

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE CUENCA

CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

*Trabajo de titulación previo
a la obtención del título
de Ingeniero Eléctrico*

PROYECTO TÉCNICO CON ENFOQUE INVESTIGATIVO:

**“DETERMINACIÓN Y ANÁLISIS DE DESCARGAS PARCIALES MEDIANTE
SENSORES DE EMISIONES ACÚSTICAS EN AISLADORES TIPO PIN 55 5”**

AUTORES:

ADRIÁN ESTEBAN CORONEL MUÑOZ

JOFFRE FERNANDO CHALCO MONTALVÁN

TUTOR:

ING. FLAVIO ALFREDO QUIZHPI PALOMEQUE

CUENCA - ECUADOR

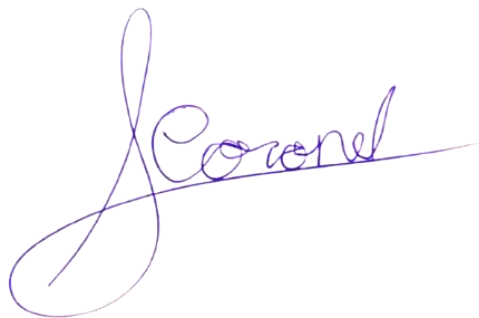
2022

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros Adrián Esteban Coronel Muñoz con documento de identificación N° 0107322299 y Joffre Fernando Chalco Montalván con documento de identificación N° 0105997639 manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación: **“DETERMINACIÓN Y ANÁLISIS DE DESCARGAS PARCIALES MEDIANTE SENSORES DE EMISIONES ACÚSTICAS EN AISLADORES TIPO PIN 55 5”**, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: *Ingeniero Eléctrico*, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato digital a la biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, enero de 2022.



Adrián Esteban Coronel Muñoz

C.I. 0107322299



Joffre Fernando Chalco Montalván

C.I 0105997639

CERTIFICACIÓN

Yo, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **“DETERMINACIÓN Y ANÁLISIS DE DESCARGAS PARCIALES MEDIANTE SENSORES DE EMISIONES ACÚSTICAS EN AISLADORES TIPO PIN 55 5”**, realizado por Adrián Esteban Coronel Muñoz y Joffre Fernando Chalco Montalván, obteniendo el *Proyecto Técnico con enfoque investigativo*, que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, enero de 2022.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Flavio Alfredo Quizhpi Palomeque', written in a cursive style.

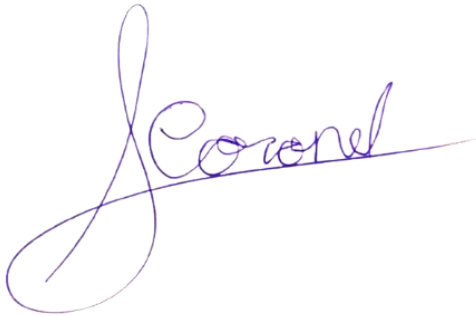
Ing. Flavio Alfredo Quizhpi Palomeque.

C.I. 0102257482

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros Adrián Esteban Coronel Muñoz con documento de identificación N° 0107322299 y Joffre Fernando Chalco Montalván con documento de identificación N° 0105997639, autores del trabajo de titulación: **“DETERMINACIÓN Y ANÁLISIS DE DESCARGAS PARCIALES MEDIANTE SENSORES DE EMISIONES ACÚSTICAS EN AISLADORES TIPO PIN 55 5”**, certificamos que el total contenido del *Proyecto Técnico con enfoque investigativo*, es de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Cuenca, enero de 2022.



Adrián Esteban Coronel Muñoz

C.I. 0107322299



Joffre Fernando Chalco Montalván

C.I. 0105997639

Dedicatoria

El presente proyecto técnico con enfoque investigativo se lo dedico a toda mi familia y amigos, los que me han apoyado en el transcurso de toda esta vida académica. Además, se la dedico a las personas que eran cercanas a mi pero ahora ya no lo son, siempre me enseñaron a ser perseverante frente a las adversidades que me da la vida.

Adrian Esteban Coronel Muñoz

Para quienes tienen valores y hacen frente para un mundo mejor, dedico este proyecto investigativo a quienes me han acompañado siempre, a mis padres, a mis hermanos y hermana, quienes han sido un pilar para compartir las alegrías y superar cualquier conflicto. A los amigos que me han invitado a superar de manera profesional y personal.

Joffre Fernando Chalco Montalván

Agradecimientos

Agradezco a mi tutor Ing. Flavio Quizhpi por dar el apoyo necesario para cumplir con esta nueva meta, e impulsar la investigación de estas nuevas formas de detección de Descargas parciales implementando métodos no convencionales.

También al Ing. Fernando Urguiles por apoyar en la parte del manejo de señales, brindándome otras perspectivas de los resultados de mi proyecto.

A los Ing. Rene Sanchez y Mauricio Villacis por su ayuda en los conceptos de Emisiones Acústicas y por facilitarme el uso de los sensores acústicos para implementarlos en mi proyecto.

La universidad es una parte fundamental dentro de la formación de un profesional, pero la misma se vuelve algo inusual sin amigos quien nos apoye, por ello quiero agradecer a Nico y Chita por ser parte importante dentro de mi proyecto de tesis, ellos me enseñaron el don de la paciencia. Estoy consciente que el apoyo moral jugó un gran papel, pero lo que quiero resaltar es que, a pesar de todo, uno tiene que salir adelante sin arrepentimientos o lamentos, así no nos lamentaremos después.

Adrian Esteban Coronel Muñoz

Agradezco a todos los miembros del Grupo de Investigación de Energías de la Universidad Politécnica Salesiana. A mi Tutor Ing. Flavio Quizhpi por la motivación que siempre me ha brindado y por sembrar curiosidad en el desarrollo de ciencia e investigación. Al Dr. Jose Manuel Aller por haberme impulsado a demostrar que la constancia genera el éxito. Al grupo GIDTAC especialmente al Ing. Rene Sanchez y Mauricio Villacis por su contribución profesional y por facilitarme el uso de los instrumentos de medición para hacer posible el desarrollo exitoso de este proyecto de titulación.

Joffre Fernando Chalco Montalván

Este documento fue realizado
enteramente en L^AT_EX

Índice

Cesión de Derechos de Autor	I
Certificación	II
Declaratoria de Responsabilidad	III
Dedicatoria	IV
Agradecimientos	V
Resumen	XIV
Abstract	XV
1. Introducción	1
2. Problema	2
2.1. Antecedentes	2
2.2. Justificación	3
2.3. Importancia y alcances	3
2.4. Delimitación	5
2.5. Problema General.	5
2.6. Problemas Específicos.	5
3. Grupo Objetivo	6
4. Objetivos	6

4.1. Objetivo General	6
4.2. Objetivos Específicos	6
5. Marco Teórico	7
5.1. Aislamiento eléctrico	7
5.2. Rigidez Dieléctrica	8
5.3. Pérdidas Dieléctricas	8
5.4. Técnicas de Prueba de Alto Voltage	8
5.5. Emisión y métodos de medida y clasificación de DP	9
5.5.1. Exposición de las DP en los sistemas de aislamiento eléctrico.	9
5.6. Origen y Evolución del Fenómeno de Descargas Parciales	9
5.7. Descargas Parciales y su Evolución	10
5.8. Tipos de descargas parciales según su origen	10
5.8.1. Descargas parciales internas	11
5.8.2. Descargas parciales superficiales	12
5.8.3. Descargas parciales corona	12
5.9. Métodos de detección de descargas parciales	13
5.9.1. Medida de las DP según IEC 60270	13
5.9.2. Medida no convencional de DP según norma “IEC 62478”	14
5.10. Monitoreo de Emisiones Acústica	15
5.10.1. Principio Físico de las EA	16
5.10.2. Aplicaciones de las EA	16

5.10.3. Relación entre la EA frente a otras metodologías de ensayos no destructivos	17
5.10.4. Tipo de señales de EA	17
6. Marco metodológico	19
6.1. Diseño e implementación del sistema de detección de DP	19
6.1.1. Reconocimiento de Herramientas y Materiales	19
6.1.2. Acondicionamiento de sensores	23
6.1.3. Montaje del sistema	24
6.2. Experimentación	26
6.2.1. Pruebas Eléctricas a Frecuencia Industrial	26
6.2.2. Reconocimiento de señales (DP y EA)	27
6.3. Adquisición de base de datos	27
6.3.1. Obtención de datos eléctricos	27
6.3.2. Obtención de datos de EA	30
6.3.3. Obtención de grafica de las señales	32
6.4. Análisis Computacional	33
6.4.1. Reconstrucción de las señales	33
6.4.2. Filtrado de señales	34
6.4.3. Adecuación de las señales	35
6.4.4. Identificación de las DP mediante las EA	36
7. Resultados	42
7.1. Identificación de descargas parciales mediante las emisiones acústicas de . . .	42

7.2. Determinación de la eficacia del método	44
8. Cronograma	46
9. Presupuesto	47
9.1. Recursos Humanos	47
9.2. Recursos Físicos	47
9.3. Recursos Económicos	47
9.4. Presupuesto General	48
10. Conclusiones	48
11. Recomendaciones	48
12. Trabajos futuros	49
Referencias	55
ANEXOS	56

Lista de Tablas

1.	Clasificación de los datos obtenidos según su nivel de Tensión.	28
2.	Clasificación de los datos de EA obtenidos según su nivel de Tensión.	30
3.	Coeficientes de correlación obtenidos	44
4.	Coeficientes de correlación por Ciclos	44
5.	Desgloce de presupuesto de recursos Humanos.	47
6.	Desgloce de presupuesto de recursos Económicos.	47
7.	Desgloce de presupuesto General.	48

Lista de Figuras

1.	Campo eléctrico en un sistema de aislamiento	10
2.	Patrón de descargas parciales.	11
3.	Descargas internas en CA.	12
4.	Circuito para la medida de DP, según norma “ “ “IEC-60270”.	13
5.	Generación de Emisiones Acústicas	15
6.	Relación de ventajas y desventajas del ensayo de Emisión Acústica respecto de otros métodos	17
7.	Señal de EA tipo ráfaga	18
8.	Señal de EA tipo ráfaga	18
9.	Diagrama de Bloques de la Metodología Propuesta.	19
10.	Distribución del Laboratorio de Alta Tensión.	20
11.	Osciloscopio Digital.	21
12.	Medición Puesta a Tierra.	21
13.	Sensor Acústico implmentado.	22
14.	Preamplificador Implementado.	22
15.	Fuente de alimentación de 24V.	23
16.	Diseño 3D del protector del sensor acústico	23
17.	Acoplamiento del sensor acústico	24
18.	Circuito a implementar	25
19.	Sensor Acoplado a Aislador	25
20.	Banco de Pruebas Laboratorio Alta Tensión	26

21.	Onda Electrica y de EA	27
22.	Señales de volateje Obtenidas	29
23.	Descarga Parcial en onda de voltaje	30
24.	Señales de Emisión Acústica Obtenidas	31
25.	Descarga Parcial en onda de EA	32
26.	Señales de Voltaje y EA obtenidas	32
27.	Señales de Voltaje y EA reconstruidas	33
28.	Señales de Voltaje y EA Normalizadas	34
29.	Señales de Voltaje filtrada el ruido	35
30.	Señales de Voltaje filtrada el ruido	36
31.	Señales de Voltaje y EA	37
32.	Correlación entre Voltaje y EA en el dominio de la frecuencia	38
33.	Transformada de Fourier de las Señales de Voltaje y EA	39
34.	Correlación entre Voltaje y EA en el dominio de la frecuencia	40
35.	Interpretación de la magnitud del coeficiente de correlación de Pearson	41
36.	Correlación entre Voltaje filtrado y EA en el dominio de la frecuencia	41
37.	Graficas obtenidas de la detección de Descargas Parciales mediante las EA	42
38.	Grafica de la correlación dominio de la frecuencia	43

Resumen

Las Descargas Parciales (DP) dentro de los sistemas de aislamiento de media y alta tensión demuestran las imperfecciones de los mismos es por ello que en el presente Proyecto Técnico con enfoque investigativo se realizó la recopilación de señales de voltaje y de Emisión Acústica (EA) producidas en un aislador tipo pin 55-5 denominado espécimen de prueba. Para generar las señales antes mencionadas se realizaron ensayos no destructivos en el espécimen aplicando tensión en el mismo a varios niveles, teniendo como base el voltaje nominal según la hoja de datos del fabricante del mismo, hasta detectar visualmente DP en las señales obtenidas.

Con la obtención de las señales se podrá obtener una base de datos que validará la detección de Descargas Parciales con el uso de EA. El procesamiento matemático de la base de datos se realizó en el software Matlab, aplicando la correlación de las 2 señales reconstruidas y mediante el uso del coeficiente de Pearson para la interpretación de los resultados obteniendo una correlación altamente significativa que validará la metodología propuesta.

Palabras clave: Descargas Parciales, Señales Vibracionales, Emisiones Acústicas, Correlación, Coeficiente de Pearson.

Abstract

Partial Discharges within the medium and high voltage insulation systems demonstrate their imperfections, that is because in this Technical Project with a research approach, the collection of voltage and Acoustic Emission signals produced in a 55-5 pin type insulator, called test specimen, was carried out. To generate the aforementioned signals, non-destructive tests were performed on the specimen by applying voltage to it at various levels, based on the nominal voltage according to the manufacturer's data sheet, until visually detecting Partial Discharges in the signals obtained.

With the signals obtained, a database can be obtained to validate the detection of Partial Discharges with the use of Acoustic Emissions. The mathematical processing of the database was performed in Matlab software, applying the correlation of the 2 reconstructed signals and using Pearson's coefficient for the interpretation of the results, obtaining a highly significant correlation that will validate the proposed methodology.

keywords: Partial Discharges, Vibrational Signals, Acoustic Emissions, Correlation, Pearson's Coefficient.

1. Introducción

Las emisiones acústicas (EA) es un conjunto de fenómenos baso en la generación de ondas elásticas transitorias, estas ondas pueden ser acústicas o vibroacústicas, siendo resultado de la liberación de energía de enlace intermolecular. Está liberación de energía puede ser ocasionado por deformaciones, agrietamiento o transiciones de fase [1]. Todo esto contribuyo en la elaboración del método de emisiones acústica. Este método EA es una tecnología de prueba no destructiva, que tiene una amplia gama de aplicaciones en pruebas de tipo industrial, como detección de grietas, análisis de corrosión de superficies metálicas, detección de grietas en concreto y fibra de vidrio en resina epoxi,etc [2][3][4].

El método de EA no solo es ocupado en el ámbito de ingeniería mecánica sino también se aplica en ingeniería eléctrica. Actualmente este método es ocupado principalmente para la “detección de descargas parciales” DP en sistemas de aislamiento dentro de transformadores de potencia[5]. De acuerdo con la norma IEC-60270 de la “Comisión Electrotécnica Internacional” [6], las DP se define como: “una descarga eléctrica que solo une superficialmente el aislamiento entre los conductores”. Las DP se generan a consecuencia de concentraciones de tensión eléctrica local en el aislamiento o en su superficie. Durante una DP, se produce una conversión de entre el 1 al 5 % de la energía eléctrica en energía mecánica [2], lo cual genera una onda de EA.

En este Proyecto Técnico con Enfoque Investigativo se presenta los fundamentos teóricos aplicados a la metodología propuesta para analizar las Descarga Parciales en aisladores cerámicos tipo Pin 55-5 mediante la colocación de sensores piezoeléctricos que captan las ondas elásticas o EA generadas por las DP, ya que los aisladores cerámicos empleados en redes de distribución en todos sus niveles de operación de tensión eléctrica, es uno de los elementos dieléctricos de mayor aplicación en el ámbito de transmisión y distribución eléctrica.

2. Problema

2.1. Antecedentes

Históricamente, los métodos más utilizados para la detección de descargas parciales DP son los denominados métodos eléctricos, estos no son lo suficientemente eficientes debido a que normalmente son intrusivos dentro del elemento o material el cual se esté analizando, además que no pueden utilizarse de manera efectiva para propósitos de monitoreo en línea [7]. Dado que las DP son una descarga eléctrica que produce varios fenómenos físicos, como son: “radiación electromagnética, generación acústica, pérdidas dieléctricas, reacción química o pulsos eléctricos”, este proyecto tiene un enfoque en la parte de generación de Emisiones Acústica.

Dada la desventaja antes mencionada dentro del campo de trabajo, los métodos acústicos son más aplicables frente a los métodos eléctricos en virtud de la inmunidad al ruido electromagnético y la instrumentación simple [8]. Por lo tanto, los métodos acústicos se pueden utilizar eficazmente en las condiciones del sitio donde se encuentren los aisladores.

Las técnicas de detección de DP por medio de las emsiones acústicas se han estudiado y desarrollado durante un largo período [9], y se ha acumulado una gran cantidad de conocimientos. El autor [10] demuestra varias aplicaciones de detección de DP, como aislamiento exterior, aparata aislada en gas, condensador, entre otros. Lo visto en [7],[8],[11], los autores utilizaron un aparato para detectar las señales de emisión ultrasónica de los puntos débiles en las redes de distribución de energía eléctrica, con el análisis de estas señales ultrasónicas concluyendo que el sonido es una herramienta útil para la detección temprana de puntos débiles en las redes de energía eléctrica.

La emisión acústica EA ha ganado una amplia aceptación como técnica pasiva para observar las fallas de los equipos en servicio [12]. Los estudios de EA presentados en la literatura actual han indicado la viabilidad de utilizar señales de EA como indicadores de advertencia antes de que ocurra cualquier falla catastrófica [13]. Sin embargo, las características de las señales EA aún están en gran parte inexploradas. Se tiene que las EA también constituyen una fuente indicadora de desperfectos internos de los aisladores. Cuando se producen las DP sobre un aislador contaminado existe “una liberación instantánea de energía”, algunos de los cuales se emite como energía de emision acústica [14].

El propósito de esta investigación es desarrollar el sistema de detección de DP en aisladores tipo PIN 55-5, que permita obtener datos tempranos sobre el estado actual de los aisladores para su correcto desempeño en instalaciones de medio y alto voltaje en la red.

2.2. Justificación

El presente trabajo experimental sobre las DP en aisladores tipo Pin 55-5 basado en EA, permitirá obtener un sistema de detección y análisis de dichas DP, mucho más económico frente a los sistemas actuales que se fundamentan en la identificación del Nivel Básico de Aislamiento o BIL, debido a que estos métodos tradicionales requieren elementos de medición costosos.

Este trabajo beneficiara no solo a los fabricantes de este tipo de aisladores sino a los consumidores en el área de alta tensión dado que se podrá obtener los valores de tensión así como el tiempo exacto donde se producirán las DP dentro de los elementos aislantes con mayor facilidad frente a los actuales métodos experimentales para identificar las DP en elementos de alta tensión.

Este trabajo experimental ofrece una nueva opción para el análisis del nivel de aislamiento y capacidad dieléctrica en los aisladores utilizando la técnica de detección mediante EA. Esto podría replicarse para obtener las descargas parciales no solo en aisladores sino en varios elementos de alta tensión, tales como pueden ser transformadores, crucetas, etc.

2.3. Importancia y alcances

Los aisladores tienen un papel importante en la red de transmisión y distribución eléctrica. Los materiales de los aislantes son en su mayoría vidrio, cerámica o materiales poliméricos [15]. Los dos tipos principales de aisladores que se utilizan habitualmente en las redes eléctricas son:

- Aisladores cerámicos que incluyen porcelana y vidrio.
- Aisladores poliméricos o compuestos.

En la actualidad uno de los grandes temas de la industria eléctrica del país es competir por una electricidad permanente y confiable entre empresas generadoras y distribuidoras de electricidad con el uso de indicadores de monitoreo confiables. A medida que pasa el tiempo, el uso máximo de los equipos existentes en la red eléctrica y la mejora de la vida útil del equipo mediante la inspección oportuna y el mantenimiento preventivo se verán involucrados por cuestiones financieras y económicas [16]. La vida media de equipos como disyuntores, transformadores, cables y aislantes en las redes de transmisión y distribución se estima en unos 25 años y 35 años, respectivamente [17].

Con la aparición de los aisladores TP en 1909, varias industrias los utilizaron debido al bajo costo y la alta seguridad de estos materiales [18]. A medida que pasa el tiempo y la necesidad de más diseños para estos aislantes, se introdujeron varios tipos y revestimientos de los mismos [19].

Los aisladores cerámicos se utilizaron de forma rutinaria y masiva en la red de distribución eléctrica desde el pasado debido a su precio asequible y su tecnología simple. Algunos de estos aisladores están hechos de dos piezas separadas debido al fácil proceso de fabricación [20].

Los aislantes cerámicos utilizados en las líneas de transmisión de alta tensión proporcionan excelentes propiedades mecánicas y dieléctricas y se han convertido en productos básicos para la transmisión y distribución del servicio eléctrico [15]. Sin embargo, se han informado problemas relacionados con la degradación de sus propiedades desde que se ha utilizado este tipo de aislante [18].

Los aisladores están expuestos a diversas cargas mecánicas dinámicas que involucran compresión, tensión y torsión desde la instalación, el mantenimiento, la vibración eólica, las oscilaciones de sub-tramo y el galope del conductor [20]. A menos que los aisladores estén diseñados, fabricados e instalados de manera adecuada, el resultado puede ser fatiga del material y agrietamiento [16]. Estos eventos de envejecimiento físico pueden resultar en regiones de baja densidad o incluso huecos alargados. Si tales regiones de baja densidad están en áreas de altos campos eléctricos, la movilidad de electrones mejorada dará como resultado electrones de alta energía y actividad de Descargas Parciales.

