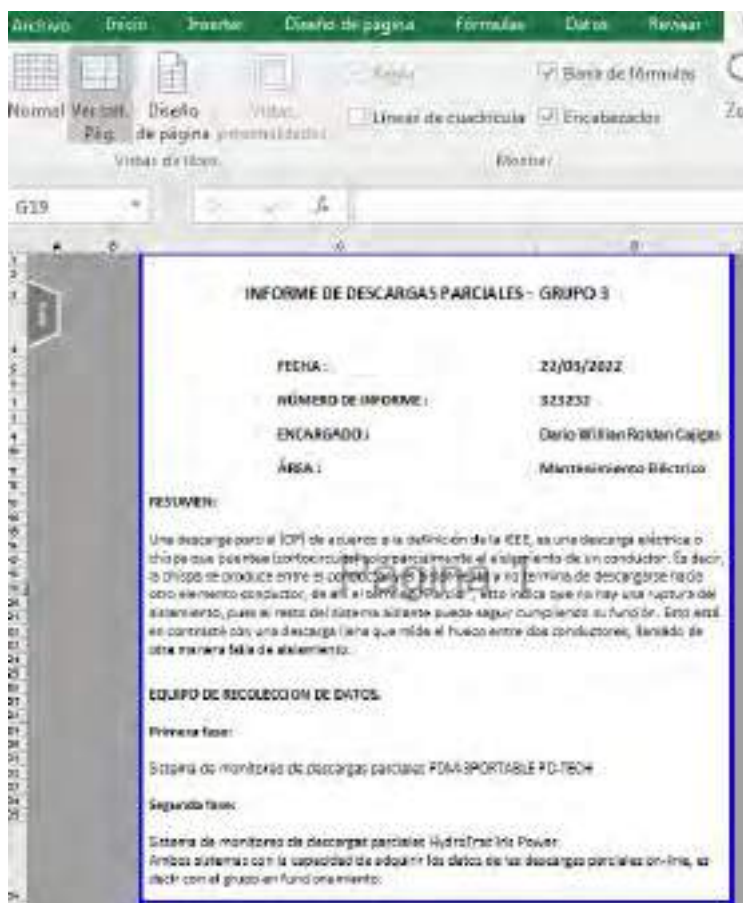
Fuente: Elaboración propia

4.1.1.6. DISEÑO DEL INFORME DE DESCARGAS PARCIALES PARA EL SOFTWARE DE LA FASE I

Para generar este informe de manera automática se diseña este módulo que contiene como base los datos de usuario, los parámetros de operación, la elección del patrón gráfico y la interpretación correspondiente, todos estos datos son almacenados en los módulos base de datos 1 y base de datos 2, de manera simultánea estos datos son recopilados por este módulo para la elaboración automática del informe final de descargas parciales, donde se determina el nivel de deterioro de los sistemas de aislamiento por efecto de las descargas parciales.

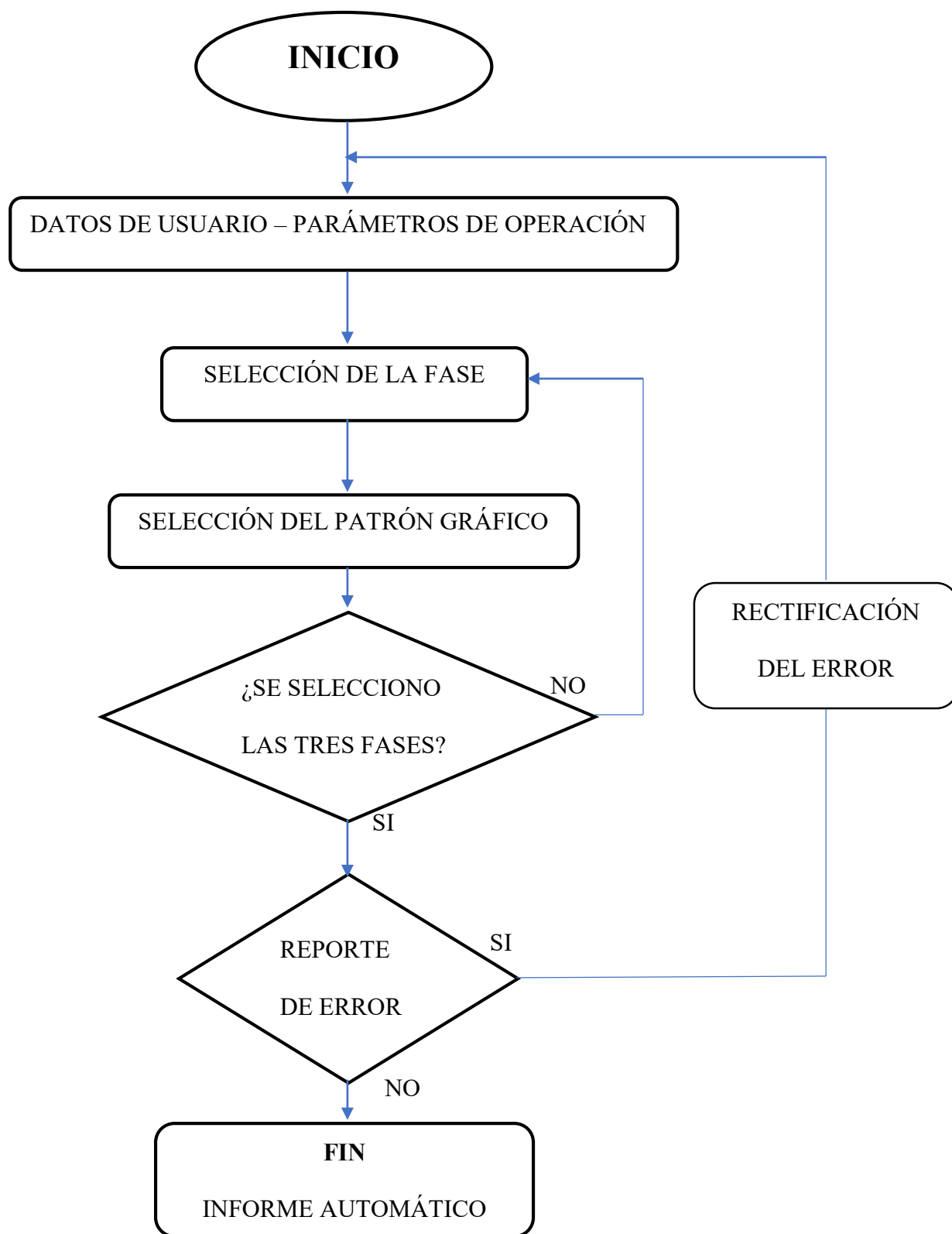
Figura 43

Diseño del Informe de Descargas Parciales Para el Software de la Fase I



Fuente: Elaboración propia

4.1.1.7. DIAGRAMA DE FLUJO DEL SOFTWARE PARA LA FASE I



Fuente: Elaboración propia

4.2. DISEÑO DEL SOFTWARE PARA LA FASE II DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE MACHUPICCHU.

El software, sistema de análisis de datos de descargas parciales Fase II, está diseñado para determinar el nivel de deterioro de los sistemas de aislamiento por efectos de las descargas parciales para el grupo 4 de la Central Hidroeléctrica de Machupicchu, basándose en el análisis e interpretación de datos de descargas parciales vistos en el capítulo anterior, de esta manera lograr un resultado automatizado más concreto, óptimo y en menor tiempo en la obtención de resultados.

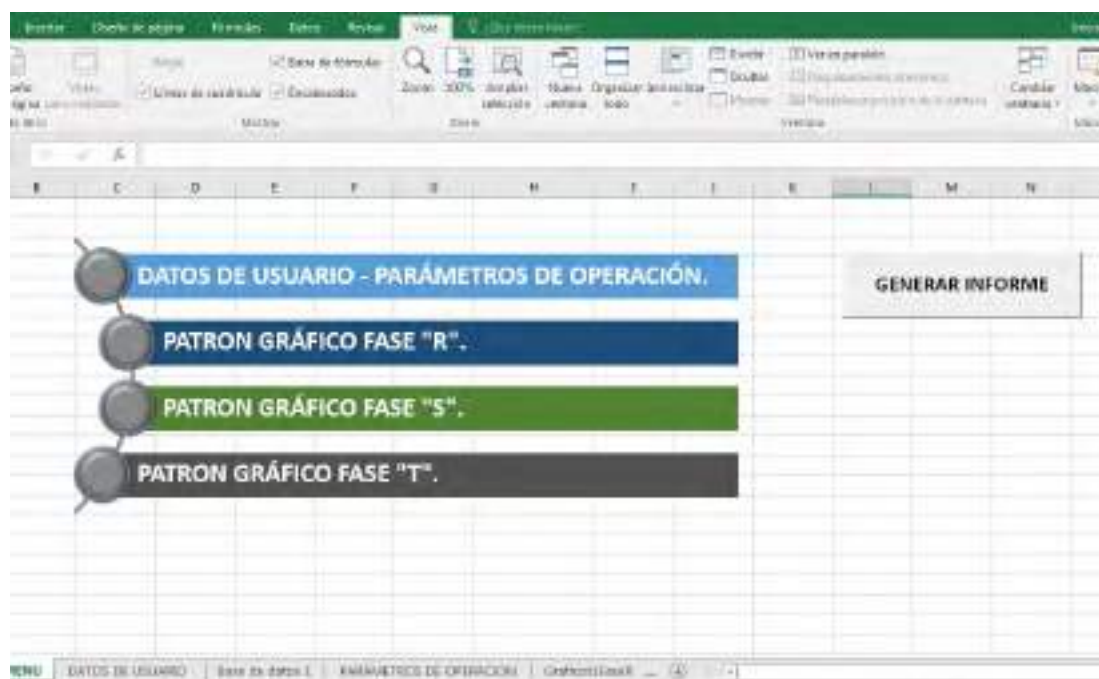
4.2.1. DISEÑO DE LOS MÓDULOS DEL SOFTWARE PARA LA FASE II

4.2.1.1. DISEÑO DEL MÓDULO MENÚ PRINCIPAL PARA EL SOFTWARE DE LA FASE II

En la figura 44, se observa los inicios del diseño del menú principal del software para la fase II.

Figura 44

Diseño Del Módulo Menú principal



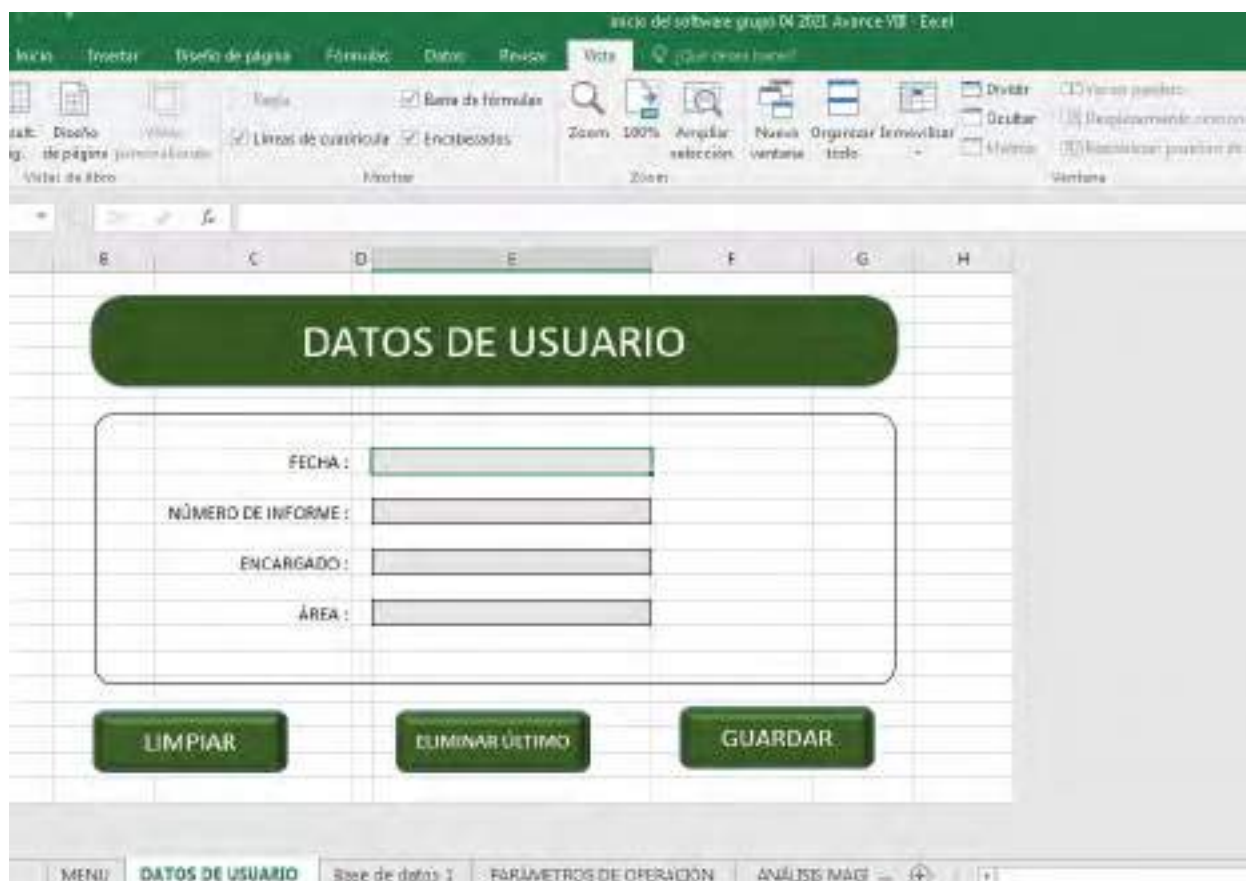
Fuente: Elaboración propia

4.2.1.2. DISEÑO DEL MÓDULO DATOS DE USUARIO PARA EL SOFTWARE DE LA FASE II

Los componentes mostrados en la figura 45 están diseñados para ser almacenados en la hoja llamada Base de datos 1 para el software de la fase II mostrada en la figura 46.

Figura 45

Diseño del Módulo Datos de Usuario para el software de la fase II



The image shows a screenshot of an Excel spreadsheet with a user data entry form. The form is titled "DATOS DE USUARIO" in a green rounded rectangle. Below the title, there are four input fields with labels: "FECHA:", "NÚMERO DE INFORME:", "ENCARGADO:", and "ÁREA:". At the bottom of the form, there are three green buttons: "LIMPIAR", "ELIMINAR ÚLTIMO", and "GUARDAR". The spreadsheet background is visible, showing columns E through H and rows 1 through 10. The Excel ribbon is visible at the top, showing the "Inicio" tab and various icons for font, alignment, and data tools. The status bar at the bottom shows the current sheet is "DATOS DE USUARIO" and the workbook is "Base de datos 1".

