



Universidad Católica “Nuestra Señora de la Asunción” Campus Alto Paraná

Facultad de Ciencias y Tecnología

Ingeniería Electromecánica con orientación Electrónica

Proyecto Final de Grado

DESCARGAS PARCIALES EN CENTRALES GENERADORAS ELÉCTRICAS

CAMILA ISABEL GONZÁLEZ LÓPEZ

camg168@gmail.com

TUTOR: Msc. ING. RODRIGO RAMOS

CO TUTOR: LIC. ARIEL GUERRERO

Hernandarias, diciembre de 2019

Tabla de Contenido

Introducción

Marco Teórico

Marco Metodológico

Desarrollo del Trabajo

Resultados Obtenidos

Conclusión

Trabajos Futuros

Introducción

Marco Teórico

Marco Metodológico

Desarrollo del Trabajo

Resultados Obtenidos

Conclusión

Trabajos Futuros



Introducción

Marco Teórico

Marco Metodológico

Desarrollo del Trabajo

Resultados Obtenidos

Conclusión

Trabajos Futuros

¿Cuál es el estado del arte de las técnicas de medición de descargas parciales?

¿Cómo son las características de las señales de descargas parciales en un caso real?

¿Se puede elaborar especificaciones técnicas de una bancada capaz de efectuar mediciones de descargas parciales?

En caso afirmativo ¿Se puede realizar la validación virtual de la bancada propuesta?

Introducción

Marco Teórico

Marco Metodológico

Desarrollo del Trabajo

Resultados Obtenidos

Conclusión

Trabajos Futuros

Objetivo General

- Estudiar el fenómeno de las descargas parciales en un equipo de alta tensión de manera a entender cabalmente el origen del mismo, sus fundamentos físicos y sus implicaciones en el desempeño del sistema eléctrico donde está ubicado.

Introducción

Marco Teórico

Marco Metodológico

Desarrollo del Trabajo

Resultados Obtenidos

Conclusión

Trabajos Futuros

Objetivos Específicos

- Investigar acerca del estado del arte de las técnicas de medición de descargas parciales.
- Analizar las características de las señales de descargas parciales de un caso correspondiente a un equipo real.
- Elaborar la especificación técnica de una bancada capaz de efectuar mediciones de descargas parciales.

Introducción

Marco Teórico

Marco Metodológico

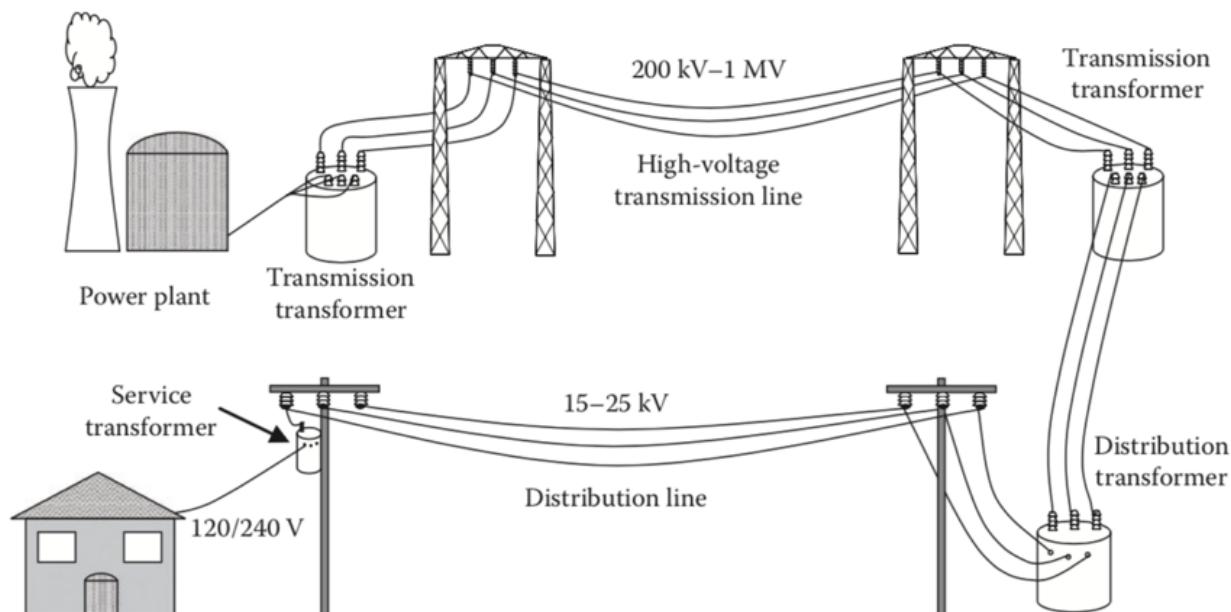
Desarrollo del Trabajo

Resultados Obtenidos

Conclusión

Trabajos Futuros

Centrales generadoras / Sistemas de potencia



Fuente: (El Sharkawi, 2013)

Introducción

Marco Teórico

Marco Metodológico

Desarrollo del Trabajo

Resultados Obtenidos

Conclusión

Trabajos Futuros

Generación de energía eléctrica en el Paraguay



Fuente: (Agencia de información paraguaya, 2018)



Fuente: (El Cronista, 2019)

Introducción

Marco Teórico

Marco Metodológico

Desarrollo del Trabajo

Resultados Obtenidos

Conclusión

Trabajos Futuros

Generación de energía eléctrica en el Paraguay



Fuente: (Última Hora, 2018)



Fuente (Ferreira Beling & Ríos González, 2014)

Introducción

Marco Teórico

Marco Metodológico

Desarrollo del Trabajo

Resultados Obtenidos

Conclusión

Trabajos Futuros

Generación de energía eléctrica en el Paraguay



Fuente: (Itaipú Binacional, 2019)