La monitorización de este problema interno se ha venido llevando por métodos eléctricos según las normas IEC-60270 & IEC-62478 [6],[21] que son normas que se aplican a la medición de descargas eléctricas localizadas en los medios de aislamiento. Frente a las normas antes mencionadas el método de detección de EA comenzó a ser muy importante, principalmente

por dos características: EA es más sensible a las interferencias causadas por fallas; en segundo lugar, la recolección de datos se realiza de manera no invasiva, es decir, no se requiere ningún instrumento debido a que la adquisición de la señal y la el aislador está en contacto directo, por lo que no es necesario La recopilación de datos se puede realizar desconectando el sistema en funcionamiento del aislador analizado [1].

El beneficio del método propuesto es que es más económico frente a los métodos convencionales, beneficiando al sector de distribución eléctrica dando un método más económico y seguro frente a métodos convencionales, para la detección de fallos provocados por DP en aisladores cerámicos.

2.4. Delimitación

Con el uso del laboratorio de alta tensión en conjunto con sensores proporcionados por el laboratorio de vibraciones mecánicas y el Aislador Tipo Pin 55-5, se pretende proporcionar un método eficaz para la detección de descargas parciales basado no solo en señales eléctricas sino también implementado señales de emisiones acústicas que sirva en el sector de las redes eléctricas de distribución.

2.5. Problema General.

¿Es posible Identificar descargas parciales producidas en aisladores Tipo PIN 55-5 a niveles de tensión iguales o mayores a los niveles nominales para los cuales están diseñados estos equipos, detectando las emisiones acústicas producidos por este fenómeno?

2.6. Problemas Específicos.

- ¿Se podrá Identificar equipos que permitan la adquisición de EA de las descargas parciales?
- ¿Es posible diseñar un sistema de instrumentación que permita la medida en de las distintas señales y emisiones asociadas a las DP?
- ¿Se podrá Desarrollar e implementar herramientas de procesamiento matemático para

analizar las emisiones asociadas a las DP y mejorar la detección de las señales generadas por las DP con baja relación señal-ruido?

- ¿Es posible **Relacionar** as emisiones acústicas y las señales de voltaje producto de pruebas de laboratorio para obtener una correlación entre sí?
- ¿**factible el método acústico** para identificar las descargas parciales en aisladores tipo PIN 55-5?

3. Grupo Objetivo

El grupo objetivo de la investigación es la comunidad científica en general, puesto que el desarrollo de un sistema de instrumentación capaz de detectar DP mediante EA puede apuntar a un mejoramiento total en la operación y mantenimiento de equipos eléctricos para los cuales se requieren pruebas y ensayos costosos, debido a la inversión requerida para adquirir medidores de DP comerciales. De esta forma se podría contar con equipos más económicos para ser utilizados en los laboratorios de ensayo de equipamiento de Alta Tensión. Disponer de este método puede significar mejoras en el servicio de las distribuidoras eléctricas en Ecuador, reduciendo perdidas económicas por daños severos a los equipos, y dando apoyo a los fabricantes de los mismos.

4. Objetivos

4.1. Objetivo General

Identificar, descargas parciales producidas en aisladores Tipo PIN 55-5 a niveles de tensión iguales o mayores a los niveles nominales para los cuales están diseñados estos equipos, detectando las emisiones acústicas producidos por este fenómeno.

4.2. Objetivos Específicos

- **Identificar**, equipos que permitan la adquisición de EA de las descargas parciales.

- **Diseñar**, un sistema de instrumentación que permita la medida en de las distintas señales y emisiones asociadas a las DP.
- **Desarrollar**, e implementar herramientas de procesamiento matemático para analizar las emisiones asociadas a las DP y mejorar la detección de las señales generadas por las DP con baja relación señal-ruido.
- **Relacionar**, las emisiones acústicas y las señales de voltaje producto de pruebas de laboratorio para obtener una correlación entre sí.
- **Determinar**, la eficacia del método acústico para identificar las descargas parciales en aisladores tipo PIN 55-5.

5. Marco Teórico

5.1. Aislamiento eléctrico

Un aislante eléctrico es un material capaz de impedir o disminuir el flujo de la corriente eléctrica, la capacidad de los aislantes es debido a que posee una baja o nula conductividad eléctrica. Es decir, que sus electrones no pueden desplazarse libremente, a diferencia de los materiales conductores, de modo que estos tipos de materiales provocan una resistencia al paso de la corriente eléctrica a través de ellos [22].

Los aislantes eléctricos son fundamentales en el ámbito de las redes de distribución, ya que se usan para impedir cortocircuitos y reducir la peligrosidad de la transmisión, al imposibilitar que las cargas eléctricas fluyan libremente [23].

Los materiales aislantes se clasifican según su composición física. Algunos materiales aislantes son:

- Vidrio.
- Papel.
- Teflón.
- Madera.

- Cerámica.
- Plásticos y polímeros orgánicos.
- Goma.

5.2. Rigidez Dieléctrica

Dentro de los materiales aislantes, la rigidez dieléctrica es el máximo voltaje que dicho elemento o material es capaz de soportar sin que el material se perfora o presente daños.

La Rigidez Dieléctrica es la tensión necesaria para provocar un desperfecto del material dieléctrico esto viene expresado en kilovoltios por milímetro de espesor del aislante kV/mm .

El valor de la tensión medida está determinada por el tipo de voltaje aplicado, la duración de la tensión, la geometría de la configuración de la prueba, la topología del electrodo, la calidad de la superficie y también por el volumen del material estresado IEC 60243 [24].

5.3. Pérdidas Dieléctricas

Las pérdidas dieléctricas son consecuencia del campo eléctrico generado al aplicar una tensión alterna a un material conductor soportado o aislado por materiales aislantes. Estas pérdidas son gobernadas por el efecto Joule producido por el flujo de corriente que cumple con la ley de OHM y cuyo valor dependerá de la resistencia del dieléctrico.

5.4. Técnicas de Prueba de Alto Voltage

Para determinar la tensión disruptiva de un aislante se debe emplear una serie de ensayos de alta tensión realizados conforme la norma IEC 60060-1 (“High-voltage test techniques’ ’) [25], ensayo de tensión continua, ensayo a frecuencia industrial, de impulso tipo maniobra y de impulso tipo rayo y los procedimientos conforme la norma IEC 60243 – 1 (“Electric strength of insulating materials - Test methods’ ’) [26], para los métodos: prueba de corta duración, método de prueba paso a paso de 20s y el método prueba de aumento lento (120s 240s).

5.5. Emisión y métodos de medida y clasificación de DP

5.5.1. Exposición de las DP en los sistemas de aislamiento eléctrico.

Los aislamientos sólidos tienen una alta rigidez dieléctrica que les permite soportar mayores niveles de tensión, sin embargo, al ser un equipo no autorregenerable puede quedar total o parcialmente averiado después de estar sometido a una descarga disruptiva. Algo contrario sucede con los elementos autorregenerables los cuales recuperan sus propiedades dieléctricas una vez que desaparece el contorneo y las causas que lo han provocado [27] [3].

El deterioro del aislamiento en los equipos eléctricos aumenta con el tiempo, dependiendo de las sollicitaciones dieléctricas, esfuerzos eléctricos, mecánicos, térmicos, y ambientales a los que esté sometido. También pueden manifestarse durante el proceso de fabricación por la aparición de cavidades de aire, impurezas o durante su funcionamiento, lo que acelera el envejecimiento, pudiendo propiciar un fallo y disminuyendo la vida útil del equipo, debido a estos deterioros se pueden manifestar las descargas parciales DP.

Las DP, físicamente, son fenómenos transitorios de ionización, que se originan por el exceso de campo eléctrico (E_a) aplicado en zonas no homogéneas (E_c) del aislamiento Figura 1, Campo eléctrico en un sistema de aislamiento, lo que produce el estrés eléctrico provocando la ruptura de la rigidez dieléctrica.

La magnitud de las DP son pequeñas, pero su persistencia en el tiempo puede causar un deterioro progresivo causando perforaciones y la destrucción de los equipos, por lo tanto, es esencial detectar su presencia por medio de ensayos no destructivos que permitan hacer mediciones y obtener diagnósticos sin interrumpir el funcionamiento de los equipos [3][28][29].

5.6. Origen y Evolución del Fenómeno de Descargas Parciales

El fenómeno de descarga se produce cuando el voltaje dentro de la falla ($U_{c1}(t)$) con DP, supera los valores de tensión nominal de operación indicados por el fabricante, denominada tensión de ignición ($+U_{li}$) que es el nivel de tensión que provoca el inicio de una DP, y desaparece cuando dicho voltaje se encuentra por debajo de la tensión de excitación ($+U_{cle}$), entendiéndose como el voltaje de extinción aquel que debe ser mayor al voltaje nominal de operación, sin embargo si este nivel de tensión de extinción es inferior al nivel de tensión

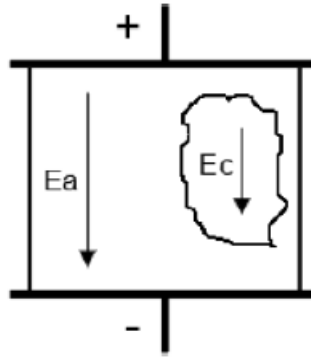


Figura 1: Campo eléctrico en un sistema de aislamiento

Fuente: Autores

nominal de operación, esto nos permite obtener una primer acercamiento del estado del aislante del equipo analizado. La tensión en la vacuola continúa su forma normal hasta la próxima vez que se encuentra con niveles de tensión de ignición y excitación. Cuando se superan estos niveles de tensión, el fenómeno de DP ocurre nuevamente. De manera similar, ocurre en la parte negativa de la onda, con solo lo contrario. como se muestra en la Figura 2.

5.7. Descargas Parciales y su Evolución

La norma IEC 62478 [21], tiene como definición que las descargas parciales son un “fenómeno físico que consiste en una descarga localizada causada por la ruptura parcial del medio dielectrico bajo la influencia de la tensión del campo eléctrico total”, es decir las DP son un fenómeno estocástico que varía en el tiempo y dependen del tipo de descarga, del tipo de defecto, de la geometría y del material dieléctrico [3] [22] [30].

5.8. Tipos de descargas parciales según su origen

La descarga eléctrica que no establece un puente que anule el espacio entre dos electrodos se denomina descarga parcial, que dependiendo del lugar de ocurrencia se clasifican en tres tipos:

- Descargas parciales internas.

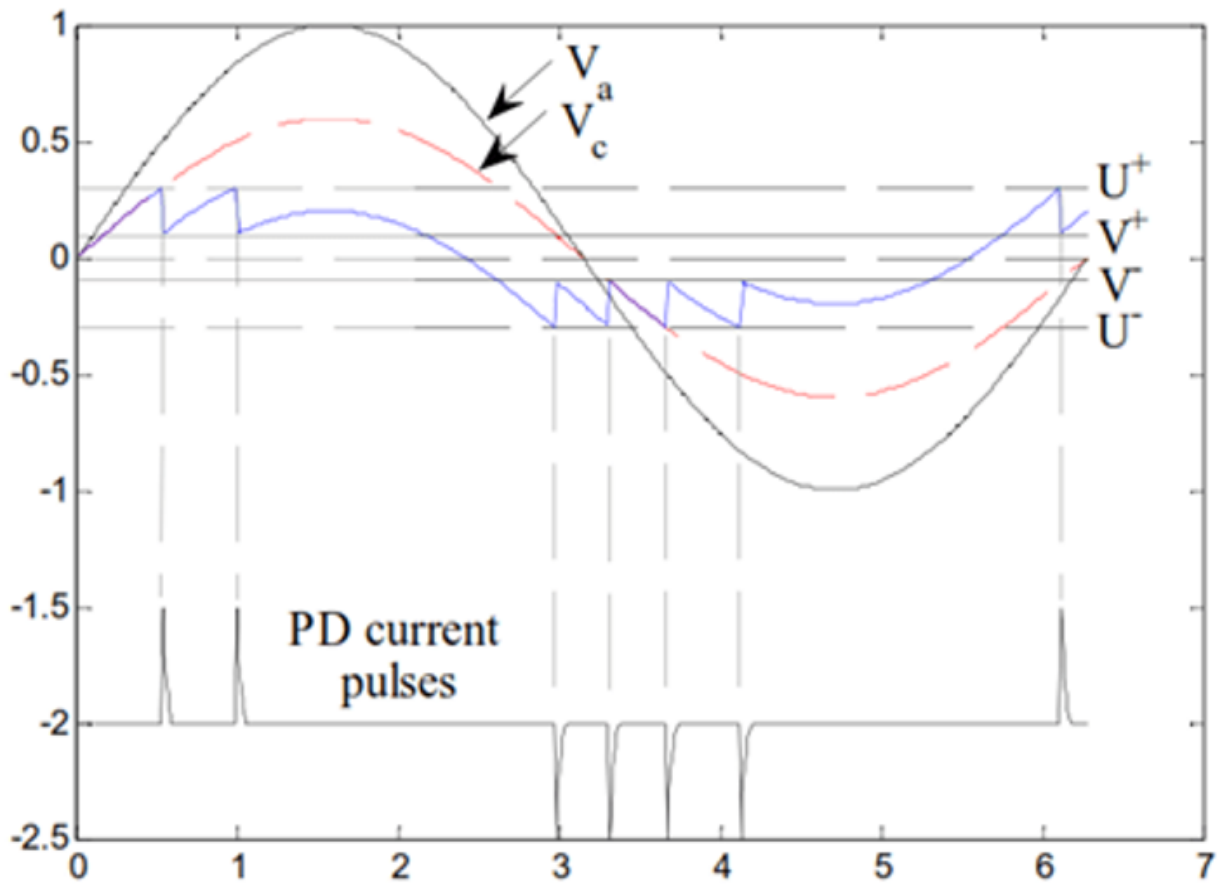


Figura 2: Patrón de descargas parciales.

Fuente: [27]

- Descargas parciales superficiales.
- Descargas parciales corona.

5.8.1. Descargas parciales internas

Las descargas parciales de tipo internas son consecuencia de la baja rigidez dieléctrica en los materiales aislantes en los cuales existen cavidades por irregularidades constructivas u operativas [27] [31] [32]. Estas descargas pueden aparecer dentro del aislante, como se observa en Figura 3.

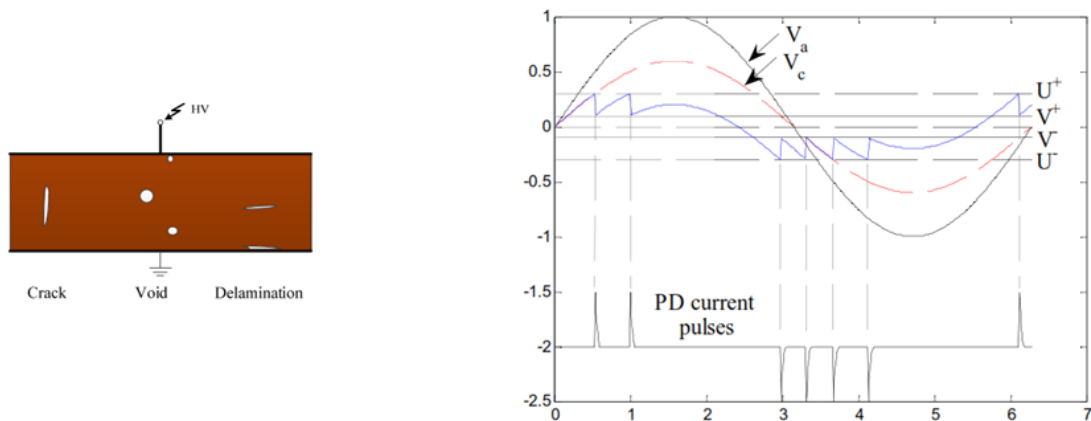


Figura 3: Descargas internas en CA.

Fuente: [27] [33]

5.8.2. Descargas parciales superficiales

Las DP superficiales, son descargas que se producen en el límite de dos instancias dieléctricas, comúnmente entre aislante y aire, esto debido a las componentes tangenciales de campo eléctrico de gran intensidad y magnitud, por esto se recomienda utilizar electrodos lisos, gruesos y con perfiles redondeados para evitar cambios bruscos del campo eléctrico, este tipo de descargas están estrechamente asociadas a la polución [32] [30].

5.8.3. Descargas parciales corona

Las DP de de tipo corona se producen por la ionización del medio gaseoso que rodea un elemento eléctrico, también puede ocurrir en un punto marcado al potencial de tierra, además puede ser visible en forma de luz de un brillo púrpura[29] [31] [34] [35].

El efecto Corona es un proceso de baja energía que de presentarse en un largo periodo de tiempo en un sistema aislante puede comprometer el material encargado del aislamiento eléctrico causando fallas por ruptura dieléctrica [36] [37].

5.9. Métodos de detección de descargas parciales

Las descargas parciales dan lugar a varios fenómenos, los cuales pueden ser detectados y analizados mediante métodos eléctricos tradicionales convencionales, según la norma “IEC-60270” [6], o mediante medidas no convencionales, norma “IEC-62478” [38].

5.9.1. Medida de las DP según IEC 60270

La norma “IEC 60270” [6] plantea el circuito de detección de DP, como se observa en la Figura 4,

en base a la integración del pulso de corriente, dando como resultado, el valor de carga aparente, es decir, aquella carga que introduce de manera instantánea en los terminales del objeto de ensayo [39].

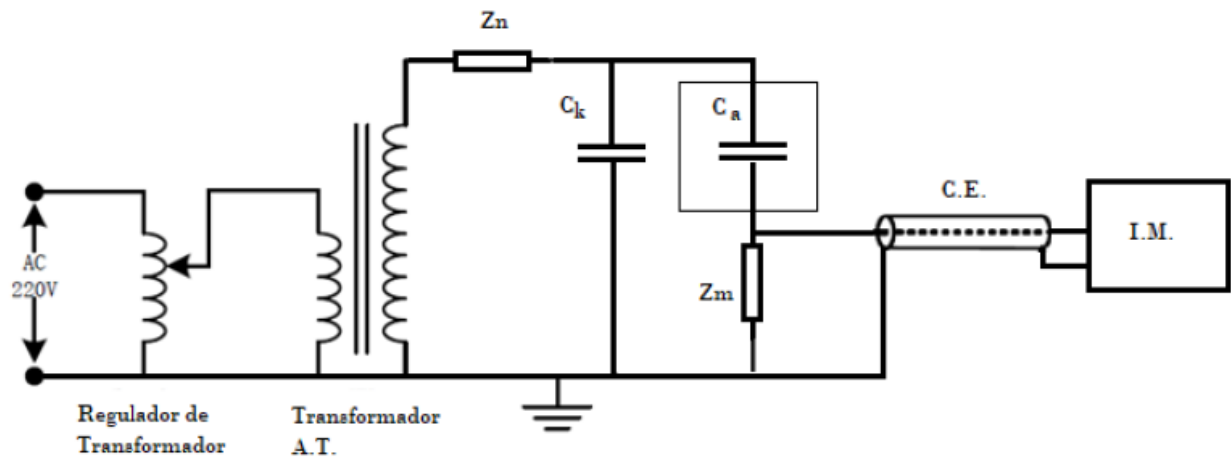


Figura 4: Circuito para la medida de DP, según norma “ “IEC-60270”.

Fuente:[6]

Los equipos requeridos para aplicar los circuitos de la norma IEC 60270 son:

- Transformador que actúa como fuente de entrada de alta tensión libre de perturbaciones.
- Impedancia de filtro (Z_n), que disminuye las perturbaciones generadas por la fuente, que impide que los pulsos de las DP, pasen a esta.

- El objeto de ensayo, su comportamiento es similar a un capacitor (C_a).
- Condensador de acoplamiento (C_k), para el paso de los pulsos de corriente de HF alta frecuencia
- Impedancia de medida (Z_m), a través de la cuál flue la DP.
- Cable de enlace.
- Instrumento de medida de descargas parciales IM.

5.9.2. Medida no convencional de DP según norma “IEC 62478”

Las descargas parciales producen varios fenómenos físicos como lo son:

- Corrientes de pulsos eléctricos.
- Pérdidas dieléctricas.
- Radiación.
- Sonido.
- Presión de gas incrementada.
- reacciones químicas.
- Emisiones Acústicas.

Por ello la norma IEC-62478 [38], contempla los métodos no convencionales, basados en la recopilacion de datos acústicos y electromagnéticos, lo que permite identificar los tipos de DP, y así establecer una conexión con el daño del aislante.

Esta norma no posee un circuito establecido para el sistema de medida, debido a que los fenomenos fisicos producidos no son solo electricos por ello se utiliza diferentes tipos de sensores conectados directamente a los equipos a corroborar su aislamiento [33] [39].

5.10. Monitoreo de Emisiones Acústica

Las señales de Emisiones Acústicas (EA), se fundamenta, en la detección del movimiento dinámico provocado, debido a ondas mecánicas transitorias provocadas resultado de una liberación rápida de energía provocada por una deformación y/o falla dentro o sobre la superficie de un material como enuncia el autor en [1], este fenómeno se puede evidenciar en la Figura 5.