Fuente: Elaboración propia

Figura 46

Base de datos 1 para el software de la fase II

The screenshot shows an Excel spreadsheet with the following data:

FECHA	NÚMERO DE INFORME	ENCARGADO	ÁREA
20-oct-11	22222	Dario William Roldan Cajigas	Mantenimiento Eléctrico
10-oct-20	32123232	Dario William Roldan Cajigas	Mantenimiento Eléctrico
10-oct-30	32123232	Dario William Roldan Cajigas	Mantenimiento Eléctrico

Fuente: Elaboración propia

Esta hoja de cálculo está diseñada para almacenar los datos de entrada del usuario, y de esta manera poder realizar la recopilación de estos datos para la elaboración automática del informe de las descargas parciales.

4.2.1.3. DISEÑO DEL MÓDULO PARÁMETROS DE OPERACIÓN PARA EL SOFTWARE DE LA FASE II

Se diseñó este módulo para los datos de los parámetros de operación, cuyos datos son almacenados en la misma hoja, como se muestra en la figura 47, simultáneamente estos datos son recopilados para la elaboración automática del informe de las descargas parciales

Figura 47

Diseño del Módulo Parámetros de Operación Para el Software de la Fase II

The screenshot displays an Excel spreadsheet with a user interface for 'PARÁMETROS DE OPERACIÓN'. The interface is designed within a spreadsheet grid, with a title bar at the top and a menu bar below it. The main content area contains several input fields and a table.

PARÁMETROS DE OPERACIÓN

Inputs:

- TENSIÓN: 23.21V
- POENCIA: 108.30 MW
- TEMPERATURA DEL DEBARRADO DEL ESTATOR FASE R: 80.30 °C
- TEMPERATURA DEL DEBARRADO DEL ESTATOR FASE S: 79.40 °C
- TEMPERATURA DEL DEBARRADO DEL ESTATOR FASE T: 80.50 °C

Buttons: LIMPIAR, ELIMINAR ÚLTIMO, GUARDAR

ULTIMOS PARÁMETROS DE OPERACIÓN TOMADOS PARA LA MEDICIÓN

VOLTAJE (V)	POTENCIA (MW)	TEMPERATURA (°C)	TEMPERATURA (°C)	TEMPERATURA (°C)
13.8 kV	190.56 MW	80.26 °C	79.68 °C	80.30 °C
13.8 kV	181.27 MW	80.16 °C	79.65 °C	80.22 °C
13.8 kV	2006.80 MW	32.00 °C	32.32 °C	323.00 °C
13.8 kV	181.27 MW	80.16 °C	79.65 °C	80.23 °C
13.8 kV	181.57 MW	80.36 °C	79.69 °C	80.23 °C
242	242a	242a	242a	242a

Fuente Elaboración propia

4.2.1.4. DISEÑO DEL MÓDULO PARA INGRESAR LOS DATOS DE LA MAGNITUD MÁXIMA DE PULSOS (Q_m)

Este módulo está diseñado para ingresar los datos Q_{m+} y Q_{m-} , obtenidos del sistema de monitoreo de descargas parciales de la Central Hidroeléctrica de Machupicchu.

Con los datos ingresados el software realiza operaciones y comparaciones para determinar el predominio de la polaridad de pulsos y con ello realizar la interpretación correspondiente.

Figura 48

Diseño del Módulo para Ingresar los Datos de la Magnitud Máxima de pulsos (Q_m)

The image shows a screenshot of a software application window titled "Inicio del software grupo 04 2021 Avast". The interface is displayed over a Microsoft Excel spreadsheet. At the top, there is a menu bar with options: Insertar, Diseño de página, Fórmulas, Datos, Revisar, and Vista. Below the menu is a ribbon with various icons for file operations, editing, and viewing. The main area of the spreadsheet contains a blue header box with the text "DE LA GRÁFICA ANÁLISIS DE MAGNITUD DE PULSOS (PPS / mV)". Below this header is a rounded rectangular input area containing two labels: "INSERTAR (Q_{m+}):" and "INSERTAR (Q_{m-}):", each followed by a text input field containing the value "100 mV". Below the input area are two blue buttons: "LIMPIAR" and "GUARDAR". At the bottom of the window, there is a status bar with the text "Base de datos I | PARAMETROS DE OPERACION | ANÁLISIS MAGNITUD DE PULSOS R | Base de da".

Fuente: Elaboración propia

4.2.1.5. DISEÑO DEL MÓDULO PARA EL ESQUEMA LINEAL DE LA DENSIDAD DE PULSOS

Se diseña este módulo para ingresar los ángulos de fase de la señal sinusoidal de referencia donde se concentre la máxima actividad de descargas parciales mostrados en los gráficos esquemas lineal de la densidad de pulsos.

De esta manera el software determina si existe o no las descargas parciales no clásicas.

Figura 49

Diseño del Módulo Esquema Lineal de la Densidad de Pulsos

Fuente: Elaboración propia

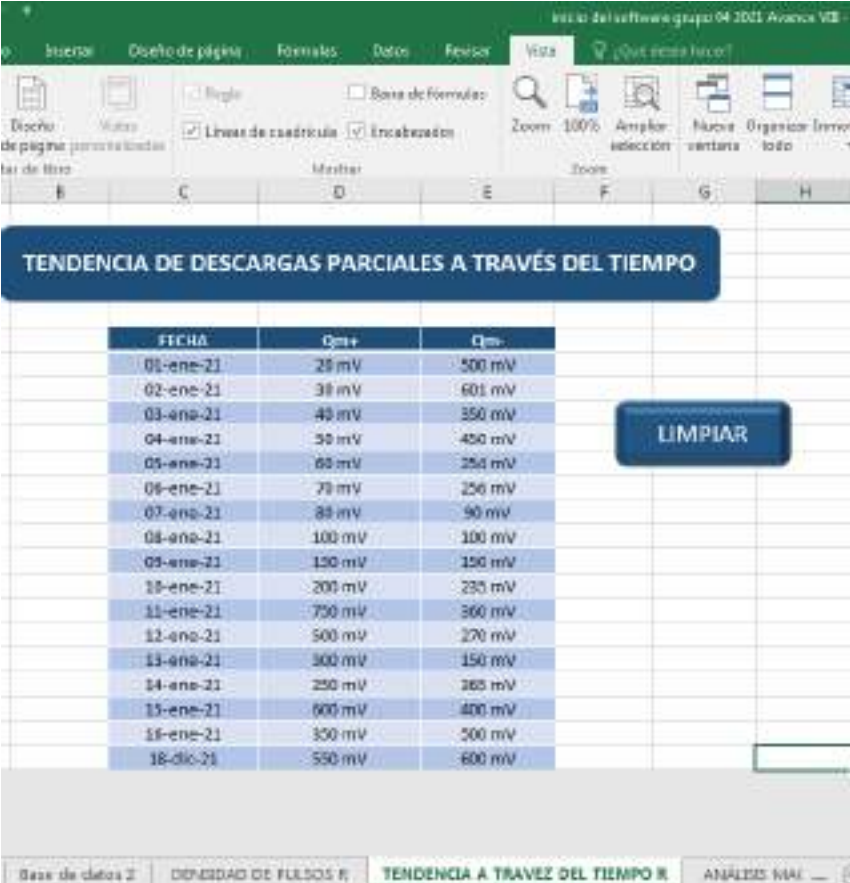
4.2.1.6. DISEÑO DEL MÓDULO PARA LAS TENDENCIAS A TRAVÉS DEL TIEMPO

En este módulo se ingresan los datos de la magnitud máxima de pulsos (Q_m), obtenidos en diferentes fechas, con estos datos el software realiza gráficos automáticos de las tendencias de los datos de las descargas parciales a través del tiempo.

De esta manera se logra una evaluación preventiva de fallas en los sistemas de aislamiento de los generadores de la Central Hidroeléctrica de Machupicchu.

Figura 50

Diseño del Módulo Para las Tendencias a Través del tiempo



FECHA	Q_{m+}	Q_{m-}
01-ene-21	28 mV	500 mV
02-ene-21	38 mV	601 mV
03-ene-21	48 mV	350 mV
04-ene-21	58 mV	450 mV
05-ene-21	68 mV	254 mV
06-ene-21	78 mV	256 mV
07-ene-21	88 mV	90 mV
08-ene-21	100 mV	100 mV
09-ene-21	130 mV	150 mV
10-ene-21	200 mV	230 mV
11-ene-21	730 mV	360 mV
12-ene-21	500 mV	270 mV
13-ene-21	300 mV	150 mV
14-ene-21	230 mV	163 mV
15-ene-21	600 mV	400 mV
16-ene-21	330 mV	500 mV
18-dic-21	530 mV	600 mV

Fuente: Elaboración propia

4.2.1.7. DISEÑO DEL MÓDULO BASE DE DATOS 2 PARA EL SOFTWARE DE LA FASE II

En este módulo se encuentra los datos de comparación para la predominancia de pulsos de descargas parciales, para la comparación de los datos de las magnitudes máximas (Q_m) y para los ángulos de fase de la señal sinusoidal de referencia, de acuerdo a estos datos ingresados en los módulos anteriores, el software elije automáticamente la interpretación respectiva.

Figura 51

Diseño del Módulo Base de Datos 2 Para el Software de la Fase II

Comparación Q_m	Interpretación	Recomendación
Q_{m+}	<p>La actividad de descargas parciales muestra una predominancia en la magnitud de pulsos positivos sobre los negativos, esto indica la existencia de descargas parciales en la superficie del aislamiento, y puede ser debido a:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Desajustes de las bobinas. • Que el recubrimiento semiconductor de las bobinas en la zona de las ranuras este dañado. • Descargas eléctricas en las ranuras. 	<p>□ Se recomienda inspección visual (mediante una cámara boroscópica), para visualizar los daños ocasionados entre la ranura y las zonas de recubrimiento semiconductor de las bobinas.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Se debe de realizar limpieza de la superficie del estator, y de ser el caso, reparación del recubrimiento dañado. • En el caso que la máquina este inoperativa, tener siempre encendido el sistema de calefacción.
$Q_{m+}=Q_{m-}$	<p>La actividad de descargas parciales muestra que no existe predominancia en la polaridad de pulsos, esto indica la existencia de Descargas parciales dentro del volumen del aislamiento, normalmente es el resultado del deterioro térmico (Sobrecalentamiento), que ha hecho que el material aislante pierda su fuerza de adhesión.</p>	<p>□ Lo más recomendable es reducir la temperatura de refrigeración de los devanados, lo cual podría hacer más lenta la degradación.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Limpiar los radiadores de la presencia de aceite. • En el caso que la máquina este inoperativa, tener siempre encendido el sistema de calefacción.
Q_{m-}	<p>La actividad de descargas parciales muestra una predominancia en la magnitud de pulsos negativos sobre los positivos, esto indica la existencia de Descargas parciales internas cercanas a los conductores, y puede ser debido a:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Deterioro térmico. • Arranques y paros excesivos, sobretensión. • las cintas de aislamiento comienzan a separarse (delaminación). • Impregnación inadecuada durante la fabricación. 	<ul style="list-style-type: none"> • Es posible retardar el proceso de degradación evitando cambios bruscos en los procedimientos de operación, revisar la temperatura de operación de la máquina. • En el caso que la máquina este inoperativa, tener siempre encendido el sistema de calefacción.

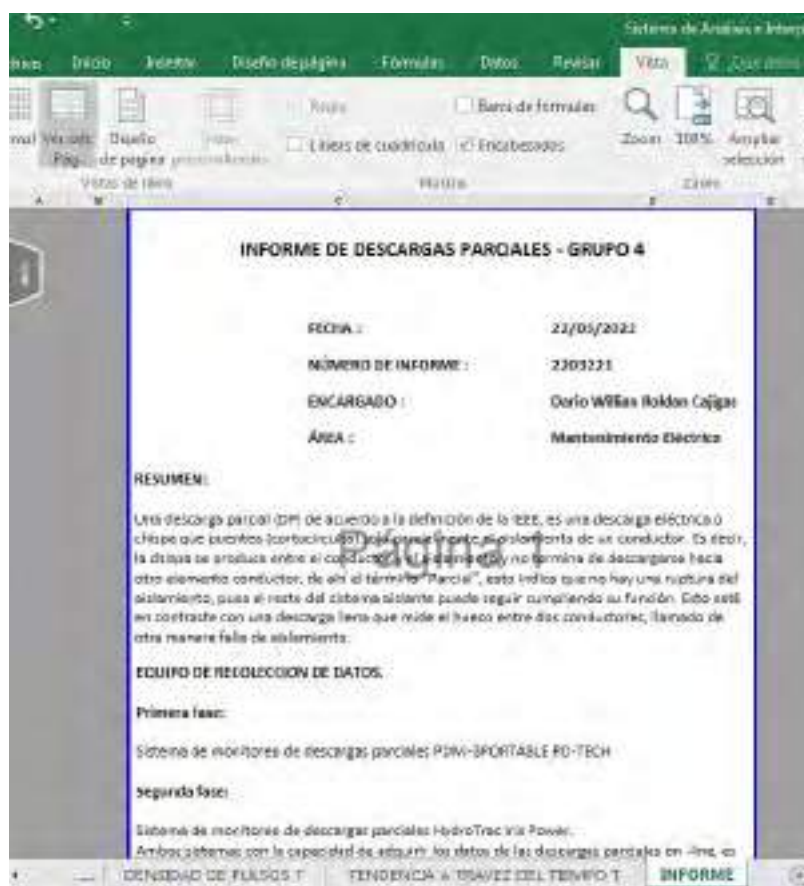
Fuente: Elaboración propia

4.2.1.8. DISEÑO DEL INFORME DE DESCARGAS PARCIALES PARA EL SOFTWARE DE LA FASE II

Para generar este informe de manera automática se diseña este módulo que contiene como base los datos de usuario, los parámetros de operación, las magnitudes máximas (Q_m), los ángulos de fase de la señal sinusoidal de referencia y las tendencias de los datos de descargas parciales a través del tiempo, todos estos datos son almacenados en los módulos base de datos 1 y base de datos 2, de manera simultánea estos datos son recopilados por este módulo para la elaboración automática del informe final de descargas parciales, donde se determina el nivel de deterioro de los sistemas de aislamiento por efecto de las descargas parciales.