Ministerio de
OBRAS PÚBLICAS
Y COMUNICACIONES
Vice Ministerio de
MINAS Y ENERGÍA

Introducción

Marco Teórico

Marco Metodológico

Desarrollo del Trabajo

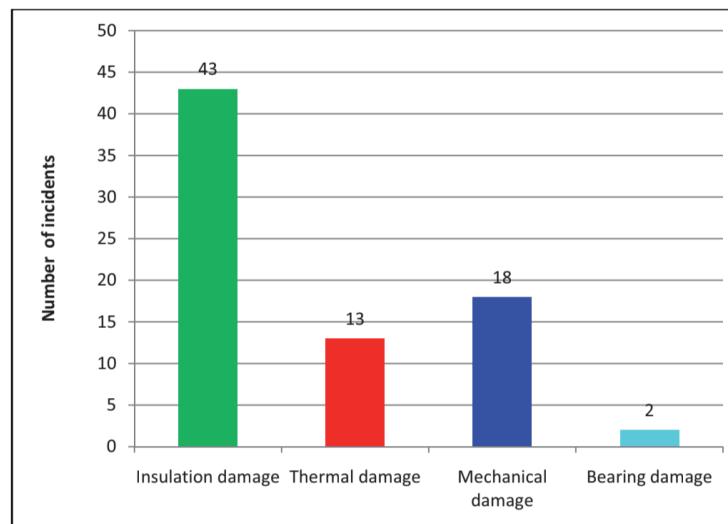
Resultados Obtenidos

Conclusión

Trabajos Futuros

Antecedentes

Daños en el aislamiento, térmicos, mecánicos y de rodamiento



Fuente: (García Araco, y otros, 2009)

Introducción

Marco Teórico

Marco Metodológico

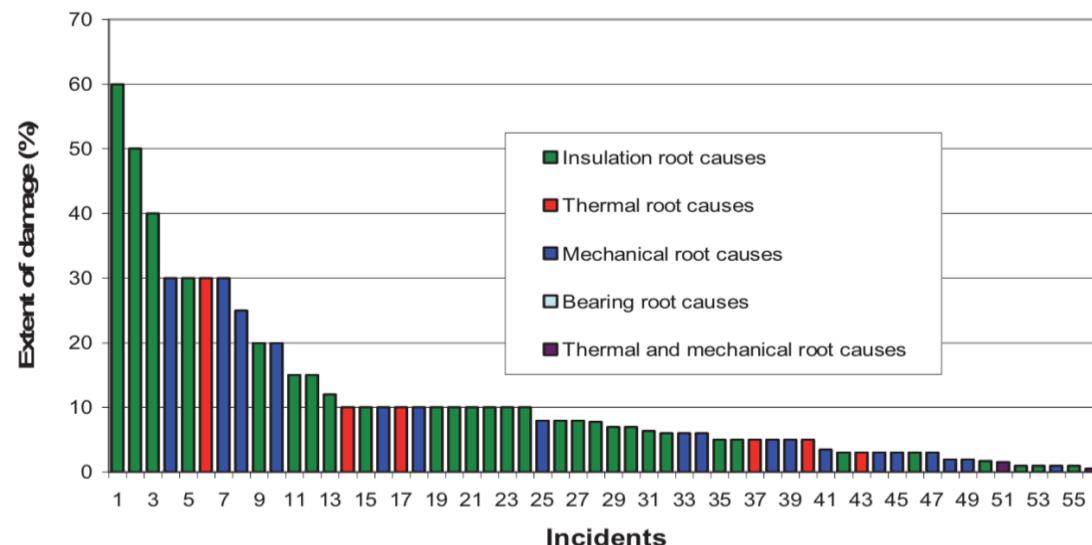
Desarrollo del Trabajo

Resultados Obtenidos

Conclusión

Trabajos Futuros

Distribución de los incidentes por causa raíz de la falla y extensión del daño



Fuente: (García Araco, y otros, 2009)

Introducción

Marco Teórico

Marco Metodológico

Desarrollo del Trabajo

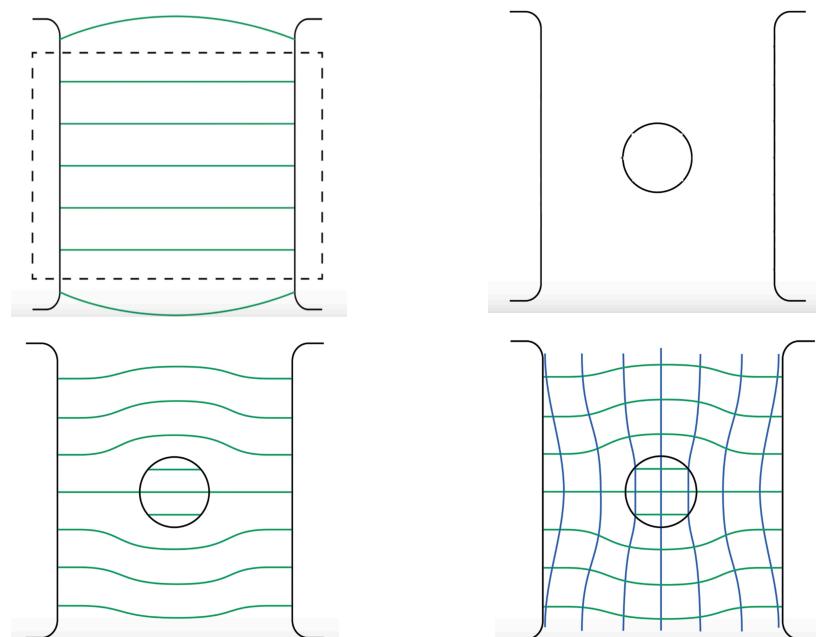
Resultados Obtenidos

Conclusión

Trabajos Futuros

Ocurrencia de descargas parciales

Concentración del campo eléctrico en una imperfección de la aislación



Fuente: (Hummel, 2015)

Introducción

Marco Teórico

Marco Metodológico

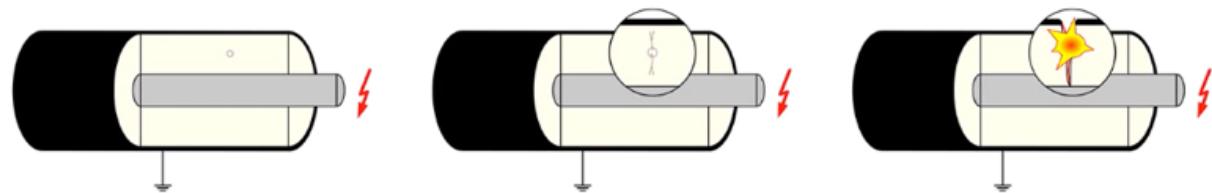
Desarrollo del Trabajo

Resultados Obtenidos

Conclusión

Trabajos Futuros

Ejemplo ilustrativo de ocurrencia de descargas parciales en un conductor



Fuente: (Hummel, 2015)