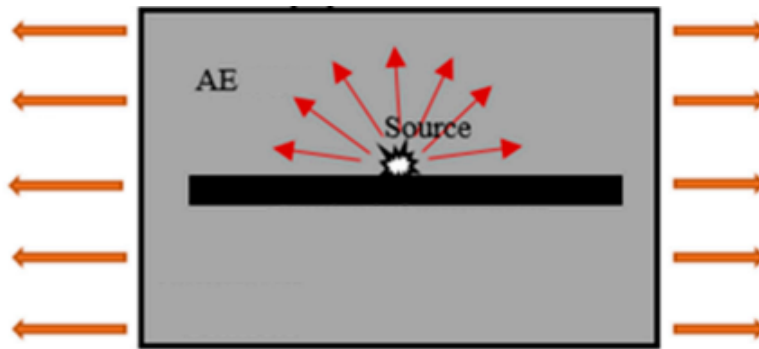


Figura 5: Generación de Emisiones Acústicas

Fuente: [40]

Una onda mecánica produce una deformación en el límite elástico del material, es decir, en el momento en que se transmite la onda, esta provoca deformaciones en el material que es producto del movimiento de una partícula de su posición original, la cuál tiende a regresar a su posición inicial a medida que el efecto que provoca su desplazamiento pasa. Entre mayor es el límite elástico del material mayor atenuación provoca en la onda que lo atraviesa [41] [42].

Los materiales cerámicos tienen una capacidad elástica mínima casi imperceptible, por lo que no es un medio elástico. La banda de emisión acústica para este medio se encuentra típicamente entre “20 kHz y 250 kHz”, [1]. Los rangos de detección se seleccionan teniendo en cuenta las propiedades del sistema aislante, por ejemplo, en transformadores, el rango de detección típica está entre “100 kHz y 200 kHz” [43].

Una de las utilidades de este método es la oportunidad de hacer mediciones sin desenergizar los equipos sometidos a prueba, su portabilidad y su inmunidad a las interferencias electromagnéticas, se proponen como un sistema atractivo para el diagnóstico oportuno del nivel del aislamiento de los materiales dieléctricos. Sus principales inconvenientes radican en la adaptación de señales contaminantes y los resultados no deseados de la propagación de la

señal por el medio, antes de llegar al sensor, como son la atenuación, las reflexiones, entre otros [44].

5.10.1. Principio Físico de las EA

Al momento de que una fuerza exterior es aplicada a un material sólido, este transforma su forma, si esta fuerza aplicada es mínima, se tiene una baja tensión, por lo que el material deformado, se recupera elásticamente a su forma original [40], esta deformación se denomina deformación plástica. Para cualquier material sólido existe un valor máximo de acumulación de energía dentro del mismo. Si la energía de deformación almacenada en el material, debido a la fuerza externa, logra la capacidad del material, esta se libera y produce deformación plástica, es decir, cuando la fuerza externa se elimina del material, este no puede revertirse a su forma original, pero, si la fuerza externa aplicada es aún superior, se producen fisuras en el material, en este caso, la energía de deformación reunida dentro del material es empleada por la generación y crecimiento de las fisuras [40].

Es así que, cuando el material sólido examinado es fisurado, disipa esta energía de deformación, por lo tanto, la mayor parte de esta energía es suelta hacia el exterior, la energía restante se consume para generar sonido y calor. Es así que conocemos que, el fenómeno mediante el cual el sonido se genera por la liberación de energía se conoce como EA, y se describe como "*scream*" del material bajo tensión [40]. Este principio físico de las EA se enfoca a los materiales o elementos que trabajan en estado estático.

5.10.2. Aplicaciones de las EA

Las aplicaciones de las EA son varias[43][40], sin embargo, las más relevantes son:

- Investigación de nuevos materiales.
- Individual entries are indicated with a black dot, a so-called bullet.
- Control de calidad y monitorización de soldaduras.
- Comprobación de fugas en tiempo real
- Indagaciones en geología y micro-seísmos

- Descubrimiento y localización de descargas parciales transformadores

5.10.3. Relación entre la EA frente a otras metodologías de ensayos no destructivos

El método de EA se distingue de entre otros métodos no destructivos debido a dos aspectos principales.

En primer lugar, la energía detectada se libera desde el interior del material inspeccionado, que es diferente a otros métodos que necesitan inducir energía en el material, como rayos X, rayos gamma, ultrasonidos, calor o microondas[40].

En segunda instancia, la tecnología de emisión acústica puede percibir “procesos dinámicos” (movimientos) relacionados con la totalidad estructural, como el crecimiento de fisuras o la alteración plástica, mientras que, las metodologías de prueba no destructivas tradicionales, solo pueden detectar “discontinuidades geométricas”[44] [40]. Estos aspectos son descritos en la siguiente tabla:

<i>Característica</i>	<i>EA</i>	<i>Otros métodos</i>
Descubrimiento rápido y temprano de los defectos	Si	No
Detecta el movimiento del defecto	Si	No
Detecta la forma del defecto	No	Si
Detecta la disposición de posibles defectos	Si	No
Requiere someter la pieza a esfuerzos	Si	No
Repetitividad del ensayo	Cada carga es única	Muy repetitivo
Sensibilidad al tipo de material	Alta	Baja

Figura 6: Relación de ventajas y desventajas del ensayo de Emisión Acústica respecto de otros métodos

Fuente: autores

5.10.4. Tipo de señales de EA

Las señales EA pueden clasificarse en dos tipos:

■ Señal del tipo ráfagas.

Las señales de EA tipo ráfagas existen al momento en que las diferentes fuentes analizadas no son repetibles y ocurren discretamente, además, en dichas graficas se poseen puntos concretos claramente de principio y fin del ruido que produce el defecto, estas son propiedades de aparición y crecimiento de fisuras en un material [43]. Este tipo de graficas tienden a durar unas pocas centésimas de segundo [44], como se observa en la Figura 7.

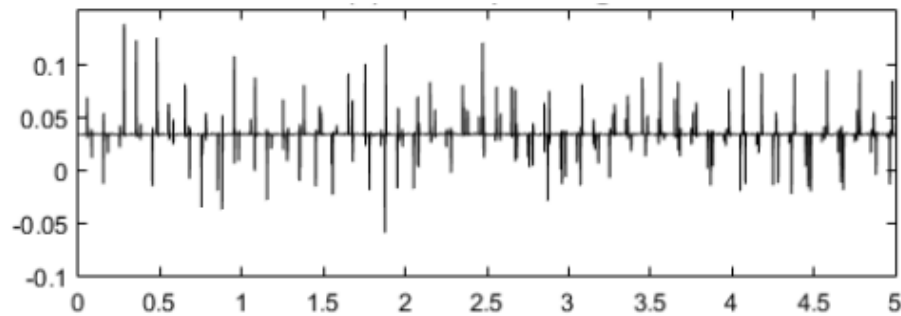


Figura 7: Señal de EA tipo ráfaga

Fuente: [40]

■ Señal del tipo continua.

Las señales de EA tipo continuas tienen amplitudes y frecuencias variables, pero nunca se terminan, estas señales son de baja energía y no muestran ninguna característica visualmente obvia en el dominio del tiempo hasta censar algún tipo de perturbación existente [1]. La Figura 8 muestra este tipo de señal en el dominio del tiempo.

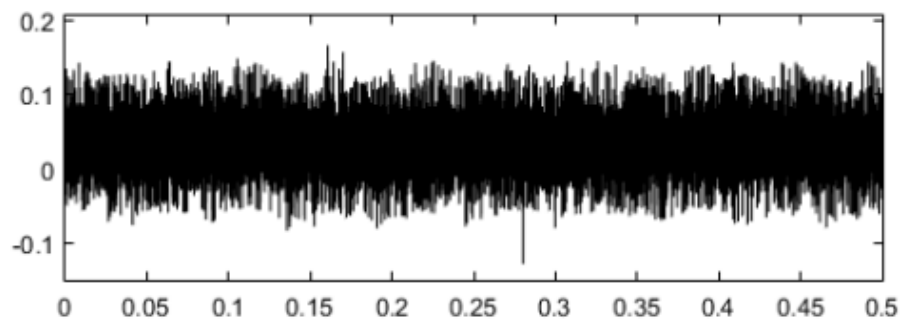


Figura 8: Señal de EA tipo ráfaga

Fuente: [40]

6. Marco metodológico

Para la identificación y análisis de descargas parciales en aisladores cerámicos mediante emisiones Acústicas se plantea una metodología que se base en 5 etapas fundamentales las cuáles son Diseño del sistema de medición, experimentación, obtención de la base de datos, análisis computacional y análisis de resultados, en la Figura 9 se observa el diagrama de bloques con la metodología propuesta.

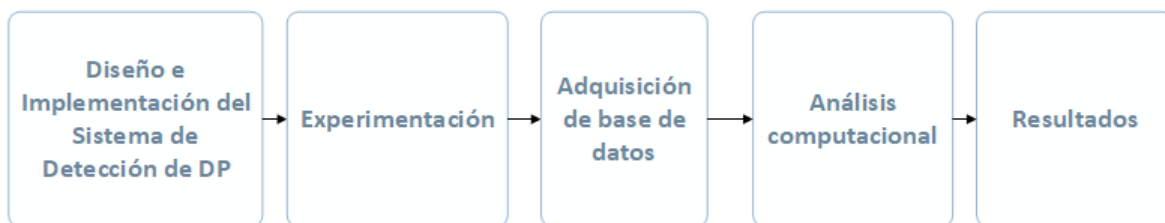


Figura 9: Diagrama de Bloques de la Metodología Propuesta.

Fuente: Autor

Dentro de este capítulo se describe el diseño de metodología propuesta que se utilizará para poder obtener la información necesaria y alcanzar los objetivos planteados en este Proyecto Técnico con Enfoque Investigativo. Cada etapa dentro de la metodología está formada por subprocesos los cuales están especificados a continuación.

El diagrama de bloques de las etapas así como los subprocesos dentro de cada una, está esquematizada en el anexo denominado "*Metodología Esquematizada Propuesta*".

6.1. Diseño e implementación del sistema de detección de DP

La etapa del diseño e implementación del sistema de detección de Descargas Parciales, consta de 3 subprocesos que están destinado a formar un conjunto de elementos destinados a la medición y obtención de datos eléctricos y de emisión acústica.

6.1.1. Reconocimiento de Herramientas y Materiales

El sistema se implemento haciendo uso de elementos del laboratorio de alta tensión de la universidad, así como el sensor de emisiones acústicas del laboratorio de vibraciones.

■ Parte Eléctrica.

El lugar destinado al montaje del sistema de detección de descargas parciales es el Laboratorio de Alta Tensión de la Universidad Politécnica Salesiana como se puede observar en el a Figura 10.



Figura 10: Distribución del Laboratorio de Alta Tensión.

Fuente: Autor

En este apartado se puede identificar los diferentes elementos eléctricos que se utilizarán dentro del sistema los cuales son:

- Transformador de potencia HV 9105
- Copa de conexión a tierra HV-9110
- Condensador de carga HV9141
- Resistencia de carga HV9121 de $10\text{ M}\Omega$
- Aislador Tipo Pin 55-5
- Sensor presión, humedad y temperatura

Los datos eléctricos como los datos acústicos serán visualizados a través de un osciloscopio digital (Figura 11). Este dispositivo consta de 4 canales de entrada los cuales estarán destinados a las diferentes mediciones dentro del proyecto técnico.



Figura 11: Osciloscopio Digital.

Fuente: Autor

Dentro de las herramientas utilizadas, consta una pinza para medir la resistencia de puesta a tierra dentro del laboratorio. El valor optimo de la resistencia de puesta a tierra debe ser inferior a 5Ω [45], como se observa en la Figura 12.

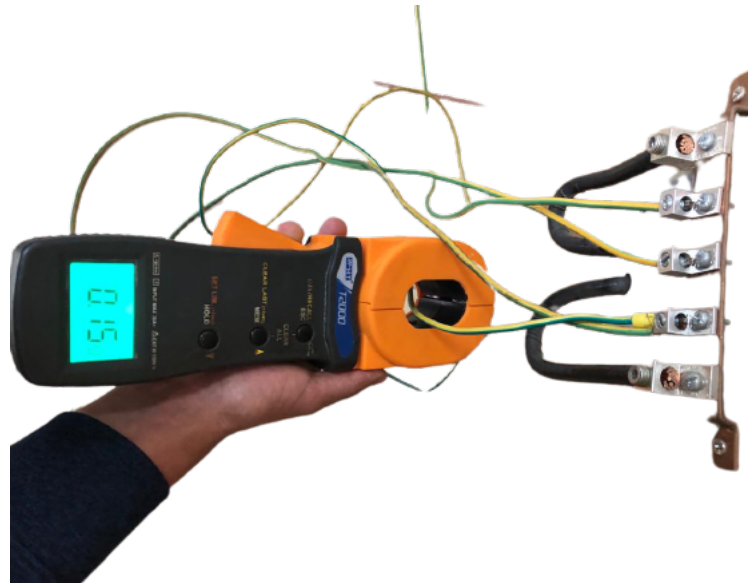


Figura 12: Medición Puesta a Tierra.

Fuente: Autor

■ Sensores Acústicos.

Dentro de la parte acústica podemos distinguir 2 elementos fundamentales los cuales son:

■ Sensor R15 Alpha.

El R15 Alpha (Figura 13) es un sensor resonante de banda estrecha con una alta sensibilidad.

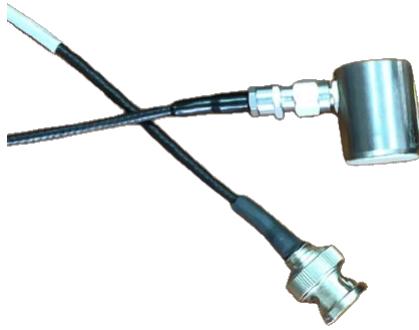


Figura 13: Sensor Acústico implementado.

Fuente: Autor

Para más información respecto al sensor dirigirse al anexo denominado "*Hoja de datos Sensor Acústico*".

- **2/4/6 Preamplificador.**

El 2/4/6 (Figura 14) es un preamplificador de voltaje con rangos de ganancia seleccionables por interruptor de 20, 40 y 60 decibeles. Este preamplificador es utilizado especialmente para sensores acústicos debido a que no se conoce de antemano la ganancia o el ancho de banda de frecuencia necesarios para la aplicación.

La ganancia seleccionada para la toma de datos acústicos en el preamplificador fue de 60 decibeles.



Figura 14: Preamplificador Implementado.

Fuente: Autor

Para más información respecto al sensor dirigirse al anexo denominado "*Hoja de datos del preamplificador del sensor de EA*".

- **Fuente de alimentacion 24V.**

El preamplificador en conjunto con el sensor acústico antes mencionados serán alimentados mediante una fuente de alimentación de 24V (Figura 15).

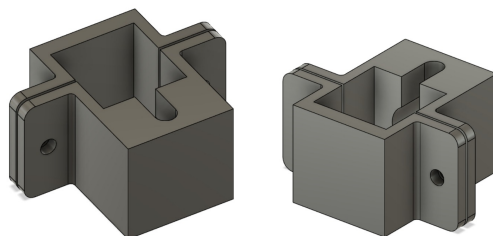


Figura 15: Fuente de alimentación de 24V.

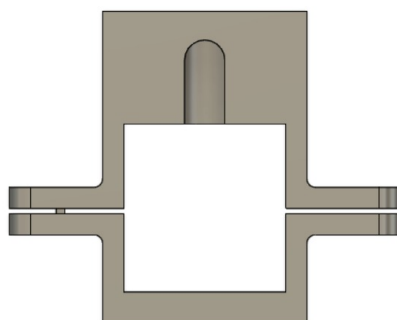
Fuente: Autor

6.1.2. Acondicionamiento de sensores

Debido a que los valores nominales de tensión del Aislador Tipo Pin 55-5, son altos (15kV), para la protección del sensor acústico se diseño y construyo un aislante a base de filamentos como se observa en la Figura 16, este protector consta de 2 partes, la superior donde encajará el sensor y la inferior donde se sujetara al soporte del aislador.



(a) Lateral Izquierda (b) Lateral Derecha



(c) Frontal

Figura 16: Diseño 3D del protector del sensor acústico

Para la fijación del sensor se acoplo al Perno pin un perfil de fibra de vidrio fijada con resina hipóxica tal y como se muestra en la Figura 17, donde se observa el procedimiento de fijación de estos elementos.

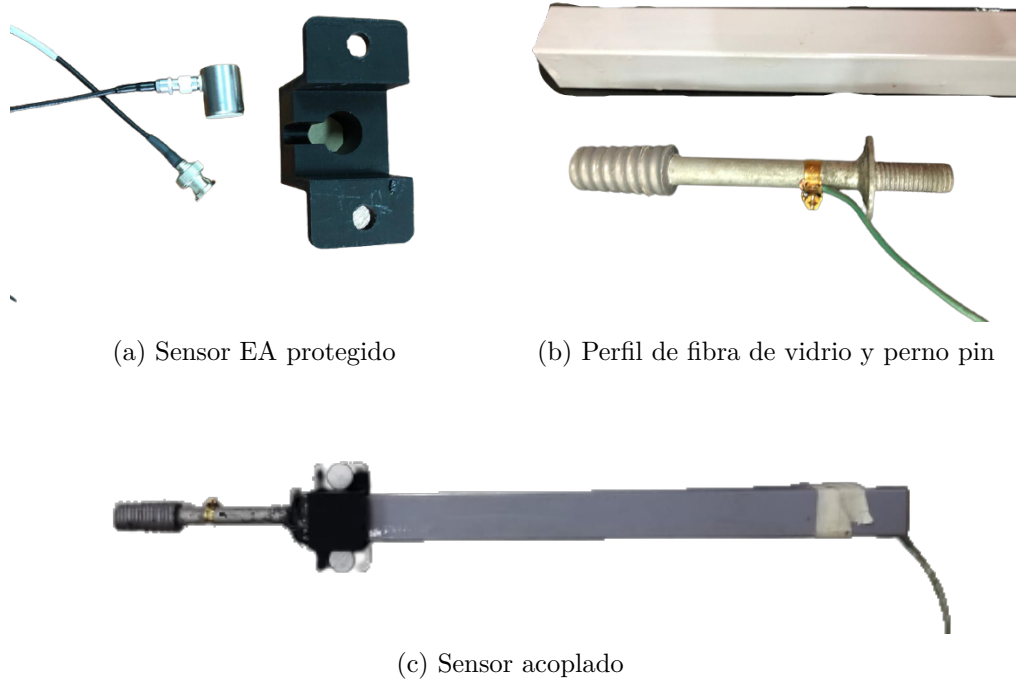


Figura 17: Acoplamiento del sensor acústico

6.1.3. Montaje del sistema

Tomando como base la “Norma IEC 60270” [6], se plantea un esquema circuital detector de descargas parciales acoplado sobre el mismo el circuito detector de emisiones acústicas.

El circuito de recopilación de datos eléctricos y acústicos en la Figura 18, podemos notar 5 secciones importantes las cuales son:

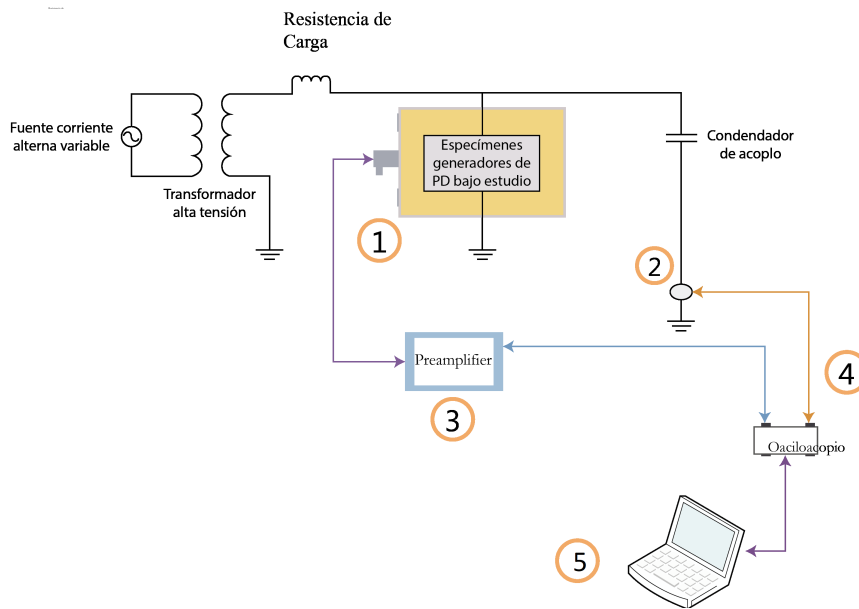


Figura 18: Circuito a implementar

Fuente: Autor

1. Sensor de EA en Espécimen Generador de DP

Consta del sensor de Emisiones Acústicas acoplado, (Figura 19), al espécimen que proporcionara las descargas parciales a analizar. En este caso se tendrá un aislador Tipo Pin 55-5 (para más información de este aislador dirigirse al Anexo denominado "*Hoja de datos Aislador Tipo Pin 55-5*")



Figura 19: Sensor Acoplado a Aislador

Fuente: Autor

2. Punto de medición eléctrica
3. Preamplificador de EA
4. Osciloscopio
5. Computador portátil

6.2. Experimentación

Para comprobar los objetivos del proyecto técnico, se tomaron mediciones no solo de las emisiones acústicas sino en paralelo con las señales eléctricas. El procedimiento de la experimentación, así como la secuencia de toma de datos se especifica en el anexo denominado "*Plan experimental laboratorio de vibraciones Universidad Politécnica Salesiana*"

6.2.1. Pruebas Eléctricas a Frecuencia Industrial

Para obtener las mediciones del circuito propuesto (Figura 18) los valores de voltaje se fueron modificando según el banco de pruebas del laboratorio de alta tensión de la universidad, del mismo modo, se fue apreciando las graficas de voltaje y de EA en el osciloscopio, como se puede observar en la Figura 20.