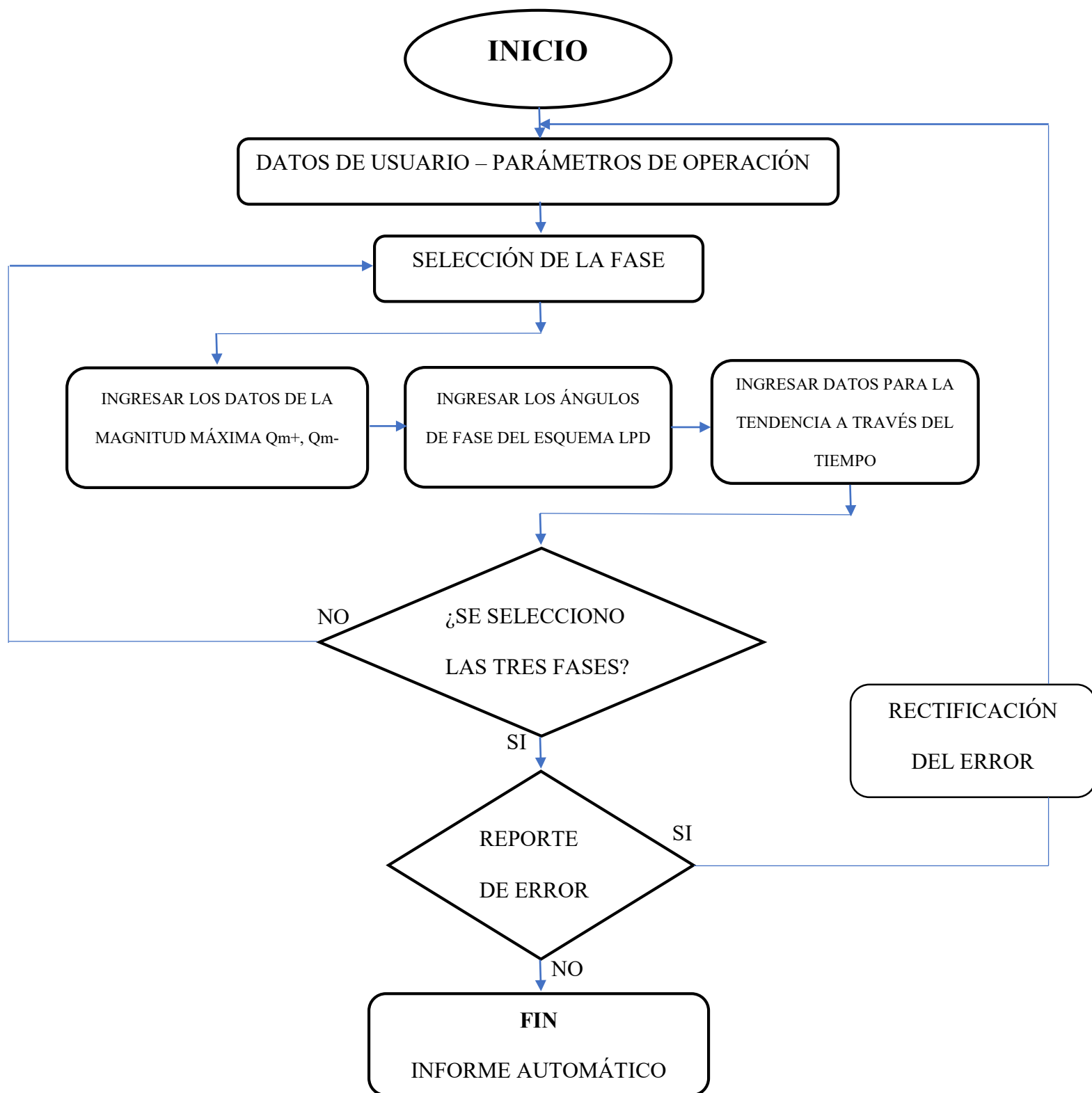
Figura 52

Diseño del Informe de Descargas Parciales para el Software de la Fase II



Fuente: Elaboración propia

4.2.1.9. DIAGRAMA DE FLUJO DEL SOFTWARE PARA LA FASE II



Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO V

5. IMPLEMENTACIÓN DE LOS SOFTWARES PARA EL ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS DE DESCARGAS PARCIALES PARA LA FASE I Y FASE II DE LA CHM

El primer paso para la implementación de los softwares en la Central Hidroeléctrica de Machupichu, es la obtención de datos de descargas parciales de los dos sistemas de monitoreo de la fase I y fase II.

5.1. OBTENCIÓN DE DATOS DE DESCARGAS PARCIALES DEL SISTEMA DE MONITOREO DE LA FASE I DE LA CHM

Se instaló el sistema de monitoreo PDM-3PORTABLE PD-TECH y se procedió a obtener los datos de descargas parciales. Este proceso se realizó para los grupos 1, 2 y 3 que conforman la fase I de la central hidroeléctrica de Machupicchu.

Figura 53

Obtención de Datos de Descargas Parciales Fase I. Marzo 2022

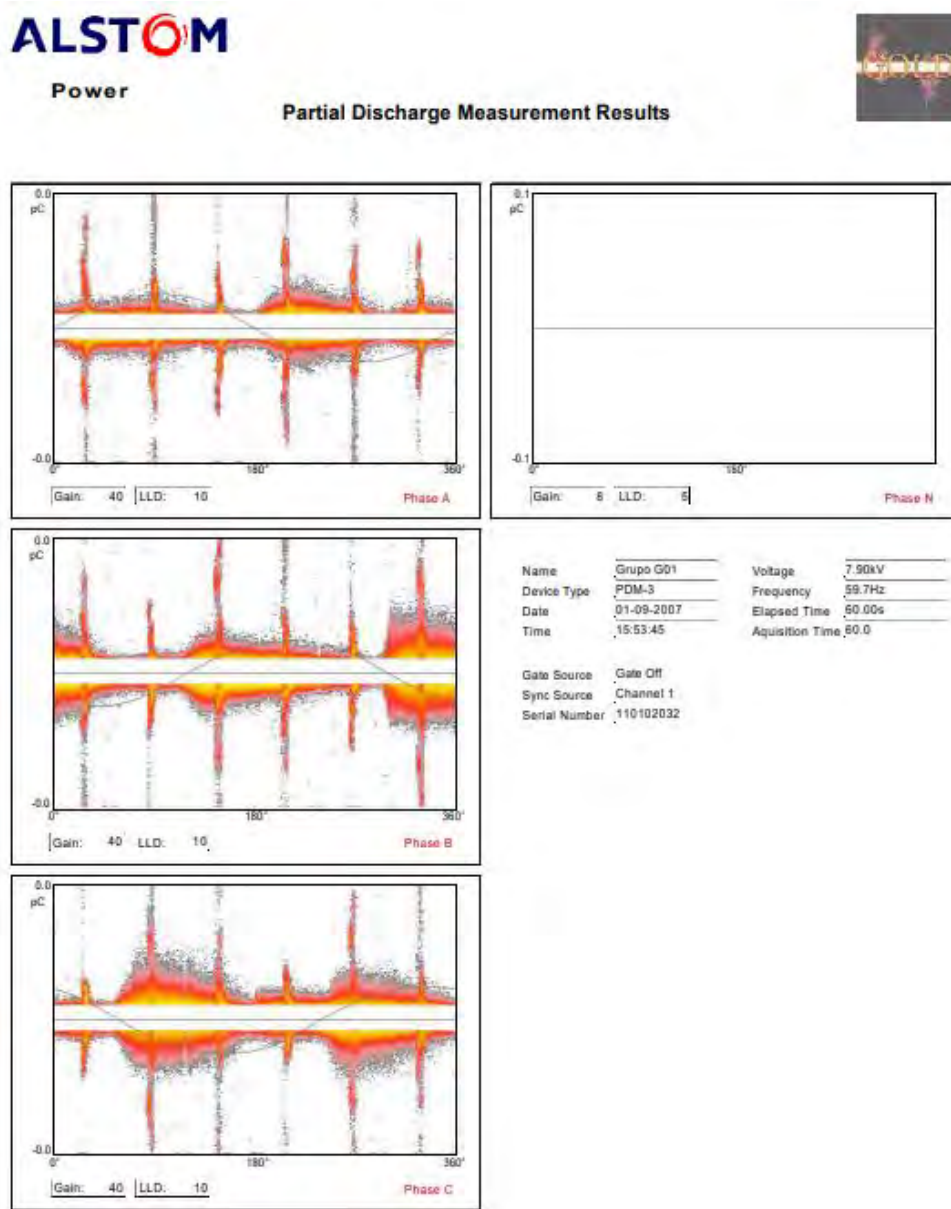


Fuente: Elaboración propia

5.1.1. DATOS OBTENIDOS DEL GRUPO 1

Figura 54

Datos Obtenidos del Grupo 1, Con Fecha el 22/03/2022



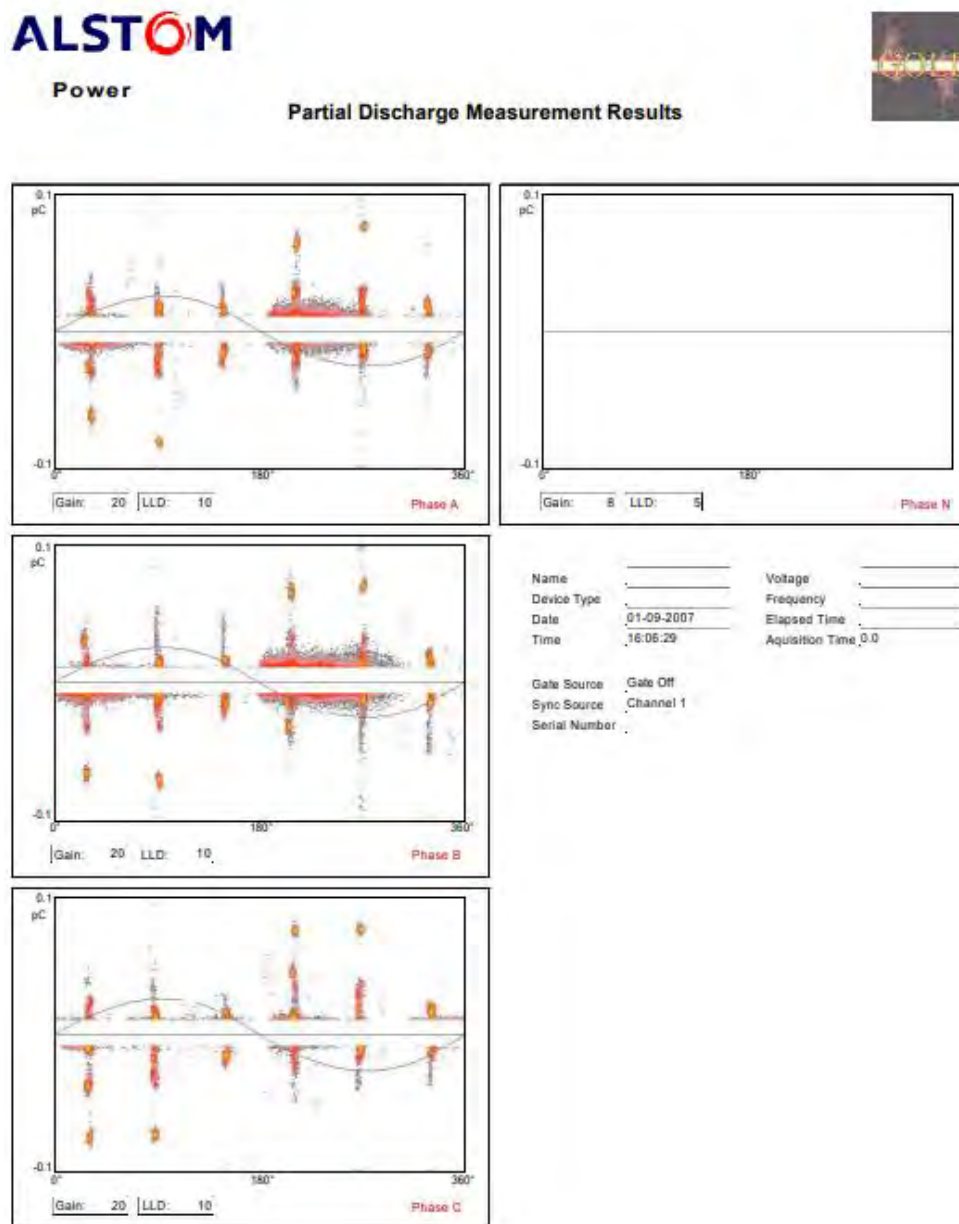
Fuente: Sistema de monitoreo PDM-3PORTABLE PD-TECH

Para el grupo 1 los patrones gráficos de la figura 54, Phase A, Phase B y Phase C representa las fases R, S y T respectivamente.

5.1.2. DATOS OBTENIDOS DEL GRUPO 2

Figura 55

Datos Obtenidos del Grupo 2, Con Fecha El 22/03/2022

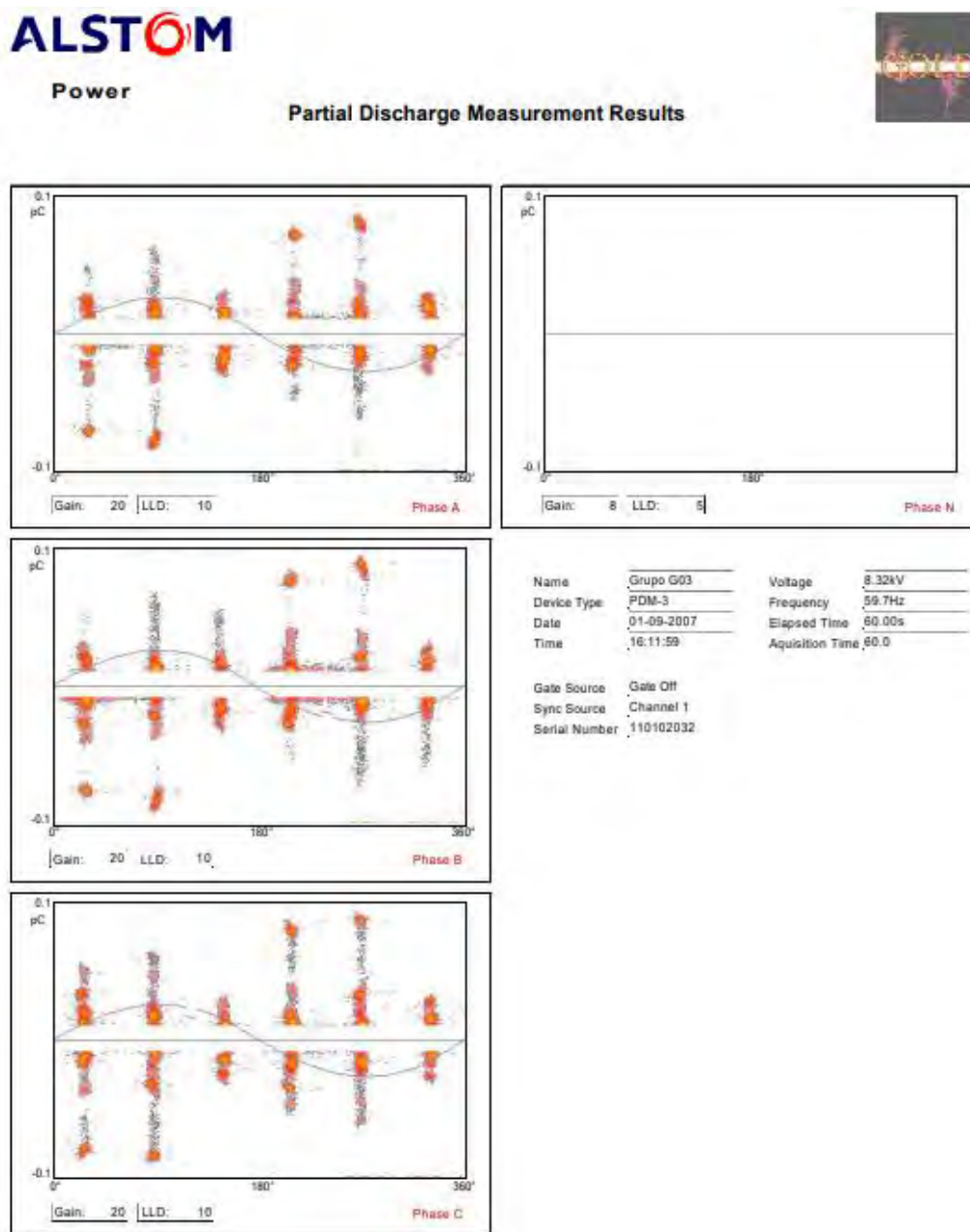


Fuente: Sistema de monitoreo PDM-3PORTABLE PD-TECH

Para el grupo 2 los patrones gráficos de la figura 55, Phase A, Phase B y Phase C representa las fases R, S y T respectivamente.