Introducción

Marco Teórico

Marco Metodológico

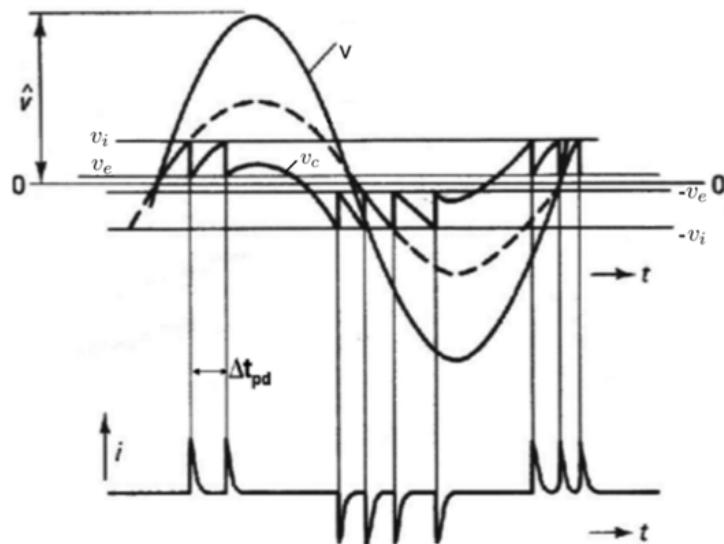
Desarrollo del Trabajo

Resultados Obtenidos

Conclusión

Trabajos Futuros

Patrón de descargas parciales según Kreuger, (1989).



Fuente: (Albarracín Sánchez, 2014)

Introducción

Marco Teórico

Marco Metodológico

Desarrollo del Trabajo

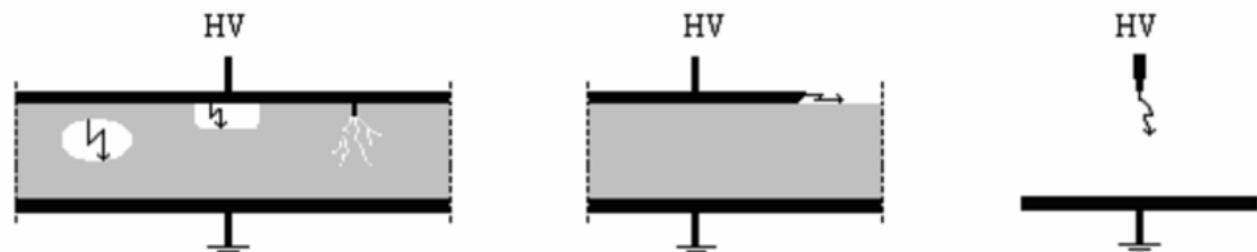
Resultados Obtenidos

Conclusión

Trabajos Futuros

Tipos de descargas parciales según su origen

Descargas parciales internas, superficiales y corona según (Phung, 1997)



Fuente: (Albarracín Sánchez, 2014)

Introducción

Marco Teórico

Marco Metodológico

Desarrollo del Trabajo

Resultados Obtenidos

Conclusión

Trabajos Futuros

¿Por qué las descargas parciales son tan peligrosas?



Fuente: VATech Hydro Austria, s.f.

Introducción

Marco Teórico

Marco Metodológico

Desarrollo del Trabajo

Resultados Obtenidos

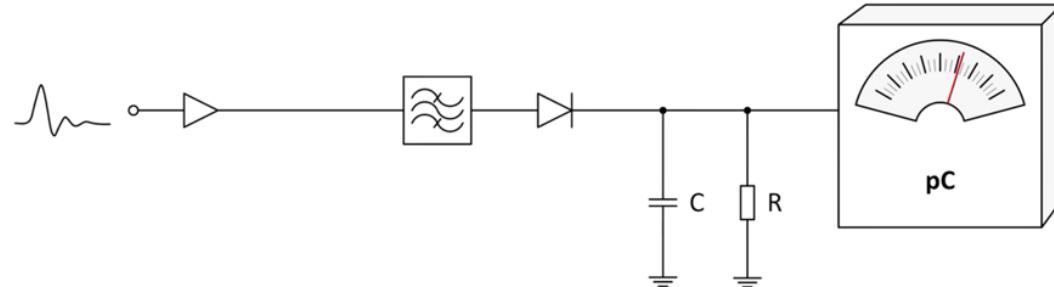
Conclusión

Trabajos Futuros

Medición de descargas parciales

Sistemas utilizados para la medición de descargas parciales

Esquema de un sistema analógico de medición de descargas parciales



Fuente: (Hummel, 2015)

Introducción

Marco Teórico

Marco Metodológico

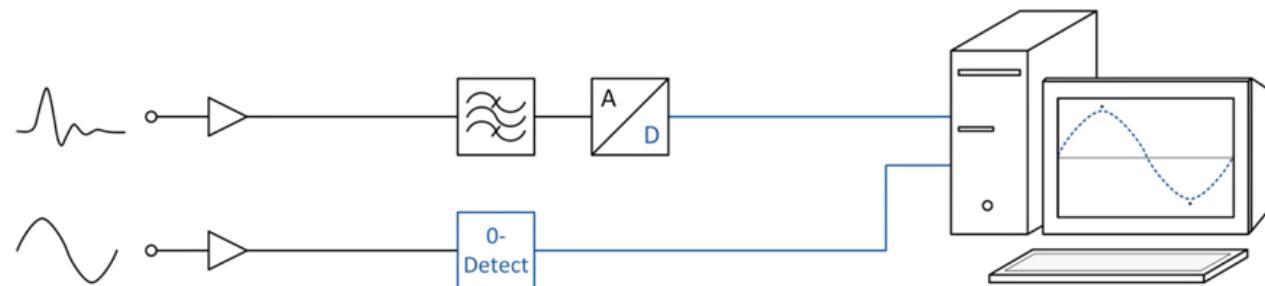
Desarrollo del Trabajo

Resultados Obtenidos

Conclusión

Trabajos Futuros

Esquema de un sistema digital de medición de descargas parciales



Fuente: (Hummel, 2015)