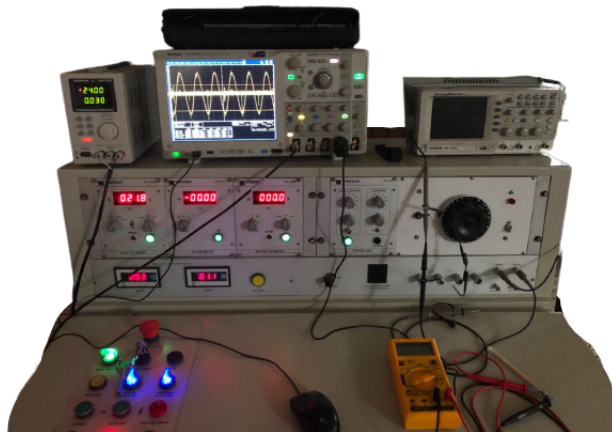


Figura 20: Banco de Pruebas Laboratorio Alta Tensión

Fuente: Autor

6.2.2. Reconocimiento de señales (DP y EA)

Las señales de entrada obtenidas dan como resultado 2 ondas, donde la señal eléctrica (CH1) y señal de EA (CH2), son claramente distinguibles entre sí como se puede apreciar en la Figura 21.

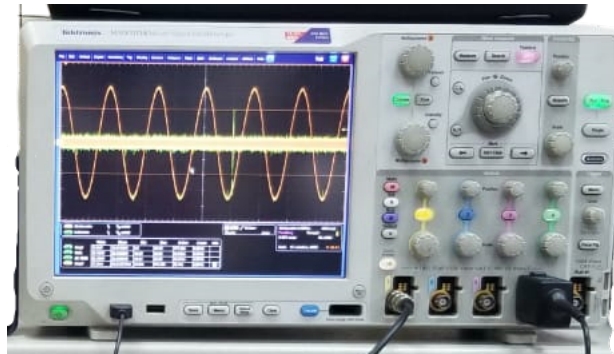


Figura 21: Onda Electrica y de EA

Fuente: Autor

6.3. Adquisición de base de datos

La base de datos del estudio es resultado de realizar el ensayo, para el análisis de DP mediante emisiones acústicas, a 9 niveles de tensión en el aislador Tipo Pin 55-5 denominado espécimen de prueba.

El ensayo en el espécimen de prueba se llevó a cabo durante un tiempo de 10 minutos, dicho ensayo tiene como objetivo obtener 2 señales muestrales (Eléctrica y Acústica) de 12.5 millones de muestras que contengan características visibles de las DP en conjunto con la de EA.

Los diferentes niveles de tensión en el ensayo dieron una base de datos de 90 señales muestrales eléctricas y 90 señales muestrales de EA.

6.3.1. Obtención de datos eléctricos

Los 9 niveles de voltaje los podemos clasificar en cinco:

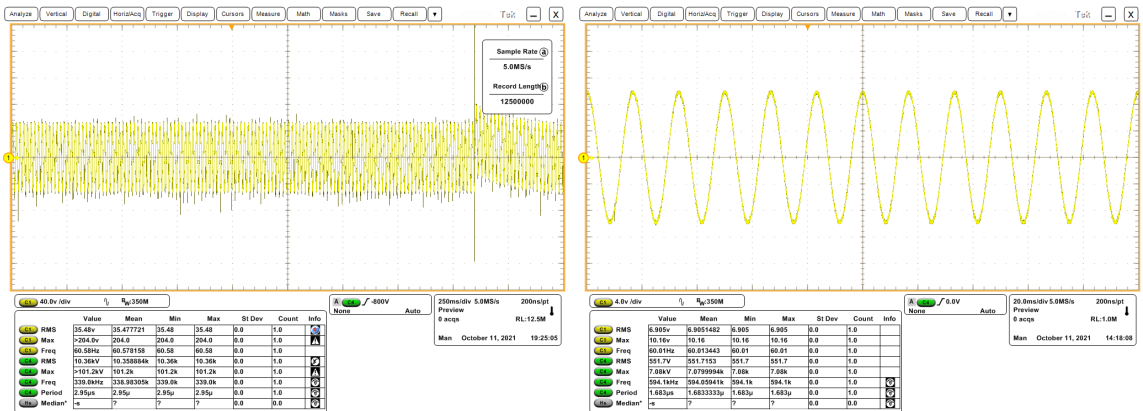
- Baja Tensión
- Media Tensión
- Tensión Nominal
- Alta Tensión
- Tensión de Flameo

Cada nivel posee diferentes cantidades de pruebas donde se pueden distinguir las descargas parciales, siendo el nivel inicial de DP en el nivel de tensión denominado Alta Tensión 1 con 20kV como se observa en la Tabla 1.

Tabla 1: Clasificación de los datos obtenidos según su nivel de Tensión.

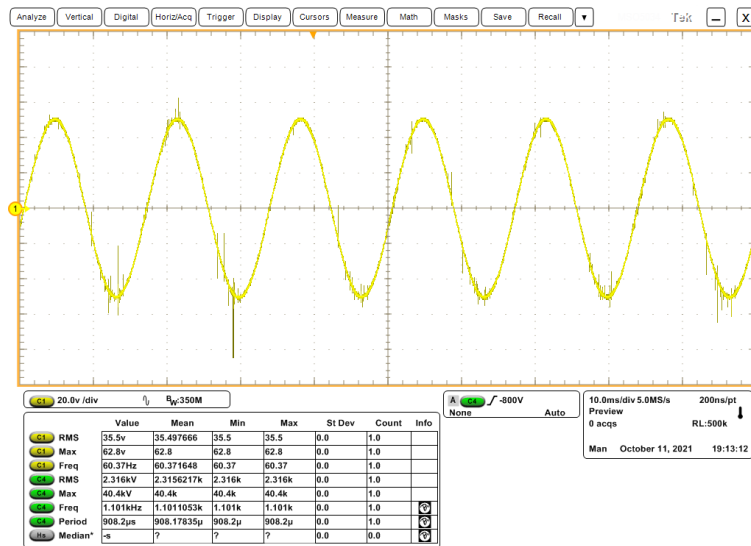
<i>Nivel de Tensión</i>	<i>Tensión de la Prueba (kV)</i>	<i>N° de pruebas</i>	<i>Presencia de DP</i>
<i>Baja Tensión</i>	5	10	NO
<i>Media Tensión 1</i>	10	10	NO
<i>Media Tensión 2</i>	13	10	NO
<i>Tensión Nominal</i>	15	10	NO
<i>Alta Tensión 1</i>	20	10	LEVE
<i>Alta Tensión 2</i>	25	10	SI
<i>Alta Tensión 3</i>	30	10	SI
<i>Alta Tensión 4</i>	50	10	SI
<i>Alta Tensión 5</i>	60	8	SI
<i>Tensión de Flameo</i>	70	2	Descarga de Flameo

El espécimen de prueba entrego diferentes ondas a los distintos niveles de tensión, presentado DP leves a 5kV sobre su tensión nominal y siendo totalmente evidentes a 60kV, además se observa el fenómeno eléctrico al momento de la interrupción como se observa en la Figura 22.



(a) Tensión de Flameo

(b) Baja Tensión



(c) Alta Tensión

Figura 22: Señales de volateje Obtenidas

Las DP se manifiestan en tensiones pico en la onda fundamental de voltaje aplicado en el espécimen de pruebas siendo evidentes en el semiciclo positivo y negativo de la onda tal y como se puede observar en la figura 23.

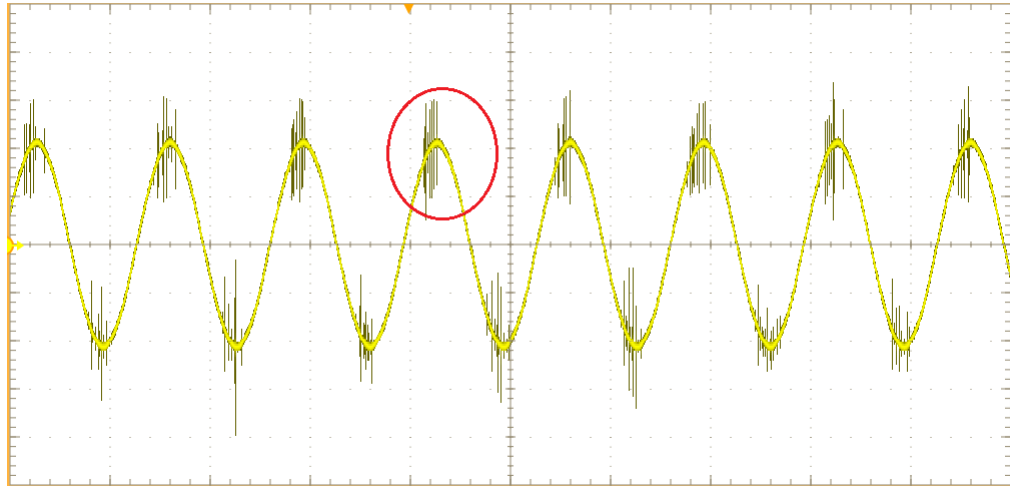


Figura 23: Descarga Parcial en onda de voltaje

Fuente: Autor

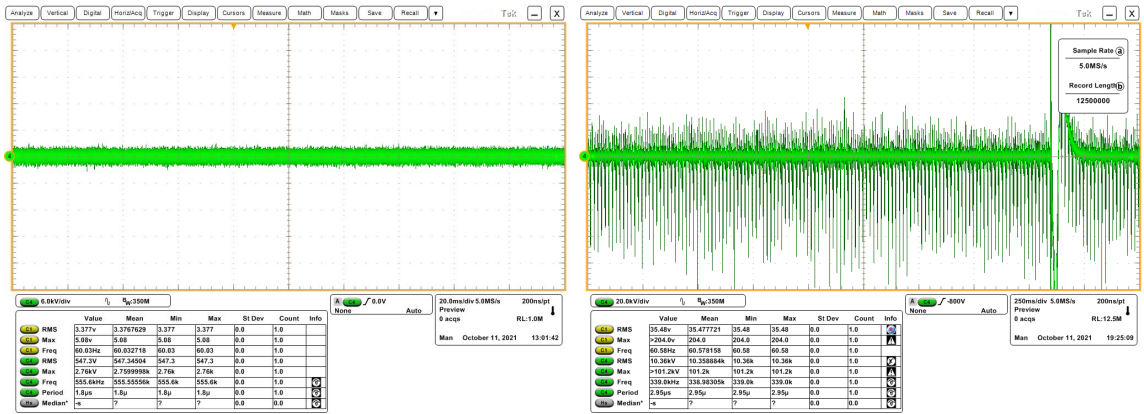
6.3.2. Obtención de datos de EA

Los datos de emisión acústica se tomaron a la par que la de voltajes respetando los mismos niveles de tensión donde se pueden distinguir las descargas parciales, siendo el nivel inicial de DP en el nivel de tensión denominado Alta Tensión 1 como se observa en la Tabla 2.

Tabla 2: Clasificación de los datos de EA obtenidos según su nivel de Tensión.

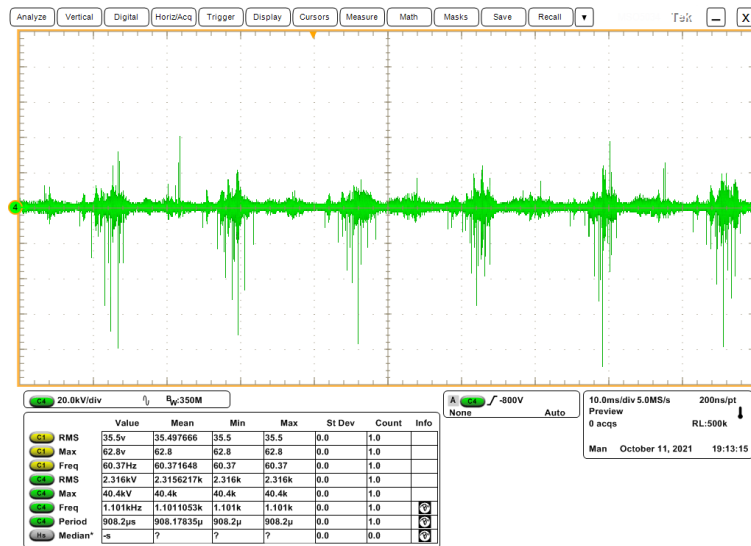
<i>Tensión de la Prueba (kV)</i>	<i>N° de pruebas</i>	<i>Presencia de DP</i>
5	10	NO
10	10	NO
13	10	NO
15	10	NO
20	10	LEVE
25	10	SI
30	10	SI
50	10	SI
60	8	SI
70	2	Descarga de Flameo

Nuestro espécimen de prueba entrego diferentes ondas de EA a los distintos niveles de tensión, presentado DP visibles a partir de niveles superiores a los 25kV y siendo evidentes a 60kV como se observa en la Figura 24.



(a) Baja Tensión

(b) Tensión de Flameo



(c) Alta Tensión

Figura 24: Señales de Emisión Acústica Obtenidas

Las DP se presentan como tensiones pico a lo largo de la señal lineal de EA en el dominio del tiempo cómo se observa en la figura 25.

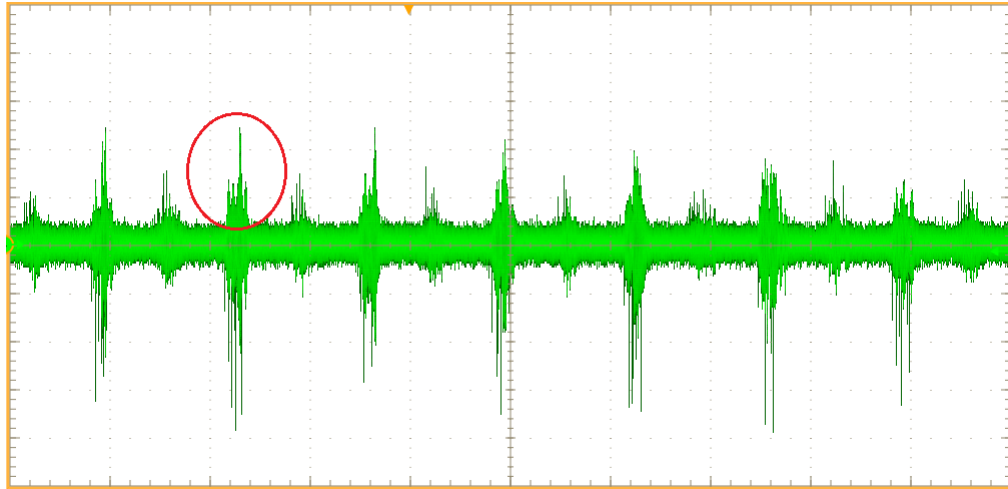


Figura 25: Descarga Parcial en onda de EA

Fuente: Autor

6.3.3. Obtención de grafica de las señales

La grafica de la Figura 26 refleja la gráfica de la señal de EA y de voltaje sincronizadas, al contrastar las dos señales se puede notar visualmente que existe una concordancia de las DP en la señal de voltaje al igual que en la señal de EA.

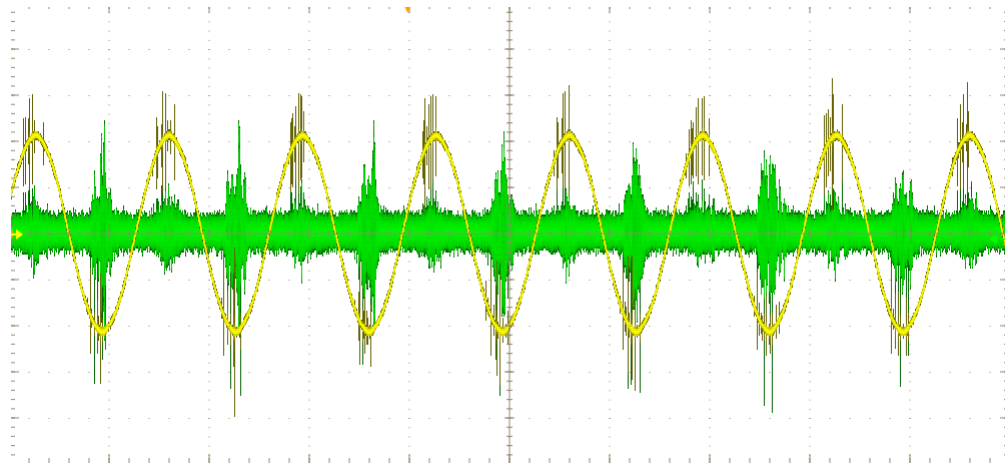


Figura 26: Señales de Voltaje y EA obtenidas

Fuente: Autor

La señal de EA muestra las tensiones pico en el mismo instante en la que se produce DP

en el espécimen de prueba según la señal de EA.

6.4. Análisis Computacional

Las diferentes señales obtenidas son del tipo muestral (como se lo mencionó en el apartado anterior) por lo que se puede considerar un vector de datos, los mismos que serán los vectores de entrada denominados *datavoltaje* y *dataacustico* con una longitud de 12.5 millones de muestras.

6.4.1. Reconstrucción de las señales

Para la reconstrucción de las señales de entrada obtenidas del osciloscopio se ocupó el software Matlab. Los vectores unidimensionales de entrada darán graficas de la amplitud en función del número de sus muestras, es por ello que se realiza un vector de tiempo ocupando el Teorema de Nyquist como lo menciona el autor [46], para que las señales reconstruidas estén en función del tiempo como se puede observar en la Figura 27.

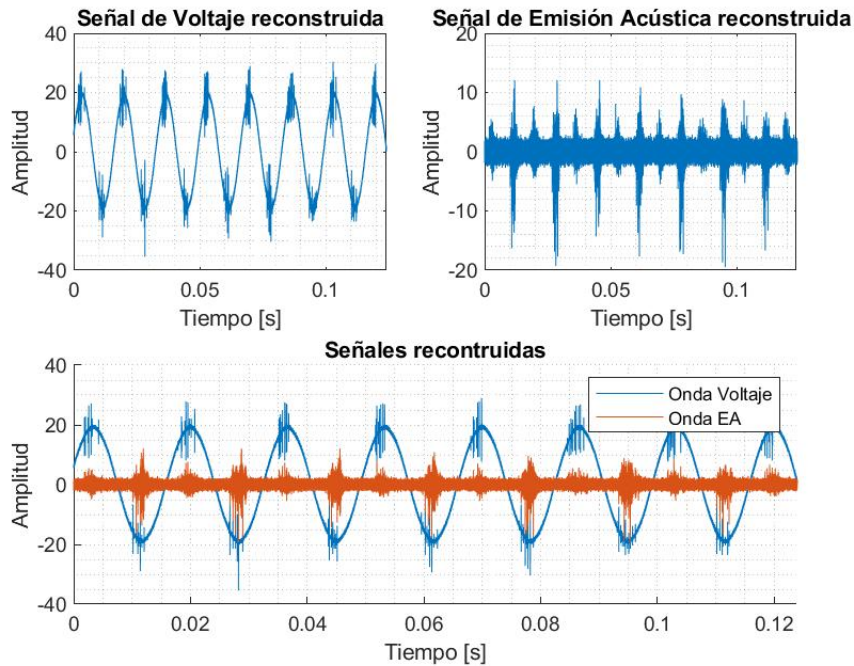


Figura 27: Señales de Voltaje y EA reconstruidas

Para facilitar el análisis de las ondas reconstruidas se procedió a sacar el valor máximo de cada una de las señales para normalizarlas y obtener graficas con amplitud no superiores a la unidad como se aprecia en la Figura 28.

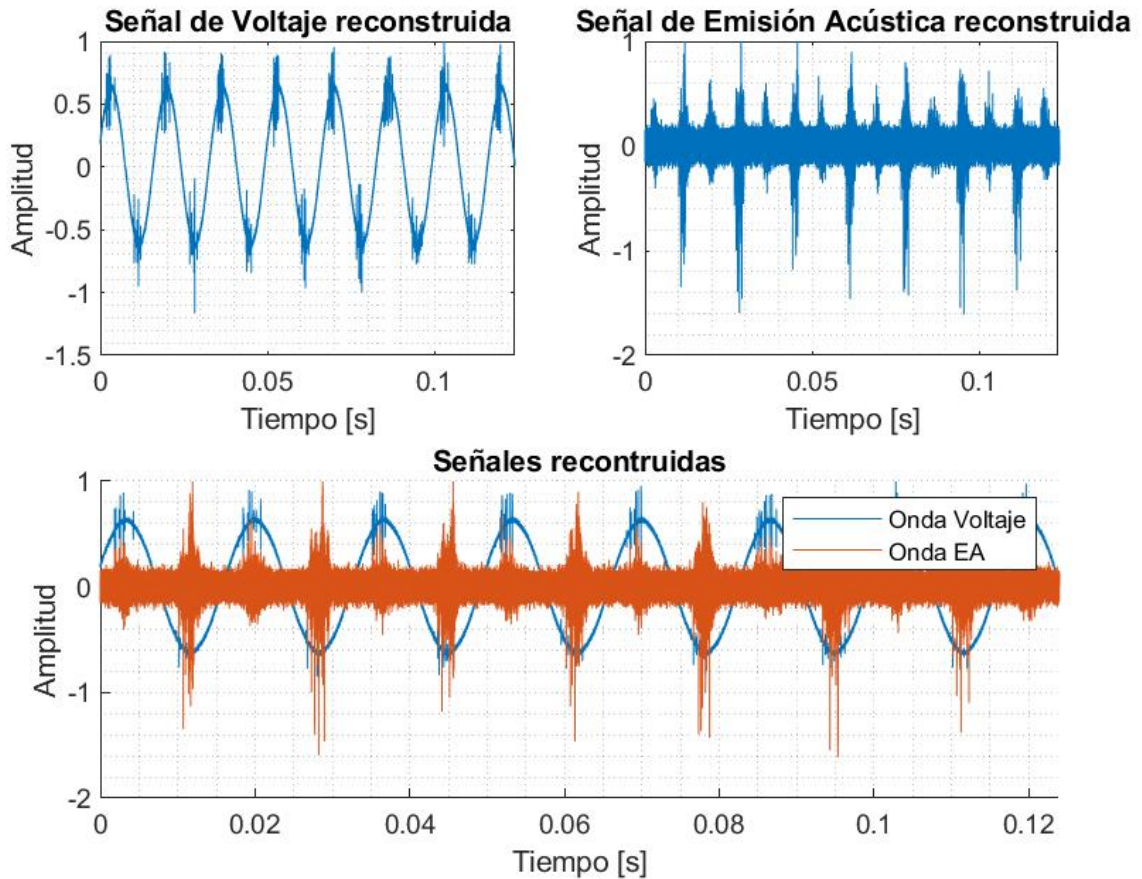


Figura 28: Señales de Voltaje y EA Normalizadas

6.4.2. Filtrado de señales

La onda de la señal de voltaje obtenida posee una gran cantidad de ruido por lo que es necesario para proceder con el análisis, la óptima disminución de dicho ruido mediante la aplicación de un filtro digital del tipo FIR1 como es mencionado por los autores [47] [48] [30], para obtener la señal de la Figura 29.

