

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 GENERAL:
**“ENSAYO DE MATERIALES POLIMÉRICOS DE POSTES
REFORZADO CON FIBRA DE VIDRIO (P.R.F.V) EN
CONDICIONES DE HUMEDAD UTILIZADOS POR LA EMPRESA
EQUISPLAST”**

AUTORES:

KEVIN ANDRÉS COYAGO BARRERA
EDINSON MOISÉS RAMÍREZ ÁVILA

TUTOR

ING. FLAVIO ALFREDO QUIZHPI PALOMEQUE

CUENCA - ECUADOR

2020

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros, Kevin Andrés Coyago Barrera con documento de identificación N° 0706741279 y Edinson Moisés Ramírez Ávila con documento de identificación N° 0706706710, 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: **“ENSAYO DE MATERIALES POLIMÉRICOS DE POSTES REFORZADO CON FIBRA DE VIDRIO (P.R.F.V) EN CONDICIONES DE HUMEDAD UTILIZADOS POR LA EMPRESA EQUISPLAST”**, 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, marzo del 2020



Kevin Andrés Coyago Barrera
C.I. 0706741279



Edinson Moisés Ramírez Ávila
C.I. 0706706710

CERTIFICACIÓN

Yo, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **“ENSAYO DE MATERIALES POLIMÉRICOS DE POSTES REFORZADO CON FIBRA DE VIDRIO (P.R.F.V) EN CONDICIONES DE HUMEDAD UTILIZADOS POR LA EMPRESA EQUISPLAST”**, realizado por Kevin Andrés Coyago Barrera y Edinson Moisés Ramírez Ávila, obteniendo el *Proyecto Técnico con Enfoque General*, que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, marzo del 2020

A handwritten signature in blue ink, consisting of several loops and flourishes, positioned above the name of the signatory.

Ing. Flavio Alfredo Quizhpi Palomeque
C.I. 0102257482

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, Kevin Andrés Coyago Barrera con documento de identificación N° 0706741279 y Edinson Moisés Ramírez Ávila con documento de identificación N° 0706706710, autores del trabajo de titulación: **“ENSAYO DE MATERIALES POLIMÉRICOS DE POSTES REFORZADO CON FIBRA DE VIDRIO (P.R.F.V) EN CONDICIONES DE HUMEDAD UTILIZADOS POR LA EMPRESA EQUISPLAST”**, certificamos que el total contenido del *Proyecto Técnico con Enfoque General*, es de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Cuenca, marzo del 2020



Kevin Andrés Coyago Barrera
C.I. 0706741279



Edinson Moisés Ramírez Ávila
C.I. 0706706710

AGRADECIMIENTO

Han sido años de esfuerzos y dedicación en esta ardua lucha de mi formación como profesional. Agradezco a Dios quien ha forjado mi camino y me ha dirigido siempre por el sendero correcto, a mis padres que han sido mi pilar fundamental, quien con sus sabios consejos han hecho de mí un hombre de bien, humilde y respetuoso, depositaron toda su confianza en mí y con mucho esfuerzo verme cumplir una de mis metas más anheladas, aunque el camino no ha sido sencillo, pero gracias a su amor, bondad y apoyo lo complicado de lograr esta meta se ha hecho menos notorio.

Le agradezco por la confianza y el apoyo a lo largo del desarrollo de la tesis a mi director el Ing. Flavio Quizhpi.

Kevin Andrés Coyago Barrera

Agradezco a Dios por ser mi guía y acompañarme en el transcurso de mi vida, brindándome paciencia y sabiduría para culminar con éxito mis metas propuestas. A mis padres por ser mi pilar fundamental y haberme apoyado incondicionalmente, pese a las adversidades e inconvenientes que se presentaron. Agradezco a mi director de tesis Ing. Flavio Quizhpi quien con su experiencia, conocimiento y motivación me oriento en el desarrollo del trabajo.

Edinson Moisés Ramírez Ávila

DEDICATORIA

Este trabajo de titulación y logro profesional se lo dedico primeramente a Dios por guiarme, cuidarme y darme la fortaleza que siempre necesito para seguir adelante y poder continuar, a mis padres quien a lo largo de mi vida diaria me han brindado su amor y apoyo incondicional además de depositar su entera confianza en mí para poder alcanzar este logro profesional.

Kevin Andrés Coyago Barrera

Dedico este trabajo principalmente a Dios, por permitirme haber llegado hasta este momento de mi formación profesional. A mis padres quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir un sueño más, inculcándome el ejemplo de esfuerzo y valentía, de no temer las adversidades porque Dios está conmigo siempre. A mis hermanas, mi hijo, mi esposa y toda mi familia porque con sus oraciones, consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona y de una u otra forma me acompañan en todos mis sueños y metas.

Edinson Moisés Ramírez Ávila

RESUMEN

En la actualidad, Ecuador se encuentra en un constante aumento de población, y uno de los factores más importantes en la vida de las personas es el servicio eléctrico. La energía eléctrica es de vital importancia en el desarrollo del país, por cuanto permite a quienes viven en grandes ciudades, zonas urbanas o rurales, disfrutar de la calidad de vida y recursos que ofrece este servicio.

Al aumentar la demanda de energía eléctrica, el sistema de distribución también requiere expandirse, por lo cual el sistema eléctrico requiere líneas eléctricas para conectar la generación con la demanda, estas líneas eléctricas son en muchos casos aéreas por lo cual requieren de postes para portar los conductores, de tal forma que garantice que el sistema eléctrico opere de forma segura y confiable.

Al momento de expandir un SEP se analiza las diferentes exigencias a las que se expone el poste, entre las cuales se puede citar: climáticas, térmicas, mecánicas, eléctricas, etc. En la actualidad los Postes de Poliéster Reforzado con Fibra de Vidrio (PRFV), son muy utilizados en la expansión de sistemas de subtransmisión y distribución en algunas ciudades del Ecuador, estos postes son fabricados bajo normas que garantizan calidad y seguridad del servicio eléctrico.

Una de las principales causas del deterioro en el aislamiento de los postes, es la humedad, por lo cual en este documento se encuentra detallado el estudio que se realizó, mediante ensayos, de las características dieléctricas de los postes de poliéster reforzados con fibra de vidrio, fabricados por la empresa Equisplast en condiciones de humedad.

Basados en las normas IEC 60270 y std.4 IEEE, se ejecutaron ensayos sobre diferentes muestras de postes, determinando la existencia o no de descargas parciales a diferentes niveles de voltaje pasando por un proceso de filtrado en la herramienta MATLAB. Además, se realizaron pruebas para la obtención de los valores de rigidez dieléctrica de las muestras de postes PRFV, y también se determinaron los niveles básicos de aislamiento BIL, BSL en las muestras en condiciones de humedad.

La Universidad Politécnica Salesiana, cuenta con un laboratorio de alta tensión el cual posee una cámara simuladora de lluvia con lo cual se garantizó que los ensayos realizados sobre las muestras de postes sean ejecutados en condiciones de humedad normalizadas.

INDICE DE CONTENIDOS

AGRADECIMIENTO	V
DEDICATORIA	VI
RESUMEN	VII
INDICE DE CONTENIDOS	VIII
INDICE DE FIGURAS	XI
INDICE DE TABLAS	XII
GLOSARIO	XIII
1. Introducción	1
1.1. Planteamiento del Problema	2
1.2. Justificación	3
1.3. Objetivos	4
1.3.1. Objetivo General	4
1.3.2. Objetivos Específicos	4
2. Marco Teórico	5
2.1. Descripción de los Postes de Poliéster Reforzados con Fibra de Vidrio (PRFV) ...	5
2.1.1. Generalidades	5
2.1.2. Postes	5
2.1.3. Vida Útil	5
2.2. Proceso de Fabricación de los Postes de Poliéster Reforzados con Fibra de Vidrio (PRFV)	5
2.2.1. Proceso Manual	6
2.2.2. Pulverización	6
2.2.3. Devanados de Filamentos	7
2.2.4. Pultrusion	7
2.2.5. Centrifugado	8
2.2.6. Moldeo por Transferencia de Resina	8
2.2.7. SMC y compresión en caliente	9
2.3. Máquina Simuladora de Lluvia	9
2.3.1. Regulación de la Resistividad del Agua	10
2.4. Aislamiento Eléctrico	11
2.4.1. Tipos de Aislamiento	11
2.5. Rigidez Dieléctrica	12
2.5.1. Estándar ASTM D-149	12

2.6.	Descargas Parciales	14
2.6.1.	Tipos de Descargas Parciales	14
2.6.2.	Medición de Descargas Parciales	17
2.7.	Coordinación de Aislamiento	18
2.7.1.	IEC 60071-1, Coordinación de aislamiento: definición, principios y reglas.	18
2.7.2.	IEC 60071-2, Coordinación de aislamiento: Guía de aplicación.	21
2.8.	Nivel Básico de Aislamiento	22
2.8.1.	Impulso tipo rayo	22
2.8.2.	BIL convencional	22
2.8.3.	BIL estadístico	23
2.8.4.	Sobrevoltaje de Flameo U50%	23
2.8.5.	Configuración de Electrodo s.....	23
2.9.	Voltaje de Flameo	24
2.9.1.	Método de ensayo niveles múltiples para determinar el voltaje de flameo ..	25
2.9.2.	Voltaje U50%	25
2.9.3.	Voltaje inicial	25
2.9.4.	Incremento de voltaje (ΔV)	26
2.10.	Factor de Corrección Atmosférica	26
2.10.1.	Factor de corrección que se aplica al BIL por efecto de la altitud	27
3.	Desarrollo	28
3.1.	Delimitación de Nivel de Presión en la Máquina Simuladora de Lluvia	28
3.2.	Acondicionamiento de Resistividad del Agua	28
3.3.	Rigidez Dieléctrica	30
3.4.	Descargas Parciales	35
3.4.1.	Graficas de Corriente y Descargas Parciales en cada Nivel de Voltaje	36
3.4.2.	Degradación del aislamiento	41
3.5.	BIL	44
3.5.1.	Impulso Tipo Rayo	44
3.5.2.	Voltaje inicial	44
3.5.3.	Factor de corrección atmosférica	46
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	47
	Conclusiones	47
	Recomendaciones	49
	REFERENCIAS	50
	Anexo 1: Rigidez dieléctrica, producidas sobre 30 muestras a diferentes niveles de voltaje.	53
	Anexo 2: Descargar parciales a un nivel de voltaje de 3kV sobre 7 muestras de PRFV.....	57
	Anexo 3: Descargar parciales a un nivel de voltaje de 6kV sobre 7 muestras de PRFV.....	59

Anexo 4: Descargar parciales a un nivel de voltaje de 9kV sobre 7 muestras de PRFV.....	61
Anexo 5: Descargar parciales a un nivel de voltaje de 12kV sobre 7 muestras de PRFV.....	63
Anexo 6: Ondas de impulso tipo rayo	65

INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Composición de los postes reforzados con fibra de vidrio (PRFV)	6
Figura 2.2 Pulverización	7
Figura 2.3 Devanados de Filamento	7
Figura 2.4 Pultrusion	8
Figura 2.5 Proceso de Centrifugado	8
Figura 2.6 Proceso de Moldeo por Transferencia de Resina	9
Figura 2.7 Proceso de Comprensión en Caliente	9
Figura 2.8 Máquina simuladora de lluvia	10
Figura 2.9 Equipos para la medición de la resistividad del agua	11
Figura 2.10 Método A de la norma ASTM-149 (Incremento del nivel de voltaje)	13
Figura 2.11 Método B de la norma ASTM-149 (Incremento del nivel de voltaje).....	13
Figura 2.12 Método C de la norma ASTM-149 (Incremento del nivel de voltaje).....	14
Figura 2.13 Descargas Parciales Internas	15
Figura 2.14 Descarga Parcial Superficial.....	16
Figura 2.15 Descargas Parciales por Arborescencia Eléctrica	16
Figura 2.16 Circuito de Medición Indirecta para la Detección de Descargas Parciales	17
Figura 2.17 Circuito de Medición Directa para la Detección de Descargas Parciales	18
Figura 2.18 Onda de impulso tipo rayo	22
Figura 2.19 Esquema ensayo de Impulso Tipo Rayo	23
Figura 3.1 Recipiente utilizado en la medida de precipitación de la máquina	28
Figura 3.2 Medida Conductividad Inicial muestra de agua	29
Figura 3.3 Medida de Conductividad Final Agua	30
Figura 3.4 Muestras de postes PRFV	31
Figura 3.5 Configuración de electrodos punta-punta	31
Figura 3.6 Método A de la norma ASTM-149 (Incremento del nivel de voltaje)	32
Figura 3.7 Circuito para determinar la rigidez dieléctrica	32
Figura 3.8 Muestra de poste PRFV con ruptura	33
Figura 3.9 Distribución de Gauss con los voltajes de ruptura obtenidos en los ensayos realizados	34
Figura 3.10 Circuito armado para ensayo de Descargas Parciales.....	35
Figura 3.11 Señal de corriente y señal filtrada a un voltaje de 3kV.....	36
Figura 3.12 Señal de descargas parciales a un voltaje de 3kV	37
Figura 3.13 Señal de corriente y señal filtrada a un voltaje de 6kV.....	37
Figura 3.14 Señal de descargas parciales a un voltaje de 6kV	38
Figura 3.15 Señal de corriente y señal filtrada a un voltaje de 9kV.....	38
Figura 3.16 Señal de descargas parciales a un voltaje de 9kV	39
Figura 3.17 Señal de corriente y señal filtrada a un voltaje de 12kV.....	40
Figura 3.18 Señal de descargas parciales a un voltaje de 12kV	40
Figura 3.19 Equipo Fluke 1550C/1555	41
Figura 3.20 Curva de Degradación de Aislamiento	42
Figura 3.21 Curva Impulso Tipo Rayo	45

INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1	Clases de solicitaciones de tensión y de sobretensión	20
Tabla 2.2	Niveles de contaminación.....	21
Tabla 2.3	Factores electro geométricos	24
Tabla 2.4	Coeficientes de corrección por la altura	27
Tabla 3.1	Valores de voltaje de ruptura	33
Tabla 3.2	Elementos Circuito Detección de Descargas Parciales	35
Tabla 3.3	Niveles de Voltaje y Duración del ensayo.....	35
Tabla 3.4	Valores promedios de resistencia de aislamiento en muestras de poste (PRFV)	41
Tabla 3.5	Valores DAR.....	43
Tabla 3.6	Valores PI.....	43
Tabla 3.7	Resultados DAR.....	43
Tabla 3.8	Resultados PI	43
Tabla 3.9	Resultados de ensayo de BIL.....	45
Tabla 3.10	Valores de corrección de altura	46

GLOSARIO

SEP: Sistema Eléctrico de Potencia.

ARCONEL: Agencia de Regulación y Control de Electricidad.

UP: Unidades de Propiedad.

UC: Unidades de Construcción.

PRFV: Postes Reforzados con Fibra de Vidrio.

IEC: International Electrotechnical Commission (Comisión Electrotécnica Internacional).

BIL: Nivel Básico de Aislamiento.

ASTM: American Society for Testing and Materials (Sociedad Americana para Pruebas y Materiales).

INEN: Instituto Ecuatoriano de Normalización.

IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers (Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica).

ANSI: Instituto Nacional Estadounidense de Estándares.

SMC: Compuesto de Moldeo Suministrado en Lámina.

UPS: Universidad Politécnica Salesiana.

DP: Descargas Parciales.

FIR: Finite Impulse Response (Respuesta Finita al Impulso).

PI: Índice de Polarización.

DAR: Relación de Absorción Dieléctrica.

CAPÍTULO 1

1. Introducción

Un SEP (Sistema Eléctrico de Potencia) debe operar de manera confiable y segura dando suministro de energía eléctrica de forma continua. Para ello los elementos que conforman el SEP deben asegurar el funcionamiento de este. En el medio ecuatoriano, el sistema se rige bajo unas series de normas emitidas por el ARCONEL, cuya responsabilidad es regular y controlar las actividades relacionadas con el servicio público de energía eléctrica, y servicio de alumbrado público general, precautelando los intereses de la ciudadanía [1],[2],[3],[4].

ARCONEL, se encarga de regular los aspectos técnico- económicos y operativos del sector, elaborando pliegos tarifarios, emitiendo regulaciones y efectuando controles de calidad, confiabilidad y seguridad del servicio eléctrico [4].

Las unidades de propiedad (UP) y las unidades de construcción (UC), fueron homologadas por el Ministerio de Electricidad y Energías Renovables (MEER), realizándose con el fin de estandarizar los equipos y materiales que conforman las unidades de construcción, además se especifican las normas técnicas que deben cumplir los materiales y equipos para la construcción de las redes de distribución eléctrica [5].

Dentro de las unidades de propiedad no se encuentra ningún tipo de especificación o normativa técnica que establezca la rigidez dieléctrica y nivel de aislamiento para la construcción de los Postes de Poliéster Reforzados con Fibra de Vidrio (PRFV) [5].

Para determinar la rigidez dieléctrica y el nivel de aislamiento se ejecutarán ensayos en el laboratorio de alta tensión con un determinado número de muestras de postes de poliéster reforzado con fibra de vidrio (PRFV) mediante coordinación de aislamiento tomando en cuenta factores ambientales, seguridad y nivel de contaminación según lo establece la norma IEC 60071 “Coordinación de Aislamiento”, también se analizará descargas parciales y el nivel básico de aislamiento (BIL). Todos estos ensayos se los realizará bajo los efectos de la lluvia [6].

Para los ensayos de rigidez dieléctrica se tendrá en cuenta los procedimientos en materiales aislantes sólidos a frecuencias comerciales en condiciones específicas, los mismos que se encuentran establecidos en la norma American Society for Testing and Materials “ASTM D-149” [7].

1.1. Planteamiento del Problema

Un SEP, está formado por diferentes elementos esenciales, uno de los más importantes es el poste, el cuál es el encargado de soportar las líneas de transmisión eléctrica de medio y bajo voltaje, líneas de comunicación, iluminación entre otros. En la colocación de un poste se debe analizar las condiciones a las que estará expuesto (seco, humedad, salinidad). Siendo la humedad uno de los factores que más influyen en el deterioro de los postes. En la actualidad se emplean postes de Hormigón armado (HA), y de polímeros reforzados con fibra de vidrio [1].

Para los postes de polímeros reforzados con fibra de vidrio, la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2657, establece los requisitos que deben cumplir los postes de plástico reforzado con fibra de vidrio (P.R.F.V). Entre las cuales consta carga de rotura, resistencia a los rayos uv. Como complemento la INEN 2657, referencia a las normas: ANSI C136.20 (Fibra - postes de iluminación de compuesto reforzado (FRC)), ASTM G154-12a (Práctica estándar para operar aparatos de luz fluorescente para exposición a UV de materiales no metálicos), ASTM D4923 (Especificación estándar para postes de plástico termo endurecibles reforzados), ASTM D635 (Método de prueba estándar para la tasa de combustión y / o la extensión y el tiempo de combustión de plásticos en una posición horizontal) [8].

En el Ecuador no se especifica el voltaje de ruptura y la resistencia dieléctricas en materiales poliméricos en condiciones de humedad. Se propone desarrollar un análisis dieléctrico en condiciones de humedad, en muestras de materiales poliméricos utilizados por la empresa EQUIPLAST. A partir de materiales proporcionados por esta empresa se realizará pruebas y ensayos de rigidez dieléctrica y descargas parciales. Se aplican las condiciones estipuladas en las normas y estándares vigentes: IEEE, IEC, ASTM, ANSI. Se analizará el comportamiento general de los materiales poliméricos en condiciones húmedas, y definirá los niveles de deterioro que enfrentan los aislantes de los materiales polímeros, además de presentar los datos característicos obtenidos.

1.2. Justificación

La distribución, transmisión y generación de energía en un SEP requiere de materiales y equipos que se encuentran dimensionados, de forma que satisfagan exigencias tanto técnicas físicas como eléctricas según normas internacionales. En el caso de los materiales dieléctricos se busca que soporten las exigencias climáticas, mecánicas, eléctricas y térmicas.

La empresa Equisplast, está dedicada a la fabricación de postes reforzados con fibra de vidrio (PRFV), tiene como fin mejorar la calidad del producto, realizando ensayos de alto voltaje para así determinar el nivel de aislamiento y la calidad de los postes [1].

Resta decir que uno de los parámetros más importantes para valorar el comportamiento de un material dieléctrico es la rigidez dieléctrica. Se entiende como rigidez dieléctrica el máximo gradiente de potencial que puede soportar un material dieléctrico, sin que alcance a originarse una corriente disruptiva, antes que se provoque su destrucción por perforación, sin que sus propiedades aislantes lleguen a una degradación física. Su valor se expresa en (kV/mm)[1],[9],[10].

Los estudios de materiales sólidos en rigidez dieléctrica son importantes, pues a diferencia de los gases o líquidos, resultan los aislantes sólidos inutilizables tras una descarga disruptiva. Las metodologías para estimar rigidez dieléctrica en materiales aislantes sólidos están descritas por las normas ASTM D149 y la IEC 243-1 [1],[11].

Para la determinación del Nivel Básico de Aislamiento (BIL), se ejecutarán ensayos de voltaje normalizada de impulso tipo rayo, con forma de onda de 1,2 μ s de frente y de 50 μ s de cola en el laboratorio de alta tensión, con lo cual se obtiene una base estadística de los resultados comprobando el nivel básico de aislamiento [1].