5.1.3. DATOS OBTENIDOS DEL GRUPO 3

Figura 56 Datos Obtenidos del Grupo 3, Con Fecha El 22/03/2022



Fuente: Sistema de monitoreo PDM-3PORTABLE PD-TECH

Para el grupo 3 los patrones gráficos de la figura 56, Phase A, Phase B y Phase C representa las fases R, S y T respectivamente.

5.2. OBTENCIÓN DE DATOS DE DESCARGAS PARCIALES DEL SISTEMA DE MONITOREO DE LA FASE II DE LA CHM

Se instaló el sistema de monitoreo HydroTrac Iris Power y se procedió a obtener los datos de descargas parciales. Este proceso se realizó para el grupo 4 que conforma la fase II de la central hidroeléctrica de Machupicchu.

Figura 57

Extracción de Datos de Descargas Parciales Fase II. Marzo 2022



Fuente: Elaboración propia

5.2.1. DATOS OBTENIDOS DEL GRUPO 4

Figura 58

Datos Obtenidos del Grupo 4, Marzo 2022

Archivo Edición Formato Ver Ayuda

TracCon Report File V6.32

HydroTrac Database Log Listing For #4

Prepared On: Tue Mar 22, 2022 15:57:54

#	Date & Time	Cpl.Pair	(+NQ1)	(-NQ1)	(+Qm1)	(-Qm1)	(+NQ2)	(-NQ2)	(+Qm2)	(-Qm2)	Temp	kV	MW	MVAr
1	03/22/22 15:57	C5-C6	620	452	350	280	87	65	91	70	0.00	0.00	0.00	0.00
2	03/22/22 15:57	C3-C4	555	237	244	146	67	62	75	66	0.00	0.00	0.00	0.00
3	03/22/22 15:56	C1-C2	312	155	147	80	520	210	225	100	0.00	0.00	0.00	0.00
4	03/21/22 15:57	C5-C6	625	402	350	280	57	62	66	66	0.00	0.00	0.00	0.00
5	03/21/22 15:57	C3-C4	585	257	246	170	72	65	66	75	0.00	0.00	0.00	0.00
6	03/21/22 15:56	C1-C2	290	167	149	200	520	210	216	100	0.00	0.00	0.00	0.00
7	03/20/22 15:57	C5-C6	642	422	290	270	60	57	0	55	0.00	0.00	0.00	0.00
8	03/20/22 15:57	C3-C4	557	260	249	146	97	32	80	0	0.00	0.00	0.00	0.00
9	03/20/22 15:56	C1-C2	290	132	166	75	530	217	230	105	0.00	0.00	0.00	0.00
10	03/19/22 15:57	C5-C6	630	392	248	195	67	85	77	80	0.00	0.00	0.00	0.00
11	03/19/22 15:57	C3-C4	555	292	233	138	82	50	80	10	0.00	0.00	0.00	0.00
12	03/19/22 15:56	C1-C2	277	150	148	180	527	210	230	100	0.00	0.00	0.00	0.00
13	03/18/22 15:57	C5-C6	635	380	230	193	32	67	0	80	0.00	0.00	0.00	0.00
14	03/18/22 15:57	C3-C4	557	250	235	110	70	52	60	50	0.00	0.00	0.00	0.00
15	03/18/22 15:56	C1-C2	292	155	150	180	540	237	230	123	0.00	0.00	0.00	0.00
16	03/17/22 15:57	C5-C6	647	420	248	198	70	65	50	75	0.00	0.00	0.00	0.00
17	03/17/22 15:57	C3-C4	590	242	240	123	90	50	60	50	0.00	0.00	0.00	0.00
18	03/17/22 15:56	C1-C2	287	160	149	180	560	220	240	116	0.00	0.00	0.00	0.00

Figura 59

Datos Obtenidos del Grupo 4, Enero, Febrero 2022

150	02/05/22 15:56	C1-C2	290	142	170	150	530	225	225	116	0.00	0.00	0.00	0.00
151	02/04/22 15:57	C5-C6	612	390	245	194	15	65	0	75	0.00	0.00	0.00	0.00
152	02/04/22 15:57	C3-C4	562	277	237	135	67	60	77	66	0.00	0.00	0.00	0.00
153	02/04/22 15:56	C1-C2	285	160	155	130	560	210	236	100	0.00	0.00	0.00	0.00
154	02/03/22 15:57	C5-C6	615	397	250	194	15	70	0	80	0.00	0.00	0.00	0.00
155	02/03/22 15:57	C3-C4	587	232	236	127	75	87	85	84	0.00	0.00	0.00	0.00
156	02/03/22 15:56	C1-C2	280	175	170	205	562	232	236	130	0.00	0.00	0.00	0.00
157	02/02/22 15:57	C5-C6	615	395	270	236	30	75	0	83	0.00	0.00	0.00	0.00
158	02/02/22 15:57	C3-C4	565	245	246	200	72	65	82	75	0.00	0.00	0.00	0.00
159	02/02/22 15:56	C1-C2	282	172	145	77	545	237	226	135	0.00	0.00	0.00	0.00
160	02/01/22 15:58	C5-C6	617	407	350	330	15	15	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00
161	02/01/22 15:57	C3-C4	592	285	243	200	85	80	84	80	0.00	0.00	0.00	0.00
162	02/01/22 15:56	C1-C2	287	190	142	150	232	230	130	0.00	0.00	0.00	0.00	1463
163	01/31/22 15:57	C5-C6	640	425	270	250	0	30	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00
164	01/31/22 15:57	C3-C4	582	277	246	144	105	62	82	70	0.00	0.00	0.00	0.00
165	01/31/22 15:56	C1-C2	287	180	149	76	557	230	227	127	0.00	0.00	0.00	0.00
166	01/30/22 15:58	C5-C6	635	410	400	300	32	22	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00
167	01/30/22 15:57	C3-C4	570	347	245	216	80	85	73	76	0.00	0.00	0.00	0.00
168	01/30/22 15:56	C1-C2	282	162	144	82	582	245	232	138	0.00	0.00	0.00	0.00

Fuente: Sistema de monitoreo HYDROTRAC IRIS POWER

5.2.1.1. RESUMEN DE LOS DATOS OBTENIDOS DEL GRUPO 4

El Qm, o Magnitud Máxima, es un indicador de la severidad de las descargas parciales en la parte más deteriorada del devanado. Por este motivo es el punto central del análisis e interpretación de datos de descargas parciales para el grupo 4 de la CHM.

Tabla 10

Resumen de los Datos Qm Obtenidos para el Día 22/03/2022.

Fases	Qm+ (mV)	Qm- (mV)
C1-C2 → R	147	80
C3-C4 → S	244	146
C5-C6 → T	350	280

Fuente: Sistema de monitoreo HYDROTRAC IRIS POWER

5.2.1.2. RESUMEN DE LOS DATOS OBTENIDOS PARA REALIZAR LAS TENDENCIAS A TRAVÉS DEL TIEMPO.

Tabla 11

Resumen de Datos Qm a Través del Tiempo para la Fase R

FECHA	Qm+ (mV)	Qm- (mV)
30-ene-22	144	82
31-ene-22	149	76
01-feb-22	142	150
02-feb-22	145	77
22-feb-22	148	200
26-feb-22	146	200
07-mar-22	148	84
20-mar-22	166	75
21-mar-22	49	200

Fuente: Sistema de monitoreo HYDROTRAC IRIS POWER

Tabla 12*Resumen de datos Qm a Través del Tiempo para la Fase S*

FECHA	Qm+ (mV)	Qm- (mV)
30-ene-22	245	216
31-ene-22	246	144
01-feb-22	243	200
02-feb-22	246	200
22-feb-22	246	145
26-feb-22	243	147
07-mar-22	243	200
20-mar-22	249	146
21-mar-22	246	170

Fuente: Sistema de monitoreo HYDROTRAC IRIS POWER

Tabla 13*Resumen de datos Qm a Través del Tiempo para la Fase T*

FECHA	Qm+ (mV)	Qm- (mV)
30-ene-22	400	300
31-ene-22	270	250
01-feb-22	350	330
02-feb-22	270	236
22-feb-22	300	350
07-mar-22	290	250
20-mar-22	290	270
21-mar-22	350	280

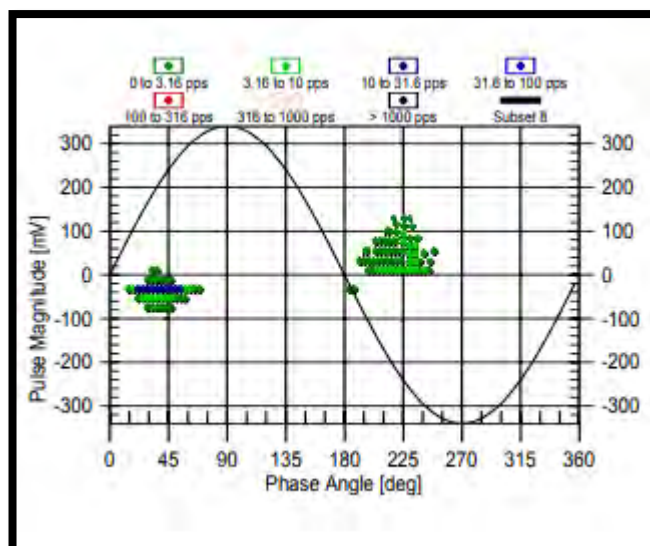
Fuente: Sistema de monitoreo HYDROTRAC IRIS POWER

5.2.1.3. ESQUEMA LINEAL DE LA DENSIDAD DE PULSOS OBTENIDAS

PARA EL GRUPO 4.

Figura 60

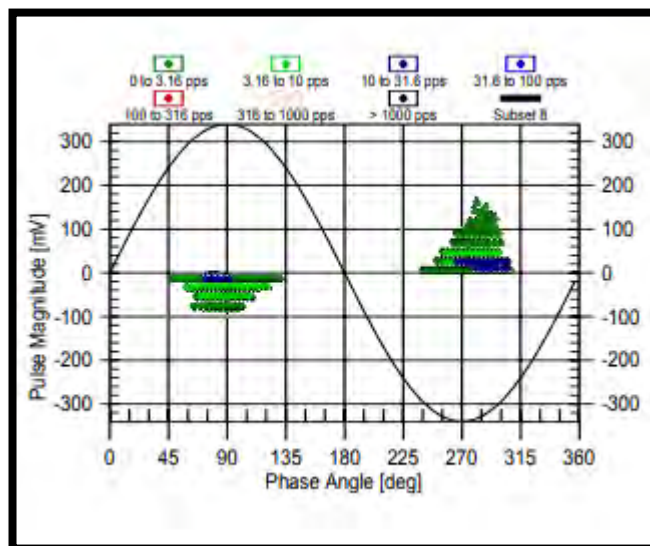
Esquema Lineal de la Densidad de Pulsos – Grupo 4 Fase R



Fuente: Sistema de monitoreo HYDROTRAC IRIS POWER

Figure 61

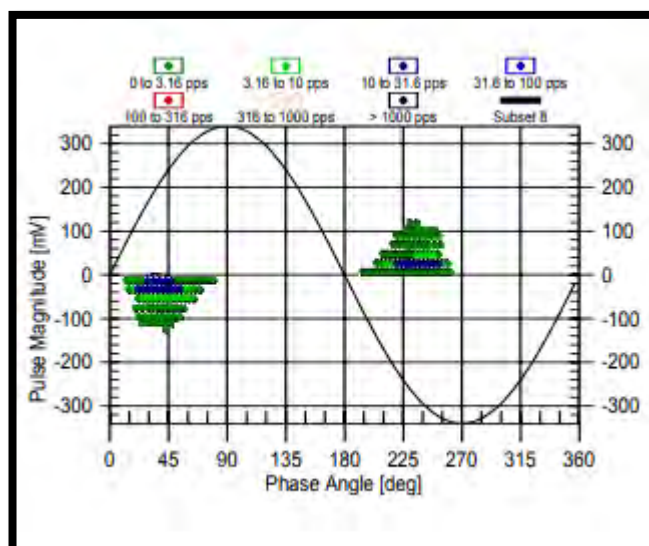
Esquema Lineal de la Densidad de Pulsos – Grupo 4 Fase S



Fuente: Sistema de monitoreo HYDROTRAC IRIS POWER

Figura 62

Esquema Lineal de la Densidad de Pulsos – Grupo 4 Fase T



Fuente: Sistema de monitoreo HYDROTRAC IRIS POWER

5.3. GENERACIÓN DE LOS INFORMES DE DESCARGAS PARCIALES

Los datos de las descargas parciales obtenidos son ingresados a cada software diseñado en el presente trabajo, tanto para la fase I como para la fase II de la CHM.

Cada software genera de manera automática los informes de descargas parciales, de modo que para la Central Hidroeléctrica de Machupicchu se tiene cuatro informes que determinen el nivel de deterioro de los sistemas de aislamiento por efecto de las descargas parciales.

A continuación, se presentan los cuatro informes generados por los softwares de análisis e interpretación de los datos de las descargas parciales para la fase I y fase II de la CHM, con los datos obtenidos el 22 de marzo del 2022.