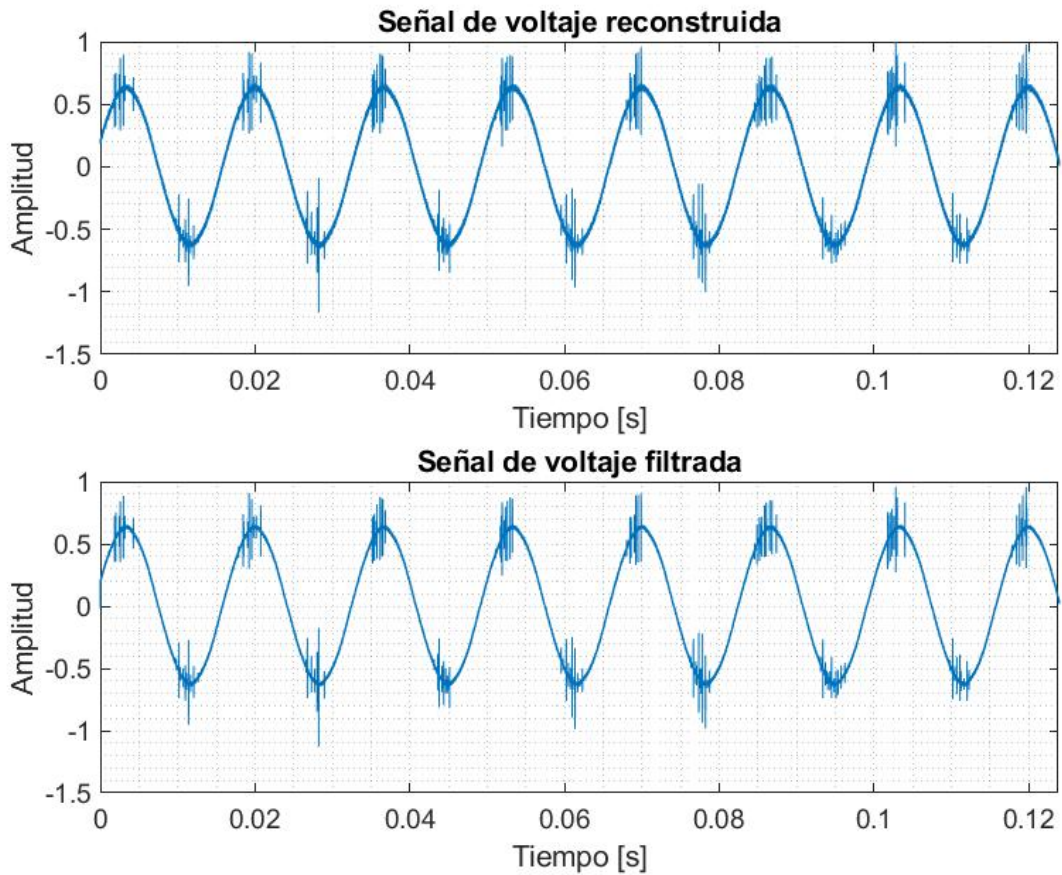


Figura 29: Señales de Voltaje filtrada el ruido

Dado a la naturaleza de origen de la señal de EA esta no posee ruido por ende esta señal no es necesario aplicar algún tipo de filtro.

6.4.3. Adecuación de las señales

Para obtener una mejor perspectiva de las DP en la onda de voltaje se procedió a eliminar la frecuencia de la onda fundamental para tener una representación de la onda de voltaje de una forma lineal.

Para obtener esta onda lineal se aplicó a la señal de entrada un filtro Butterworth como menciona los autores [49] [50], tal y como se visualiza en la Figura 30, donde se observa la se;al original de voltaje , la señal del filtro Butterworth y la señal resultante que se empleara

para el análisis frente a la señal de EA.

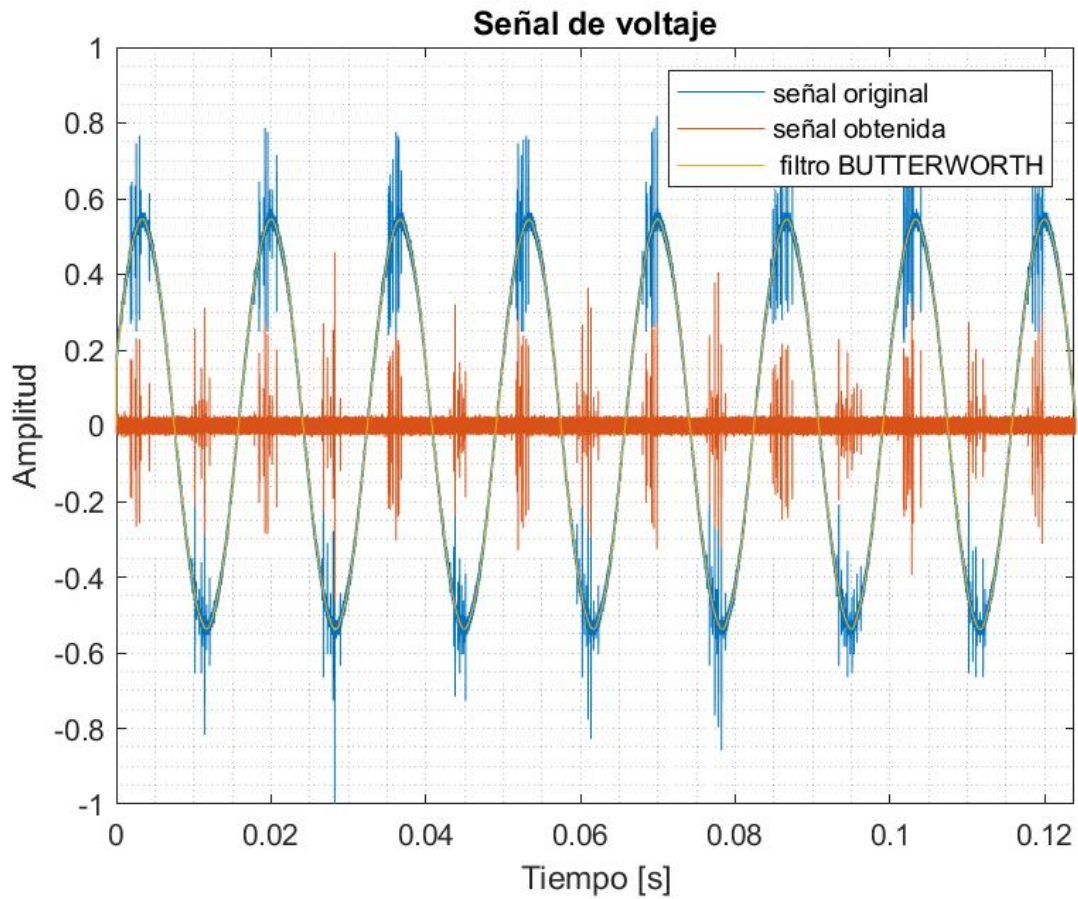


Figura 30: Señales de Voltaje filtrada el ruido

6.4.4. Identificación de las DP mediante las EA

Las tensiones pico generadas en la onda de EA son contrastadas de una mejor manera sobremontando las 2 señales dentro del mismo plano como se observa en la Figura 31.

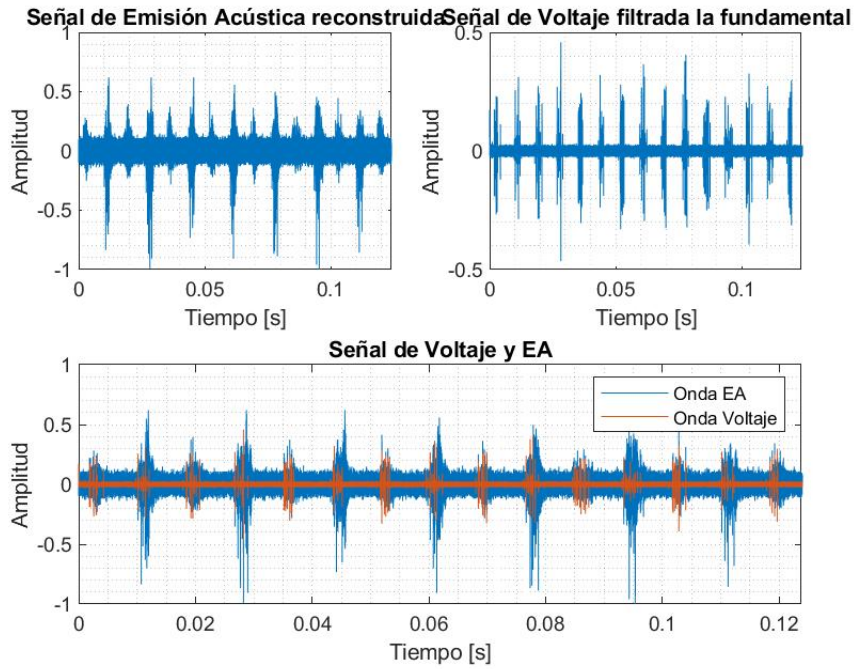


Figura 31: Señales de Voltaje y EA

Para verificar la similitud existente dentro de las ondas procedemos a realizar la correlación grafica de las mismas mediante el comando `xcorr`.

La correlación es una medida de similitud entre dos señales basada en la convolución de las mismas mediante la siguiente ecuación:

$$f(x) \circ g(x) = h(x) = \int_{-\infty}^{\infty} (f(x)g(x+z)dz) \quad (1)$$

Para simplificar la operación de la correlación se debe aplicar la Transformada de Fourier a las señales de entrada para obtener:

$$\mathcal{F}(f(x) \circ g(x)) = \mathcal{F}^*(u) \cdot G(u) \quad (2)$$

Dando como resultado al producto de la transformada fourier conjugada de una de ellas por la otra.

Al aplicar el comando `xcorr` con las variables de entrada en el dominio del tiempo obtenemos

como resultado la onda visualizada en la Figura 32, debido a que el comando implementado sigue la ecuación 1 obtenemos una correlación distorsionada por la variación de las magnitudes visibles dentro de la señal de EA.

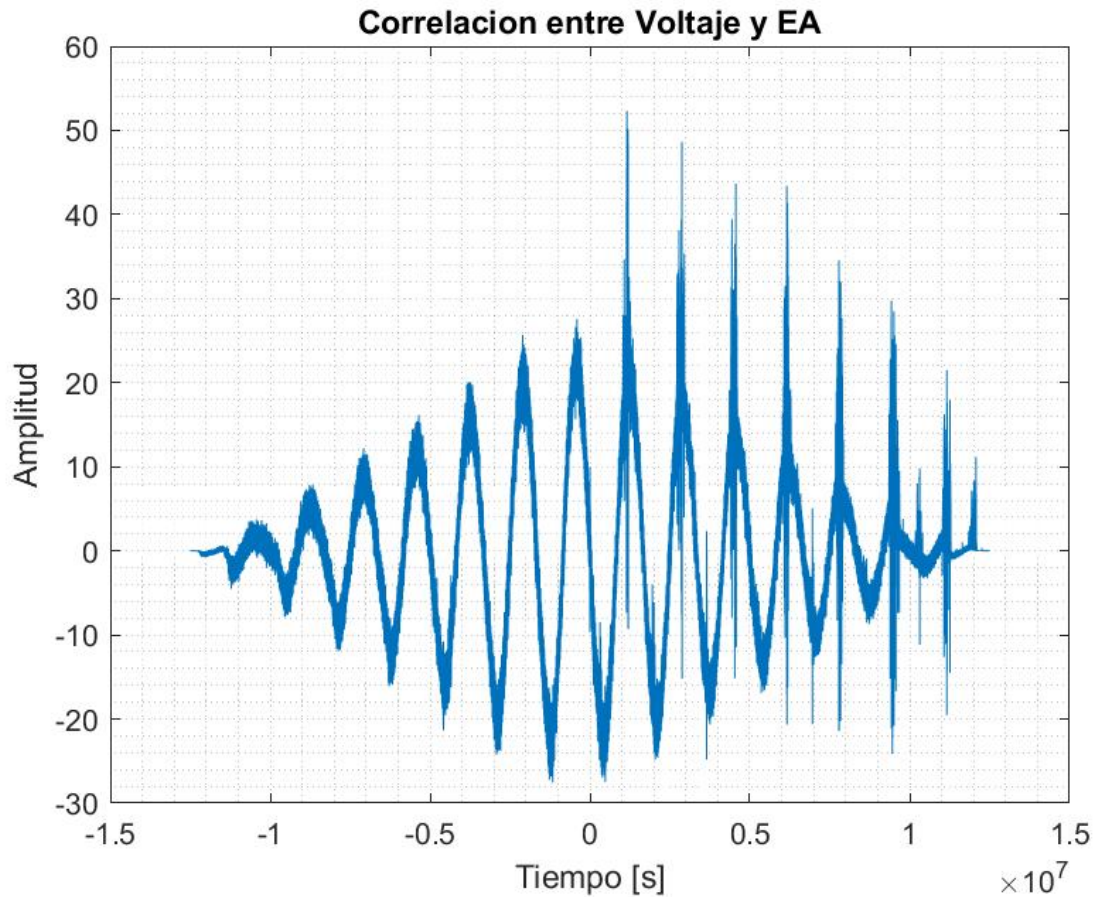


Figura 32: Correlación entre Voltaje y EA en el dominio de la frecuencia

Podemos evidenciar una similitud visual entre las dos señales. En el dominio del tiempo podemos observar la similitud, pero al referirnos al dominio de la frecuencia, mediante la “transformada rápida de Fourier”, podemos observar una marcada igualdad, como se muestra en la Figura 33.

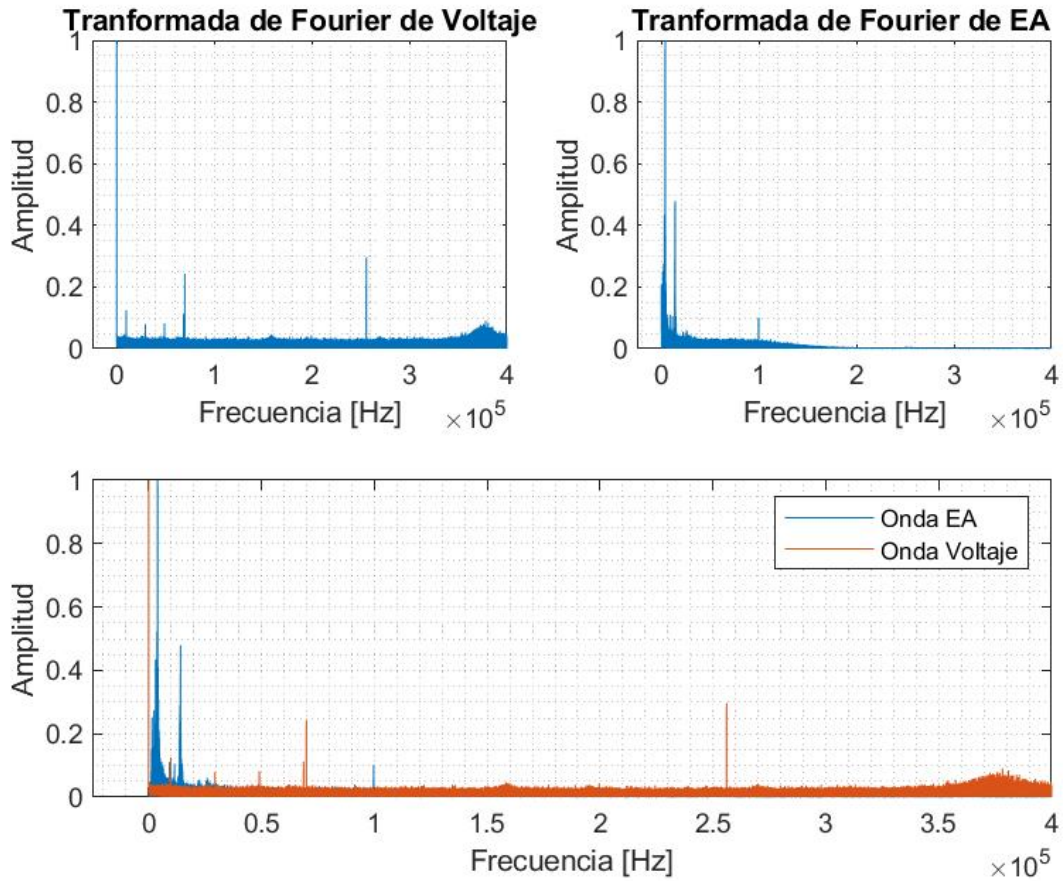


Figura 33: Transformada de Fourier de las Señales de Voltaje y EA

Al aplicar el mismo procedimiento de la correlación en el dominio de la frecuencia obtenemos lo presentado en la Figura 34 evidenciando que el pico máximo de esa señal se acerca de una mejor manera punto $[0, 0]$.

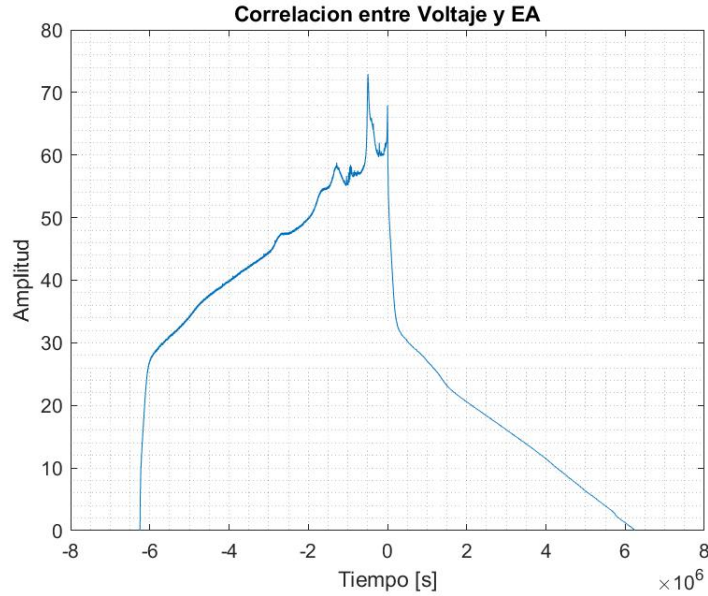


Figura 34: Correlación entre Voltaje y EA en el dominio de la frecuencia

La correlación antes mencionada es simplemente visual por lo que es necesario un método numérico para poder interpretar la similitud existente. Es por ello que se ocupó el coeficiente de correlación muestral de Pearson [51]. En términos matemáticos el este coeficiente de correlación r_{XY} esta dado por la siguiente ecuación:

$$r_{XY} = \frac{\sum (X - \bar{X})(Y - \bar{Y})}{[\sum (X - \bar{X})^2 \sum (Y - \bar{Y})^2]^{1/2}} = \frac{S_{XY}}{\sqrt{S_{XX}S_{YY}}} \quad (3)$$

En la ecuación 3, las barras encima de los vectores de datos X y Y indican medias muestrales de X y Y , mientras que $S_{XX}S_{XX}, S_{YY}S_{YY}$ y $S_{XY}S_{XY}$ corresponden a las sumas de cuadrados corregidas para X, Y y el producto cruzado XY .

Cuando el coeficiente r tiende a 1, esto indicará, que las variables poseen una alta similitud en el espacio. Situación similar se encuentra presente cuando es igual a -1, e indicará que las variables, siguen mostrando una gran proximidad, pero en distintas direcciones. Ahora bien, cuando es 0, esto significará que las variables son ortogonales, y que, en efecto, no están relacionadas linealmente.

Según el autor [51] obtenemos el rango del coeficiente de correlación para su correcta interpretación como muestra la Tabla 35.

<i>Rango de valores</i> r_{XY}	<i>Interpretación</i>
$0.00 < r_{XY} > 0.10$	Correlación nula
$0.10 < r_{XY} > 0.30$	Correlación débil
$0.30 < r_{XY} > 0.50$	Correlación moderada
$0.50 < r_{XY} > 1.00$	Correlación fuerte

Figura 35: Interpretación de la magnitud del coeficiente de correlación de Pearson

Aplicando el comando `corr2` obtenemos un índice de correlación de **0.0410** en el análisis de la figura 34, el resultado de esto da una correlación nula aun frente a que la grafica indicaba gran coincidencia por ello realizamos un Filtro pasabanda como recomienda el autor [30] para filtrar las altas frecuencias obteniendo la grafica de correlación representada en la Figura 36 y presentando un coeficiente de correlación de **0.4445**.