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Determinar comportamiento en condiciones de humedad de los materiales poliméricos de los postes reforzados con fibra de vidrio (P.R.F.V) utilizados por la empresa Equisplast de la ciudad de Cuenca, bajo condiciones de ruptura de rigidez dieléctrica, descargas parciales y de nivel de aislamiento.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Recopilación y análisis de información sobre criterios de rigidez dieléctrica, descargas parciales y nivel de aislamiento basadas en normas y estándares vigentes en condiciones de humedad.
- Realizar las pruebas de rigidez dieléctrica en muestra de poste (P.R.F.V.) en condiciones de humedad.
- Realizar pruebas de descargas parciales en muestra de poste (P.R.F.V.) en condiciones de humedad.
- Ejecutar ensayo para determinar el nivel básico de aislamiento BIL en poste (P.R.F.V.) en condiciones de humedad.
- Obtener los niveles de aislamiento (P.R.F.V.) en condiciones de humedad.

CAPÍTULO 2

2. Marco Teórico

2.1. Descripción de los Postes de Poliéster Reforzados con Fibra de Vidrio (PRFV)

2.1.1. Generalidades

Los postes de poliéster reforzados con fibra de vidrio son utilizados en los sistemas de distribución de energía eléctrica en redes de media y baja tensión, también se utilizan en redes de comunicación e iluminación [12].

2.1.2. Postes

Los sistemas de distribución presentan un gran número de requerimientos tales como: topografía compleja, difícil acceso, ambientes húmedos corrosivos de la selva amazónica, ambientes salinos de playas y zonas costeras. Por este motivo se están utilizando ampliamente los postes reforzados con fibra de vidrio (PRFV). Las principales ventajas de estos postes son: resistencia a la corrosión e intemperie, facilidad de transporte, bajo peso y cimentación económica [12].

Los postes son desarrollados con técnicas específicas, donde fusionan filamentos de fibra de vidrio en angulaciones bajas para soportar las cargas axiales, poseen una geometría circular troco-cónica continua, soportan cargas de pandeo o colapso sobre el empotramiento. Estos elementos se encuentran disponibles en longitudes de 12m a 24m [12].

2.1.3. Vida Útil

Los postes de poliéster reforzados con fibra de vidrio (PRFV) están fabricados con el fin de que puedan superar los 50 años de vida útil, esto debido a que las resinas están formuladas para soportar los rayos UV e intemperie con un mantenimiento prácticamente nulo [12].

2.2. Proceso de Fabricación de los Postes de Poliéster Reforzados con Fibra de Vidrio (PRFV)

En el mercado ecuatoriano el líder con respecto a lo que se refiere la fabricación, y desarrollos de nuevas soluciones en estructuras y postes de poliéster reforzados con fibra de vidrio (PRFV) es la empresa EQUISPLAST la cual no solo ha logrado asentarse a nivel local, sino que también tiene presencia comercial en Suramérica [1],[13].

Los postes de poliéster son elaborados con materiales que están compuestos de: fibra de vidrio en un 60%, resina en un 40% y recubrimiento total para protección UV, logrando características resistentes tal como lo indica las Unidades de Propiedad [14], y conforme la norma internacional ASTM G154-16 [7], logrando un poliéster termoestable con gran resistencia a altas temperaturas [1],[13].

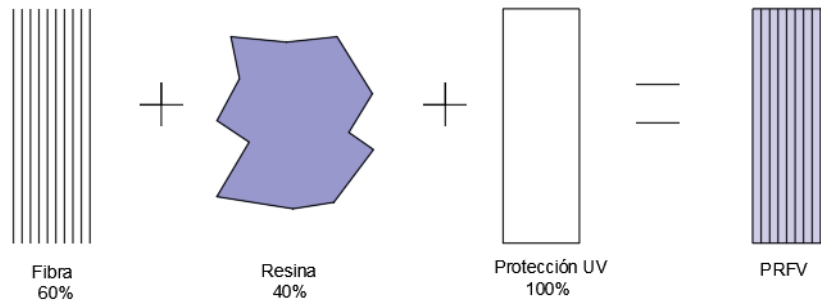


Figura 2.1 Composición de los postes reforzados con fibra de vidrio (PRFV)
Fuente:[1], Los Autores

2.2.1. Proceso Manual

Es un proceso manual de los más conocidos para la realización de productos con fibra de vidrio, en el cual, para lograr la impregnación de la matriz de fibra de vidrio utiliza rodillos y brochas, y para la dosificación por medio de medidas de peso o volumen se lo obtiene con la mezcla de la matriz con el catalizador. Todo este proceso permite lograr cualquier acople o producto en PRFV [13].



Figura 2.2 Proceso manual
Fuente: [13]

2.2.2. Pulverización

Este proceso es muy rápido y limpio con respecto al proceso manual, se lleva a cabo con la asistencia de la máquina de pulverizar, dicha máquina se encarga de controlar y mezclar la matriz con fibra de vidrio en las proporciones necesarias para el diseño deseado. Este proceso se diferencia del proceso manual ya que aquí la máquina se encarga de succionar y mezclar la matriz de resina con el catalizador [13].



Figura 2.2 Pulverización
Fuente: [13]

2.2.3. Devanados de Filamentos

Es un proceso que resulta ser más sofisticado que el proceso manual, se basa en la aplicación de fibras continuas las cuales se enrollan en un mandril y emergen en un patrón geométrico constante. Este patrón constante y exacto del enrollamiento de filamentos continuos de fibra de vidrio, produce estructuras que resultan ser de resistencia mucho más fuertes que el acero en pesos mucho más bajos. Este proceso además de ser automatizado y repetitivo confiere un alto grado de exactitud, dando a la estructura un espesor parejo y una uniformidad de resistencia mecánica elogiada [13].



Figura 2.3 Devanados de Filamento
Fuente: [13]

2.2.4. Pultrusion

Este proceso permite obtener cualquier tipo de perfil longitudinal con un excelente acabado superficial y también con un alto porcentaje de fibra de vidrio, este resultado se obtiene debido a que es un proceso de producción automatizado en continuo de perfilería de PRFV. En este proceso se preforma la pieza partiendo de una serie de tejidos e hilos de refuerzo, estos, tras ser impregnados con la matriz polimérica se hace pasar por el molde, en el cual se polimeriza, logrando así el perfil deseado. Como resultado de este proceso se obtienen grandes resistencias mecánicas y con un excelente acabado superficial [13].



Figura 2.4 Pultrusion
Fuente: [13]

2.2.5. Centrifugado

Es un proceso que consiste en introducir la resina y la fibra en un molde que gira a velocidad, en el cual por centrifugación a alta velocidad logra la compactación de dichos materiales, todo esto se debe a que se desaloja el aire que pudiera haberse introducido, obteniendo que la mezcla adopte la forma del molde [13].



Figura 2.5 Proceso de Centrifugado
Fuente: [13]

2.2.6. Moldeo por Transferencia de Resina

En este proceso se emplea un molde rígido y cerrado mecánicamente, que está constituido de dos partes (cóncava y convexa), la fibra de vidrio se coloca entre las dos caras del molde y éste se cierra a presión y entonces la resina es inyectada al interior del molde [13].



Figura 2.6 Proceso de Moldeo por Transferencia de Resina
Fuente: [13]

2.2.7. SMC y compresión en caliente

El SMC (Sheet Moulding Compound o Compuesto de Moldeo Suministrado en Lámina) es un “compound”, se basa en una matriz de resina termoestable, reforzado mediante fibras, principalmente de vidrio o de carbono y con cargas minerales. La resina por lo general es de vinil-éster (VE) o poliéster insaturado (UP) [13].

El SMC se moldea principalmente en procesos de compresión en caliente, para la elaboración de piezas relativamente planas y grandes [13].

La elaboración de moldeo por compresión se lo realiza en un molde caliente a temperaturas entre 130-160 °C y bajo presiones de entre 30-120 bar, en prensas verticales diseñadas principalmente para este proceso. El SMC por lo general se moldea por compresión [13].



Figura 2.7 Proceso de Compresión en Caliente
Fuente: [13]

2.3. Máquina Simuladora de Lluvia

Se utilizó el simulador de lluvia del laboratorio de Alta Tensión en la UPS, para poder realizar las pruebas en humedad de las muestras de poste de material poliéster reforzado con fibra de vidrio, el mismo que consta de las siguientes características [15]:

- 1m² de área y 1.60m de altura, medidas establecidas de acuerdo al espacio físico del laboratorio de Alta Tensión de la UPS.
- Su diseño y construcción está basado en las normas ANSI e IEEE std4.

- El proceso de circulación está elaborado mediante el método de flujo y reflujo de agua ajustada para pruebas eléctricas.
- Elaborado con materiales no conductores, consta con un botón de paro general para poder garantizar la seguridad de los operadores y equipos en caso de alguna emergencia.
- El agua utilizada para realizar las pruebas debe cumplir con lo establecido en la norma IEE std.4

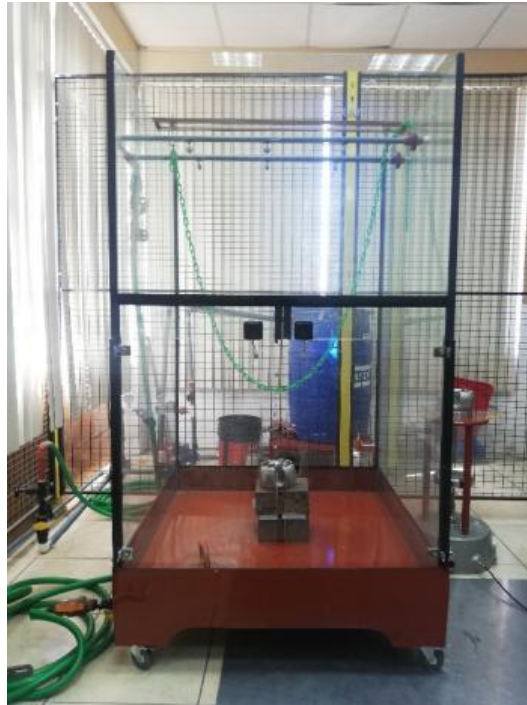


Figura 2.8 Máquina simuladora de lluvia
Fuente: Los Autores

2.3.1. Regulación de la Resistividad del Agua

El agua utilizada por el simulador de lluvia, se la obtuvo de la red de agua potable de la UPS, aplicándole un proceso de filtrado para evitar el ingreso de impurezas al recipiente de almacenamiento. Este recipiente tiene una capacidad máxima de 220 litros, para nuestras pruebas fue necesario utilizar 134 litros de agua, dejando reposar para luego realizar las pruebas de resistividad necesarias para la utilización del agua [15].

En la norma IEE Std.4, se establece que, para realizar pruebas y ensayos eléctricos en condiciones húmedas, el componente químico del agua debe cumplir con una resistividad de $\pm 100\Omega \cdot m$. De acuerdo con esta norma se hizo el debido tratamiento del agua, con la ayuda del laboratorio de química de la carrera de Ingeniería Ambiental de la UPS [15],[16].