5.4. INFORMES GENERADOS POR EL SOFTWARE: SISTEMA DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS DE DESCARGAS PARCIALES - FASE I

5.4.1. INFORME DE DESCARGAS PARCIALES GRUPO 1



INFORME DE DESCARGAS PARCIALES - GRUPO 1

FECHA :	22/03/2022
NÚMERO DE INFORME :	2203221
ENCARGADO :	Dario Willian Roldan Cajigas
ÁREA :	Mantenimiento Eléctrico

RESUMEN:

Una descarga parcial (DP) de acuerdo a la definición de la IEEE, es una descarga eléctrica o chispa que puentea (cortocircuita) solo parcialmente el aislamiento de un conductor. Es decir, la chispa se produce entre el conductor y el aislamiento y no termina de descargarse hacia otro elemento conductor, de ahí el término "Parcial", esto indica que no hay una ruptura del aislamiento, pues el resto del sistema aislante puede seguir cumpliendo su función. Esto está en contraste con una descarga llena que mide el hueco entre dos conductores, llamado de otra manera falla de aislamiento.

EQUIPO DE RECOLECCION DE DATOS.

Primera fase:

Sistema de monitoreo de descargas parciales PDM-3PORTABLE PD-TECH

Segunda fase:

Sistema de monitoreo de descargas parciales HydroTrac Iris Power.
Ambos sistemas con la capacidad de adquirir los datos de las descargas parciales on-line, es decir con el grupo en funcionamiento.



1. PARÁMETROS DE OPERACIÓN

TENSIÓN :	13.8 kV
POTENCIA :	25.12 MW
TEMPERATURA DEL DEVANADO DEL ESTATOR FASE R :	80.55 °C
TEMPERATURA DEL DEVANADO DEL ESTATOR FASE S :	82.23 °C
TEMPERATURA DEL DEVANADO DEL ESTATOR FASE T :	86.19 °C

2. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS DE DESCARGAS PARCIALES POR FASE

2.1. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN FASE R

La actividad de descargas parciales muestra una predominancia en la magnitud de pulsos positivos sobre los negativos, esto indica la existencia de descargas parciales en la superficie del aislamiento, y puede ser debido a:

- Desajustes de las bobinas
- Que el recubrimiento semiconductor de las bobinas en la zona de las ranuras este dañado
- Descargas eléctricas en las ranuras.

Los niveles de densidad de la nube de descargas parciales indican un nivel de deterioro de tipo:

Bajo, no requiere mantenimiento, monitoreo trimestral

2.1.1. RECOMENDACIONES FASE R

- Se recomienda inspección visual (mediante una cámara boroscópica), para visualizar los daños ocasionados entre la ranura y las zonas de recubrimiento semiconductor de las bobinas.
- Se debe de realizar limpieza de la superficie del estator, y de ser el caso, reparación del recubrimiento dañado.
- En el caso que la máquina este inoperativa, tener siempre encendido el sistema de calefacción.



2.2. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN FASE S

La actividad de descargas parciales muestra una predominancia en la magnitud de pulsos positivos sobre los negativos, esto indica la existencia de descargas parciales en la superficie del aislamiento, y puede ser debido a:

- Desajustes de las bobinas
- Que el recubrimiento semiconductor de las bobinas en la zona de las ranuras este dañado
- Descargas eléctricas en las ranuras.

Los niveles de densidad de la nube de descargas parciales indican un nivel de deterioro de tipo:

Moderado, no requiere mantenimiento, pero si monitoreo mensual

2.2.1. RECOMENDACIONES FASE S

- Se recomienda inspección visual (mediante una cámara boroscópica), para visualizar los daños ocasionados entre la ranura y las zonas de recubrimiento semiconductor de las bobinas.
- Se debe de realizar limpieza de la superficie del estator, y de ser el caso, reparación del recubrimiento dañado.
- En el caso que la máquina este inoperativa, tener siempre encendido el sistema de calefacción.

2.3. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN FASE T

La actividad de descargas parciales muestra una predominancia en la magnitud de pulsos positivos sobre los negativos, esto indica la existencia de descargas parciales en la superficie del aislamiento, y puede ser debido a:

- Desajustes de las bobinas
- Que el recubrimiento semiconductor de las bobinas en la zona de las ranuras este dañado
- Descargas eléctricas en las ranuras.

Los niveles de densidad de la nube de descargas parciales indican un nivel de deterioro de tipo:

Moderado, no requiere mantenimiento, pero si monitoreo mensual



2.3.1. RECOMENDACIONES FASE T

- Se recomienda inspección visual (mediante una cámara boroscópica), para visualizar los daños ocasionados entre la ranura y las zonas de recubrimiento semiconductor de las bobinas.
- Se debe de realizar limpieza de la superficie del estator, y de ser el caso, reparación del recubrimiento dañado.
- En el caso que la máquina este inoperativa, tener siempre encendido el sistema de calefacción.

Fuente:

-Sources of Partial Discharges in Rotating Machines: General Interpretation Scheme for ICMmonitor Data. PD Tech, (1999)

-IEEE Guide for the Measurement of Partial Discharges in AC Electric Machinery. IEEE Std 1434-2014 (Revision of IEEE Std 1434-2000).

5.4.2. INFORME DE DESCARGAS PARCIALES GRUPO 2



INFORME DE DESCARGAS PARCIALES - GRUPO 2

FECHA :	22/03/2022
NÚMERO DE INFORME :	2203221
ENCARGADO :	Dario William Roldan Cajigas
ÁREA :	Mantenimiento Eléctrico

RESUMEN:

Una descarga parcial (DP) de acuerdo a la definición de la IEEE, es una descarga eléctrica o chispa que puentea (cortocirculta) solo parcialmente el aislamiento de un conductor. Es decir, la chispa se produce entre el conductor y el aislamiento y no termina de descargarse hacia otro elemento conductor, de ahí el término "Parcial", esto indica que no hay una ruptura del aislamiento, pues el resto del sistema aislante puede seguir cumpliendo su función. Esto está en contraste con una descarga llena que mide el hueco entre dos conductores, llamado de otra manera falla de aislamiento.

EQUIPO DE RECOLECCION DE DATOS.

Primera fase:

Sistema de monitoreo de descargas parciales PDM-3PORTABLE PD-TECH

Segunda fase:

Sistema de monitoreo de descargas parciales HydroTrac Iris Power.
Ambos sistemas con la capacidad de adquirir los datos de las descargas parciales on-line, es decir con el grupo en funcionamiento.

1. PARÁMETROS DE OPERACIÓN

TENSIÓN :	13.8 kV
POTENCIA :	23.82 MW
TEMPERATURA DEL DEVANADO DEL ESTATOR FASE R :	80.98 °C
TEMPERATURA DEL DEVANADO DEL ESTATOR FASE S :	81.19 °C
TEMPERATURA DEL DEVANADO DEL ESTATOR FASE T :	78.68 °C

2. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS DE DESCARGAS PARCIALES POR FASE

2.1. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN FASE R

La actividad de descargas parciales muestra una predominancia en la magnitud de pulsos positivos sobre los negativos, esto indica la existencia de descargas parciales en la superficie del aislamiento, y puede ser debido a:

- Desajustes de las bobinas
- Que el recubrimiento semiconductor de las bobinas en la zona de las ranuras este dañado
- Descargas eléctricas en las ranuras.

Los niveles de densidad de la nube de descargas parciales indican un nivel de deterioro de tipo:

Bajo, no requiere mantenimiento, monitoreo trimestral

2.1.1. RECOMENDACIONES FASE R

- Se recomienda inspección visual (mediante una cámara boroscópica), para visualizar los daños ocasionados entre la ranura y las zonas de recubrimiento semiconductor de las bobinas.
- Se debe de realizar limpieza de la superficie del estator, y de ser el caso, reparación del recubrimiento dañado.
- En el caso que la máquina este inoperativa, tener siempre encendido el sistema de calefacción.



2.2. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN FASE S

La actividad de descargas parciales muestra una predominancia en la magnitud de pulsos positivos sobre los negativos, esto indica la existencia de descargas parciales en la superficie del aislamiento, y puede ser debido a:

- Desajustes de las bobinas
- Que el recubrimiento semiconductor de las bobinas en la zona de las ranuras este dañado
- Descargas eléctricas en las ranuras.

Los niveles de densidad de la nube de descargas parciales indican un nivel de deterioro de tipo:

Bajo, no requiere mantenimiento, monitoreo trimestral

2.2.1. RECOMENDACIONES FASE S

- Se recomienda inspección visual (mediante una cámara boroscópica), para visualizar los daños ocasionados entre la ranura y las zonas de recubrimiento semiconductor de las bobinas.
- Se debe de realizar limpieza de la superficie del estator, y de ser el caso, reparación del recubrimiento dañado.
- En el caso que la máquina este inoperativa, tener siempre encendido el sistema de calefacción.

2.3. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN FASE T

La actividad de descargas parciales muestra que no existe predominancia en la polaridad de pulsos, esto indica la existencia de Descargas parciales dentro del volumen del aislamiento, normalmente es el resultado del deterioro térmico (Sobrecalentamiento), que ha hecho que el material aislante pierda su fuerza de adhesión.

Los niveles de densidad de la nube de descargas parciales indican un nivel de deterioro de tipo:

Bajo, no requiere mantenimiento, monitoreo trimestral

2.3.1. RECOMENDACIONES FASE T

- Lo más recomendable es reducir la temperatura de refrigeración de los devanados, lo cual podría hacer más lenta la degradación.
- Limpiar los radiadores de la presencia de aceite.
- En el caso que la máquina este inoperativa, tener siempre encendido el sistema de calefacción.

Fuente:

-Sources of Partial Discharges in Rotating Machines: General Interpretation Scheme for ICMmonitor Data. PD Tech, (1999)

-IEEE Guide for the Measurement of Partial Discharges in AC Electric Machinery. IEEE Std 1434-2014 (Revision of IEEE Std 1434-2000).

5.4.3. INFORME DE DESCARGAS PARCIALES GRUPO 3



INFORME DE DESCARGAS PARCIALES - GRUPO 3

FECHA :	22/03/2022
NÚMERO DE INFORME :	2203221
ENCARGADO :	Dario Willian Roldan Cajigas
ÁREA :	Mantenimiento Eléctrico

RESUMEN:

Una descarga parcial (DP) de acuerdo a la definición de la IEEE, es una descarga eléctrica o chispa que puentea (cortocircuita) solo parcialmente el aislamiento de un conductor. Es decir, la chispa se produce entre el conductor y el aislamiento y no termina de descargarse hacia otro elemento conductor, de ahí el término "Parcial", esto indica que no hay una ruptura del aislamiento, pues el resto del sistema aislante puede seguir cumpliendo su función. Esto está en contraste con una descarga llena que mide el hueco entre dos conductores, llamado de otra manera falla de aislamiento.

EQUIPO DE RECOLECCION DE DATOS.

Primera fase:

Sistema de monitoreo de descargas parciales PDM-3PORTABLE PD-TECH

Segunda fase:

Sistema de monitoreo de descargas parciales HydroTrac Iris Power.

Ambos sistemas con la capacidad de adquirir los datos de las descargas parciales on-line, es decir con el grupo en funcionamiento.

1. PARÁMETROS DE OPERACIÓN

TENSIÓN :	13.8 kV
POTENCIA :	19.36 MW
TEMPERATURA DEL DEVANADO DEL ESTATOR FASE R :	71.74 °C
TEMPERATURA DEL DEVANADO DEL ESTATOR FASE S :	73.58 °C
TEMPERATURA DEL DEVANADO DEL ESTATOR FASE T :	74.46 °C

2. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS DE DESCARGAS PARCIALES POR FASE

2.1. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN FASE R

La actividad de descargas parciales muestra que no existe predominancia en la polaridad de pulsos, esto indica la existencia de Descargas parciales dentro del volumen del aislamiento, normalmente es el resultado del deterioro térmico (Sobrecalentamiento), que ha hecho que el material aislante pierda su fuerza de adhesión.

Los niveles de densidad de la nube de descargas parciales indican un nivel de deterioro de tipo:

Bajo, no requiere mantenimiento, monitoreo trimestral

2.1.1. RECOMENDACIONES FASE R

- Lo más recomendable es reducir la temperatura de refrigeración de los devanados, lo cual podría hacer más lenta la degradación.
- Limpiar los radiadores de la presencia de aceite.
- En el caso que la máquina este inoperativa, tener siempre encendido el sistema de calefacción.



2.2. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN FASE S

La actividad de descargas parciales muestra que no existe predominancia en la polaridad de pulsos, esto indica la existencia de Descargas parciales dentro del volumen del aislamiento, normalmente es el resultado del deterioro térmico (Sobrecalentamiento), que ha hecho que el material aislante pierda su fuerza de adhesión.

Los niveles de densidad de la nube de descargas parciales indican un nivel de deterioro de tipo:

Bajo, no requiere mantenimiento, monitoreo trimestral

2.2.1. RECOMENDACIONES FASE S

- Lo más recomendable es reducir la temperatura de refrigeración de los devanados, lo cual podría hacer más lenta la degradación.
- Limpiar los radiadores de la presencia de aceite.
- En el caso que la máquina este inoperativa, tener siempre encendido el sistema de calefacción.

2.3. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN FASE T

La actividad de descargas parciales muestra que no existe predominancia en la polaridad de pulsos, esto indica la existencia de Descargas parciales dentro del volumen del aislamiento, normalmente es el resultado del deterioro térmico (Sobrecalentamiento), que ha hecho que el material aislante pierda su fuerza de adhesión.

Los niveles de densidad de la nube de descargas parciales indican un nivel de deterioro de tipo:

Bajo, no requiere mantenimiento, monitoreo trimestral

2.3.1. RECOMENDACIONES FASE T

- Lo más recomendable es reducir la temperatura de refrigeración de los devanados, lo cual podría hacer más lenta la degradación.
- Limpiar los radiadores de la presencia de aceite.
- En el caso que la máquina este inoperativa, tener siempre encendido el sistema de calefacción.

Fuente:

-Sources of Partial Discharges in Rotating Machines: General Interpretation Scheme for ICMmonitor Data. PD Tech, (1999)

-IEEE Guide for the Measurement of Partial Discharges in AC Electric Machinery. IEEE Std 1434-2014 (Revision of IEEE Std 1434-2000).