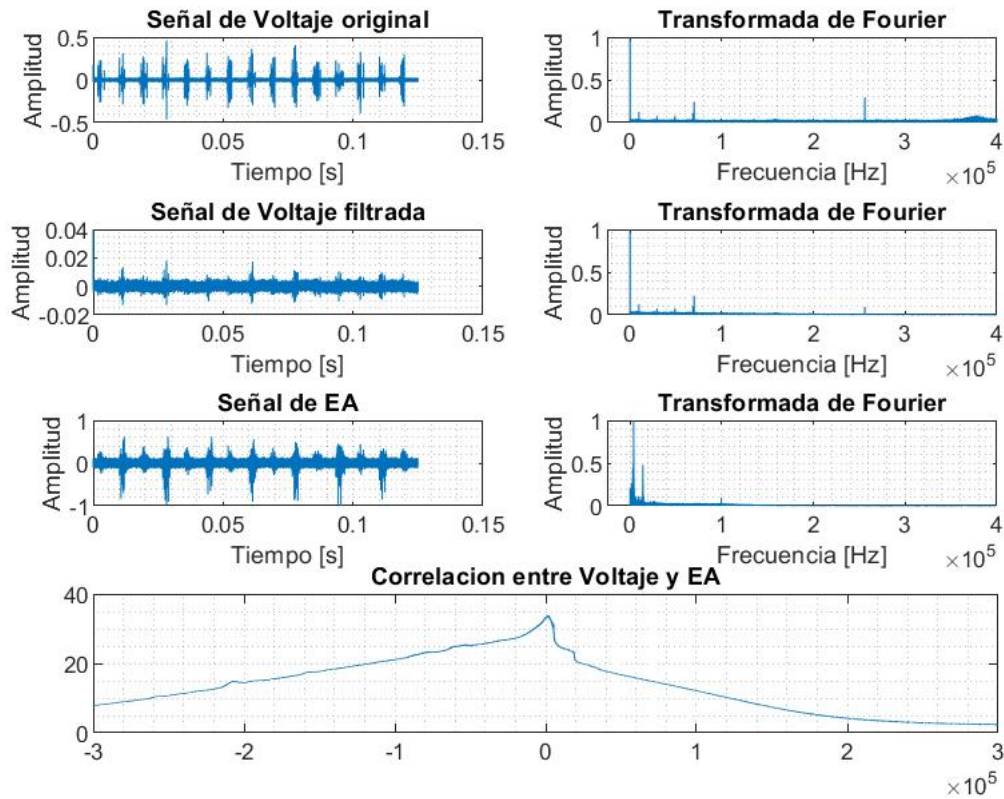


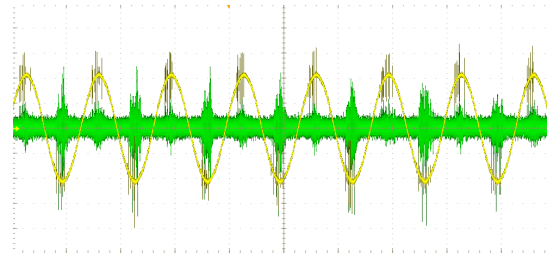
Figura 36: Correlación entre Voltaje filtrado y EA en el dominio de la frecuencia

7. Resultados

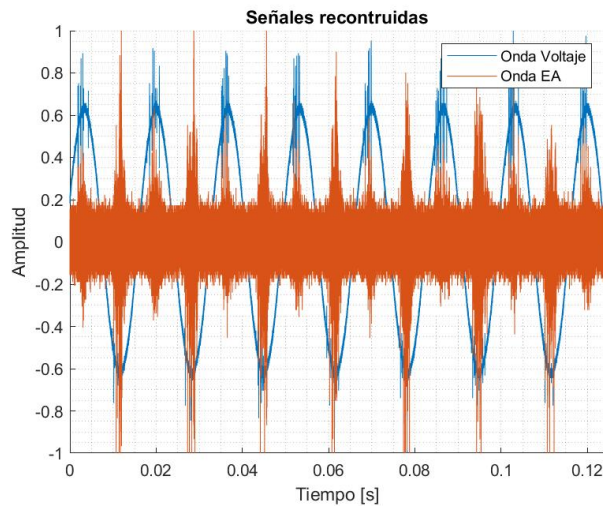
El proyecto técnico con enfoque investigativo con la metodología antes presentada en el apartado 6 pretende la identificación de las descargas parciales en aisladores dando como resultado lo siguiente:

7.1. Identificación de descargas parciales mediante las emisiones acústicas de

Para comenzar con el análisis de los resultados primero se obtuvo la identificación visual de las descargas parciales en sincronización de las emisiones acústicas como se vio en la sección 6.3.3 directamente de la gráfica del osciloscopio además de la gráfica reconstruida en la reconstrucción de los datos en la sección 6.4.1.



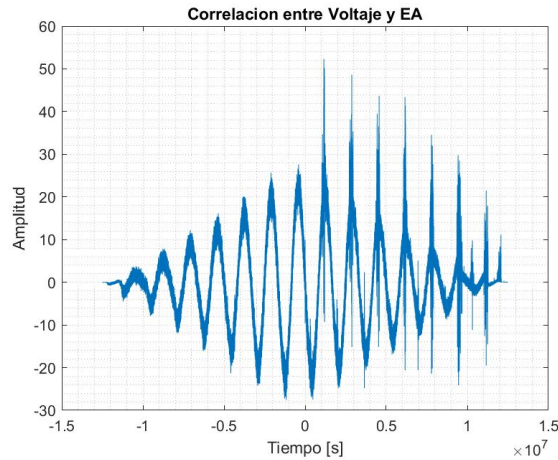
(a) Grafica obtenida



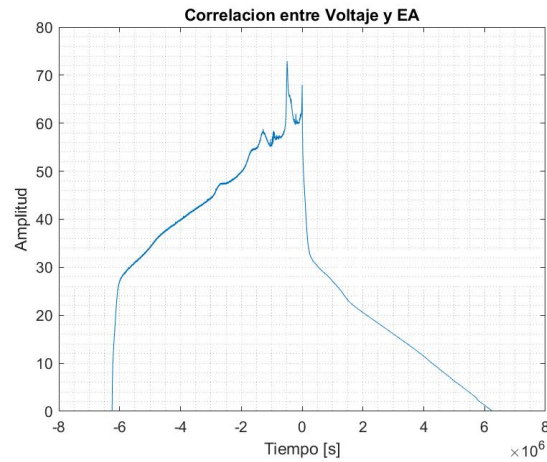
(b) Grafica Reconstruida

Figura 37: Graficas obtenidas de la detección de Descargas Parciales mediante las EA

En la figura 37 se puede observar la concordancia de la señal de EA y la de voltaje dando una relación visual entre las 2. Para corroborar esta relación se procedió con la correlación de las mismas dando como resultado lo visto en la sección 6.4.4.



(a) Grafica de la correlación dominio del tiempo



(b) Grafica Reconstruida

Figura 38: Grafica de la correlación dominio de la frecuencia

La grafica a de la Figura 38 indica una correlación difusa debido a anomalías en las señales por ende se realizo la grafica b para ver la correlación de las mismas en el dominio de la frecuencia dando como resultado un grafica más concisa de la relación.

7.2. Determinación de la eficacia del método

Como se trató en la sección 6.4.4 aplicando la ecuación 3 para obtener del coeficiente de correlación de las 2 graficas presentadas en la Figura 38, se obtuvo un coeficiente de 0.0410 sin aplicar un filtro a la señal de voltaje y 0.4445 filtrando dicha onda dando como resultado una correlación moderada según la tabla 35.

El resultado obtenido fue recopilado al usar los 12.5 millones de datos es decir 7ciclos, para visualizar de una manera más optima, la totalidad de los datos se los dividió numero de ciclos dando los siguientes coeficientes:

Tabla 3: Coeficientes de correlación obtenidos

<i>Cantidad de datos</i>	<i>Coefficiente de correlación sin filtro</i>	<i>Coefficiente de correlación con filtro</i>	<i>Número de ciclos</i>
12.5 millones	0.0410	0.4445	7
6.25 millones	0.0705	0.4713	3
2.5 millones	0.1478	0.5796	2
1.785 millones	0.1803	0.5839	1.5

Como se observa en la tabla 3 al disminuir la cantidad de datos obtenemos un aumento considerable del valor del coeficiente de correlación por ello se obtuvo los índices de los diferentes ciclos de la gráfica presentados en la tabla 4.

Tabla 4: Coeficientes de correlación por Ciclos

<i>Cantidad de datos</i>	<i>Coefficiente de correlación sin filtro</i>	<i>Coefficiente de correlación con filtro</i>
1 : $2.25e^6$	0.1560	0.5793
$2.25e^6$: $4.25e^6$	0.3243	0.6165
$4.25e^6$: $6.25e^6$	0.2717	0.5285
$6.25e^6$: $8.25e^6$	0.4379	0.6137
$8.25e^6$: $10.25e^6$	-0.0042	0.3609
$10.25e^6$: $12.25e^6$	0.4710	0.6609
Promedio		0.5599

Con lo expuesto en la tabla 4 podemos corroborar que al analizar nuestras señales por ciclos el índice de correlación aumenta dando como resultado una correlación Fuerte validando el método propuesto.

8. Cronograma

Actividad	Semana															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Gestión para obtener sensores de EA	x															
Gestión para obtener aisladores tipo Pin 55-5	x															
Gestión para obtener perfiles cuadrados aislantes	x															
Gestión para el uso de los laboratorios de la universidad	x															
Elaboración del sistema de soporte para el aislador tipo Pin 55-5		x														
Diseño y elaboración de soporte para el sensor de EA		x														
Obtención de datos experimentales de voltaje			x													
Obtención de datos experimentales de EA					x											
Reconstrucción de graficas experimentales							x	x								
Análisis de los datos experimentales								x	x	x						
Comparación de los datos de voltaje y EA											x	x	x			
Obtención de conclusiones														x	x	x

9. Presupuesto

9.1. Recursos Humanos

Tabla 5: Desgloce de presupuesto de recursos Humanos.

Descripción	Cantidad	Valor (USD)	Total (USD)
Autores	1	\$250	\$250
Tutor del proyecto: Ing. Flavio Quizhpi	1	\$250	\$250
Total			\$500

9.2. Recursos Físicos

Descripción	Cantidad	Valor (USD)	Total (USD)
Aislador Tipo Pin 55-5	4	\$8.9	\$35.6
Perfil Rectangular Aislado	2	\$20	\$40
Impresión 3D	1	\$30	\$30
Pegamento Hipóxico	5	\$9	\$45
Papel de Aluminio	2	\$2	\$4
Juego de Tornillos y Tuercas Plásticas	1	\$9	\$9
Total			\$163.6

9.3. Recursos Económicos

Tabla 6: Desgloce de presupuesto de recursos Económicos.

Descripción	Cantidad	Valor (USD)	Total (USD)
Internet	1	\$30	\$30
Energía Eléctrica	1	\$20	\$20
Impresiones	1	\$50	\$50
Transporte	1	\$20	\$20
Total			\$120

9.4. Presupuesto General

Tabla 7: Desgloce de presupuesto General.

Descripción	Total (USD)
Recursos Humanos	\$500
Recursos Físicos	\$163.60
Recursos Económicos	\$120
Total	\$783.6

10. Conclusiones

El método de las Emisiones Acústicas ha demostrado ser un método válido, útil y más económico para detectar descargas parciales. El objeto de este trabajo era validar la metodología propuesta basada en la señal EA para detectar Descargas Parciales en especímenes de prueba que en el caso de este proyecto fue un Aislador Tipo Pin 55-5. Se ha podido cumplir el objetivo general, si bien el índice de correlación no es cercano a 1 para tener las señales perfectamente correlacionadas frente a la eléctrica sin embargo se logró obtener una correlación moderada demostrando que la metodología basada en EA es un método eficaz para detectar DP, permitiendo así ahorrar tiempo y dinero y mejorar el rendimiento de los elementos aislantes en los sistemas de distribución de alta y media tensión.

Con el coeficiente de correlación de Pearson aplicado en un análisis por ciclos de señal original se logró obtener un mejor rendimiento no solo del algoritmo sino también entregándonos una correlación fuerte. Es por ello que se concluye que el análisis de DP basado en EA debe ser aplicado con una menor cantidad de datos o en su defecto ser aplicado y analizado en tramos de la señal de ingreso.

11. Recomendaciones

- Se recomienda que antes de proceder con el método de Emisiones Acústicas se debe corroborar que el espécimen de pruebas funcione de una manera adecuada, es decir cumpla con los valores nominales de tensión sin presentar Descargas Parciales con el fin de evitar interrupciones eléctricas antes de lo esperado.

- Sistematizar y optimizar el montaje de los elementos eléctricos, con el fin de eliminar tiempo muerto de la ejecución de las pruebas eléctricas.
- Optimizar el tiempo de cada muestra de señales para obtener menor cantidad de ciclos a estudiar debido a que la metodología propuesta funciona de una mejor manera con menor cantidad de datos al momento de la correlación de las 2 señales de entrada.

12. Trabajos futuros

El Proyecto Técnico con Enfoque Investigativo presentado deja una línea de investigación abierta basada en las Emisiones Acústicas para analizar Descargas Parciales.

- Se podría establecer una base de datos usando la misma metodología propuesta en este proyecto técnico para realizar el sistema de monitorización a diferentes elementos de alta tensión ya que la metodología planteada fue para corroborar el método.
- Implementar el sistema de medición de EA en los elementos de alta tensión implementado con inteligencia artificial para alertar al usuario en tiempo real cuando un elemento supere un nivel de descargas parciales preestablecido.
- Caracterizar la onda de emisión acústica para identificar diferentes tipos de Descargas Parciales en los Elementos de Alta Tensión.

Referencias

- [1] E. Pacheco, “Adquisición de señales de vibración y Emisión Acústica para el diagnóstico de severidad de fallos en maquinaria rotativa,” Ph.D. dissertation, Universidad Politécnica Salesiana, May 2018.
- [2] W. Sikorski, *acoustic emission*. InTech, 2012, ch. 3, pp. 50–59.
- [3] B. S. Tapia Cárdenas and D. G. Criollo Tacuri, “Aplicación de ensayos disruptivos para la determinación del BIL a través de esferas espinterométricas en el Laboratorio de Alta Tensión de la Universidad Politécnica Salesiana,” Ph.D. dissertation, Universidad Politécnica Salesiana, 2018. [Online]. Available: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/16251>
- [4] S. Yang, J. Guo, J. Zhao, and H. Wang, “Study on detecting system of crop disease stress with acoustic emission technology,” in *2009 Symposium on Piezoelectricity, Acoustic Waves, and Device Applications (SPAWDA 2009)*, 2009, pp. 26–26.
- [5] J. Serrano, “Monitorización de la Actividad de Descargas Parciales en Sistemas Aislantes Papel-Aceite mediante la Detección y Análisis de sus Emisiones Acústicas,” Ph.D. dissertation, Universidad Carlos III de Madrid, september 2017.
- [6] “Guide for Electrical Partial Discharge Measurements in compliance to IEC 60270 — Graz University of Technology.” [Online]. Available: <https://graz.pure.elsevier.com/en/publications/guide-for-electrical-partial-discharge-measurements-in-compliance>
- [7] C.-C. Su, C.-C. Tai, C.-Y. Chen, J.-C. Hsieh, and J.-F. Chen, “Partial discharge detection using acoustic emission method for a waveguide functional high-voltage cast-resin dry-type transformer,” in *2008 International Conference on Condition Monitoring and Diagnosis*. IEEE, 2008.
- [8] S. Karmakar and H. Kalathiripi, “Study of partial discharge activity in oil filled needle-plane electrode using acoustic emission technique and its effect on dielectric liquid,” in *2017 IEEE 19th International Conference on Dielectric Liquids (ICDL)*. IEEE, jun 2017.
- [9] C.-T. P and G.-P. A, “Online monitoring of accessories for underground electrical installations through acoustics emissions,” *Ingeniería Investigación y Tecnología*. Vol. XIII, 2012.

- [10] B. Álvarez Nasrallah, J. E. Candelo-Becerra, J. D. Soto-Ortiz, J. Pombo-Acevedo, and O. Díaz-Aparicio, “Correlation analysis between ceramic insulator pollution and acoustic emissions,” *Tecno Lógicas*, vol. 18, 2015.
- [11] C. M. Pei, N. Q. Shu, L. Li, Z. P. Li, and H. Peng, “On-line monitoring of insulator contamination causing flashover based on acoustic emission,” in *2008 Third International Conference on Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies*. IEEE, apr 2008.
- [12] J. C. P. Acevedo and O. J. D. Aparicio, “Sistema de detección y pronóstico de la contaminación presente en aisladores de altatensión de la subestación nueva barranquilla,” *Congreso Internacional de Mantenimiento y Gestión de Activos*, vol. 21, 2019.
- [13] C. M. Pei, N. Q. Shu, L. Li, D. Wang, and Z. P. Li, “An acoustic emission method for on-linemonitoring the contamination-causing flashoverof insulator,” in *2008 International Conference on Electrical Machines and Systems*, 2008.
- [14] P. Kundu, N. K. Kishore, and A. K. Sinha, “Frequency dependent propagation characteristics of partial discharge acoustic emission signal,” in *2013 IEEE 1st International Conference on Condition Assessment Techniques in Electrical Systems (CATCON)*. IEEE, dec 2013.
- [15] P. D. Bastidas and S. M. Rowland, “Interfacial aging in composite insulators as a result of partial discharge activity,” in *2017 IEEE Electrical Insulation Conference (EIC)*, 2017, pp. 13–16.
- [16] E. Briosso, “Acciones realizadas en equipos con diagnóstico de descargas parciales. experiencia de salto grande [not available in english],” in *2018 IEEE 9th Power, Instrumentation and Measurement Meeting (EPIM)*, 2018, pp. i–v.
- [17] G. Villa, “Feasibility of the modernization and upgrade of the electrical high voltage substations,” in *2006 IEEE/PES Transmission Distribution Conference and Exposition: Latin America*, 2006, pp. 1–5.
- [18] H. Karner and M. Ieda, “Technical aspects of interfacial phenomena in solid insulating systems,” in *[1991] Proceedings of the 3rd International Conference on Properties and Applications of Dielectric Materials*, 1991, pp. 592–597 vol.1.

- [19] K. Marimuthu, S. Vynatheya, N. Vasudev, and P. Raja, “Quality analysis of ceramic insulators under electro thermal stresses,” in *2019 International Conference on High Voltage Engineering and Technology (ICHVET)*, 2019, pp. 1–6.
- [20] V. Padma and V. S. Raghavan, “Analysis of insulation degradation in insulators using partial discharge analysis,” in *2011 3rd International Conference on Electronics Computer Technology*, vol. 4, 2011, pp. 110–114.
- [21] “IEC TS 62478:2016 | IEC Webstore.” [Online]. Available: <https://webstore.iec.ch/publication/25740>
- [22] H. T. Sanchez, “bibliotecaups - Aislamientos eléctricos.” [Online]. Available: https://bibliotecas.ups.edu.ec:3488/es/lc/bibliotecaups/titulos/127948?as_all=AISLAMIENTOS__EL{É}CTRICOS__Horacio__Torres-S{á}nchez&as_all_op=unaccent__icontains&prev=as
- [23] J. A. Martínez Velasco, “bibliotecaups - Coordinación de aislamiento en redes eléctricas de alta tensión.” [Online]. Available: https://bibliotecas.ups.edu.ec:3488/es/lc/bibliotecaups/titulos/50266?fs_q=VONBEEREN
- [24] I. E. COMMISSION, “IEC 60243-1:2013 Electric strength of insulating materials - Test methods - Part 1: Tests at power frequencies,” p. 58, 2013. [Online]. Available: <https://webstore.iec.ch/publication/1101>
- [25] E. Gockenbach, “High voltage and high current test techniques,” in *2012 IEEE International Conference on Condition Monitoring and Diagnosis*, 2012, pp. 91–94.
- [26] I. E. COMMISSION, “IEC 60243-1:2013 Electric strength of insulating materials - Test methods - Part 1: Tests at power frequencies,” p. 58, 2013. [Online]. Available: <https://webstore.iec.ch/publication/1101>
- [27] E. Lemke, “A critical review of partial-discharge models,” *IEEE Electrical Insulation Magazine*, vol. 28, no. 6, pp. 11–16, nov 2012. [Online]. Available: <http://ieeexplore.ieee.org/document/6340519/>
- [28] A. Krivda, “Automated recognition of partial discharges,” *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, vol. 2, no. 5, pp. 796–821, 1995. [Online]. Available: <http://ieeexplore.ieee.org/document/469976/>

