

## Una revisión de las Descargas Parciales y propuesta de bancada para su estudio en el ámbito académico

Ariel Guerrero<sup>1</sup>, Mario Arzamendia<sup>2</sup>, Camila González<sup>1</sup>, Rodrigo Ramos<sup>1</sup>

1-Universidad Católica Campus Alto Paraná (UCAP) / 2-Facultad de Ingeniería Universidad Nacional de Asunción (FIUNA)

### Paraguay

#### 1. Resumen

El estado del arte de las mediciones de DP indica que la medición en línea es el método más recomendado para una evaluación oportuna de los sistemas de aislación [6]. Este método brinda información suficiente para realizar un monitoreo basado en condiciones, favoreciendo la realización del mantenimiento preventivo para una gestión de activos eléctricos más eficiente. En lo que se refiere a algoritmos de clasificación en sistemas de adquisición se destaca el patrón PRPD (Phased Resolved Partial Discharge). Este enfoque correlaciona los pulsos de DP individuales en términos de frecuencia, amplitud, polaridad y fase con respecto a la alta tensión. Los sistemas utilizados para la medición de las DP cuentan con una etapa de preprocesamiento de las señales en la que se tiene un conversor A/D para posteriormente aplicar un filtro, además es posible realizar las mediciones en línea, es decir, conectado al equipo operativo.

Con toda la información recolectada se procede a realizar una propuesta de bancada para el estudio y medición de DP. Para eso se considera el caso de medición de DP de un generador síncrono de grandes dimensiones. Se toma como referencia un modelo capacitivo, en donde capacitores de acoplamiento son instalados en las unidades generadoras, éstos convierten las DP en señales analógicas que pueden ser analizadas. Posteriormente se lista una serie de potenciales componentes con sus especificaciones técnicas para el montaje de la bancada. Haciendo una estimación de costos se calcula que el costo total de esta bancada rondaría los 74.000 U\$D (FOB).

#### 2. Palabras clave

Descargas parciales (*partial discharges*), especificación técnica (*technical specification*), gestión de activos eléctricos (*electrical asset management*), mantenimiento preventivo (*preventive maintenance*), medición en línea (*online measurement*), monitoreo basado en condiciones (*condition-based monitoring*), sistema de aislamiento (*insulation system*).

XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELÉCTRICO PARAGUAYO - CIGRE  
23 y 24 de Junio 2022

### 3. INTRODUCCIÓN

Se denomina Descarga Parcial a una descarga eléctrica que abarca parcialmente el aislamiento de un conductor. Este fenómeno ocurre por virtud de una ionización gaseosa transitoria debida a que la tensión en una irregularidad de la aislación excede un valor crítico [1].

El fenómeno de las descargas parciales afecta a varios equipos que operan en alta tensión, entre los principales se pueden citar: transformadores, generadores y conductores. En las unidades generadoras de una central eléctrica, las ocurrencias de este fenómeno son más difíciles de predecir, en comparación a otras magnitudes tales como la vibración y la temperatura, por lo que su estudio se convierte en una necesidad para las industrias. En [2] se menciona que la vida útil de un sistema de aislamiento siempre estará asociada con el proceso de degradación más rápido. Por esta razón la medición de DP, que a menudo es el proceso de degradación de mayor velocidad, se está convirtiendo en la herramienta principal para el diagnóstico de sistemas de aislamiento. En la presente investigación se realizó una investigación bibliográfica profunda con la finalidad de comprender el fenómeno estudiado, conocer sus características y elaborar la especificación técnica de una bancada para efectuar mediciones de DP.

### 4. ANÁLISIS DE DATOS DE MEDICIONES DE DESCARGAS PARCIALES

Considerando el objetivo de obtener familiarización con la interpretación de datos de mediciones previamente realizadas del fenómeno estudiado, se seleccionaron datos disponibles en fuentes públicas y en artículos científicos. En las figuras siguientes se presentan ejemplos de dichos datos, obtenidos tanto en equipos en operación como en laboratorio. La Figura 1 corresponde al espectro de frecuencia de la señal, ilustra la gran cantidad de componentes senoidales de una señal de DP, identificando el componente principal en color azul.

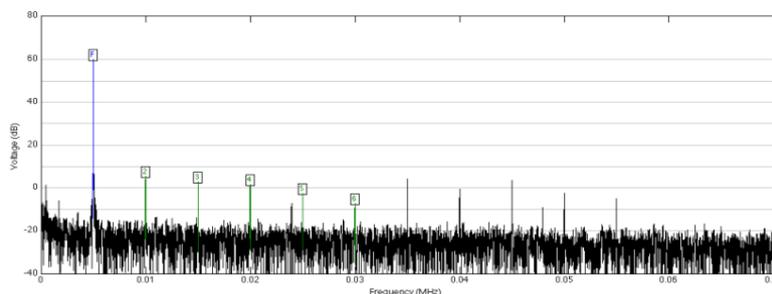


Figura 1 - Espectro de frecuencia de una señal de DP [4]

Los gráficos de la Figura 2 corresponden a un ensayo de laboratorio donde se ha simulado el comportamiento del aislamiento de las barras de estator, pueden observarse tanto la magnitud como el momento de ocurrencia de las DPs, a lo largo de un ciclo.

XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRE  
23 y 24 de Junio 2022

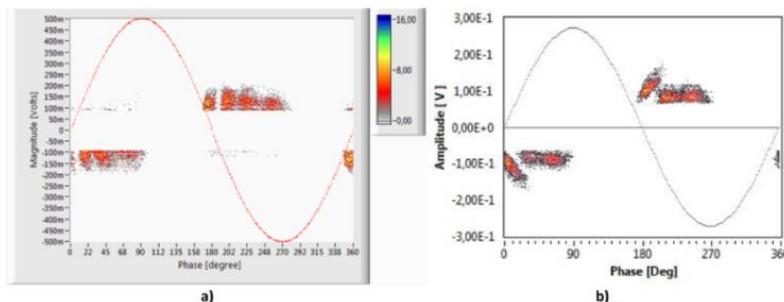


Figura 2 - Señal de DP en barras de estator [5]

La Figura 3 presenta los patrones PRPD de los tres tipos de DP según su origen [3], cuyos patrones pueden distinguirse claramente

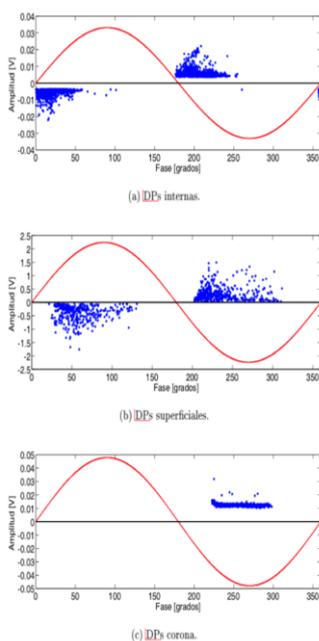


Figura 3 - Patrones de DP de distintos tipos de DP según su origen [3]

XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRE  
23 y 24 de Junio 2022

## 5. ESPECIFICACIÓN TÉCNICA DE UNA BANCADA PARA EL ESTUDIO Y MEDICIÓN DE DP, PARA UN GENERADOR SÍNCRONO DE GRANDES DIMENSIONES

Para poder elaborar la especificación técnica de una bancada capaz de efectuar mediciones de descargas parciales, se debe conocer la secuencia de procesos necesarios para realizar la medición, la cadena típica de medición descrita a continuación fue redactada tomando como base la experiencia de profesionales de ITAIPU que participaron en el proyecto e instalación de un sistema de monitoreo de DP.

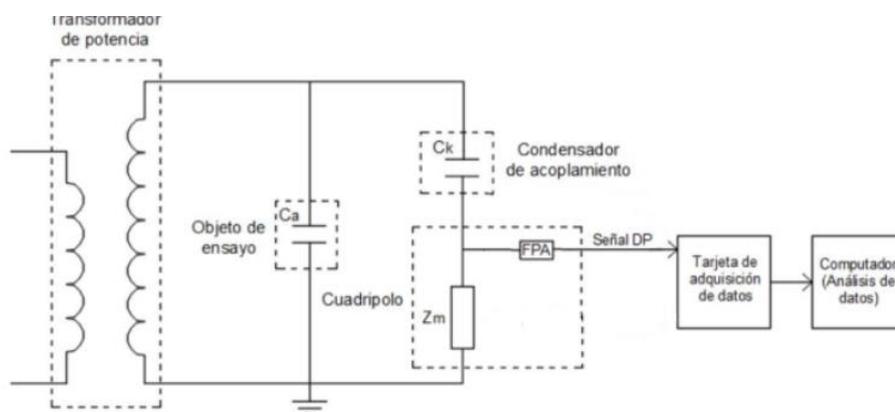


Figura 4 - Circuito de medición propuesto[5] (adaptación propia)

El sistema de medición como se indica en la Figura 4 esta compuesto por:

**Transformador elevador de potencia:** Su función es elevar la tensión disponible en la red eléctrica del laboratorio a la tensión que será aplicada al objeto de ensayo. En la Tabla 1 se tienen varias posibilidades: utilizar un transformador cuya tensión primaria sea de 220 V (fase-tierra) o 380 V (fase-fase). La tensión secundaria puede ser en tensión alterna o tensión continua. Se presentan las opciones disponibles:

Tabla 1 - Características técnicas del Transformador

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)

**Regulador de tensión:** Este equipo puede ser opcional de acuerdo al transformador seleccionado, permite variar la tensión del secundario.

**XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRE**  
23 y 24 de Junio 2022

**Capacitor de acoplamiento** : Es el encargado de detectar la ocurrencia de la DP en el objeto de ensayo, al cual está conectado en paralelo. Estos sensores están compuestos por dos partes: el capacitor propiamente dicho y el cuadripolo que se encarga de convertir las señales de descargas parciales detectadas en señales analógicas que pueden ser transmitidas a los equipos de análisis. Se pueden adquirir por separado o ya embutidos. En la Figura 5 se observan los capacitores, uno por cada fase, instalados próximos al generador. Nótese los conductores de color naranja, que están conectados directamente a los devanados del estator del generador. Estos conductores poseen niveles de tensión de varios miles de voltios.



Figura 5 - Capacitor de acoplamiento [imagen extraída de internet, s.f.-]

Tabla 2 -Características técnicas del capacitor de acoplamiento

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

**Cuadripolo:** Este dispositivo convierte las señales detectadas por el condensador de acoplamiento, de manera a poder enviar las mismas a los equipos de adquisición y análisis de datos. Este cuadripolo puede o no estar integrado en el propio sensor capacitivo. Típicamente, los cuadripolos se construyen en el laboratorio, considerando las características de los ensayos a ser realizados.

Los cables coaxiales que salen de los cuadripolos, deben llegar a los equipos de análisis de estas señales analógicas. Estos equipos realizan el filtrado y las demás funciones de procesamiento de señales crudas.

En este caso particular, los sensores capacitivos deben ser colocados en distintos ángulos a lo largo del estator, de manera a poder utilizar estas distancias diferentes para poder determinar la zona de ocurrencia de las descargas parciales. Se hace notar que, en el caso de un generador de gran porte,

**XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRE**  
23 y 24 de Junio 2022

identificar el lugar exacto de la descarga parcial es extremadamente difícil, sino imposible. Por eso se hace énfasis en el término “zona” de ocurrencia.

**Tarjeta de adquisición de datos:** Encargada de realizar el procesamiento de la señal analógica que procede del cuadripolo. Sus funciones principales son el filtrado de las señales y la digitalización de las mismas. Posee un osciloscopio integrado. Se han seleccionado dos fabricantes, que son referencia mundial, en procesos de adquisición de datos de muy alta frecuencia.

Tabla 3 - Características técnicas de la tarjeta de adquisición de datos

Fabricante	Origen	Modelo	Tipo de Hardware
Omicron	Austria	MPD 600	Equipo portatil
National Instruments	USA	NI PXIe-5162	Tarjeta para gabinete

**Computador:** Utilizando un software adecuado, realiza el análisis de las señales digitalizadas oriundas de la tarjeta de adquisición. Se puede, para ambos fabricantes citados arriba, utilizar tanto una Desktop o una Notebook disponibles comercialmente.

### Cables y conectores diversos

Tabla 4 - Características técnicas de los conductores

Tipo	Sección	Nivel de Tensión	Aislamiento
Cable multifilar	6 mm <sup>2</sup>	220 – 480 V, 50 Hz	PVC
Cable para alta tensión	185 mm <sup>2</sup>	32 Kv	XLPE
Coaxial tipo RG-6U	2 mm <sup>2</sup>	-	-

## 6. ESTIMACIÓN DEL COSTO DE LA BANCADA PROPUESTA

En la Tabla 5 se indica el orden de magnitud del costo de una bancada para el estudio de Descargas Parciales. Es importante considerar que la tabla presentada a continuación fue elaborada en el mes de noviembre de 2019, y aumentos de costo pueden presentarse debido a las consecuencias post-pandemia relacionadas principalmente a la escasez de componentes para la fabricación de tarjetas de adquisición de datos y costos relacionados a la cadena logística de transporte.

Tabla 5 - Presupuesto del costo de implementación de la bancada propuesta

Equipo	Costo (U\$)
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

XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRE  
23 y 24 de Junio 2022

Objeto de prueba	A conseguir o ser proporcionado por el cliente
<b>INVERSIÓN TOTAL APROXIMADA</b>	<b>74.000</b>

## 7. BIBLIOGRAFIA

- [1] *IEEE Guide for the Measurement of Partial Discharges in AC Electric Machinery*, IEEE Standard 1434, 2014.
- [2] *G. Montanari, Insulation Diagnosis of High Voltage Apparatus by Partial Discharge Investigation*, IEEE, Dept. of Electrical Engineering, University of Bologna, Italy, 2006.
- [3] R. Albarracín Sánchez, “*Medida de descargas parciales en radiofrecuencia*”, Tesis doctoral dirigida por G. Robles Muñoz, Departamento de Ingeniería eléctrica, Universidad Carlos III de Madrid, Leganés, feb. 2014.
- [4] Roen Velo, I. Experimental Set-up for partial discharge detection. Norgen Tesnisk-Naturvitenskapelige Universitet. (2015).
- [5] Vanegas Iriarte, J. A. (2016). Desarrollo de un sistema prototipo de medición y análisis de descargas parciales generadas en laboratorio. Santiago de Cali, Colombia: Universidad del Valle.
- [6] Oettl, F., Krueger, M., Koltunowicz, W., Badicu, L.-V., & Gorgan, B. (2017). Partial discharge measurements on rotating machines - experience and innovation. Alemania.