Introducción

Marco Teórico

Marco Metodológico

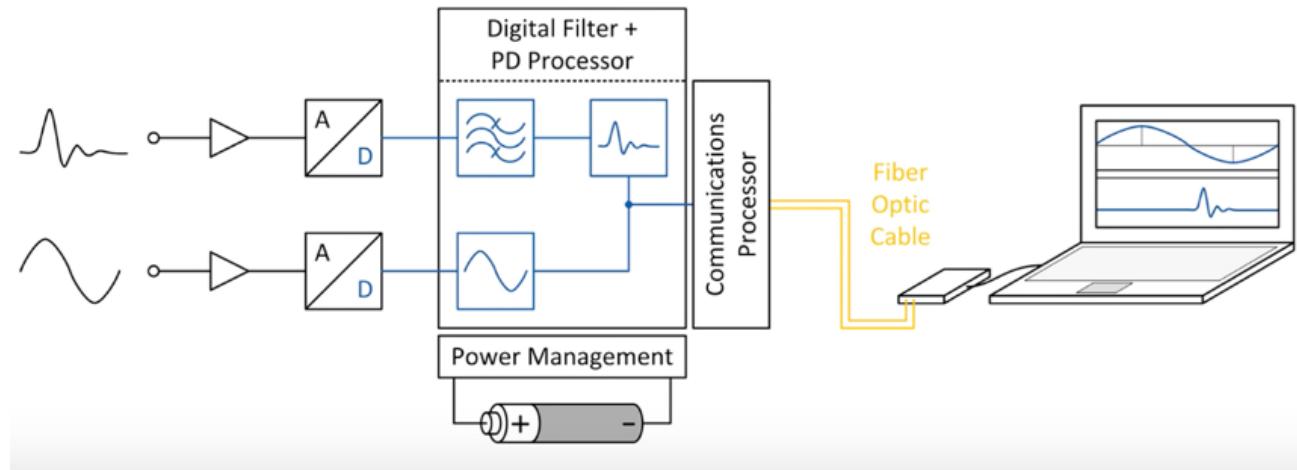
Desarrollo del Trabajo

Resultados Obtenidos

Conclusión

Trabajos Futuros

Esquema de un sistema digital con filtrado digital de medición de descargas parciales



Fuente: (Hummel, 2015)

Trabajo Final de Grado
Descargas Parciales en Centrales Generadoras Eléctricas

Introducción

Marco Teórico

Marco Metodológico

Desarrollo del Trabajo

Resultados Obtenidos

Conclusión

Trabajos Futuros

Tipos de medición según la condición de operación de las máquinas



En línea



Fuera de línea

Fuente: Imágenes extraídas de internet, s.f.

Introducción

Marco Teórico

Marco Metodológico

Desarrollo del Trabajo

Resultados Obtenidos

Conclusión

Trabajos Futuros

Principales inconvenientes en la medición de DP

- Cancelación de ruido
- Interferencias externas
- Separación e identificación de fenómenos de DP
- Ubicación de la fuente de PD
- Superposición de varios fenómenos de descargas parciales
- Acoplamiento cruzado de fases vecinas (en la medición en línea)
- Evaluación de riesgos

Trabajo Final de Grado
Descargas Parciales en Centrales Generadoras Eléctricas

Introducción

Marco Teórico

Marco Metodológico

Desarrollo del Trabajo

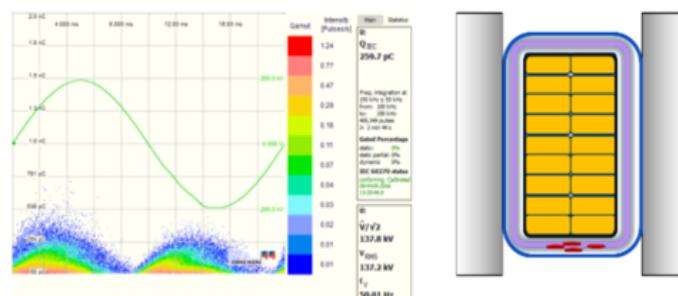
Resultados Obtenidos

Conclusión

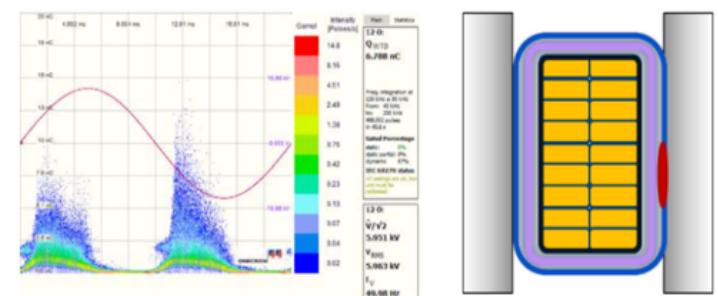
Trabajos Futuros

Formas de visualización de descargas parciales

Distintos patrones PRPD asociados al tipo de falla que los origina



Discharges in the insulation, or internal discharges



Discharges between conductor and the earthed metal surrounding the conductor, or slot discharges

Fuente: (Oettl, Krueger, Koltunowicz, Badicu, & Gorgan, 2017)

Técnicas de medición de DP

Introducción

Marco Teórico

Marco Metodológico

Desarrollo del Trabajo

Resultados Obtenidos

Conclusión

Trabajos Futuros

Método eléctrico o de detección de pulso eléctrico

Debido a que una DP involucra un flujo de electrones e iones a través de una pequeña distancia en un período finito de tiempo, una pequeña corriente fluye cada vez que ocurre una DP.

La corriente total se regirá por el transporte de un cierto número de picocoulombs de carga.

El flujo de corriente crea un pulso de voltaje a través de la impedancia del sistema de aislamiento. Una de las principales formas de detectar DP es medir el pequeño pulso de voltaje que acompaña a cada DP, o el pulso de corriente resultante.