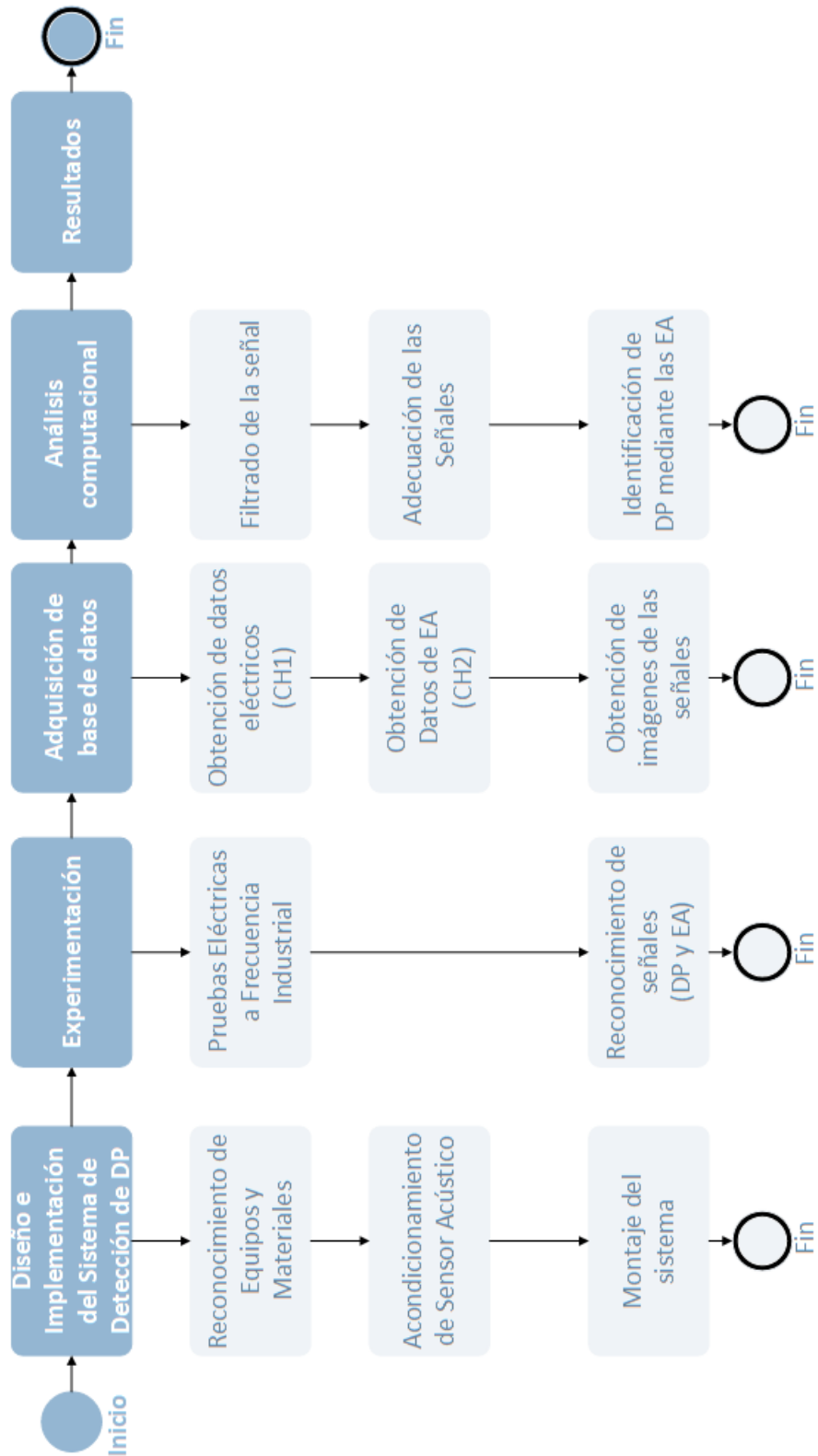
- [29] A. Akbari, P. Werle, M. Akbari, and H. R. Mirzaei, “Challenges in calibration of the measurement of partial discharges at ultrahigh frequencies in power transformers,” *IEEE Electrical Insulation Magazine*, vol. 32, no. 2, pp. 27–34, mar 2016. [Online]. Available: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7414228/>
- [30] F. M. Quizhpi Cuesta and F. X. Gómez Juca, “Determinación de condiciones de fuga, descargas parciales y superficiales en aisladores mediante el análisis de corrientes,” Ph.D. dissertation, Universidad Politécnica Salesiana, 2017. [Online]. Available: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/14404>
- [31] M. F. Saguay Tacuri and R. A. Torres Cuenca, “Análisis de comportamiento de medios dieléctricos ante las altas tensiones eléctricas,” Ph.D. dissertation, Universidad de Cuenca, 2012. [Online]. Available: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/687>
- [32] B. Lozano Avilés, “Diseño de software off-line para el análisis estadístico de descargas parciales,” Ph.D. dissertation, Universidad Carlos III de Madrid, jul 2013. [Online]. Available: <https://e-archivo.uc3m.es/handle/10016/17611><http://hdl.handle.net/10016/17611>
- [33] J. Rubio-Serrano, “Monitorización de la actividad de descargas parciales en sistemas aislantes papel-aceite mediante la detección y análisis de sus emisiones acústicas,” Ph.D. dissertation, Universidad Carlos III de Madrid, sep 2017. [Online]. Available: <https://e-archivo.uc3m.es/handle/10016/25833>
- [34] L. G. Mizquero Zarate and H. J. Arias Armijos, “Determinación de características predominantes de aislamiento a través de ensayos en el laboratorio de alta tensión de la Universidad Politécnica Salesiana para postes de poliéster reforzado con fibra de vidrio (P.R.F.V) pertenecientes a la empresa EQUISP,” Ph.D. dissertation, Universidad Politécnica Salesiana, 2018. [Online]. Available: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/15835>
- [35] “Nondestructive Evaluation Techniques.” [Online]. Available: <https://www.nde-ed.org/NDETechniques/index.xhtml>
- [36] P. Morshuis, “Partial discharge mechanisms: Mechanisms leading to breakdown, analyzed by fast electrical and optical measurements,” 1993. [Online]. Available: <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid%3A5e39ece9-bcb1-40e0-8501-cfb963873a78>

- [37] R. Arora and W. Mosch, “Field Dependent behavior of Air and Other Gaseous Dielectrics,” *High Voltage and Electrical Insulation Engineering*, pp. 69–215, oct 2011.
- [38] “IEC TS 62478:2016 | IEC Webstore.” [Online]. Available: <https://webstore.iec.ch/publication/25740>
- [39] M. Hikita, S. Okabe, H. Murase, and H. Okubo, “Cross-equipment Evaluation of Partial Discharge Measurement and Diagnosis Techniques in Electric Power Apparatus for Transmission and Distribution,” *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, vol. 15, no. 2, pp. 505–518, apr 2008. [Online]. Available: <http://ieeexplore.ieee.org/document/4483471/>
- [40] A. Zaki, H. K. Chai, D. G. Aggelis, and N. Alver, “Non-destructive evaluation for corrosion monitoring in concrete: A review and capability of acoustic emission technique,” *Sensors*, vol. 15, no. 8, pp. 19 069–19 101, 2015. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/1424-8220/15/8/19069>
- [41] A.-M. Zelenyak, M. A. Hamstad, and M. G. R. Sause, “Modeling of Acoustic Emission Signal Propagation in Waveguides,” *Sensors 2015, Vol. 15, Pages 11805-11822*, vol. 15, no. 5, pp. 11 805–11 822, may 2015. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/1424-8220/15/5/11805/htmhttps://www.mdpi.com/1424-8220/15/5/11805>
- [42] R. V. Sánchez Loja and D. en Ingenierías, “Diagnóstico de fallos en cajas de engranajes con base en la fusión de datos de señales de vibración, corriente y emisión acústica,” *instname:Universidad Pontificia Bolivariana*, 2018. [Online]. Available: <https://repository.upb.edu.co/handle/20.500.11912/4020>
- [43] R. CASALS-TORRENS P.; GONZALEZ-PARADA A. y BOSCH-TOUS, *Monitoreo en línea de accesorios de instalaciones eléctricas subterráneas mediante emisiones acústicas.*, ser. Energy Engineering. SciELO - Scientific Electronic Library Online Universidad Nacional Autónoma de México, 2012, pp. 249–256.
- [44] Ching-Chau Su, Cheng-Chi Tai, Chien-Yi Chen, Ju-Chu Hsieh, and Jiann-Fuh Chen, “Partial discharge detection using acoustic emission method for a waveguide functional high-voltage cast-resin dry-type transformer,” in *2008 International Conference on Condition Monitoring and Diagnosis*. IEEE, 2008, pp. 517–520. [Online]. Available: <http://ieeexplore.ieee.org/document/4580339/>

- [45] IEEE STANDARDS ASSOCIATION, “Ieee standard for high-voltage testing techniques - redline,” *IEEE Std 4-2013 (Revision of IEEE Std 4-1995) - Redline*, pp. 1–500, 2013.
- [46] J. Alvarado Reyes and C. Stern Forgach, “Un complemento al teorema de Nyquist,” *Revista mexicana de física E*, vol. 56, pp. 165 – 171, 12 2010. [Online]. Available: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-35422010000200002&nrm=iso
- [47] P. Zahradnik and M. Vlcek, “Perfect decomposition narrow-band fir filter banks,” *IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs*, vol. 59, no. 11, pp. 805–809, 2012.
- [48] H. Zhao, S. Hu, L. Li, and X. Wan, “Nlms adaptive fir filter design method,” in *2013 IEEE International Conference of IEEE Region 10 (TENCON 2013)*, 2013, pp. 1–5.
- [49] H.-R. Ahn and S. Nam, “Design method for butter–cheby bandpass filters with even number of resonators,” *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 60, no. 6, pp. 1549–1559, 2012.
- [50] S. Rathor and R. S. Jadon, “Text independent speaker recognition using wavelet cepstral coefficient and butter worth filter,” in *2017 8th International Conference on Computing, Communication and Networking Technologies (ICCCNT)*, 2017, pp. 1–5.
- [51] J. D. Hernández, “Sobre el uso adecuado del coeficiente de correlación de pearson: definición, propiedades y suposiciones on the proper use of the pearson correlation coefficient: definitions, properties and assumptions,” *AVFT*, vol. 37, 2018. [Online]. Available: <https://orcid.org/0000-0003->

ANEXOS

Metodología Esquemmatizada Propuesta



**Plan experimental laboratorio de
vibraciones Universidad Politécnica
Salesiana**

	PLAN EXPERIMENTAL	Code: EP_012V01
	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA Research and development group in industrial technologies	Version: 1.0
	Laboratory of mechanical vibrations	Page 1 de 9

1. INFORMACIÓN GENERAL

Table 1.información general del plan experimental

Información General	
Título del plan experimental:	Evaluación de descargas parciales en aisladores tipo pin (Ansi 52.1) mediante señales AE.
Número del plan experimental:	EP_012V01
Director:	Ing. Flavio Alfredo Quizhpi Palomeque
Investigador:	Autores
Asistentes eléctricos:	Ing. Mauricio Villacís
Fecha de inicio:	11/10/21
Fecha de finalización:	15/10/21
Ubicación:	Laboratorio de Alta Tensión de la Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Azuay, Ecuador.

2. DESCRIPCIÓN

El presente Proyecto Técnico con Enfoque Investigativo tiene como objetivo detectar descargas parciales eléctricas dentro de aisladores cerámicos tipo PIN 55-5 mediante la detección de señales de emisiones acústicas. Para la obtención de la base de datos se ocupará un sensor acústico en conjunto con un osciloscopio para obtener los datos de las señales eléctricas y acústicas.

Las señales obtenidas serán tratadas computacionalmente para contrastar y reflejar si existen descargas parciales internas dentro del aislador. El experimento se realizó en un aislador Clase (ANSI C29,5) 55 -5 de 32KV para evaluar mediante AE su punto de interrupción eléctrica y como consecuencia el producto de descargas parciales.



Report Information	Elaborated		Revised	Approved
Member(s)	Autores		Eng. Vinicio Sánchez, Ph.D.	Eng. Vinicio Sánchez, Ph.D.
Date	07/10/2021		17/12/2018	-/12/2018

Figure 1. Configuration of the elements for BIL tests and high voltage industrial discharges

Número	Descripción
1	Copa de conexión a tierra HV-9110
2	Condensador de carga HV9141
3	Varilla de conexión HV 9108
4	Transformador de potencia HV 9105
5	Resistencia de carga HV9121 de 10 MΩ
6	Varilla de aislamiento HV9124
7	Aislador tipo pin 56-1
8	Copa de conexión HV9109

Table 2. Specification of the electrical and mechanical equipment used in the experiment.

Especificación de los equipos eléctricos y mecánicos

HV9109 Connecting Cup, Aluminium

Technical data

Dimension: Φ 157xh86mm
Weight 2.2 kg

Application:

Conductive Element: Four elements can be inserted in horizontal position and two in vertical position.



HV9110 Floor Pedestal, Aluminium

Technical data

Dimension: 200x200x80mm
Weight 2 kg

Application:

Conductive Element: Four mounting up to four spacer bars horizontally and supporting one component vertically.



HV9124 Insulating Rod

Technical data

AC voltage: 100 kV
DC and impulse voltage : 140 kV 2 kg
Length/ Height: 743mm
Weight: 1.5

Application:

Insulating component



HV9108 Connecting Rod, Aluminium



Report Information	Elaborated		Revised	
Member(s)	Autores		Eng. Vinicio Sánchez, Ph.D.	Eng. Vinicio Sánchez, Ph.D.
Date	07/10/2021		17/12/2018	-/12/2018

	PLAN EXPERIMENTAL		Code: EP_012V01
	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA		Version: 1.0
	Research and development group in industrial technologies Laboratory of mechanical vibrations		Page 3 de 9

Technical data

Length: 743mm
Weight: 1 kg

Application:

Conductive connection element.

HV9141 Measuring Capacitor

Technical data

AC voltages: 100 kV
Capacitance : 100 pF
Length/ Height: 743mm
Weight: 9 kg

Application:

Hight voltage divider capacitor for measurement of AC voltages.



HV9121 Charging Resistor

Technical data

Impulse voltage: 140 kV
Resistance: 10 MΩ
Length/ Height: 743mm
Weight: 5 kg

Application:

Charging resistor for multistage impulse voltage test equipment and current limiting resistor in DC voltage generation.



HV9105 Test transformer

Technical data

Number of phases: Single
Frequency: 50/60 Hz
Rated voltage: 100kV
Rated capacity: 10kVA
Rated current: 0.1 A
Short circuit impedance: ≤10%
PD under rated voltage: ≤5 pC



2.1 Sensor Acústico

El R15a es un sensor resonante de banda estrecha con una alta sensibilidad. La cavidad del sensor está mecanizada a partir de una varilla sólida de acero inoxidable, lo que hace que el sensor sea extremadamente resistente y confiable, así como se observa en el la Figure 3.

Report Information	Elaborated		Revised	Approved
Member(s)	Autores		Eng. Vinicio Sánchez, Ph.D.	Eng. Vinicio Sánchez, Ph.D.
Date	07/10/2021		17/12/2018	-/12/2018

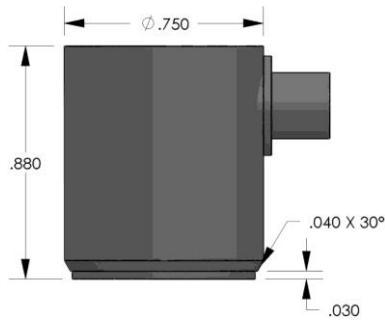



Figure 2. Medidas del Sensor Acústico.

Table 3. Main technical data of each sensor model.

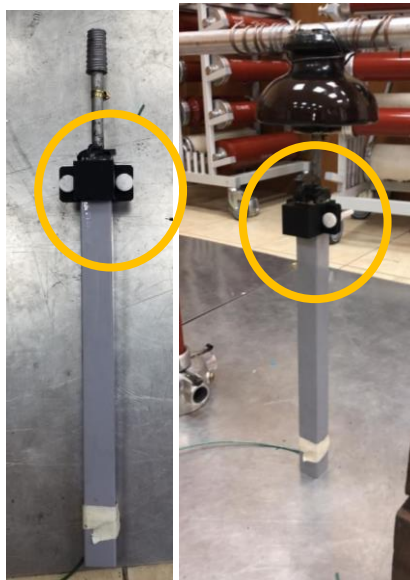
Sensor	Brand	Peak sensitivity V/(m/s)	Operating frequency range	Resonant frequency V/(m/s)	Connector	Figure
R15 Alpha	Physical Acoustics	80dB	50-400 kHz	75 kHz	SMA	

3. CONFIGURACIÓN

3.1 Locación del sensor

Figure 9 muestra el esquema de la configuración de los sensores en el aislador cerámico tipo pin 55-5, el sensor será acoplado en una carcasa plástica aislante para la seguridad del equipo.

Figure 3. Montaje experimental esquemático.



Report Information	Elaborated		Revised		Approved	
Member(s)	Autores		Eng. Vinicio Sánchez, Ph.D.		Eng. Vinicio Sánchez, Ph.D.	
Date	07/10/2021		17/12/2018		-/12/2018	

3.2 Configuración de preamplificadores de los sensores AE

La ganancia de los preamplificadores se puede cambiar entre 20, 40 y 60 dB. Las descargas parciales fueron identificadas con una amplificación de 60 dB de ganancia.

3.2.1 Especificación de preamplificadores de los sensores AE

Table 4. data of preamplifiers of the AE sensors.

Internal code	Brand	Model	Serial Number	Filter	Power supply	Units of signal stored
PA1	MISTRAS	2/4/6 C	24715101118	20 – 1200 kHz	28 VDC / 0.2 A V	



Figure 4. Medidas del Sensor Acústico.

3.3 Channels directions

Table 5 details the characteristics of the channels of each sensor.

Report Information	Elaborated		Revised	Approved
Member(s)	Autores		Eng. Vinicio Sánchez, Ph.D.	Eng. Vinicio Sánchez, Ph.D.
Date	07/10/2021		17/12/2018	-/12/2018

	PLAN EXPERIMENTAL	Code: EP_012V01
	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA	Version: 1.0
	Research and development group in industrial technologies Laboratory of mechanical vibrations	Page 6 de 9

Table 2. Characteristics channels

Internal code	Sensor / Position	Channel Direction (Raw data)	Channel Direction	Brand	Model	Serial Number	Range	Sampling Frequency (kS/s)	Units of signal stored
AE1	AE sensor 1 / 1S_IVb Vertical*	data.Analog1M.TDMS Analog1MAE0	Data.Analog1M(1;)	Physical Acoustics	R15 ALPHA	SN-DH52	50 – 400kHz	1000	V

Report Information	Elaborated		Revised	Approved
Member(s)	Autores		Eng. Vinicio Sánchez, Ph.D.	Eng. Vinicio Sánchez, Ph.D.
Date	07/10/2021		17/12/2018	-/12/2018

	PLAN EXPERIMENTAL		Code: EP_012V01
	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA Research and development group in industrial technologies		Version: 1.0
	Laboratory of mechanical vibrations		Page 7 de 9

4. RECOLECCIÓN DE SEÑALES

- 1) Longitud de cada muestra: 10 seg

*Nota: el tiempo de la muestra se refleja en 100000 datos.

- 2) Repetición de las pruebas
 - 10 veces por cada prueba a nivel de tensión inferior a la nominal (P1, P2, P3, ... P10)
 - 10 veces por cada prueba a nivel de tensión nominal (P1, P2, P3, ... P10)
 - 10 veces por cada prueba a nivel de tensión superior a la nominal (P1, P2, P3, ... P10)

*Nota: Los niveles de tensión, están basados en la tensión nominal a la que el aislador trabaja, siendo:

tensión inferior a la nominal: 10 kV.

tensión nominal: 15 kV.

tensión superior a la nominal: 20/25 kV.

5. CONDICIONES DE OPERACIÓN

Para garantizar una buena repetibilidad y reproducibilidad de la adquisición de datos se deben verificar las condiciones ambientales del laboratorio donde se realizan los experimentos. La verificación de estos datos debe realizarse durante la prueba para posteriormente normalizar los datos de voltaje de acuerdo a las condiciones ambientales durante la prueba. Los valores de los parámetros ambientales referenciales dentro de la ciudad de Cuenca se presentan en la Tabla 6.

Table 3. Valores de los parámetros ambientales.

Parámetros	Unidad	Rango	Valor	Observaciones
Temperatura ambiente	°C	Min.	14	
		Max.	24	
Humedad relativa	%	Min.	42%	
		Max.	60%	

6. BASE DE DATOS

6.1 Codificación de la toma de datos

Cada nivel de tensión que a las que se realiza las pruebas será codificado como se muestra a continuación, este código muestra la configuración de la toma de datos según el nivel de tensión a la cual será aplicado el aislador.

T#_P#

Donde:

Report Information	Elaborated		Revised	Approved
Member(s)	Autores		Eng. Vinicio Sánchez, Ph.D.	Eng. Vinicio Sánchez, Ph.D.
Date	07/10/2021		17/12/2018	-/12/2018

	PLAN EXPERIMENTAL		Code: EP_012V01
	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA Research and development group in industrial technologies Laboratory of mechanical vibrations		Version: 1.0
			Page 8 de 9

T#: Tensión de la prueba (Baja, Nominal, Alta)

P#: Numero de prueba


Report Information	Elaborated		Revised	Approved
Member(s)	Autores		Eng. Vinicio Sánchez, Ph.D.	Eng. Vinicio Sánchez, Ph.D.
Date	07/10/2021		17/12/2018	-/12/2018

	PLAN EXPERIMENTAL	Code: EP_012V01
	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA Research and development group in industrial technologies	Version: 1.0
	Laboratory of mechanical vibrations	Page 9 de 9

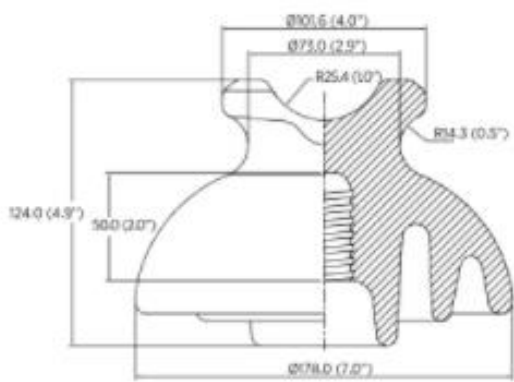
7. ANEXOS

7.1 Aislador tipo PIN 55-5

Figure 5. 55-5 pin type insulator data sheet.