Figura 2.9 Equipos para la medición de la resistividad del agua
Fuente: Los Autores

2.4. Aislamiento Eléctrico

El aislamiento eléctrico evita que existan daños parciales o totales debido a los diferentes niveles de voltaje, logran soportar también sobretensiones causadas por fallas temporales y también permite a su vez la seguridad en equipos, por lo cual se demanda un nivel óptimo de aislamiento que permita brindar altos niveles de confiabilidad, por esta razón se considera al aislamiento eléctrico parte fundamental de un SEP. El nivel de aislamiento se lo establece de acuerdo con los niveles de voltaje, condiciones climáticas y contaminación que deben soportar los equipos [17].

La rigidez dieléctrica resulta ser la propiedad más importante que tiene un material aislante, se la define como el máximo nivel de voltaje que puede resistir el aislante entre dos electrodos sin que exista disrupción [17].

2.4.1. Tipos de Aislamiento

De acuerdo con la Comisión Electrotécnica Internacional IEC 60071-1 existen 4 tipos de aislamientos [6].

➤ Aislamiento Externo

Resulta ser la distancia que existe entre el aire atmosférico y las superficies de los aislamientos sólidos de un material en contacto con la atmósfera, las cuales se someten a la influencia de las condiciones ambientales y a los esfuerzos dieléctricos u otros agentes externos tales como humedad, polución, insectos, etc [6].

➤ **Aislamiento Interno**

Aislamiento que está enfocado a equipos que se encuentran protegidos de los efectos de la atmósfera u otros agentes externos, los cuales son materiales aislantes, que pueden ser, sólidos, líquidos o gaseosos [6].

➤ **Aislamiento Auto Regenerado**

Aislamiento que después de sufrir una descarga disruptiva, recupera íntegramente sus propiedades aislantes [6].

➤ **Aislamiento No Auto Regenerado**

Aislamiento que después de sufrir una descarga disruptiva, pierde sus propiedades aislantes o no las recupera íntegramente [6].

2.5. Rigidez Dieléctrica

La rigidez dieléctrica es la característica más importante de un aislante, por tal razón existen estándares que indican el nivel de aislamiento. Se entiende a la rigidez dieléctrica como el máximo gradiente de potencial que puede soportar un medio aislante, sin que alcance a originarse una corriente disruptiva, antes que se provoque su destrucción por perforación, sin que sus propiedades aislantes lleguen a una degradación física. Su valor se expresa en (kV/mm) [1][9].

Los estudios de materiales sólidos en rigidez dieléctrica son importantes, pues a diferencia de los gases o líquidos, resultan los aislantes sólidos inutilizables tras una descarga disruptiva. Las metodologías para estimar rigidez dieléctrica en materiales aislantes sólidos están descritas por las normas ASTM D149 y la IEC 243-1[1],[7].

2.5.1. Estándar ASTM D-149

Este estándar se refiere al “Método de prueba estándar para el voltaje de ruptura y la resistencia dieléctricas de materiales aislantes eléctricos sólidos a frecuencias comerciales” el cual permite determinar mediante un procedimiento la rigidez dieléctrica en materiales aislantes sólidos, logrando como resultado el voltaje de ruptura del aislante, mismo que se podrá establecer mediante tres métodos los cuales son [7]:

➤ **Método A: Prueba de Corto tiempo**

En este método, se aplica el voltaje a través de los electrodos. El voltaje varía desde cero hasta una cierta velocidad, consiguiendo perforar o desintegrar la muestra. Se determinará la velocidad de aumento de voltaje por el tiempo que tarda la muestra en alcanzar la ruptura dieléctrica ΔV [7].

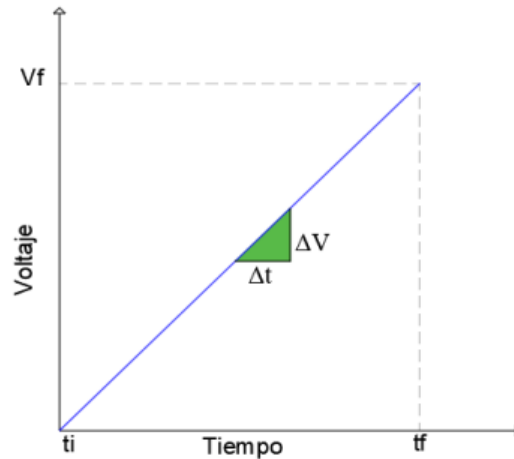


Figura 2.10 Método A de la norma ASTM-149 (Incremento del nivel de voltaje)
Fuente: Los Autores

En muchos de los casos de este método se utilizará una tasa referencial de 500 v/s y se establece un tiempo promedio de rotura entre 10s y 20s.

➤ **Método B: Prueba Paso a Paso**

En este método se aplica un voltaje inicial a los electrodos de prueba, el voltaje inicial se aumentará en forma escalonada hasta producirse la ruptura, además se debe tener en cuenta que el voltaje inicial deberá ser acorde al material aislante [7].

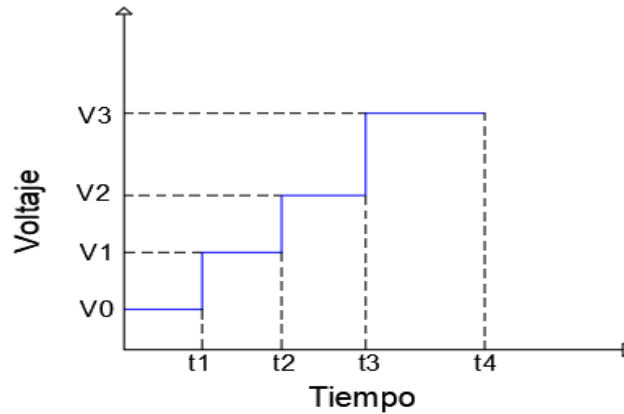


Figura 2.11 Método B de la norma ASTM-149 (Incremento del nivel de voltaje)
Fuente: Los Autores

Se realizará pruebas preliminares para determinar el nivel de voltaje inicial pudiendo ser el 50% del voltaje de ruptura.

Debe tenerse en cuenta las siguientes consideraciones al momento de producirse la ruptura:

- El valor de ruptura es igual al nivel de voltaje anterior cuando la ruptura se origina antes de incrementar el voltaje.
- El valor de voltaje de la ruptura sería el último de la etapa terminada con éxito, si la ruptura se origina antes de finalizar la prueba.

Para obtener una prueba satisfactoria la ruptura se debe dar entre 4 a 10 niveles, si esta sucede antes del cuarto nivel y con tiempo menor a los 120s, se debe repetir la prueba con un nivel de voltaje inicial menor, pero si la ruptura se da después del décimo nivel, deberá realizarse nuevamente la prueba, pero con un valor de voltaje inicial mayor [7].

➤ **Método C: Prueba lenta de velocidad en ascenso**

En este método se tiene que aplicar un voltaje inicial al 50% de la tensión de ruptura la cual es determinada por el método A (prueba a corto plazo) y se incrementa a una velocidad uniforme [7].

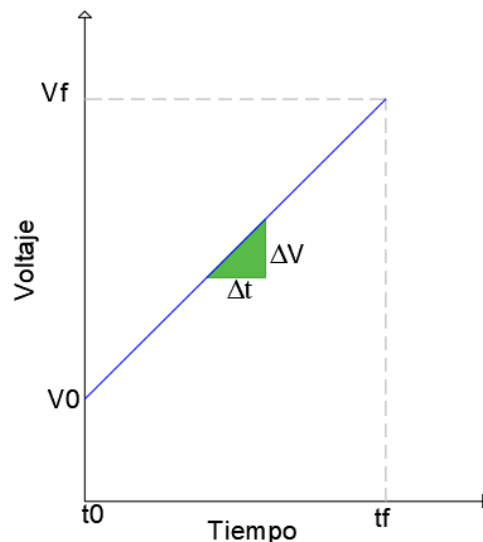


Figura 2.12 Método C de la norma ASTM-149 (Incremento del nivel de voltaje)
Fuente: Los Autores

2.6. Descargas Parciales

Las descargas parciales ocurren debido a la existencia de un campo eléctrico elevado no uniforme, aumentando el deterioro del sistema de aislamiento a lo largo del tiempo, es decir reduce su vida útil (ruptura de la rigidez dieléctrica), por lo que podemos afirmar que las descargas parciales son un fenómeno de rotura eléctrica que está localizado en un medio aislante, entre dos conductores que se encuentran a diferente potencial.

Se detallan a continuación las principales causas por las que se dan las descargas parciales:

- Presencia de burbujas en aislamiento sólidos y líquidos.
- Presencia de humedad o grietas.
- Presencia de contaminantes en la superficie de aislamiento.
- Efectos puntuales que localizan el estrés dieléctrico en el aislamiento.
- Tensión que excede la rigidez dieléctrica de los materiales aislantes.

2.6.1. Tipos de Descargas Parciales

Las descargas parciales se las puede clasificar según su origen en: DP (interna, superficial, corona, Arborescencia eléctrica)

➤ Descarga Parcial Interna

Este tipo de descargas son originadas generalmente debido a ventrículos presentes dentro del aislamiento eléctrico. Los ventrículos son puntos débiles en el aislante que se producen por una fabricación defectuosa o por el deterioro del material [18].

En el interior de un ventrículo existe un campo eléctrico el cual es igual o superior al campo eléctrico que rodea el aislamiento. Esto es porque el gas posee una rigidez dieléctrica inferior que el aislamiento que lo rodea y también debido a la permitividad del gas que es usualmente menor que la del material dieléctrico, por este motivo el campo eléctrico se intensifica en estos ventrículos y al tener menor rigidez dieléctrica se producen descargas parciales y se va deteriorando el aislamiento [18].

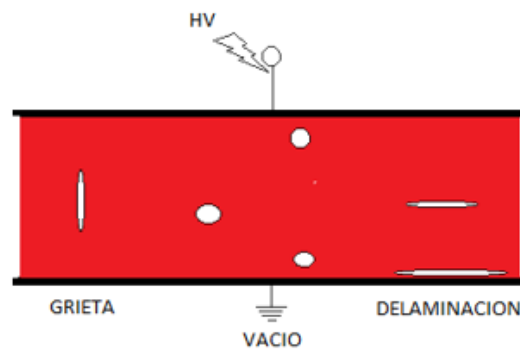


Figura 2.13 Descarga Parcial Interna
Fuente: Los Autores

En la figura anterior se muestra que la descarga parcial emite impulsos en relación con la tensión aplicada. Se observa que V_c es el voltaje en el ventrículo, el cual es una fracción del voltaje aplicado V_a , cuando el voltaje en el ventrículo alcanza U_+ , el cual es el voltaje de ruptura del gas dentro del ventrículo, se produce la descarga y el voltaje en la cavidad cae a V_+ donde la descarga se detiene [18].

➤ Descarga Parcial Superficial

En este tipo de descarga debemos tener en cuenta que la humedad y el contaminante ambiental tienden a formar capas sobre el aislante. La capa formada por estos factores se convierte en una vía a la corriente de fuga sobre la superficie del aislante. Esta corriente generará calor en la superficie y provocará evaporación y a su vez causará interrupción física en la capa del contaminante [18].