Introducción

Marco Teórico

Marco Metodológico

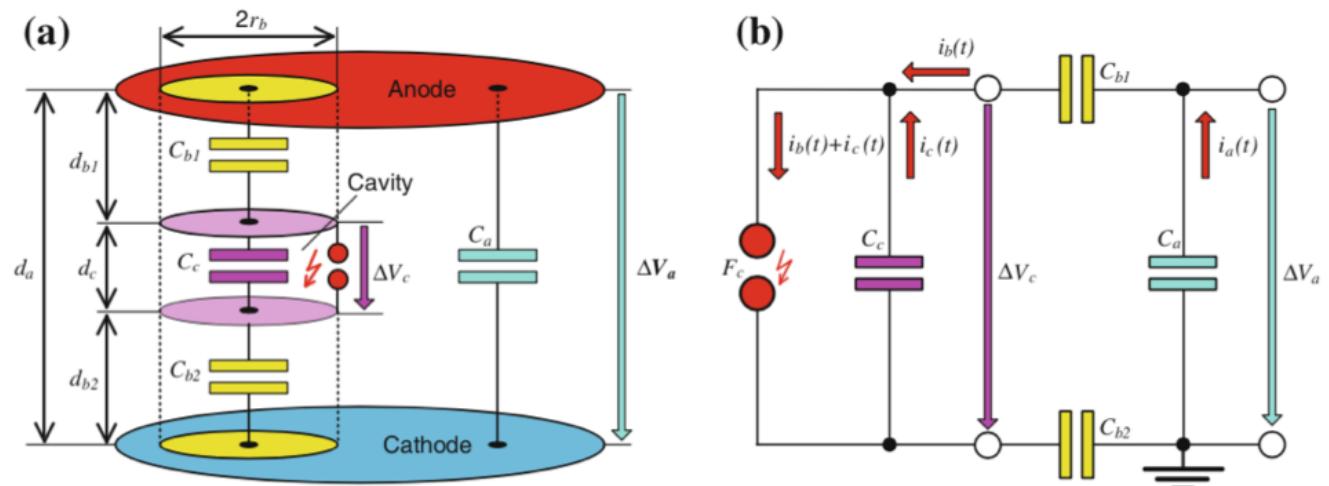
Desarrollo del Trabajo

Resultados Obtenidos

Conclusión

Trabajos Futuros

Modelo Capacitivo



Fuente: Hauschild & Lemke, 2014.

Introducción

Marco Teórico

Marco Metodológico

Desarrollo del Trabajo

Resultados Obtenidos

Conclusión

Trabajos Futuros

Métodos no eléctricos de detección de descargas parciales

Método acústico



Fuente: Imágenes extraídas de internet, s.f.

*Trabajo Final de Grado
Descargas Parciales en Centrales Generadoras Eléctricas*

Introducción

Marco Teórico

Marco Metodológico

Desarrollo del Trabajo

Resultados Obtenidos

Conclusión

Trabajos Futuros

Emisión de luz



Método químico



Fuente: Imágenes extraídas de internet, s.f.

Introducción

Marco Teórico

Marco Metodológico

Desarrollo del Trabajo

Resultados Obtenidos

Conclusión

Trabajos Futuros

Radiofrecuencia



Fuente: Moore, Portugués y Gloover, s.f.

Introducción

Marco Teórico

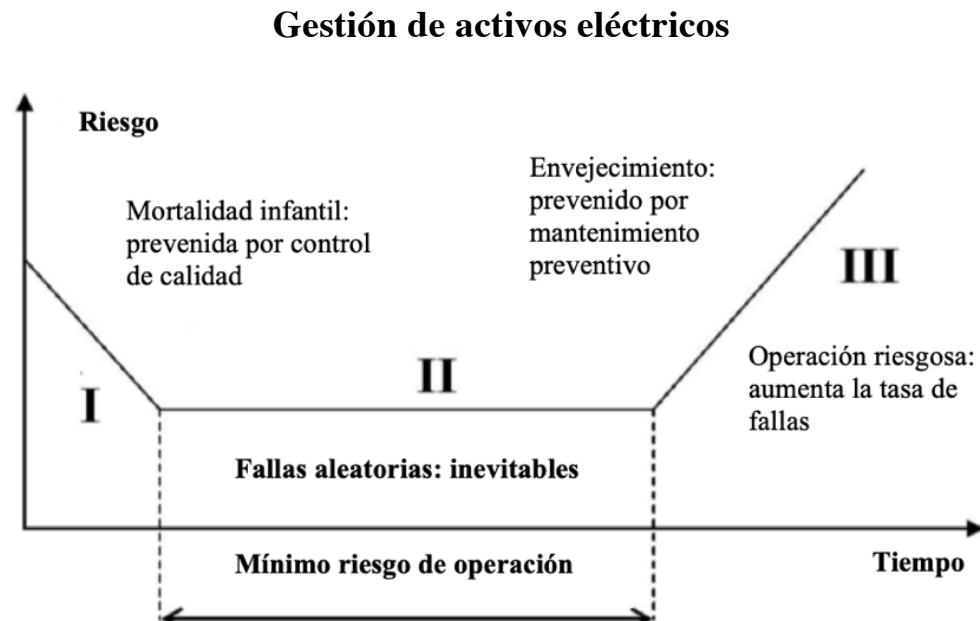
Marco Metodológico

Desarrollo del Trabajo

Resultados Obtenidos

Conclusión

Trabajos Futuros



Fuente (Montanari, 2006/2019)

Introducción

Marco Teórico

Marco Metodológico

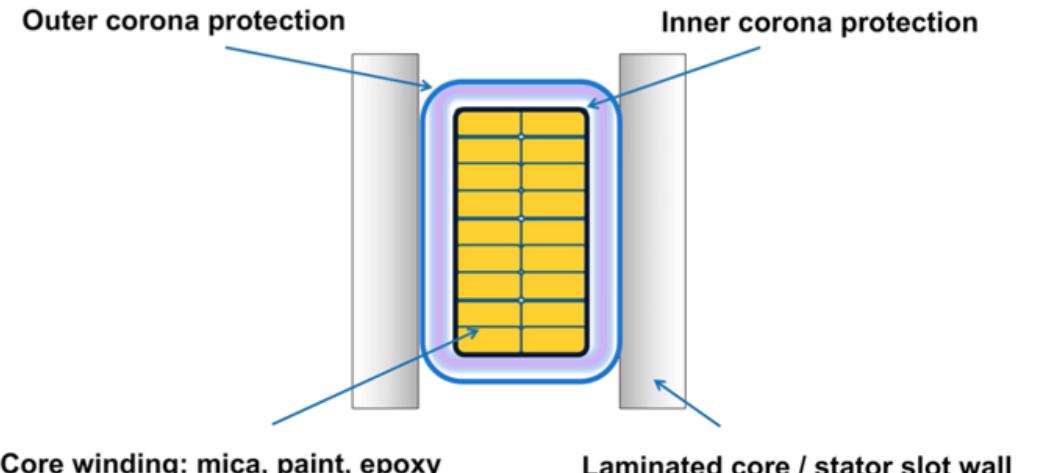
Desarrollo del Trabajo

Resultados Obtenidos

Conclusión

Trabajos Futuros

Lugares críticos donde pueden ocurrir fallas de descargas parciales en una máquina rotativa



Fuente: (Hummel, 2015)