Low - medium voltage pin insulators



8214-8216

NÚMERO DE CATÁLOGO	8214	8216
Clase ANSI C29.5	55-5	55-5
DISTANCIAS CRÍTICAS, mm		
Distancia de arco	159	159
Distancia de fuga	305	305
Altura mínima del espigo	152	152
VALORES MECÁNICOS		
Resistencia al cantilever, kN	13,4	13,4
VALORES ELÉCTRICOS, kV		
Voltaje típico de aplicación	15	15
Flameo de baja frecuencia en seco	85	80
Flameo de baja frecuencia en húmedo	45	45
Flameo crítico al impulso positivo	140	130
Flameo crítico al impulso negativo	170	150
Voltaje de perforación a baja frecuencia	115	115
RADIO INFLUENCIA		
Esmalte RF	NO	SI
Voltaje de prueba RMS a tierra, kV	15	15
RIV máximo a 1.000 kHz, µV	8.000	100
DATOS DE EMPAQUE		
Peso neto por unidad, kg	2,76	2,76

CATALOG NUMBER	8214	8216
ANSI Class C29.5	55-5	55-5
CRITICAL DISTANCE, mm		
Dry arcing distance	159	159
Leakage distance	305	305
Minimum pin height	152	152
MECHANICAL VALUES		
Cantilever strength, kN	13,4	13,4
ELECTRICAL VALUES, kV		
Typical application voltage	15	15
Low-frequency dry flashover	85	80
Low-frequency wet flashover	45	45
Critical impulse flashover, positive	140	130
Critical impulse flashover, negative	170	150
Low-frequency puncture voltage	115	115
RADIO INFLUENCE VOLTAGE DATA		
Conductive glaze	NO	SI
Low-frequency test voltage, RMS to ground	15	15
Maximum RIV at 1.000 kHz, µV	8.000	100
PACKING DATA		
Net weight, kg	2,76	2,76

Nota 1: Dimensiones en mm (pulgadas).

Nota 2: Esmalte café o esmalte gris ANSI 70.

Note 1: Dimensions in mm (in).

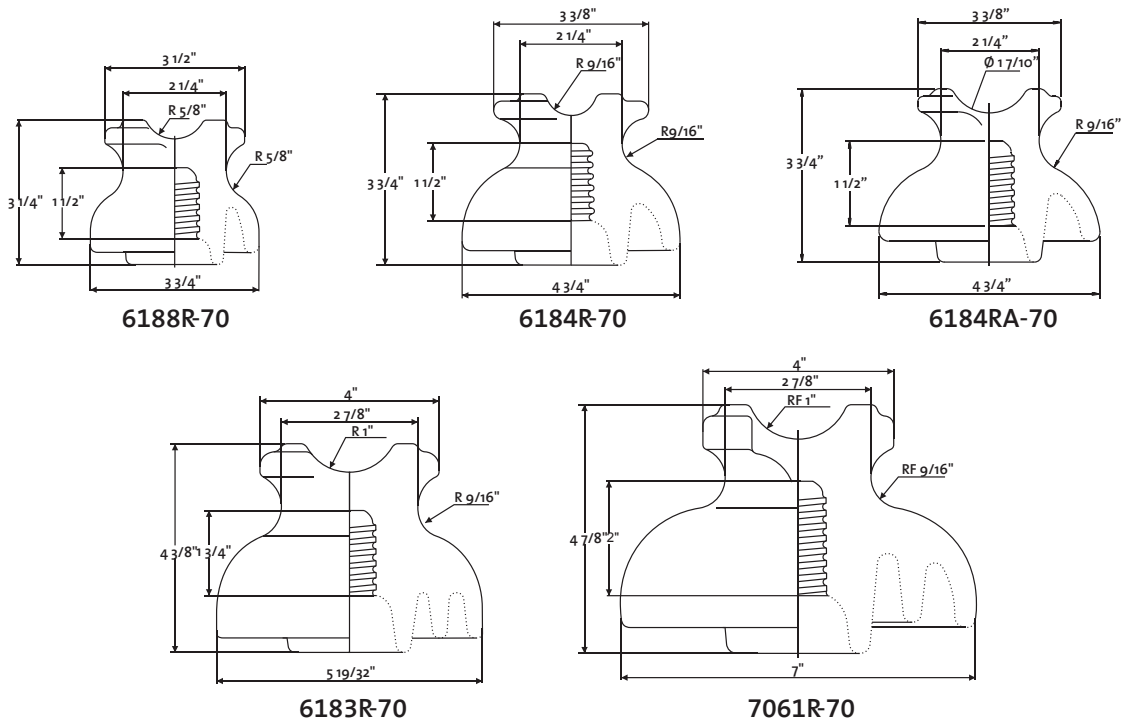
Note 2: ANSI 70 gray is standard. Brown available by request.

Report Information	Elaborated		Revised	Approved
Member(s)	Autores		Eng. Vinicio Sánchez, Ph.D.	Eng. Vinicio Sánchez, Ph.D.
Date	07/10/2021		17/12/2018	-/12/2018

Hoja de datos Aislador Tipo Pin 55-5



Low - medium voltage Pin Insulators



CATALOG NUMBER	6188R-70	6184R-70	6184RA-70	6183R-70	7061R-70
ANSI CLASS (C29.5-1984 rev. 2002)	55-2	55-3	55-3	55-4	55-5
CRITICAL DISTANCES, inches					
Dry arcing distance	3 3/8	4 1/2	4 1/2	5	6 1/4
Leakage distance	5	7	7	9	12
Minimum pin height	4	5	5	5	6
MECHANICAL VALUES, pounds					
Cantilever strength	2500	2500	2500	3000	3000
ELECTRICAL VALUES, kV					
Typical application voltage	7.2	11.5	11.5	13.2	15
Low-frequency dry flashover	45	55	55	65	80
Low-frequency wet flashover	25	30	30	35	45
Critical impulse flashover, positive	70	90	90	105	130
Critical impulse flashover, negative	85	110	110	130	150
Low-frequency puncture voltage	70	90	90	95	115
RADIO INFLUENCIA VOLTAGE DATA					
Low-frequency test voltage, RMS to ground, kV	5	10	10	10	15
Maximum RIV at 1000 kHz, μ V	50	50	50	50	100

Note 1: ANSI 70 gray is standard. Brown or white available by request

Note 2: Conductive Glaze - applied to head, side wire grooves and pin hole for one-piece units

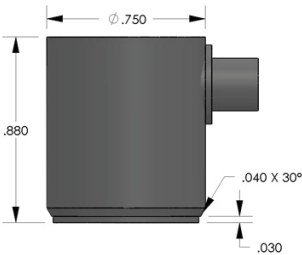
Note 3: Neck Sizes - "C" & "F" according to industry standards

Note 4: Pin Hole Sizes - Standard 1" to 15 kV and ref. 320275R-70, 1 3/8" for the rest of 23 kV & 35 kV units

Hoja de datos Sensor Acústicos

PRODUCT DATA SHEET

R15α Sensor
General Purpose Sensor



DESCRIPTION AND FEATURES

The R15α is a narrow band resonant sensor with a high sensitivity. The sensor cavity is machined from a solid stainless steel rod, making the sensor extremely rugged and reliable. The ceramic face along with a 30 degree chamfer to cavity electrically isolates the sensor cavity from the structure under test assuring a low noise operation.

The compact size of the sensor makes it readily suitable for deploying in tight spaces for monitoring. The Alpha series family of sensors features an SMA connector versus the Microdot connectors found on MISTRAS' RXX series of sensors. The alpha series includes R3α, R6α, R15α, R30α, R50α, R80α and WSα sensors.

APPLICATIONS

This general purpose sensor provides a good combination of high sensitivity and low-frequency rejection. These properties make the sensor very useful for monitoring common structures such as pipelines, vessels, bridges, and storage tanks in petroleum, refineries, chemical plants, offshore platforms, as well as factory and process monitoring applications.

OPERATING SPECIFICATIONS

Dynamic

Peak Sensitivity, Ref V/(m/s) 80 dB
 Peak Sensitivity, Ref V/μbar -63 dB
 Operating Frequency Range 50-400 kHz
 Resonant Frequency, Ref V/(m/s) 75 kHz
 Resonant Frequency, Ref V/μbar 150 kHz
 Directionality +/-1.5 dB

Environmental

Temperature Range -65 to 175°C
 Shock Limit 500 g
 Completely enclosed crystal for RFI/EMI immunity

Physical

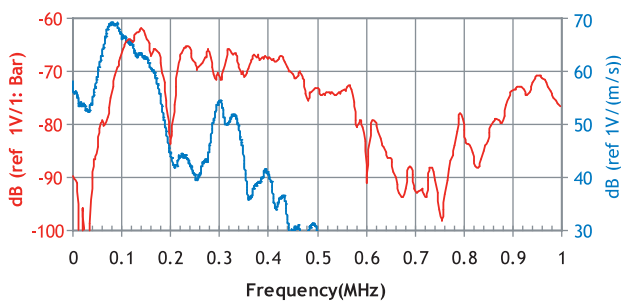
Dimensions 0.75"OD X 0.88"H
 19 mm OD X 22.4 mm H
 Weight 34 grams
 Case Material Stainless steel
 Face Material Ceramic
 Connector SMA
 Connector Locations Side
 Seal Epoxy
 Sensor to Preamp Cable (1 or 2 meters) 1232-X-SMA

ORDERING INFORMATION AND ACCESSORIES

R15α R15α or R15a
 Magnetic Hold-Down MHR15A
 Pre-amplifier 0/2/4, 2/4/6
 Amplifier subsystems ... AE2A, AE5A or standard AE systems
 Preamp to System Cable (specify length in 'm') 1234-X

Sensors include

NIST Calibration Certificate & Warranty



WORLDWIDE HEADQUARTERS:
 195 Clarksville Rd •
 Princeton Jct, NJ 08550 • USA
 T: +1.609.716.4000 • F: +1.609.716.0706
 E-MAIL: sales.systems@mistrasgroup.com

CANADA T: +1.403.556.1350
CHINA T: +86.10.5877.3631
FRANCE T: +331.498.26040
GERMANY T: +49.040.2000.4025
GREECE T: +30.210.2846.801-4

HOLLAND T: +31.010.245.0325
INDIA T: +91.22.2586.2444
JAPAN T: +81.33.498.3570
MALAYSIA T: +60.9.517.3788
MIDDLE EAST T: +973.17.729.356

RUSSIA T: +7495.789.4549
SCANDINAVIA T: +46(0)31.252040
S. AMERICA T: +55.11.3082.5111
UK T: +44(0)1954.231.612

Hoja de datos del preamplificador del sensor de EA

2/4/6 Preamplifier

Description:

The 2/4/6 preamplifier was designed to be used with all available AE systems that have power supplied via the output signal BNC. It is supplied with 20/40/60 dB gain (switch selectable) and operates with either a single ended or differential sensor. Plug in filters provide the user with flexibility to optimize sensor selectivity and noise rejection. These filters are provided in the Low Pass (LP), High Pass (HP), and Band Pass (BP) configurations, and offers constant insertion loss for easy filter swapping without the need for recalibration. Automatic Sensor Test (AST) is standard. This option provides the sensor with the ability to characterize its own condition as well as send out a simulated acoustic emission wave that other sensors can detect.

Features:

- 20/40/60 Selectable Gain
- Wide Dynamic Range > 90dB Standard
- Low Noise < 2 μ V (With Standard* Filter & Input Shorted)
- Large Output Signal 20Vpp into 50 Ω
- Single Power/Signal BNC or Optional Separate Power/Signal BNC
- Plug-in Filters (Utilizes the same filter as the SPARTAN 2000)
- High Input Impedance
- Standard Auto Sensor Test
- Input Protection



Electrical Specifications:

- Gain Selectable: 20/40/60 dB + 0.5% dB
- Input Impedance: 10K Ω // 15pF
- Power Required: 18-28V DC
- Operating Current: 30mA (With AST Installed)
- 28mA (Without AST Installed)
- Dynamic Range: 80dB (Utilizing an R15 Sensor)
- 90dB (50 Ω Input)

Environmental Specifications:

- Temperature: -40 C to +65 C

Gain Selection	20dB	40dB	60dB
• Bandwidth (-3dB):	10kHz-2.5MHz	10kHz-2.0MHz	10kHz-900kHz
• Output Voltage (50 Ω Load):	6Vpp	20Vpp	20Vpp
• CMRR (500kHz):	42dB	42dB	42dB
• Noise (RMS rti):			

Filter Frequency Response Hz	20dB With R15 Sensor	40dB With R15 Sensor	60dB With R15 Sensor	20dB Input Shorted	40dB Input Shorted	60dB Input Shorted
135k-185k	3 μ V	1.4 μ V	1.5 μ V	2.0 μ V	0.6 μ V	0.42 μ V
100k-300k*	3 μ V	1.8 μ V	1.8 μ V	2.3 μ V	1 μ V	0.8 μ V
10k-2.0M	5 μ V	4 μ V	3 μ V	4 μ V	3 μ V	2.5 μ V

*Standard filter

195 Clarksville Road, Princeton Junction, NJ 08550 USA
 Phone: (609) 716-4000 • Fax: (609) 716-0706
 Email: sales.systems@mistrasgroup.com • www.mistrasgroup.com

Algoritmo para el análisis de DP mediante las EA

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%Algoritmo para el analisis de DP mediante las EA%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%% Lectura de datos
clc ;clear all;close all;
datavoltaje= readmatrix('voltaje.dat'); %CH1
dataacustico= readmatrix('acustico.dat');%CH4
%% Normalizar datos
% datavoltaje=datavoltaje(1:12500000/7.9);
%datavoltaje=datavoltaje(6.25e6:8.25e6);
%datavoltaje=datavoltaje(8.25e6:10.25e6);
%datavoltaje=datavoltaje(10.25e6:12.25e6);
%datavoltaje=datavoltaje(4.25e6:6.25e6);
% datavoltaje=datavoltaje(2.25e6:4.25e6);
datavoltaje=datavoltaje(1:2.25e6);
maxvoltaje=max(abs(datavoltaje));
datavoltaje=datavoltaje/maxvoltaje;% normalizar voltaje

dataacustico= dataacustico/1e3;
%dataacustico=dataacustico(1:12500000/7.9);
%dataacustico=dataacustico(6.25e6:8.25e6);
% dataacustico=dataacustico(8.25e6:10.25e6);
% dataacustico=dataacustico(10.25e6:12.25e6);
% dataacustico=dataacustico(4.25e6:6.25e6);
% dataacustico=dataacustico(2.25e6:4.25e6);
dataacustico=dataacustico(1:2.25e6);
dataacustico=dataacustico/max(abs(dataacustico));
%vector de tiempo
Fs=100e6;
A=length(datavoltaje)/Fs;D=length(dataacustico);t=0:1/Fs:(A-1/Fs);t=t';
%% Creación de graficas reconstruidas
figure(1)
subplot(2,1,1)
plot(t,datavoltaje)
title('Señal de voltaje reconstruida')
xlabel ('Tiempo [s]');ylabel ('Amplitud');
grid minor
subplot(2,1,2)
[fx,s_f]=fourier(datavoltaje,Fs);%transformada de fourier
plot(fx,s_f);grid minor
title('Transformada de Fourier de la señal filtrada')
xlabel ('Frecuencia [Hz]');ylabel ('Amplitud');

%% aplicacion de filtro butter para eliminar la fundamental
n=1; %orden del filtro
wn=70e3/(Fs/2);% freceuncia de corte del filtro
[num den]= butter(n,wn,'high'); %Pasa alto
sfiltradavoltaje=filter(num,den,datavoltaje);
srestada=datavoltaje-sfiltradavoltaje;

figure(2)
plot(t,datavoltaje);hold on;
plot(t,sfiltradavoltaje);
plot(t,srestada);
grid minor
xlim([0 0.124]);

```

```

legend('señal original','señal obtenida',' filtro BUTTERWORTH')
title('Señal de voltaje');xlabel ('Tiempo [s]');ylabel ('Amplitud');
saveas( gcf, 'ondaadecuada', 'jpg' );
%% analisis de señal filtrada
figure(3)
subplot(2,1,1)
plot(t,sfiltradavoltaje);
grid minor
title('Señal de Voltaje filtrada la fundamental');
xlabel ('Tiempo [s]');ylabel ('Amplitud');
subplot(2,1,2)
[fsvsfundamental s_vsfundamental]=fourier(sfiltradavoltaje,Fs);
plot(fsvsfundamental,s_vsfundamental);
title('Tranformada de Fourier de la señal ');
xlabel ('Frecuencia [Hz]');ylabel ('Amplitud');grid minor
saveas( gcf, 'ondaadecuadaytransformada', 'jpg' );
%% analisis onda EA y Voltaje sin fundamental

figure(4)
subplot(2,2,1);
plot(t,dataacustico)
title('Señal de Emisión Acústica reconstruida')
xlabel ('Tiempo [s]');ylabel ('Amplitud');grid minor
xlim([0 0.124]);
subplot(2,2,2);
plot(t,sfiltradavoltaje);
title('Señal de Voltaje filtrada la fundamental');
xlabel ('Tiempo [s]');ylabel ('Amplitud');grid minor
xlim([0 0.124]);
subplot(2,2,[3,4])
plot(t,dataacustico);hold on
plot(t,sfiltradavoltaje)
title('Señal de Voltaje y EA');xlabel ('Tiempo [s]');ylabel ('Amplitud');
legend('Onda EA','Onda Voltaje');grid minor
xlim([0 0.124]);
saveas( gcf, 'ondassobremontadas', 'jpg' );

figure(5)
plot(t,dataacustico);hold on
plot(t,sfiltradavoltaje)
title('Señal de Voltaje y EA');xlabel ('Tiempo [s]');ylabel ('Amplitud');
legend('Onda EA','Onda Voltaje');grid minor
%% transformada de fourier de las se;ales
figure(6)
s_vsfundamental=s_vsfundamental/max(s_vsfundamental);
subplot(2,2,1);
plot(fsvsfundamental,s_vsfundamental);
title('Tranformada de Fourier de Voltaje')
xlabel ('Frecuencia [Hz]');ylabel ('Amplitud');grid minor;
xlim([-0.25e5 4e5])
subplot(2,2,2);

[fsacustica s_acustica]=fourier(dataacustico,Fs);
s_acustica=s_acustica/max(s_acustica);
plot(fsacustica,s_acustica);
title('Tranformada de Fourier de EA ')

```

```

xlabel ('Frecuencia [Hz]');ylabel ('Amplitud');grid minor
xlim([-0.25e5 4e5])
subplot(2,2,[3,4]);
plot(fsacustica,s_acustica);hold on
plot(fsvsfundamental,s_vsfundamental);
xlabel ('Frecuencia [Hz]');ylabel ('Amplitud');grid minor
xlim([-0.25e5 4e5])
legend('Onda EA','Onda Voltaje');
saveas( gcf, 'transformadasenales', 'jpg' );

%% correlación
figure(7)
[c,lags] = xcorr(s_acustica,s_vsfundamental);
%(s_acustica,s_vsfundamental);
%(s_acustica,s_acustica)
plot(lags,c)
title('Correlacion entre Voltaje y EA')
xlabel ('Tiempo [s]');ylabel ('Amplitud');grid minor
saveas( gcf, 'correlaciontransformada', 'jpg' );
RSiltro = corr2(s_acustica,s_vsfundamental)
%% filtro de voltaje
figure(8)
subplot(4,2,1);
plot(t,sfiltradavoltaje);
title('Señal de Voltaje original');
xlabel ('Tiempo [s]');ylabel ('Amplitud');grid minor
subplot(4,2,2);
plot(fsvsfundamental,s_vsfundamental);
title('Transformada de Fourier');
xlabel ('Frecuencia [Hz]');ylabel ('Amplitud');grid minor
xlim([-0.25e5 4e5]);
subplot(4,2,3);

n=30;
wn=[130e3 420e3]/(Fs/2);
ftype='bandpass';
b=fir1(n,wn,ftype);
datavoltaje1=filter(b,1,sfiltradavoltaje);% elminiar ruido en la señal
wn=480e3/(Fs/2);
ftype='stop';
b=fir1(n,wn,ftype);
datavoltaje2=filter(b,1,datavoltaje1);% elminiar ruido en la señal

plot(t,datavoltaje2)
title('Señal de Voltaje filtrada');
xlabel ('Tiempo [s]');ylabel ('Amplitud');grid minor;ylim([-0.02 0.04])
subplot(4,2,4);
[fvoltagefil s_fvoltagefil]=fourier(datavoltaje2,Fs);
s_fvoltagefil=s_fvoltagefil/max(s_fvoltagefil);
plot(fvoltagefil,s_fvoltagefil);
title('Transformada de Fourier');
xlabel ('Frecuencia [Hz]');ylabel ('Amplitud');grid minor
xlim([-0.25e5 4e5]);
subplot(4,2,5);
plot(t,dataacustico)
title('Señal de EA');

```

```
xlabel ('Tiempo [s]');ylabel ('Amplitud');grid minor
subplot(4,2,6);
plot(fsacustica,s_acustica);
title('Transformada de Fourier');
xlabel ('Frecuencia [Hz]');ylabel ('Amplitud');grid minor
xlim([-0.25e5 4e5]);
subplot(4,2,[7,8]);
[c,lags] = xcorr(s_acustica,s_fvoltafil);
plot(lags,c)
title('Correlacion entre Voltaje y EA');grid minor
xlim([-3e5 3e5]);
%findpeaks(c,'MinPeakProminence',0.5);
saveas( gcf, 'correlaciontransformadafiltrada', 'jpg' );
RCfiltro= corr2(s_acustica,s_fvoltafil)
```