5.5. INFORME GENERADO POR EL SOFTWARE: SISTEMA DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS DE DESCARGAS PARCIALES - FASE II

5.5.1. INFORME DE DESCARGAS PARCIALES GRUPO 4



INFORME DE DESCARGAS PARCIALES - GRUPO 4

FECHA :	22/03/2022
NÚMERO DE INFORME :	2203221
ENCARGADO :	Dario Willian Roldan Cajigas
ÁREA :	Mantenimiento Eléctrico

RESUMEN:

Una descarga parcial (DP) de acuerdo a la definición de la IEEE, es una descarga eléctrica o chispa que puentea (cortocircuita) solo parcialmente el aislamiento de un conductor. Es decir, la chispa se produce entre el conductor y el aislamiento y no termina de descargarse hacia otro elemento conductor, de ahí el término "Parcial", esto indica que no hay una ruptura del aislamiento, pues el resto del sistema aislante puede seguir cumpliendo su función. Esto está en contraste con una descarga llena que mide el hueco entre dos conductores, llamado de otra manera falla de aislamiento.

EQUIPO DE RECOLECCION DE DATOS.

Primera fase:

Sistema de monitoreo de descargas parciales PDM-3PORTABLE PD-TECH

Segunda fase:

Sistema de monitoreo de descargas parciales HydroTrac Iris Power.

Ambos sistemas con la capacidad de adquirir los datos de las descargas parciales on-line, es decir con el grupo en funcionamiento.



1. PARÁMETROS DE OPERACIÓN

TENSIÓN :	13.8 kV
POTENCIA :	93.81 MW
TEMPERATURA DEL DEVANADO DEL ESTATOR FASE R :	75.30 °C
TEMPERATURA DEL DEVANADO DEL ESTATOR FASE S :	75.80 °C
TEMPERATURA DEL DEVANADO DEL ESTATOR FASE T :	76.80 °C

2. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS DE DESCARGAS PARCIALES POR FASE

2.1. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN FASE R

La actividad de descargas parciales muestra una predominancia en la magnitud de pulsos positivos sobre los negativos, esto indica la existencia de descargas parciales en la superficie del aislamiento, y puede ser debido a:

- Desajustes de las bobinas.
- Que el recubrimiento semiconductor de las bobinas en la zona de las ranuras este dañado y se haya perdido la referencia a tierra.
- Descargas eléctricas en las ranuras.

No se observa la existencia de descargas parciales no clásicas.

2.1.1. RECOMENDACIONES FASE R

- Se recomienda inspección visual (mediante una cámara boroscópica), para visualizar los daños ocasionados entre la ranura y las zonas de recubrimiento semiconductor de las bobinas.
- Se debe de realizar limpieza de la superficie del estator, y de ser el caso, reparación del recubrimiento dañado.
- En el caso que la máquina este inoperativa, tener siempre encendido el sistema de calefacción.



2.2. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN FASE S

La actividad de descargas parciales muestra una predominancia en la magnitud de pulsos positivos sobre los negativos, esto indica la existencia de descargas parciales en la superficie del aislamiento, y puede ser debido a:

- Desajustes de las bobinas.
- Que el recubrimiento semiconductor de las bobinas en la zona de las ranuras este dañado y se haya perdido la referencia a tierra.
- Descargas eléctricas en las ranuras.

Como también la existencia de Descargas parciales no clásicas, se da Entre fase – fase, en los cabezales, debido a:

- vibración de los cabezales
- Contaminación en los cabezales
- Espacio inadecuado entre bobinas.

2.2.1. RECOMENDACIONES FASE S

- Se recomienda inspección visual (mediante una cámara boroscópica), para visualizar los daños ocasionados entre la ranura y las zonas de recubrimiento semiconductor de las bobinas.
- Se debe de realizar limpieza de la superficie del estator, y de ser el caso, reparación del recubrimiento dañado.
- En el caso que la máquina este inoperativa, tener siempre encendido el sistema de calefacción.

2.3. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN FASE T

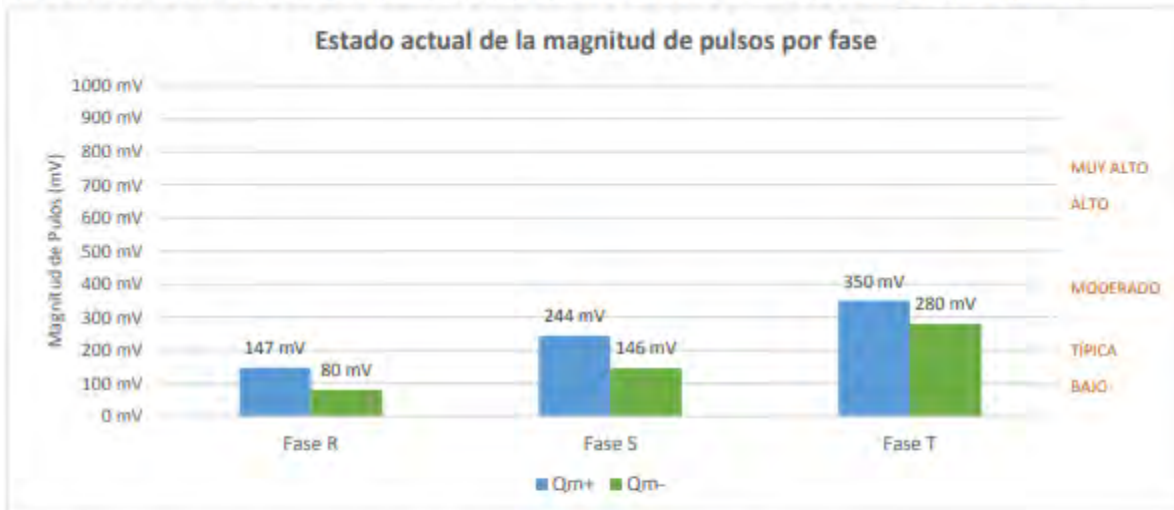
La actividad de descargas parciales muestra que no existe predominancia en la polaridad de pulsos, esto indica la existencia de Descargas parciales dentro del volumen del aislamiento, normalmente es el resultado del deterioro térmico (Sobrecalentamiento), que ha hecho que el material aislante pierda su fuerza de adhesión.

No se observa la existencia de descargas parciales no clásicas.

2.3.1. RECOMENDACIONES FASE T

- Lo más recomendable es reducir la temperatura de refrigeración de los devanados, lo cual podría hacer más lenta la degradación.
- Limpiar los radiadores de la presencia de aceite.
- En el caso que la máquina este inoperativa, tener siempre encendido el sistema de calefacción.

3. ESTADO ACTUAL DE LAS DESCARGAS PARCIALES EN EL DEVANADO DE LAS FASES R, S Y T



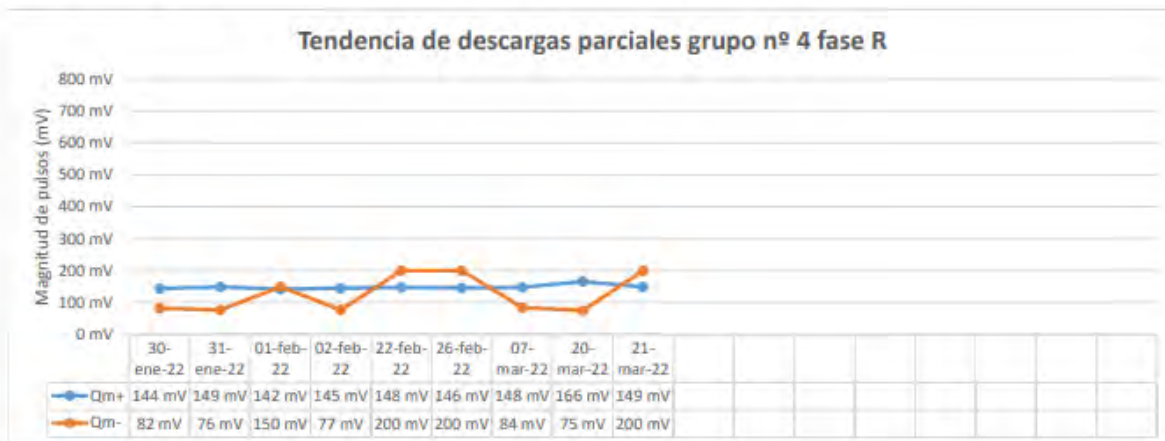
los valores de los pulsos positivos (azul) y negativos (verde) indican un nivel de deterioro por descargas parciales de tipo:

MODERADO, no requiere mantenimiento, pero si monitoreo mensual

Según criterios de evaluación establecidas en las tablas estadísticas de la base de datos de Iris Power.

4. TENDENCIA DE LAS DESCARGAS PARCIALES EN EL DEVANADO DEL ESTATOR

4.1 TENDENCIA DE DESCARGAS PARCIALES GRUPO Nº 4 - C.H.M - FASE "R"

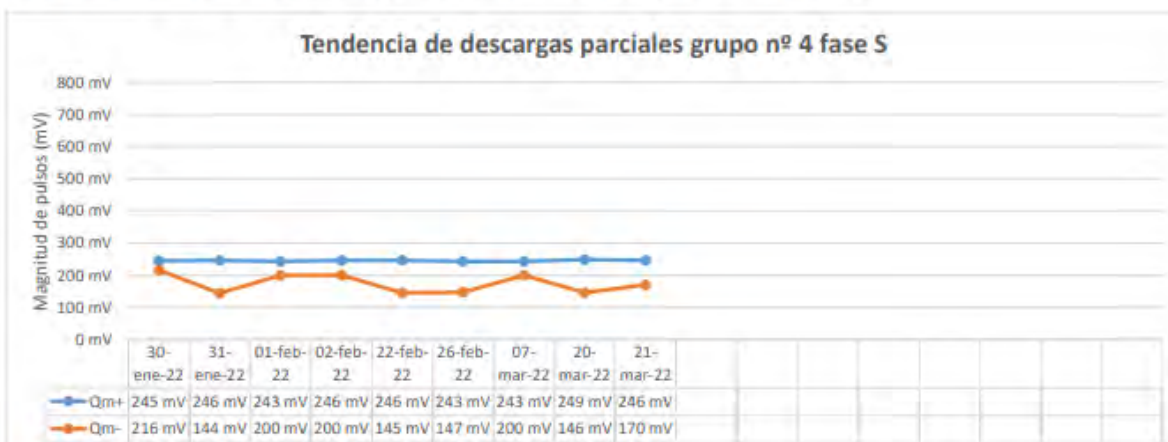


Se manifiestan fluctuaciones altas y bajas en los niveles de descargas parciales en los devanados del estator y estas son de tipo:

MODERADO

Según criterios de evaluación establecidas en las tablas estadísticas de la base de datos de Iris Power.

4.2 TENDENCIA DE DESCARGAS PARCIALES GRUPO N° 4 - C.H.M - FASE "S"

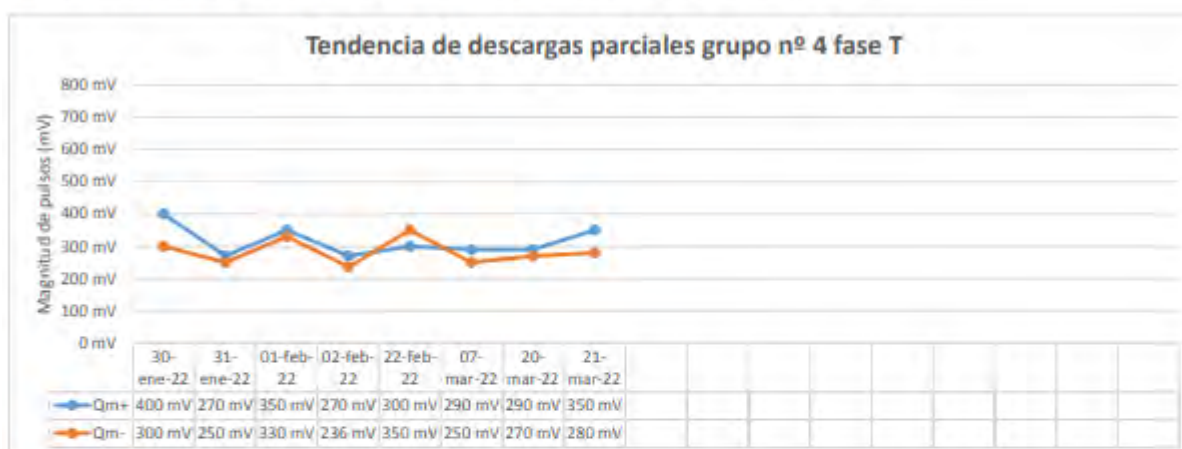


Se manifiestan fluctuaciones altas y bajas en los niveles de descargas parciales en los devanados del estator y estas son de tipo:

MODERADO

Según criterios de evaluación establecidas en las tablas estadísticas de la base de datos de Iris Power.

4.3 TENDENCIA DE DESCARGAS PARCIALES GRUPO N° 4 - C.H.M - FASE "T"



Se manifiestan fluctuaciones altas y bajas en los niveles de descargas parciales en los devanados del estator y estas son de tipo:

ALTO

Según criterios de evaluación establecidas en las tablas estadísticas de la base de datos de Iris Power.

Fuente:

- Interpretation of PD Results On-line Testing, Iris Power 2004
- IEEE Guide for the Measurement of Partial Discharges in AC Electric Machinery. IEEE Std 1434-2014

CAPÍTULO VI

6. DEMOSTRACIÓN DE LA HIPÓTESIS

lograr comprobar o rechazar la hipótesis que se ha elaborado previamente, comparando su enunciado teórico con los hechos empíricos, es el objetivo fundamental de todo estudio que pretenda explicar algún campo de la realidad. (Sheahan, 2016)

6.1. PRUEBA DE LA HIPÓTESIS GENERAL

Hipótesis general: Con el análisis e interpretación de los datos de las descargas parciales mediante la implementación del software se optimiza la prevención de fallas en los generadores de la Central Hidroeléctrica de Machupicchu.

La prueba será de comparación entre los resultados obtenidos antes y después de la implementación del sistema de análisis e interpretación de los datos de las descargas parciales.

6.1.1. EXPLICACIÓN DE LA PRUEBA DE LA HIPÓTESIS GENERAL

Tabla 14

Comparación del antes y después de implementar los Softwares de Análisis e Interpretación de los Datos de Descargas Parciales Para la Fase I y Fase II de la CHM.

ANTES DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LOS SOFTWARES	DESPUÉS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LOS SOFTWARES
Análisis e interpretación en base a algunas normas y experiencia personal.	Análisis e interpretación en base a la evaluación de los aislamientos, así como los procedimientos, normas, manuales, artículos, tesis y técnicas de análisis e interpretación.
Largos periodos de tiempo en la obtención de resultados.	Resultados instantáneos.
	Mayor confiabilidad, es decir, que la información final es veraz, objetiva y verificable.
No se realizaban tendencias a través del tiempo.	Se realizan tendencias a través del tiempo, para una mejor prevención de fallas en los sistemas de aislamiento.

Fuente: Elaboración propia.