 OMICRON

Introducción

Marco Teórico

Marco Metodológico

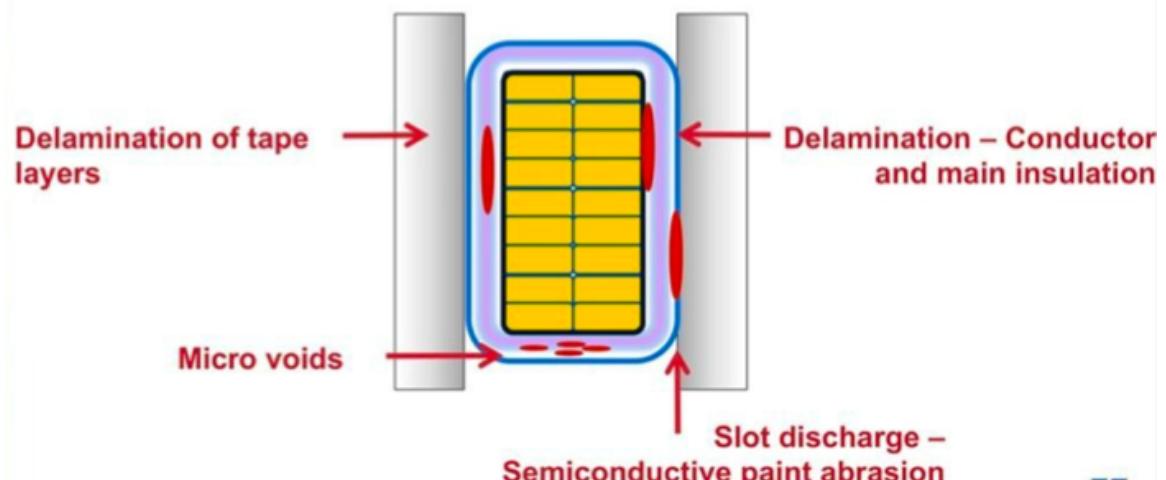
Desarrollo del Trabajo

Resultados Obtenidos

Conclusión

Trabajos Futuros

Tipos de fallas por descargas parciales



Fuente: (Hummel, 2015)

OMICRON

Normas técnicas para la medición de descargas parciales

Introducción

Marco Teórico

Marco Metodológico

Desarrollo del Trabajo

Resultados Obtenidos

Conclusión

Trabajos Futuros



IEC60270



IEEE 1434Std.

Introducción

Marco Teórico

Marco Metodológico

Desarrollo del Trabajo

Resultados Obtenidos

Conclusión

Trabajos Futuros

Alcance

La investigación propuesta es de alcance **descriptivo**, ya que se busca especificar propiedades, características y rasgos importantes de un fenómeno. El diseño de la investigación es de tipo **no experimental** ya que no se realiza manipulación de variables y no se genera ninguna situación sino que se observan situaciones ya existentes.

Enfoque

El enfoque de esta investigación es **mixto** ya que posee ciertas particularidades del enfoque cualitativo y otras del enfoque cuantitativo no experimental.

Introducción

Marco Teórico

Marco Metodológico

Desarrollo del Trabajo

Resultados Obtenidos

Conclusión

Trabajos Futuros

Técnicas e instrumentos de medición de datos

- Investigación en libros y revistas científicas
- Visualización de videoconferencias
- Entrevista con profesionales del área
- Visitas técnicas

Introducción

Marco Teórico

Marco Metodológico

Desarrollo del Trabajo

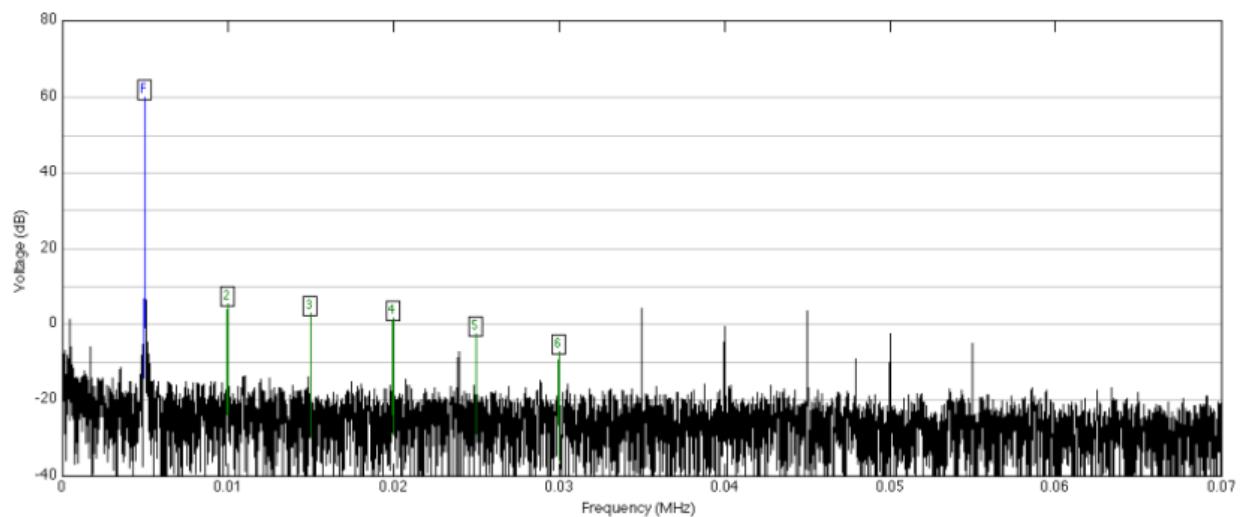
Resultados Obtenidos

Conclusión

Trabajos Futuros

Análisis de datos de mediciones de descargas parciales

Espectro de frecuencia de una señal de descargas parciales



Fuente: (Roen Velo, 2015)

Introducción

Marco Teórico

Marco Metodológico

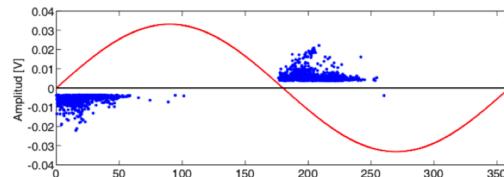
Desarrollo del Trabajo

Resultados Obtenidos

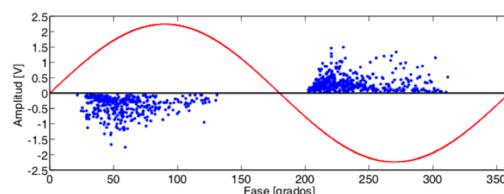
Conclusión

Trabajos Futuros

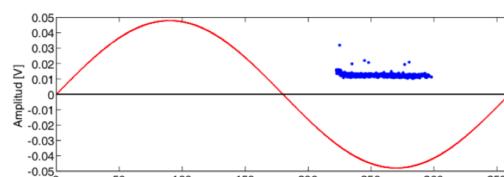
Patrones PRPD de descargas internas, superficiales y corona



(a) IDPs internas.