Como podemos observar en la figura 2.14 las descargas superficiales ocurren entre dos materiales aislantes. La diferencia en permitividades provoca el aumento del campo en uno de los materiales y así se puede provocar una ruptura [18].

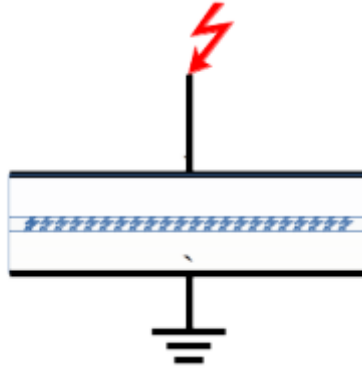


Figura 2.14 Descarga Parcial Superficial
Fuente: [18]

➤ **Descargas Parciales Corona**

Descargas tipo corona, es un tipo de descarga que ocurren normalmente entre dos electrodos de pequeño radio de curvatura rodeados por medio gaseoso. El efecto corona es un proceso de baja energía, pero, en un intervalo de tiempo prolongado, puede deteriorar sustancialmente el aislamiento, ocasionando fallas debido a la ruptura dieléctrica. La presencia de esta descarga puede reducir la confiabilidad de un sistema de aislamiento, además que este tipo de efectos son acumulativos y permanente, por lo cual la falla puede ocurrir sin previo aviso [18].

➤ **Descargas Parciales por Arborescencia Eléctrica**

La descarga por arborescencia eléctrica se forma a partir de un punto defectuoso como un pequeño vacío de gas, partícula metálica o un borde de electrodo agudo, en donde el campo eléctrico es alto. Este punto débil puede crecer y con el tiempo formar un árbol dentro del aislamiento, provocando en un punto una rotura completa del aislamiento [1],[19].

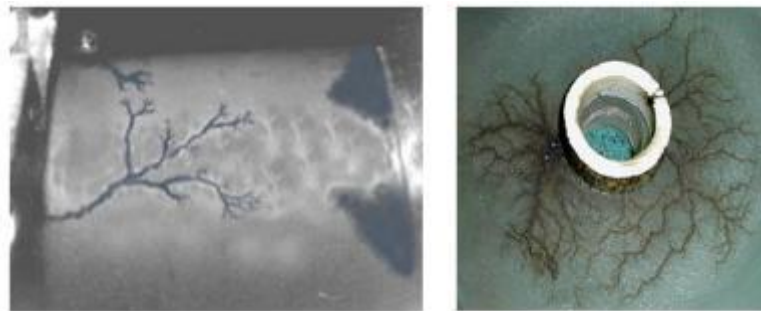


Figura 2.15 Descargas Parciales por Arborescencia Eléctrica
Fuente: [19]

2.6.2. Medición de Descargas Parciales

Para poder medir y detectar las descargas parciales en un aislante, se necesita de un circuito específico, el cual debe contemplar la característica de ofrecer un camino de baja impedancia para el pulso que provoca la descarga [1],[17].

Por lo cual la normativa IEC indica dos métodos para la detección y medición de descargas parciales.

- IEC 60270: Métodos Convencionales
- IEC 62478: Métodos No Convencionales

➤ IEC 60270: Métodos Convencionales

Esta norma establece los circuitos a utilizar para la detección y medición de las descargas parciales, que pueden ser por de medición directa e indirecta, y estos se encargan de analizar la señal eléctrica para observar los picos o pulsos de corriente. Para obtener una buena medición se recomienda que el material aislante debe estar libre de impurezas, a temperatura ambiente y seco, debido a que estos podrían provocar descargas parciales prematuras que no corresponden a fallas del aislamiento [1],[17],[20].

Los circuitos de medición directa e indirecta utilizan los mismos elementos con la diferencia que el circuito directo se caracteriza por poseer la impedancia de medida en serie con la muestra de prueba mientras que el circuito indirecto la muestra se coloca en paralelo con el capacitor de acoplo y la impedancia de medición [1],[17],[20].

Los elementos que componen el circuito son:

- Fuente de alto voltaje
- Impedancia para efectuar el filtrado de ruido o de interferencia nombrada Z_n
- Un capacitor que admita el paso de corriente a altas frecuencias nombrado C_k
- Osciloscopio para la adquisición de datos
- Muestra a la cual se le realizará la prueba nombrada C_a
- Impedancia de medición, por el cual circulan los pulsos de corriente para adquisición de datos, nombrada Z_m

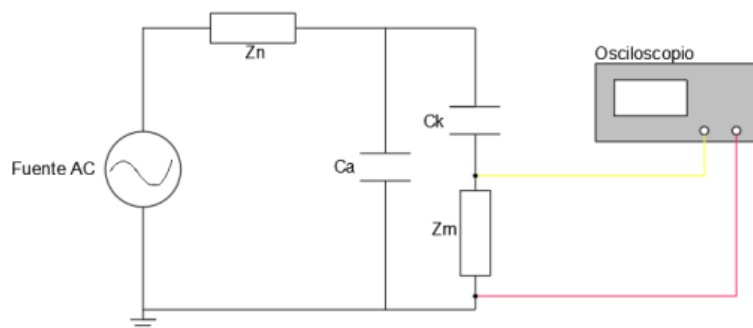


Figura 2.16 Circuito de Medición Indirecta para la Detección de Descargas Parciales
Fuente: Los Autores

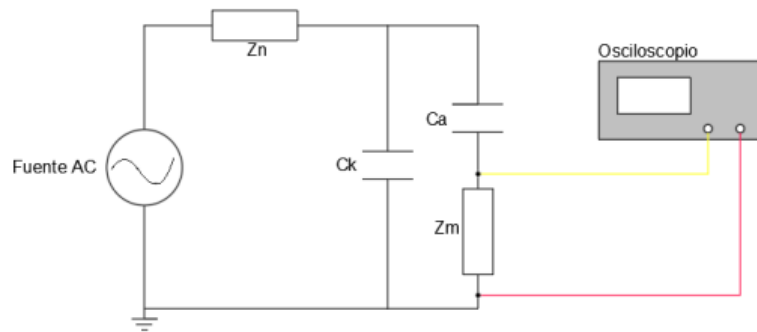


Figura 2.17 Circuito de Medición Directa para la Detección de Descargas Parciales
Fuente: Los Autores

➤ IEC 62478: Métodos No Convencionales

Los métodos no convencionales no siguen ningún circuito para llegar a medir descargas parciales, si no que utilizan métodos como el auditivo que consiste en percibir el instante de la descarga parcial, ya que al incrementar el nivel de voltaje se origina un zumbido característico o también el visual que se detecta mediante la observación de la prueba, notando el nivel e instante de voltaje al que se origina las descargas parciales.

2.7. Coordinación de Aislamiento

Consiste en la selección del voltaje normalizado soportado que caracteriza el aislamiento del material, considerando los sobrevoltajes que pudieran surgir, las características de equipos de protección disponibles y las condiciones ambientales [1],[6], [21].

El objetivo de la coordinación de aislamiento es determinar las características de aislamiento suficientes y necesarias de los equipos de las redes eléctricas, por lo cual resulta de mucha importancia dentro de un SEP, debido a que estos se encuentran expuestos a sobrevoltajes ocasionados por fallas, descargas atmosféricas y operación de interruptores [1],[6],[21].

Para la selección de la resistencia dieléctrica o selección de la soportabilidad y su aplicación en relación con los voltajes que pueda aparecer en el sistema e instalaciones, la norma IEC presenta una guía de aplicación [6],[22].

Las normas por utilizar en el cálculo de la coordinación de aislamiento son:

- IEC 60071-1, Coordinación de aislamiento: definición, principios y reglas.
- IEC 60071-2, Coordinación de aislamiento: Guía de aplicación.

2.7.1. IEC 60071-1, Coordinación de aislamiento: definición, principios y reglas.

Esta norma se establece únicamente para sistemas trifásicos de voltajes superiores a 1 kV, en donde se definen procedimientos y conceptos básicos a seguir, así como también define sobrevoltajes que pudiesen presentarse en el sistema, clasificándolos según su duración y forma [1],[6].

Sobrevoltaje permanente: Voltaje a frecuencia de la red, considerada con un valor eficaz constante, aplicada persistentemente a cualquier par de bornes de una configuración de aislamiento [1],[6].

Sobrevoltaje temporal: Sobretensión a frecuencia industrial de permanencia relativamente larga. Tener en cuenta que la sobretensión puede ser no amortiguada o amortiguada débilmente, en algunos casos, su frecuencia puede ser algunas veces superior o inferior a la frecuencia industrial [1],[6].

Sobrevoltaje transitorio: Sobretensión de corta duración, que no sobrepasa de unos milisegundos, oscilatoria o generalmente fuertemente amortiguada [1],[6].

Sobrevoltaje de frente lento: Sobretensión transitoria, por lo general unidireccional, con un tiempo pico de $20 \mu s < T_p \leq 5000 \mu s$, y de duración de cola $T_2 < 20ms$ [1],[6].

Sobrevoltaje de frente rápido: Sobretensión transitoria, por lo general unidireccional, con un tiempo pico de $0,1 \mu s < T_p \leq 20 \mu s$, y de duración de cola $T_2 < 300 \mu s$ [1],[6].

Sobrevoltaje de frente muy rápido: Sobretensión transitoria, por lo general unidireccional, con un tiempo pico de $T_f \leq 0,1 \mu s$ de duración total $< 3ms$ y con oscilaciones superpuestas de frecuencia $30kHz < f < 100MHz$ [1],[6].

Sobrevoltaje combinado (temporal, de frente lento, de frente rápido, de frente muy rápido): Consiste en dos componentes de voltaje aplicados simultáneamente, entre cada uno de los dos bornes de fase de un aislamiento entre fases o longitudinal y la tierra, dicha sobretensión se clasifica como su componente de valor de cresta más elevado [1],[6].

Otra de las consideraciones a tomar en cuenta de la norma IEC 60071, es la determinación de los tiempos de duración de los niveles de voltajes estandarizados para pruebas.

Voltaje normalizado de corta duración a frecuencia Industrial: Voltaje sinusoidal que comprende una frecuencia entre 48Hz y 62Hz y de duración igual a 60s [1],[6].

Voltaje normalizado de impulso tipo maniobra: Voltaje de impulso que tiene un tiempo pico de 250 μs y un tiempo hasta la mitad del valor de 2500 μs [1],[6].

Voltaje normalizado de impulso tipo rayo: Voltaje de impulso que posee un tiempo de frente de 1,2 μs y un tiempo hasta la mitad del valor de 50 μs [1],[6].