Al observar los resultados obtenidos en la tabla 14 se puede concluir que la hipótesis general: El proceso de análisis e interpretación de los datos de las descargas parciales es optimizado con la implementación del software, obteniendo resultados instantáneos y de mayor confiabilidad. Es una proposición **VERDADERA**.

6.2. PRUEBA DE LA HIPÓTESIS ESPECÍFICA

Hipótesis específica: El diseño del software para el análisis e interpretación de los datos de las descargas parciales en los generadores de la Central Hidroeléctrica de Machupicchu incluye: algoritmos, códigos de programación e interfaces.

6.2.1. EXPLICACIÓN DE LA PRUEBA DE LA HIPÓTESIS ESPECÍFICA

Por lo visto en los capítulos IV y V, se diseñó e implementó el software llamado: “Sistema de análisis e interpretación de datos de descargas parciales”, que contiene como base algoritmos, códigos de programación, interfaces, las características de los aislamientos, la evaluación del aislamiento, características propias de los generadores, procedimientos técnicos, así como información bibliográfica y normas internacionales. Por lo tanto, la hipótesis específica es una proposición **VERDADERA**.

CONCLUSIONES

1. En el presente trabajo se analizó e interpretó los datos de las descargas parciales, obteniendo resultados automatizados, más concretos, acorde a la normatividad respectiva, manuales y a las técnicas de interpretación. Demostrando así, que se logró optimizar el proceso de análisis e interpretación de los datos de descargas parciales, lo que conlleva a una correcta evaluación del estado y la detección preventiva de fallas por descargas parciales en los sistemas de aislamiento de los generadores de la Central Hidroeléctrica de Machupicchu.
2. Se diseñó e implementó el software que posibilita la obtención de resultados instantáneos y de mayor confiabilidad. En base a estudios de las características del aislamiento, así como los procedimientos, normas, manuales y técnicas de análisis e interpretación de los datos de las descargas parciales.
3. Se realizó el análisis e interpretación de datos de descargas parciales en los devanados estáticos de los cuatro grupos de generación de la Central Hidroeléctrica de Machupicchu con fecha 22 de marzo del 2022. Obteniendo resultados instantáneos que determinaron el nivel de deterioro de los sistemas de aislamiento por efecto de las descargas parciales.

Y los resultados fueron: para el Grupo 1 el nivel de deterioro es de tipo bajo y moderado, es decir, no requiere mantenimiento y se sugiere un periodo de tiempo mensual para el monitoreo. Para el Grupo 2 el nivel de deterioro es de tipo bajo, es decir no requiere mantenimiento y se sugiere un periodo de tiempo trimestral para el monitoreo. Para el Grupo 3 el nivel de deterioro es de tipo bajo, es decir no requiere mantenimiento y se sugiere un periodo de tiempo trimestral para el monitoreo.

Para el Grupo 4 obteniendo valores de la máxima actividad de descargas parciales Q_{m+} de 350 mV y Q_{m-} de 280 mV, estos valores indican un nivel de deterioro de tipo moderado, es decir, no requiere mantenimiento y se sugiere un periodo de tiempo mensual para el monitoreo. En general, actualmente los sistemas de aislamiento de los devanados estáticos de los generadores de la Central hidroeléctrica de Machupicchu no se ven afectados por las descargas parciales.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda utilizar el sistema de monitoreo HYDROTRAC IRIS POWER para los 4 grupos de generación de la Central Hidroeléctrica de Machupicchu, ya que permite hacer un análisis e interpretación de los datos de manera más conveniente al usuario, utilizando variables numéricas como la magnitud máxima (Q_m), identificación de las descargas parciales no clásicas y la presentación de las tendencias a través del tiempo.
2. Para mejorar el software implementado, se recomienda seguir con actualizaciones constantes en temas relacionados con las normas, manuales y técnicas de análisis e interpretación de los datos de las descargas parciales.
3. Para ampliar el conocimiento sobre descargas parciales, se recomienda que en los cursos que estudian a las máquinas eléctricas se profundice este tema, de manera que se comprenda cómo los diferentes procesos operativos, los esfuerzos térmicos, eléctricos, mecánicos y ambientales de una máquina, están relacionados directamente con los procesos degenerativos de los sistemas aislantes.

BIBLIOGRAFÍA

- Andritz Hydro, (2018), *Ensayos dieléctricos y sistemas de aislamiento - capacitación Machupicchu.*
- Ángel Güere, (2012), *Diagnóstico en línea mediante descargas parciales como técnica de mantenimiento predictivo del devanado estatórico de los alternadores de electropereu s.a.* Lima – Perú.
- EN 60270:2001. *High-Voltage Test Techniques - Partial Discharge Measurements.*
- García (2011), *Estudio del fenómeno de descargas parciales en aislamientos sólidos de los devanados de máquinas rotativas de corriente alterna.*
- Greg, C. Culbert, I. Boulter, E. y Hussein, D. (2014). *Electrical Insulation for rotating Machines: design, Evaluation, And, Testing, and Repair.* American Multinational: Wiley-IEEE Press.
- IEC 60085:2007 *Electrical insulation - Thermal evaluation and designation.*
- IEC TS 60034-27:2006. *Rotating electrical machines - Part 27: Off-line partial discharge measurements on the stator winding insulation of rotating electrical machines.*
- IEC TS 60034-27-2:2012 *Rotating electrical machines - Part 27-2: On-line partial discharge measurements on the stator winding insulation of rotating electrical machines*
- IEEE 1434-2000. *IEEE Use Guide to the measurement of partial discharges in rotating machinery.*
- IEEE Std 1434-2014 (Revision of IEEE Std 1434-2000), *IEEE Guide for the Measurement of Partial Discharges in AC Electric Machinery.*
- Iris Power (2004). *Interpretation of PD Results On-line Testing.* Toronto, Canadá.
- PD Tech, (1999). *Sources of Partial Discharges in Rotating Machines: General Interpretation Scheme for ICMmonitor Data.*
- Taberero, A. y Rojas, P. (2008). *Seminario Técnico de descargas parciales en Maquinas Rotativas: UNITRONICS ELECTRIC- IRIS POWER.* Madrid
- Thaler, G. y Wilcox, M. (1974), *Máquinas Eléctricas: Estado dinámico y permanente,* México.

ANEXOS

ANEXO A. MATRIZ DE CONSISTENCIA: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS DE LAS DESCARGAS PARCIALES EN LOS GENERADORES DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE MACHUPICCHU MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SOFTWARE – 2019

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA
GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLE INDEPENDIENTE	<ul style="list-style-type: none"> •ÁMBITO DE ESTUDIO La Central Hidroeléctrica de Machupicchu está ubicada en la provincia de Urubamba del departamento del Cusco. •TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN La presente investigación es del tipo Aplicada. De acuerdo al enfoque es MIXTA. De acuerdo al alcance o nivel es EXPLICATIVO. •UNIDAD DE ANÁLISIS. La unidad de análisis comprenderá los sistemas de aislamiento de los devanados estatóricos de los cuatro generadores síncronos de la Central Hidroeléctrica de Machupicchu. •POBLACIÓN DE ESTUDIO Para este estudio de investigación, la población estará conformado por los cuatro generadores de la central Hidroeléctrica de Machupicchu.
¿Cómo analizar e interpretar los datos de las descargas parciales en los generadores de la Central hidroeléctrica de Machupicchu mediante la implementación de un software?	Analizar e interpretar los datos de las descargas parciales en los generadores de la Central hidroeléctrica de Machupicchu utilizando el software implementado.	Con el análisis e interpretación de los datos de las descargas parciales mediante la implementación del software se optimiza la prevención de fallas en los generadores de la Central Hidroeléctrica de Machupicchu.	<ul style="list-style-type: none"> •Software para el análisis e interpretación. INDICADORES <ul style="list-style-type: none"> •Velocidad en el análisis e interpretación de los datos de descargas parciales. •Confiabilidad en los resultados 	<ul style="list-style-type: none"> •TAMAÑO DE MUESTRA Los cuatro estatores de los generadores de la central Hidroeléctrica de Machupicchu. •TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS Las técnicas de recolección de datos son: -La observación de campo, recolección de datos de primera mano, cómo son los datos de las descargas parciales que son indispensables para el presente trabajo. -El análisis documental, una vez definida de forma clara nuestros objetivos del estudio de tesis, se realizarán rastreos de informaciones historiales, esto con el fin de lograr lo requerido. Los documentos a revisar serán normas, libros, artículos, manuales, documentos de la especialidad, fichas técnicas y tesis. •TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE DATOS. Para el análisis de datos fue necesario utilizar estadígrafos de análisis cuantitativo, como son los percentiles e histogramas. También se utilizó la herramienta de análisis, comparación e interpretación de datos, Microsoft Excel – VBA (Visual Basic for Application).
ESPECÍFICO	OBJETIVO ESPECÍFICO	HIPÓTESIS ESPECÍFICA	VARIABLE DEPENDIENTE	
¿De qué manera se diseñaría un software que analice e interprete los datos de las descargas parciales en los generadores de la Central hidroeléctrica de Machupicchu?	Diseñar el software que analice e interprete los datos de las descargas parciales en los generadores de la Central hidroeléctrica de Machupicchu.	El diseño del software para el análisis e interpretación de los datos de las descargas parciales en los generadores de la Central Hidroeléctrica de Machupicchu incluye: algoritmos, códigos de programación e interfaces.	<ul style="list-style-type: none"> • Descargas Parciales. INDICADORES <ul style="list-style-type: none"> • Magnitud de las descargas parciales • Pulsos por segundo • Polaridad del pulso. 	

ANEXO B. MANUAL DE USUARIO PARA EL SOFTWARE “SISTEMA DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS DE DESCARGAS PARCIALES FASE I”

Software implementado para el análisis e interpretación de datos de descargas parciales para los grupos 1-2-3 de la fase I de la Central Hidroeléctrica de Machupicchu.

PARA LANZAR LA APLICACIÓN.

Haga doble clic sobre el icono de la aplicación.

CONTENIDO DEL MENÚ PRINCIPAL.

Figura 63

Interfaz Gráfica del Menú Principal – Fase I



Fuente: Elaboración propia

BOTÓN DE INICIO.

Botón que devuelve de cualquier hoja al menú principal.

SELECCIONAR GRUPO.

Selecciona un grupo de la primera fase de la central hidroeléctrica de Machupicchu para su análisis e interpretación.

BOTÓN HIDE.

Ocultas las herramientas de edición y trabajo.

Nota. Solo usar en caso de mantenimiento o actualización del software.

BOTÓN UNHIDE.

Muestra las herramientas de edición y trabajo.

Nota. Solo usar en caso de mantenimiento o actualización del software.

TABLERO DE CONTROL.

Botones de acceso a todas las hojas para el ingreso de datos de usuario, parámetros de operación y el análisis de comparación de los patrones gráficos de descargas parciales por fase.

BOTÓN GENERAR INFORME.

Botón que genera el informe final.

Nota. Usarlo únicamente después de haber ingresado los datos de las 3 fases.

DATOS DE USUARIO.

Se ingresa presionando el botón de datos de usuario y parámetros de operación que nos dirigirá a la siguiente hoja:

Figura 64

Interfaz Gráfica de los Datos de Usuario – Fase I

Fuente: Elaboración propia

Se debe de ingresar la fecha de la toma de datos de descargas parciales, así como el número de informe, el nombre del encargado en tomar los datos y el área respectiva.

BOTÓN LIMPIAR.

Limpia los casilleros para ingresar nuevos datos de usuario.

BOTÓN ELIMINAR ÚLTIMO.

Elimina la última base de datos de usuario guardada.

BOTÓN GUARDAR.

Guarda los datos de usuario para el informe final.

Nota. Para realizar un nuevo informe, primero presionar el botón limpiar, después el botón eliminar último, ingresar los datos de usuario y por último el botón guardar.

PARÁMETROS DE OPERACIÓN.

Se ingresa presionando el botón parámetros de operación que nos dirigirá a la siguiente hoja:

Figura 65

Interfaz Gráfica de los Parámetros de Operación – Fase I



Fuente: Elaboración propia

Ingresa los parámetros de operación del generador en el momento de la toma de datos de descargas parciales. Y así tener la información para una siguiente obtención de datos de descargas parciales en las mismas condiciones. Los parámetros de operación de cada informe se guardarán en la tabla “ÚLTIMOS PARÁMETROS DE OPERACIÓN GUARDADOS”.

BOTÓN LIMPIAR.

Limpia los casilleros para ingresar nuevos parámetros de operación.

BOTÓN ELIMINAR ÚLTIMO.

Elimina la última base de datos guardada en la tabla “últimos parámetros de operación guardados”.

BOTÓN GUARDAR.

Guarda los parámetros de operación para el informe final.

COMPARACIÓN DE LOS PATRONES GRÁFICOS POR FASE.

Para ingresar se debe ir al menú principal con el botón inicio y estando en el panel de control hacer clic en el botón “PATRON GRAFICO FASE “R””.

Lo cual nos dirigirá a la hoja mostrada en la figura 66. Hoja que nos brinda opciones detalladas para la comparación de patrones gráficos del software, con los gráficos de descargas parciales obtenidos y el nivel de densidad de la nube de descargas parciales.

Figura 66

Interfaz Gráfica Para La Comparación De Patrones Y Niveles de Densidad de la Nube de Descargas Parciales



Fuente: Elaboración propia

BOTÓN SELECT.

Botón para seleccionar el tipo de descarga parcial de acuerdo a su patrón gráfico obtenido.

BOTÓN GRÁFICOS 2 – R.

Muestra más opciones de patrones gráficos detallados.

BOTÓN TENUE.

Usar este botón cuando la densidad de la nube de descargas parciales en su gráfica obtenida sea tenue.

BOTÓN MODERADO.

Usar este botón cuando la densidad de la nube de descargas parciales en su gráfica obtenida sea moderada.

BOTÓN VOLUMINOSO.

Usar este botón cuando la densidad de la nube de descargas parciales en su gráfica obtenida sea voluminosa.

Nota. Realizar estos mismos pasos para las fases “S” y “T”.

GENERAR EL INFORME FINAL.

Después de completar el ingreso de datos de usuario, parámetros de operación, comparación de patrones gráficos para las 3 fases (R, S y T).

Se debe de hacer clic en el botón generar informe.

Figura 67

Interfaz Gráfica del Menú Principal para la Generación del Informe – Fase I



Fuente: Elaboración propia

El informe se generará, se abrirá, y se guardará automáticamente.

Nota. Al finalizar todo el proceso, se debe dirigir a la carpeta destino donde se guardó el informe en archivo PDF, y cambiarle el nombre del documento de acuerdo a las necesidades del usuario.

ANEXO C. MANUAL DE USUARIO PARA EL SOFTWARE “SISTEMA DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS DE DESCARGAS PARCIALES FASE II”

Software implementado para el análisis e interpretación de datos de las descargas parciales para el grupo 4 de la fase II de la Central Hidroeléctrica de Machupicchu.