(b) IDPs superficiales.



(c) IDPs corona.

Fuente: (Albarracín Sánchez, 2014)

Introducción

Marco Teórico

Marco Metodológico

Desarrollo del Trabajo

Resultados Obtenidos

Conclusión

Trabajos Futuros

**Elaboración de la especificación técnica de una bancada
para el estudio y medición de descargas parciales**

Introducción

Marco Teórico

Marco Metodológico

Desarrollo del Trabajo

Resultados Obtenidos

Conclusión

Trabajos Futuros

Descripción de la cadena típica de medición, transmisión de señales medidas y procesamiento de las mismas, para un generador síncrono de grandes dimensiones

Introducción

Marco Teórico

Marco Metodológico

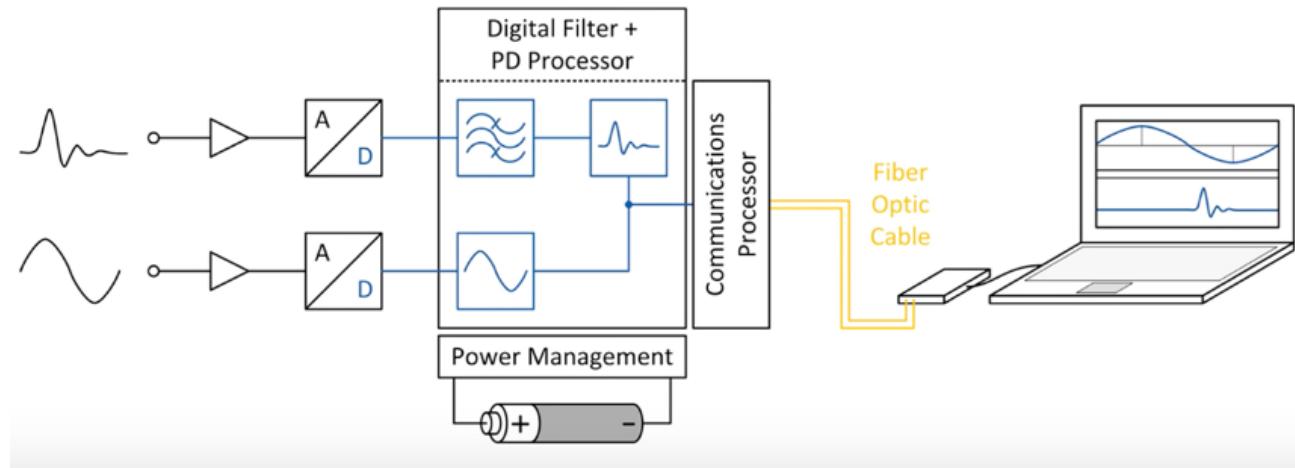
Desarrollo del Trabajo

Resultados Obtenidos

Conclusión

Trabajos Futuros

Esquema de un sistema digital con filtrado digital de medición de descargas parciales



Fuente: (Hummel, 2015)

Introducción

Marco Teórico

Marco Metodológico

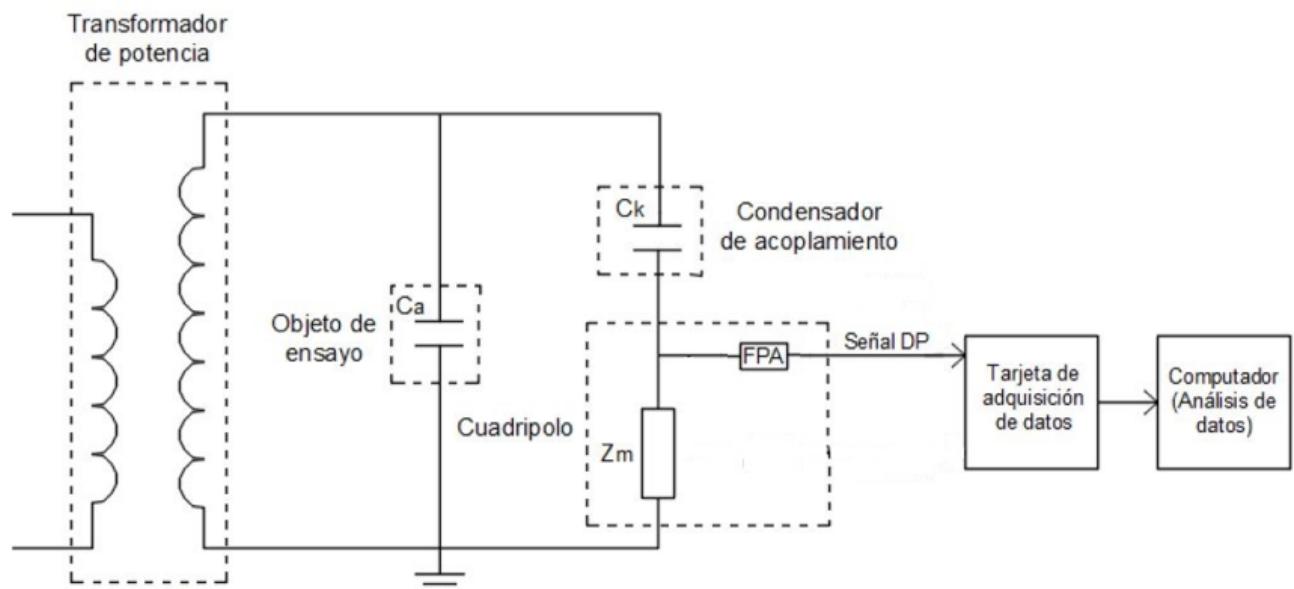
Desarrollo del Trabajo

Resultados Obtenidos

Conclusión

Trabajos Futuros

Esquema de circuito propuesto



Fuente: Elaboración propia, adaptado de Vanegas Iriarte, J., 2016

*Trabajo Final de Grado
Descargas Parciales en Centrales Generadoras Eléctricas*

Introducción

Marco Teórico

Marco Metodológico

Desarrollo del Trabajo

Resultados Obtenidos

Conclusión

Trabajos Futuros

Sensores capacitivos



Fuente: Imágenes extraídas de internet, s.f.