Clase	Baja frecuencia		Transitoria		
	Permanente	Temporal	De frente lento	De frente rápido	De frente muy rápido
Forma de tensión					
Rango de formas de tensión	$f = 50 \text{ Hz} \text{ ó } 60 \text{ Hz}$ $T_1 \geq 3 \text{ 600 s}$	$10 \text{ Hz} < f < 500 \text{ Hz}$ $3 \text{ 600 s} \geq T_1 \geq 0,03 \text{ s}$	$5 \text{ 000 } \mu\text{s} \geq T_p > 20 \mu\text{s}$ $T_2 \leq 20 \text{ ms}$	$20 \mu\text{s} \geq T_1 > 0,1 \mu\text{s}$ $T_2 \leq 300 \mu\text{s}$	$100 \text{ ns} \geq T_f > 3 \text{ ns}$ $0,3 \text{ MHz} < f_1 < 100 \text{ MHz}$ $30 \text{ kHz} < f_2 < 300 \text{ kHz}$ $T_t \leq 3 \text{ ms}$
Forma normalizada de tensión	$f = 50 \text{ Hz} \text{ ó } 60 \text{ Hz}$ T_1^*	$48 \text{ Hz} \leq f \leq 62 \text{ Hz}$ $T_1 = 60 \text{ s}$	$T_p = 250 \mu\text{s}$ $T_2 = 2 \text{ 500 } \mu\text{s}$	$T_1 = 1,2 \mu\text{s}$ $T_2 = 50 \mu\text{s}$	*
Ensayo de tensión soportada normalizada	*	Ensayo de corta duración a frecuencia industrial	Ensayo de impulsos tipo maniobra	Ensayo de impulsos tipo rayo	*

Tabla 2.1 Clases de solicitaciones de tensión y de sobretensión
Fuente: [6]

La norma IEC establece las siguientes condiciones atmosféricas

Temperatura t_o	20°C
Presión b_o	$1,3\text{kPa} (1013\text{mbar})$
Humedad absoluta h_{ao}	11 g/m^3

Se puede producir flameo por arco eléctrico en redes aéreas debido a la contaminación como la lluvia acida o polución, el polvo en general, ante condiciones climáticas como lluvia ligera, nieve, niebla o rocío y nieve; por tal razón la selección radica en establecer el nivel de contaminación en la zona o área de estudio semejando las condiciones a los entornos típicos indicados por la norma IEC 60071 en el cual a cada nivel de contaminación pertenece un valor mínimo de distancia de fuga, el cual se expresa en mm/kV [1],[6].

Nivel de Contaminación	Ejemplos de entornos típicos	Distancia de fuga nominal mínima mm/kV
I ligero	Áreas sin industrias y con baja densidad de viviendas equipadas con plantas de calefacción. Áreas con baja densidad de industrias o casas, pero sometidas a frecuentes vientos y/o lluvias. Zonas agrícolas. Áreas montañosas. Todas estas zonas estarán situadas a una distancia mínima de 10km a 20km del mar y no estarán expuestas a vientos directamente desde el mar.	16

II Medio	Áreas con industrias que no producen humo particularmente contaminante y/o con densidad media de viviendas equipadas con plantas de calefacción. Áreas con alta densidad de casas y/o industrias, pero sometidas a frecuentes vientos y/o lluvias. Áreas expuestas al viento desde el mar, pero no demasiado cerca de las costas (al menos a varios kilómetros de distancia).	20
III Pesado	Áreas con alta densidad de industrias y suburbios de grandes ciudades con alta densidad de plantas de calefacción que producen contaminación. Áreas cercanas al mar o en cualquier caso expuestas a vientos relativamente fuertes del mar.	25
IV Muy Pesado	Áreas generalmente de extensión moderada, sometidas a polvos conductores y al humo industrial produciendo depósitos particularmente conductores gruesos. Zonas generalmente de extensión moderada, muy cerca de la costa y expuestas al mar-aerosol o vientos muy fuertes y contaminantes del mar. Áreas desérticas, caracterizadas por la ausencia de lluvias durante largos períodos, expuestas a fuertes vientos con arena y sal, y sometidas a condensación regular.	31

Tabla 2.2 Niveles de contaminación

Fuente: [1]

Existen dos categorías de sobretensiones normalizadas las cuales son establecidas por la normativa, estas son [1],[6]:

- Gama I: Mayor a 1kV hasta 245kV.

Esta gama se encarga de cubrir las redes de Sub transmisión y distribución.

- Gama II: Mayor a 245kV.

Esta gama se encarga de cubrir principalmente las redes de transmisión.

2.7.2. IEC 60071-2, Coordinación de aislamiento: Guía de aplicación.

En esta norma se detallan los pasos a seguir para realizar la coordinación determinando los niveles de aislamiento de equipos e instalaciones, voltajes soportados normalizados, teniendo en cuenta los factores de seguridad [1],[22].

Dichos pasos para la determinación de aislamiento son:

- 1.- Determinación de los sobrevoltajes representativos (URP)
- 2.- Determinación de los voltajes soportados de coordinación (UCW).
- 3.- Determinación de los voltajes soportados específicos (URW).
- 4.- Elección del nivel de aislamiento asignado.
- 5.- Lista de voltajes soportados normalizados de corta duración a frecuencia industrial.
- 6.- Lista de voltajes a impulsos normalizados.

7.- Gama de voltajes más elevados para el material.

8.- Elección de los niveles de voltajes normalizados

2.8. Nivel Básico de Aislamiento

Los equipos poseen un nivel de aislamiento diseñado para resistir voltajes superiores al de su operación normal. Existen dos niveles básicos de aislamiento, BIL o impulso tipo rayo (Basic lightning impulse insulation level) y BSL o impulso de maniobra (Basic switching impulse insulation level) [23].

2.8.1. Impulso tipo rayo

El BIL es la resistencia dieléctrica del aislamiento frente a un impulso de referencia, está dado en valores de cresta de voltaje de resistencia del aislamiento, a una onda completa de impulso normalizada [23].

Los impulsos tipo rayo se caracterizan por un frente rápido comprendido entre $0.1\mu\text{s}$ y $20\mu\text{s}$ [1].

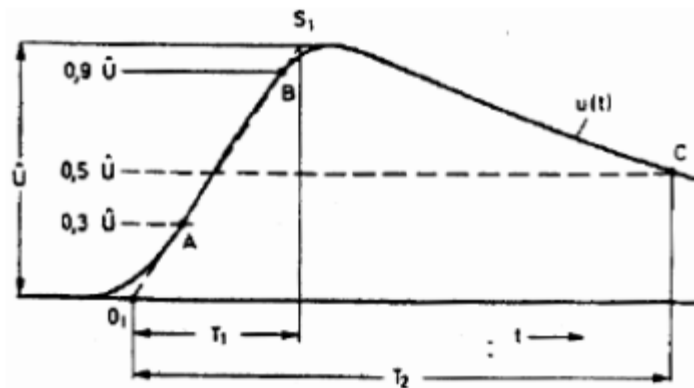


Figura 2.18 Onda de impulso tipo rayo

Fuente: [1],Terco

La onda de voltaje de impulso tipo rayo se observa un tiempo T_1 de $1,2\mu\text{s}$ de frente, y T_2 de $50\mu\text{s}$ para el valor medio o tiempo de cola [1].

La norma IEEE especifica que se permita una tolerancia de $\pm 30\%$ para T_1 y de $\pm 20\%$ para T_2 , es decir [1]:

$$T_1 = 1,2 \pm 30\%$$

$$T_2 = 50 \pm 20\%$$

2.8.2. BIL convencional

Es la determinación de la máxima y mínima sobretensión que soporta el aislamiento. Es el valor de cresta de un impulso de rayo estándar para el cual no falla el aislamiento del material cuando se somete a un número de impulsos específicos considerando condiciones específicas [1],[24].

2.8.3. BIL estadístico

Se necesita conocer la distribución de frecuencia de las sobretensiones y la curva de probabilidad de falla de aislamiento, asumiendo un riesgo de fallo aceptable. Es el valor de cresta de un impulso de rayo para el cual el aislamiento tiene un 10% de probabilidad de sufrir un fallo [1],[24].

El manual de práctica de TERCO establece el circuito para generar impulsos de cargas sobre los aislamientos que serán sometidos a pruebas. La finalidad de someter un elemento a pruebas de impulsos tipos rayos en alta tensión, es que este debe soportar diferentes niveles de voltaje de impulso. Para lo cual se toma en consideración el esquema presentado en la figura 2.19.

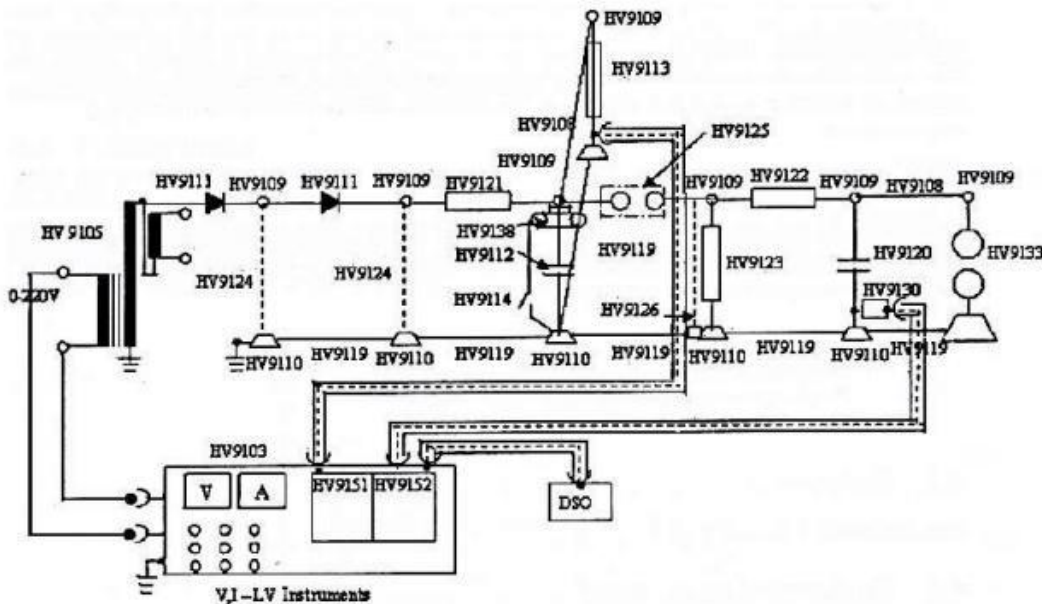


Figura 2.19 Esquema ensayo de Impulso Tipo Rayo
Fuente: TERCO

2.8.4. Sobrevoltaje de Flameo U50%

Es el voltaje en el cual hay 50% de probabilidad que ocurra falla, se puede dar al existir una sobretensión a corta distancia ocasionando una disrupción, afectando el sistema. Entre los métodos que más sobresalen se destaca la prueba de niveles múltiples, Up and Down y pruebas de descargas sucesivas, además del método estadístico establecido en el estándar 4 IEEE, obedeciendo a parámetros aleatorios para determinar la tensión [1].

Para realizar los ensayos se configura los electrodos punta- punta, aplicando una onda de impulso tipo rayo (1,2/50uS) de polaridad positiva. Se genera una descarga disruptiva que atraviesa el aislamiento generando un flujo de corriente muy elevado deteriorando el aislamiento [1].