PARA LANZAR LA APLICACIÓN.

Haga doble clic sobre el icono de la aplicación.

CONTENIDO DEL MENÚ PRINCIPAL.

Figura 68

Interfaz Gráfica Del Menú Principal – Fase II



Fuente: Elaboración propia

BOTÓN DE INICIO.

Botón que devuelve de cualquier hoja al menú principal.

BOTÓN HIDE.

Ocultar las herramientas de edición y trabajo.

Nota. Solo usar en caso de mantenimiento o actualización del software.

BOTÓN UNHIDE.

Muestra las herramientas de edición y trabajo.

Nota. Solo usar en caso de mantenimiento o actualización del software.

TABLERO DE CONTROL.

Botones de acceso a todas las hojas para el ingreso de datos de usuario, parámetros de operación y los datos de descargas parciales por fase.

BOTÓN GENERAR INFORME.

Botón que genera el informe final.

Nota. Usarlo únicamente después de haber ingresado los datos de las 3 fases.

DATOS DE USUARIO.

Se ingresa presionando el botón de datos de usuario y parámetros de operación que nos dirigirá a la siguiente hoja:

Figura 69

Interfaz Gráfica de los Datos de Usuario – Fase II

DATOS DE USUARIO	
FECHA :	22-mar-22
NÚMERO DE INFORME :	2203221
ENCARGADO :	Oscar García García
ÁREA :	Mantenimiento Eléctrico

Fuente: Elaboración propia.

Ingresar la fecha de la toma de datos de descargas parciales, así como el número de informe, el nombre del encargado en tomar los datos y el área respectiva.

BOTÓN LIMPIAR.

Limpia los casilleros para ingresar nuevos datos de usuario.

BOTÓN ELIMINAR ÚLTIMO.

Elimina la última base de datos de usuario guardada.

BOTÓN GUARDAR.

Guarda los datos de usuario para el informe final.

Nota. Para realizar un nuevo informe, primero presionar el botón limpiar, después el botón eliminar último, ingresar los datos de usuario y por último el botón guardar.

PARÁMETROS DE OPERACIÓN.

Se ingresa presionando el botón parámetros de operación que nos dirigirá a la siguiente hoja:

Figura 70

Interfaz Gráfica de los Parámetros de Operación – Fase II



Fuente: Elaboración propia

Ingresa los parámetros de operación del generador en el momento de la toma de datos de descargas parciales. Y así tener la información para una siguiente obtención de datos de descargas parciales en las mismas condiciones.

Los parámetros de operación de cada informe se guardarán en la tabla “**ÚLTIMOS PARÁMETROS DE OPERACIÓN GUARDADOS**”.

BOTÓN LIMPIAR.

Limpia los casilleros para ingresar nuevos parámetros de operación.

BOTÓN ELIMINAR ÚLTIMO.

Elimina la última base de datos guardada en la tabla “últimos parámetros de operación guardados”.

BOTÓN GUARDAR.

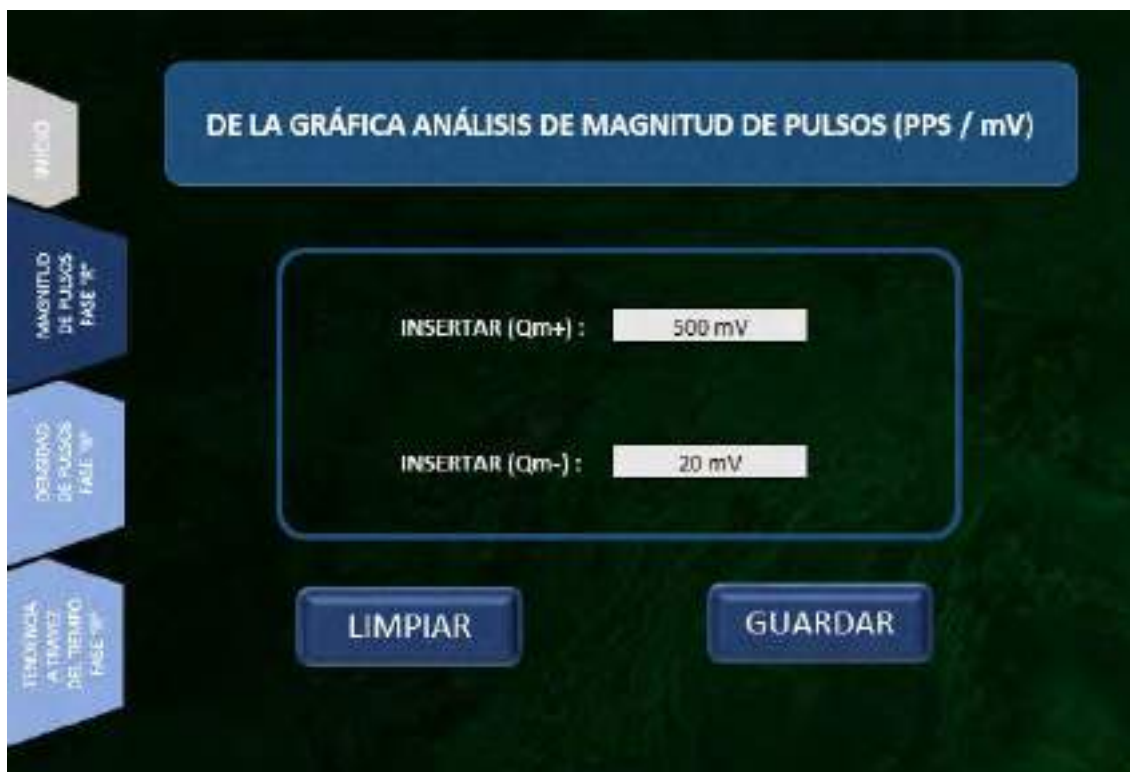
Guarda los parámetros de operación para el informe final.

INGRESAR DATOS DE DESCARGAS PARCIALES POR FASE.

Para ingresar se debe ir al menú principal con el botón inicio y en el panel de control hacer clic en el botón “INGRESAR DATOS FASE “R”. Realizar el mismo procedimiento para el ingreso de datos de las fases “S” y “T”.

Figura 71

Interfaz Gráfica para el Análisis de Magnitud de Pulsos (PPS / mV)



Fuente: Elaboración propia

Nos pedirá insertar los valores Q_{m+} y Q_{m-} (Máxima actividad de descargas parciales). Valores que nos brindará el sistema de monitoreo HydroTrac Iris Power.

BOTÓN DENSIDAD DE PULSOS FASE “R”.

Botón para ingresar datos de la gráfica esquema lineal de la densidad de pulsos.

Donde nos pedirá alrededor de que ángulo de fase se encuentra la máxima actividad de descargas parciales.

Figura 72

Interfaz Gráfica para el Esquema Lineal de la Densidad de Pulsos (mV / Ángulo de Fase)

DE LA GRÁFICA ESQUEMA LINEAL DE LA DENSIDAD DE PULSOS (mV / Ángulo de Fase)

La máxima actividad de descargas parciales se concentran alrededor de :

- En el semicírculo positivo : 15°
- En el semicírculo negativo : 180°

LIMPIAR GUARDAR

DETALLE DE LA INTERFAZ: La imagen muestra una interfaz de usuario con un fondo oscuro. A la izquierda hay un menú vertical con botones: 'INICIO', 'MANEJO DE PULSOS 0-90°', 'DENSIDAD DE PULSOS FASE "R"', y 'PROMEDIO A TRAVÉS DEL TIEMPO 0-90°'. El panel principal tiene un título 'DE LA GRÁFICA ESQUEMA LINEAL DE LA DENSIDAD DE PULSOS (mV / Ángulo de Fase)'. Debajo del título, un recuadro contiene el texto 'La máxima actividad de descargas parciales se concentran alrededor de :'. Desde este recuadro, dos flechas apuntan a campos de entrada de texto: 'En el semicírculo positivo : 15°' y 'En el semicírculo negativo : 180°'. En la parte inferior del panel principal hay dos botones: 'LIMPIAR' y 'GUARDAR'.

Fuente: Elaboración propia.

Para minimizar error al momento del ingreso de datos, al usuario se le dará opciones de ángulo de fase, los cuales son de relevancia para la interpretación de descargas parciales.

BOTÓN TENDENCIA A TRAVÉS DEL TIEMPO FASE “R”.

Botón para ingresar datos Q_{m+} y Q_{m-} obtenidos en diferentes fechas, para así lograr hacer una tendencia de datos de descargas parciales a través del tiempo.

Figura 73

Interfaz Gráfica para la Tendencia de Descargas Parciales a Través del Tiempo



FECHA	Q_{m+}	Q_{m-}
30-ene-22	144 mV	82 mV
31-ene-22	149 mV	76 mV
01-feb-22	142 mV	150 mV
02-feb-22	145 mV	77 mV
22-feb-22	148 mV	200 mV
26-feb-22	146 mV	200 mV
07-mar-22	148 mV	84 mV
20-mar-22	166 mV	75 mV
21-mar-22	149 mV	200 mV

Fuente: Elaboración propia

BOTÓN LIMPIAR.

Limpia todos los casilleros de esta hoja, para poder crear una nueva tendencia de datos de descargas parciales a través del tiempo.

Nota. Realizar estos mismos pasos para las fases “S” y “T”.

GENERAR EL INFORME FINAL.

Después de completar el ingreso de datos de usuario, parámetros de operación, ingresar datos de descargas parciales para las 3 fases (R, S y T).

Se debe de hacer clic en el botón inicio que nos lleva al menú principal donde se encuentra el botón generar informe.

Figura 74

Interfaz Gráfica del Menú Principal para la Generación del Informe – Fase II



Fuente: Elaboración Propia

El informe se generará, se abrirá, y se guardará automáticamente.

ANEXO D. CÓDIGO FUENTE EN VISUAL BASIC DE EXCEL, PARA EL DESARROLLO DEL SOFTWARE SISTEMA DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS DE DESCARGAS PARCIALES FASE I Y FASE II

```

' QmPositivo Macro
'
'
'
Application.ScreenUpdating = False
Range("D31").Select
Sheets("Base de datos 2").Select
Range("H10").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Qm+"
Range("H11").Select
Sheets("Graficos1FaseR").Select
Range("E31").Select
MsgBox ("La selección de gráfica se guardo correctamente")
End Sub
Sub TipoCoronaR()
'
' TipoCoronaR Macro
'
'
'
Application.ScreenUpdating = False
Range("E31").Select
Sheets("Base de datos 2").Select
Range("H10").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Tipo Corona"
Range("H11").Select
Sheets("Graficos1FaseR").Select
Range("L31").Select
MsgBox ("La selección de gráfica se guardo correctamente")
End Sub

```

```

' QmIgualesR Macro
'
'
'
Application.ScreenUpdating = False
Range("E31").Select
Sheets("Base de datos 2").Select
Range("H10").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Qm+=Qm-"
Range("H7").Select
Sheets("Graficos2FaseR").Select
Range("E31").Select
MsgBox ("La selección de gráfica se guardo correctamente")
End Sub
Sub QmNegativoR()
'
' QmNegativoR Macro
'
'
'
Application.ScreenUpdating = False
Range("L31").Select
Sheets("Base de datos 2").Select
Range("H10").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Qm-"
Range("G7").Select
Sheets("Graficos2FaseR").Select
Range("L31").Select
MsgBox ("La selección de gráfica se guardo correctamente")
End Sub

```



```

Sub TenueFaseS()
'
' TenueFaseS Macro
'
'
'
Application.ScreenUpdating = False
Range("O11").Select
Sheets("Base de datos 2").Select
Range("F4").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Tenue"
Range("F5").Select
Sheets("GraficosIFaseS").Select
Range("O11").Select
MsgBox ("La selección se guardó correctamente")
End Sub
Sub ModeradoFaseS()
'
' ModeradoFaseS Macro
'
'
'
Application.ScreenUpdating = False
Range("O17").Select
Sheets("Base de datos 2").Select
Range("F4").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Moderado"
Range("F5").Select
Sheets("GraficosIFaseS").Select
Range("O17").Select
MsgBox ("La selección se guardó correctamente")
End Sub

```

```

Sub ModeradoFaseI()
'
' ModeradoFaseI Macro
'
'
'
Application.ScreenUpdating = False
Range("E18").Select
Sheets("Base de datos 2").Select
Range("F5").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Moderado"
Range("F6").Select
Sheets("GraficosIFaseI").Select
Range("E18").Select
MsgBox ("La selección se guardó correctamente")
End Sub
Sub VoluminosoFaseI()
'
' VoluminosoFaseI Macro
'
'
'
Application.ScreenUpdating = False
Range("E25").Select
Sheets("Base de datos 2").Select
Range("F5").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Voluminoso"
Range("F6").Select
Sheets("GraficosIFaseI").Select
Range("E25").Select
MsgBox ("La selección se guardó correctamente")
End Sub

```



```
Range("E8,E10,E12,E14").Select
Range("E14").Activate
Selection.Copy
ActiveWindow.ScrollWorkbookTabs Sheets:=1
ActiveWindow.ScrollWorkbookTabs Sheets:=1
ActiveWindow.ScrollWorkbookTabs Sheets:=1
ActiveWindow.ScrollWorkbookTabs Sheets:=1
ActiveWindow.ScrollWorkbookTabs Sheets:=1
ActiveWindow.ScrollWorkbookTabs Sheets:=1
ActiveWindow.ScrollWorkbookTabs Sheets:=1
ActiveWindow.ScrollWorkbookTabs Sheets:=1
ActiveWindow.ScrollWorkbookTabs Sheets:=1
ActiveWindow.ScrollWorkbookTabs Sheets:=1
Sheets("Base de datos 1").Select
Range("A4").Select
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValuesAndNumberFormats, Operation:
    xlNone, SkipBlanks:=False, Transpose:=True
Range("A4").Select
ActiveWindow.ScrollWorkbookTabs Sheets:=-1
ActiveWindow.ScrollWorkbookTabs Sheets:=-1
ActiveWindow.ScrollWorkbookTabs Sheets:=-1
ActiveWindow.ScrollWorkbookTabs Sheets:=-1
ActiveWindow.ScrollWorkbookTabs Sheets:=-1
ActiveWindow.ScrollWorkbookTabs Sheets:=-1
ActiveWindow.ScrollWorkbookTabs Sheets:=-1
ActiveWindow.ScrollWorkbookTabs Sheets:=-1
ActiveWindow.ScrollWorkbookTabs Sheets:=-1
ActiveWindow.ScrollWorkbookTabs Sheets:=-1
Sheets("DATOS DE USUARIO ").Select
Application.CutCopyMode = False
Range("E8").Select
MsgBox ("Los datos se guardaron satisfactoriamente")
End Sub
```