Trabajo Final de Grado
Descargas Parciales en Centrales Generadoras Eléctricas

Introducción

Marco Teórico

Marco Metodológico

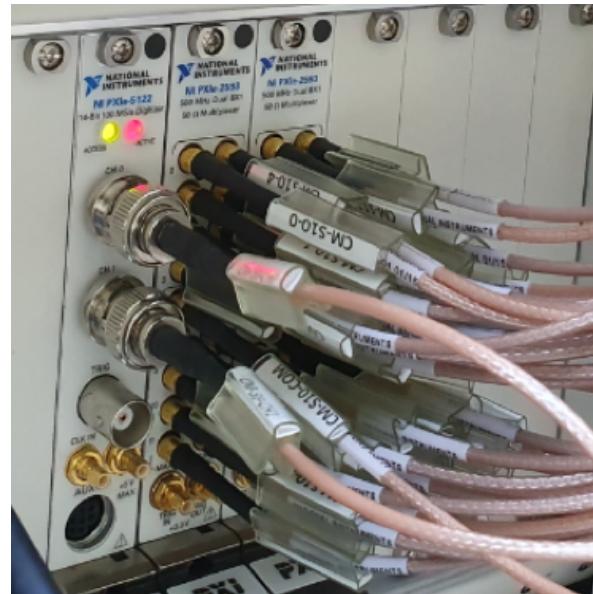
Desarrollo del Trabajo

Resultados Obtenidos

Conclusión

Trabajos Futuros

Tarjeta de adquisición de datos



Fuente: Visita técnica realizada, 2019

Introducción

Marco Teórico

Marco Metodológico

Desarrollo del Trabajo

Resultados Obtenidos

Conclusión

Trabajos Futuros

Características técnicas de los equipos a utilizar

Transformador elevador de potencia

Fabricante	Tensión primaria	Tensión secundaria	Secundario variable
Rayon Energy Private Limited	230 V, 50 Hz, monofásica	400 kV, continua	SI
Petter Nodeland	350 V, 20 kHz	10 kV, 20 kHz	NO
General Electric	480 V, 50 Hz	65.3 kV	SI (con regulador externo)

Fuente: Elaboración propia, 2019

Introducción

Marco Teórico

Marco Metodológico

Desarrollo del Trabajo

Resultados Obtenidos

Conclusión

Trabajos Futuros

Capacitor de acoplamiento

Fabricante	Capacitancia	Máxima tensión	Cuadripolo incluido
Iris powers	1nF	30 kV	SI
Quartz teq	1000pF	20 kV	SI
Sparks instruments	1000pF	24 V	SI

Fuente: Elaboración propia, 2019

Introducción

Marco Teórico

Marco Metodológico

Desarrollo del Trabajo

Resultados Obtenidos

Conclusión

Trabajos Futuros

Tarjeta de adquisición de datos

Fabricante	Origen	Modelo	Tipo de Hardware
OMICROM	AUSTRIA	MPD 600	Equipo portátil
NATIONAL INSTRUMENTS	EEUU	NI PXIe-5162	Tarjeta para gabinete (rack)

Fuente: Elaboración propia, 2019

Introducción

Marco Teórico

Marco Metodológico

Desarrollo del Trabajo

Resultados Obtenidos

Conclusión

Trabajos Futuros

Conductores

Tipo	Sección	Nivel de Tensión	Aislamiento
Cable común multifilar	6 mm ²	220 – 480 V, 50 Hz	PVC
Cable para alta tensión	185 mm ²	32 kV	XLPE
Cable coaxial tipo RG-6/U	2 mm ²	+10 V	Sólido PE

Fuente: Elaboración propia, 2019

Estimación del costo de la bancada propuesta

Equipo	Costo en USD
Transformador elevador de potencia	15.000
Regulador de tensión	1.000
Condensador de acoplamiento con cuadripolo integrado	20.000
Tarjeta de adquisición de datos	35.000
Computador	1.000
Cables coaxiales y conectores diversos	400
Objeto de prueba	A conseguir o ser proporcionado por el cliente
INVERSIÓN TOTAL APROX.	72.400\$

Fuente: Elaboración propia, 2019

Introducción

Marco Teórico

Marco Metodológico

Desarrollo del Trabajo

Resultados Obtenidos

Conclusión

Trabajos Futuros

El estado del arte de las mediciones de DP indica que la medición en línea a través de un sistema digital con filtrado digital es el método más recomendado para una evaluación oportuna de los sistemas de aislación debido a una serie de factores.

Se ha realizado la descripción de una cadena típica de medición del fenómeno de DP con base en un modelo de acoplamiento capacitivo y se ha logrado elaborar la especificación técnica de una bancada que reúne los equipos necesarios para efectuar mediciones de DP.

Introducción

Marco Teórico

Marco Metodológico

Desarrollo del Trabajo

Resultados Obtenidos

Conclusión

Trabajos Futuros

La especificación técnica propuesta contiene un esquema del circuito y una lista detallada de los equipos necesarios con sus respectivas características, así como también un presupuesto estimativo.

Se ha estudiado la ocurrencia de DP en hidrogeneradores de gran porte y en conductores; se entendió que el origen del fenómeno radica en la existencia de imperfecciones u otras condiciones de igual efecto en los sistemas de aislamiento que predisponen la ocurrencia de DP. Las implicaciones en el desempeño del sistema eléctrico son directas y la criticidad de los sucesos radica en el papel y la importancia del equipo dentro del sistema de potencia en el que se encuentra ubicado.

Introducción

Marco Teórico

Marco Metodológico

Desarrollo del Trabajo

Resultados Obtenidos

Conclusión

Trabajos Futuros

La medición de descargas parciales en equipos eléctricos es una herramienta utilizada para evaluar la condición de los sistemas de aislamiento de los mismos; su correcta utilización permite la aplicación de lo que se conoce como mantenimiento basado en condiciones, estrategia de mantenimiento bastante utilizada en las industrias, que normalmente operan equipos eléctricos de alto costo y complejidad.

La interpretación de los datos ofrecidos por este tipo de tecnología permite a los profesionales técnicos la posibilidad de orientar la toma de decisiones respecto a estrategias de mantenimiento, gestión de activos eléctricos y manejo de riesgos.

Introducción

Marco Teórico

Marco Metodológico

Desarrollo del Trabajo

Resultados Obtenidos

Conclusión

Trabajos Futuros

- Investigar acerca de la ocurrencia e incidencia de las descargas parciales en subestaciones aisladas a gas (GIS).
- Elaborar la validación virtual de la bancada propuesta para la medición de descargas parciales.
- Realizar mediciones de DP basadas en una de las normas técnicas mencionadas.
- Realizar el análisis de descargas parciales con datos reales obtenidos de especialistas.

¿Preguntas?

¡Muchas Gracias!

CAMILA ISABEL GONZÁLEZ LÓPEZ
camg168@gmail.com