2.8.5. Configuración de Electrodo

Los electrodos punta – punta y punta – placa representan las tensiones de descarga disruptiva U50% en configuraciones con campos no uniformes dentro de un SEP [1],[24].

En una configuración de electrodos punta – placa el factor electro geométrico Kg es igual a 1, para el resto de las configuraciones se puede estimar con la ecuación 2.1.

$$Kg = e^{\frac{0.5h}{h+d}} \quad (2.1)$$

Considerando que:

- d: distancia de separación interelectródica
- h: altura del electrodo aterrizado a tierra

En la configuración de electrodos punta-punta la tensión de flameo se determina mediante la ecuación 2.2.

$$U_{50\%punta-punta} = Kg * U_{50\%punta-placa} \quad (2.2)$$

El valor del factor electro geométrico para su respectiva configuración de electrodos se encuentra indicado en la tabla 2.3.

Configuración de electrodos	factor electromagnético kg
Punta- Punta	1
Conductor – Placa	1,15
Conductor – Ventana	1,2
Punta – Punta	$\frac{0,5h}{e^{h+d}}$
Conductor – Estructura	$1,1 + \frac{0,3}{1 + \frac{w}{d}}$

Tabla 2.3 Factores electro geométricos

Fuente: [1],[24].

2.9.Voltaje de Flameo

Voltaje crítico de flameo o voltaje de flameo U50% es el voltaje de descarga disruptivo en el cual se presenta una probabilidad del 50% de producir una falla en un aislamiento. El estándar 4 IEEE y IEC 60071-2 establecen que por medio de la tensión de flameo U50% se puede determinar los niveles de aislamientos básicos BIL y BSL mediante la ecuación 2.3 [1],[24].

$$V = (1 + 2\sigma_{p.u}) \cdot U_{50\%} \quad (2.3)$$

Donde:

- $\sigma_{p.u}$: Desviación estandar en por unidad
- z: Parámetro estadístico que varía según la probabilidad de descarga deseada
- V: Es la tensión en kV para cualquier probabilidad de descarga
- $U_{50\%}$: Es la tensión de flameo en kV con 50% de probabilidad de descarga

En la norma IEEE st4 establece que la desviación estándar $\sigma_{p.u}$ dictamina los valores de 5% para impulsos tipo maniobra y 3% para impulso tipo rayo (BIL).

$$\sigma_{p.u} = \frac{\sigma}{U_{50\%}} \quad (2.4)$$

En función del voltaje de flameo se determina los niveles de aislamientos mediante las siguientes ecuaciones:

$$BSL = 0,936 \cdot U_{50\%} \quad (2.5)$$

$$BIL = 0,9616 \cdot U_{50\%} \quad (2.6)$$

2.9.1. Método de ensayo niveles múltiples para determinar el voltaje de flameo

En ensayos efectuados con ondas de impulso tipo rayo este método permite una estimación acertada de la tensión de flameo. Se aplica 15 impulsos de a diferentes niveles de voltajes, inicialmente se define un valor de voltaje (V_0) y el incremento de voltaje (ΔV) del 3% del voltaje de flameo $U_{50\%}$, el número de las muestras aumentará con la veracidad de los resultados en el ensayo [1],[24].

2.9.2. Voltaje $U_{50\%}$

A través de configuraciones electródicas estandarizadas (punta – punta y punta – placa) se estima el voltaje de flameo $U_{50\%}$ con relaciones conocidas. Por medio de la ecuación 2.6 determina la tensión de flameo al 50% de la configuración punta - punta [1],[24].

$$U_{50\%} = kg \cdot 500 \cdot d \quad (2.7)$$

Donde:

- kg : factor de configuración electródica
- $U_{50\%}$: Tensión crítica de flameo por impulso de rayo (kV)
- D : distancia crítica de flameo de fase a tierra (m) que debe garantizar estadísticamente una probabilidad de flameo
- 500: Valor del campo eléctrico cuando se inicia el streamer (kV/m)

$$U_{50\%} = 1 \cdot 500 \cdot 0,1$$

$$U_{50\%} = 50kV$$

2.9.3. Voltaje inicial

No existe un fundamento teórico que establezca un valor de voltaje inicial para los ensayos, por lo que se debe estimar un valor en base a la experiencia previa mediante la configuración de electrodos. Se tiene establecida una expresión para establecer un valor para voltaje inicial, la misma está representada por la ecuación 2.8 [1].

$$V_0 = U_{50\%} - (1,5) \cdot (0,03) \cdot U_{50\%} \quad (2.8)$$

Donde:

- $U_{50\%}$: es la voltaje de flameo esperada para la configuración electródica punta – punta

$$V_0 = 50kV - (1,5) \cdot (0,03) \cdot 50kV$$

$$V_0 = 51,49 kv$$

2.9.4. Incremento de voltaje (ΔV)

En la norma standard 4 IEEE se indica que para impulsos atmosféricos el incremento del voltaje debe ser entre 1,5% y 3% del valor del voltaje inicial ya que de esto depende la valides de los resultados, se puede estimar mediante la ecuación 2.9 [1].

$$\begin{aligned}\Delta V &= 3\% \cdot U50\% & (2.9) \\ \Delta V &= 3\% \cdot 50kV \\ \Delta V &= 1,54kV\end{aligned}$$

2.10. Factor de Corrección Atmosférica

La corrección atmosférica permite cubrir las diferencias existentes entre el lugar donde va a funcionar el equipo y el sitio donde se realizaron las pruebas [1],[24],[25].

El factor de corrección atmosférica se aplica solamente al aislamiento externo porque este es el que se encuentra en contacto directo con la atmósfera. Las variaciones en las condiciones atmosféricas no influyen en las propiedades aislantes en el aislamiento interno, por lo que afirmamos que las variaciones externas son independientes del aislamiento interno del equipo [1],[24],[25].

En la norma IEC 60071-2 se establece que el factor de corrección atmosférico es definido en función de la humedad y la densidad relativa del aire tomando en cuenta la siguiente ecuación 2.10 [1],[22],[24],[25]:

$$K_t = k_1 \cdot k_2 \quad (2.10)$$

Donde:

K_t factor de corrección atmosférico

k_1 factor de corrección en función de la densidad del aire

k_2 factor de corrección en función de la humedad

Después de varias pruebas se ha establecido que la presión del aire tiende a decrecer exponencialmente con la altura, concluyendo que la rigidez dieléctrica también decrece de una forma exponencial. Consecuentemente la disminución de la rigidez debe ser corregida en función del voltaje a soportar. La expresión para corregir la rigidez dieléctrica por efecto de la disminución de la densidad del aire es 2.11[1],[22],[24],[25]:

$$K'_a = \frac{1}{K_a} = e^{m \cdot \left(\frac{H}{8150}\right)} \quad (2.11)$$

Donde:

K_a Factor de corrección por la altura

m Exponente experimental

K'_a Factor con el cual decrece la rigidez dieléctrica

H Altura en metros sobre el nivel del mar

$m= 1$ para voltajes soportados de coordinación a impulsos atmosféricos

La Norma IEC 60071-2, establece rangos de voltajes estandarizados indicando que cualquier aislamiento externo sobre los 1000 msnm se corrige mediante la ecuación 2.12 [22].

El fabricante generalmente especifica el aislamiento hasta los 1000 msnm, deduciendo que el equipo no fallara dentro de un rango de 0 hasta los 1000 msnm y al sobrepasar ese rango se debe realizar la corrección mediante la ecuación 2.12 [1],[22],[24],[25].

$$K'_a = e^{m \cdot \left(\frac{H-1000}{8150} \right)} \quad (2.12)$$

En la corrección atmosférica por altura, la Norma ANSI establece su propio coeficiente de corrección por la altura. En la tabla 4, se describe los coeficientes de corrección por la altura considerando los msnm al cual se encuentra ubicado, dichos factores se obtienen aplicando la ecuación 2.12 [23].

2.10.1. Factor de corrección que se aplica al BIL por efecto de la altitud

Altura (m.s.n.m)	Factor "Ka"	Altura (m.s.n.m)	Factor "Ka"
1000	1,00	2700	0,83
1200	0,98	3000	0,80
1500	0,95	3600	0,75
1800	0,92	4200	0,70
2100	0,89	4800	0,65
2400	0,86	5400	0,61

Tabla 2.4 Coeficientes de corrección por la altura

Fuente: [23], Normas IEC y ANSI.

En la Norma IEC 60071-2 se indican factores de seguridad para aislamiento interno y aislamiento externo.

Factor de seguridad para el aislamiento interno $K_s=1,15$

Factor de seguridad para el aislamiento externo $K_s=1,05$

CAPÍTULO 3

3. Desarrollo

3.1. Delimitación de Nivel de Presión en la Máquina Simuladora de Lluvia

La norma IEEE st.4 establece los parámetros de trabajo en condiciones de humedad, con ello se determinó el nivel de presión del agua en la máquina simuladora de lluvia, que se utilizó para realizar las pruebas en las muestras de postes con materiales poliméricos reforzados con fibra de vidrio.

Utilizando un recipiente uniforme de 15·15 cm se midió el nivel de agua que va a caer sobre la pieza durante un tiempo de 1 minuto a una presión de 15 PSI. Se determinó que sobre la pieza de ensayo caerían continuamente 1,90 mm/min de agua, manteniéndose estos valores dentro de los rangos establecidos en la norma, por lo cual se realizó las diferentes pruebas en las muestras a estos niveles de presión.



Figura 3.1 Recipiente utilizado en la medida de precipitación de la máquina
Fuente: [24]

3.2. Acondicionamiento de Resistividad del Agua

Se utilizó 134 litros de Agua dato seleccionado de la tesis “Diseño y construcción de un simulador de lluvia para el laboratorio de alta tensión de la UPS - Cuenca”, luego de tres días de reposo del líquido se precedió a realizar las pruebas para la regulación de resistividad del agua. En el IEEE st.4 establece que la resistividad del agua para ensayos en condiciones húmedas debe ser de $\pm 100 \Omega \cdot m$. En el laboratorio de Biotecnología de la Universidad Politécnica Salesiana se realizó las mediciones de conductividad del agua.

En una muestra inicial de 300 ml de agua de tanque se realizó la medida de la conductividad el mismo que dio un valor de $73 \mu S/cm$ como se muestra en la figura 3.2.



Figura 3.2 Medida Conductividad Inicial muestra de agua
Fuente: Los Autores

Tomando en consideración que el valor obtenido en la figura 3.2, es conductividad se procede a realizar una conversión para que este valor este determinado en unidades de resistividad. Aplicando la conversión se obtuvo que $73 \mu S/cm$ equivale a una resistividad de $136,98 \Omega \cdot m$.

Al no cumplir con los valores de resistividad establecidos en la norma IEEE st.4 se encuentra necesario realizar un ajuste en la conductividad del agua para cumplir con los parámetros establecidos en la norma. Para que el agua de muestra se asemeje al agua de lluvia se necesita agregar cloruro de sodio para llegar a la conductividad requerida en los ensayos.

La cantidad de cloruro de sodio se determinó preparando una solución salina al 2,5%, es decir 97,5 ml de agua destilada y 2,5 gr de sal. En la muestra de agua de 300ml se le agregó 0,1 ml de solución salina dando un valor de conductividad de $101,4 \mu S/cm$ equivalente a una resistividad $98,62 \Omega \cdot m$ mostrado en la figura 3.3 cumpliendo así con lo establecido en la norma un valor de $100 \pm 15 \Omega \cdot m$.



Figura 3.3 Medida de Conductividad Final Agua
Fuente: Los Autores

Finalmente se determinó la cantidad necesaria de solución salina para que el agua a utilizar tenga una correcta resistividad al aplicar los ensayos. Se obtuvo que en 134 litros de agua se debe aplicar 44,66 ml de solución salina al 2,5%.

3.3. Rigidez Dieléctrica

Para la realización de esta prueba se procedió a determinar el número de muestras necesarias, las cuales se las realizó mediante un análisis donde se definió la cantidad de postes fabricados en 1 mes, dando un total de 600 [UND] [1], una vez conocido este valor se procedió a aplicar la ecuación 3.1.

$$n = \frac{z^2 \cdot N \cdot p \cdot q}{e^2 \cdot (N-1) + z^2 \cdot p \cdot q} \quad (3.1)$$

Donde:

n = tamaño de la muestra

z = coeficiente de nivel de confianza (En el cual z tiene un nivel de confianza del 90% por lo tanto $z = 1,64$)

N = número de población

p = probabilidad a favor

q = probabilidad en contra

e = error de muestreo

$$n = \frac{1,64 \cdot 600 \cdot 0,8 \cdot 0,2}{0,1^2 \cdot (600 - 1) + 1,64^2 \cdot 0,8 \cdot 0,2}$$

$$n = 60,3303[UND] \approx 60[UND]$$

El cálculo indica que se debe realizar un total de 60 ensayos, sobre muestras con dimensiones de 12 cm x 12 cm y 7 mm de espesor (figura 3.4), pero debido al tamaño, tiempo y costo de fabricación del material y además de las pérdidas que generaría a la

empresa EQUISPLAST el dar estas muestras con las dimensiones indicadas se procedió a rebajar el número de ensayos a la mitad, realizando un total de 30 ensayos.



Figura 3.4 Muestras de postes PRFV
Fuente: Los Autores

Para la realización de las pruebas se utilizó electrodos en configuración punta-punta, ya que esta configuración de electrodos se asimila a la condición más crítica para ensayos a cortas distancias.



Figura 3.5 Configuración de electrodos punta-punta
Fuente: Los Autores

Para la ejecución de estos ensayos se procedió a utilizar el método A de la normativa ASTM-149. La cual consistió en dar un voltaje en forma ascendente hasta que se produzca la ruptura total de cada una de las muestras.

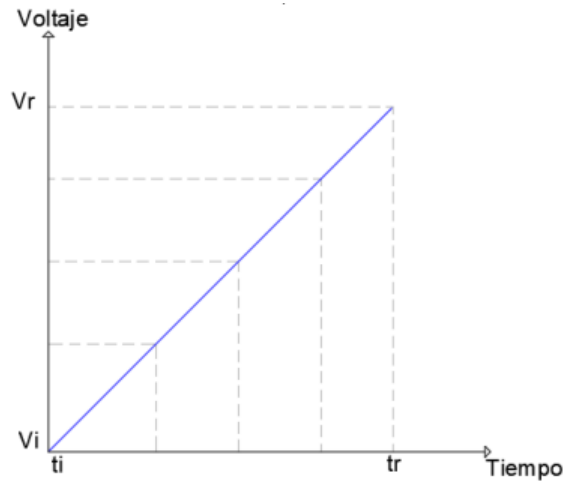


Figura 3.6 Método A de la norma ASTM-149 (Incremento del nivel de voltaje)
Fuente: Los Autores

El circuito implementado para determinar la rigidez dieléctrica fue el de la figura 3.7.



Figura 3.7 Circuito para determinar la rigidez dieléctrica
Fuente: Los Autores

Se creó la tabla 3.1 para determinar el nivel de voltaje al cual se produce la ruptura total.

Número de muestras	Distancia entre electrodos [mm]	Voltaje de ruptura (kV)
1	7	24,6
2	7	18,9
7	7	25,7
4	7	15,58
5	7	24,5
6	7	14,5
7	7	21,4
8	7	21,1
9	7	25,5
10	7	20
11	7	19,3
12	7	17,2

13	7	24,5
14	7	22,1
15	7	24,7
16	7	22,4
17	7	23,3
18	7	23,5
19	7	21,9
20	7	27
21	7	24,7
22	7	19,2
23	7	22,3
24	7	23,9
25	7	23,2
26	7	21,4
27	7	25,6
28	7	22,1
29	7	22,1
30	7	20,8

Tabla 3.1 Valores de voltaje de ruptura
Fuente: Los Autores

Una vez ejecutados todos los ensayos se comprobó que a partir de los 14,5 kV se produce la ruptura del material.



Figura 3.8 Muestra de poste PRFV con ruptura
Fuente: Los Autores

Luego de obtener los voltajes de ruptura se procede a calcular la media aritmética y la desviación estándar para poder formar la distribución gaussiana, la cual nos indicará como se encuentran distribuidos los valores obtenidos en los ensayos.

Media Aritmética:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + \dots + x_n}{N} \quad (3.2)$$

$$\bar{x} = 22,0993$$

Desviación Estándar:

$$s = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (3.3)$$

$$s = 2,9881$$

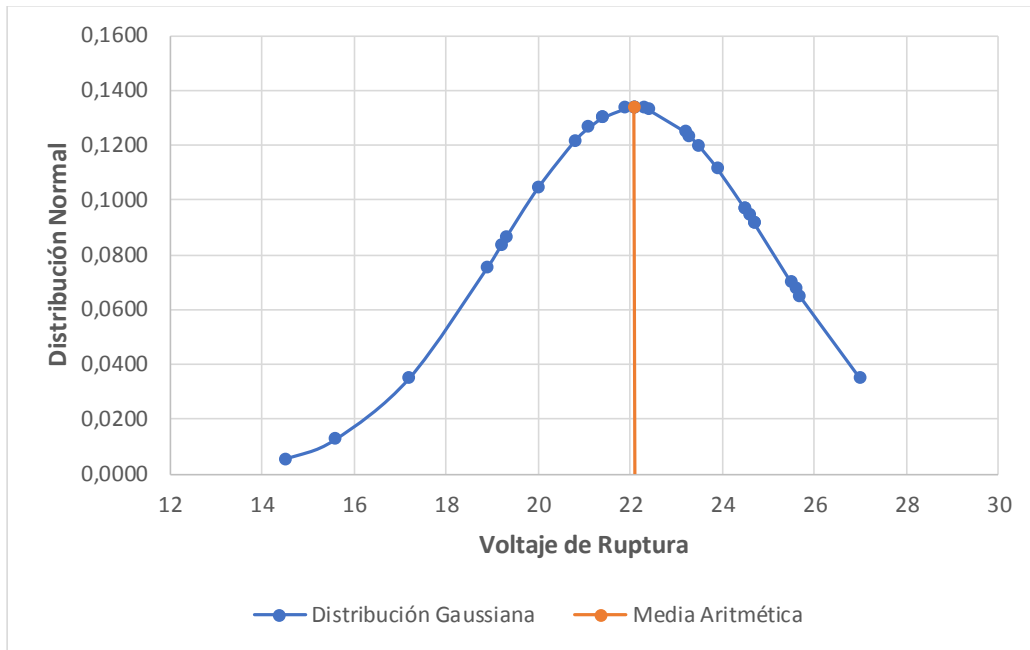


Figura 3.9 Distribución de Gauss con los voltajes de ruptura obtenidos en los ensayos realizados
Fuente: Los Autores

Como se puede observar en la figura 3.9 en la parte cóncava de la campana de Gauss se hallan la mayor distribución de datos, siendo un valor muy cercano a la media aritmética, mientras que por otra parte los valores que se encuentran hacia la izquierda de la media resultan ser los resultados más bajos de la distribución, siendo muestras que soportaron un menor valor de tensión de ruptura, esto debido a la construcción y uniformidad del poste, por otro lado, los valores que se encuentran hacia la derecha de la media aritmética son valores que soportaron un nivel mayor de voltaje. El valor de la media aritmética 22,0993kV resulta ser el valor de voltaje de ruptura promedio.

Para obtener el valor de la rigidez dieléctrica, se utiliza el valor de voltaje de ruptura y la distancia a las que se encontraron los electrodos.

$$E_r = \frac{V_r}{d} \quad (3.4)$$

$$E_r = 3,1570 \left[\frac{kV}{mm} \right]$$

Este valor de rigidez dieléctrica que se obtuvo bajo los efectos de la humedad resultó ser menor al valor de rigidez dieléctrica que se obtuvieron en las pruebas que se realizaron en condiciones normales el cual es de 7,65 kV, esto debido a las condiciones a las que fue expuesta la muestra de PRFV, ya que se pudo observar que su valor bajo en casi un 50% con respecto a la prueba realizada en condiciones normales, que sin embargo es un valor aceptable para este tipo de material en las condiciones dadas.

3.4. Descargas Parciales

Este ensayo se realizó basándonos en la norma IEC 60270, donde establece el circuito para determinar las descargas parciales en materiales aislantes sólidos. El circuito de la figura 3.10, consta de los siguientes elementos:

Elemento	Característica
Transformador de Potencial	
Resistencia de Carga	10 MΩ
Condensador de Medida	100 pF
Configuración Electrodo Punta – Punta	
Resistencia Cámara Simuladora de Lluvia	1kΩ – 5W

Tabla 3.2 Elementos Circuito Detección de Descargas Parciales

Fuente: Los Autores

A continuación se muestra el montaje experimental realizado en el laboratorio de Alta Tensión de la Universidad Politécnica Salesiana, figura 3.10.



Figura 3.10 Circuito armado para ensayo de Descargas Parciales

Fuente: Los Autores

Los ensayos en las muestras se realizaron a 4 niveles diferentes de voltaje, y un tiempo de duración de prueba establecido en la IEE St d.4 de 30 minutos cada medición como se muestra en la tabla 3.3.

Nivel de Voltaje kV	Duración Prueba (min) Ambiente Húmedo
3	30
6	30
9	30
12	30

Tabla 3.3 Niveles de Voltaje y Duración del ensayo

Fuente: Los Autores

Para cada ensayo en la muestra de poste de material polimérico reforzado con fibra de vidrio, en el osciloscopio se captura la imagen de la señal de onda tanto del inicio como del final de la prueba. La imagen de la onda luego fue sometida a un proceso de filtrado en el software MATLAB, para visualizar la existencia o inexistencia de descargas parciales sobre la muestra de poste en cada nivel de voltaje. Se realizaron un total de 8 pruebas para cada nivel de voltaje aplicado entre electrodos, obteniendo un total de 64 señales muestrales tanto de voltaje como de corriente.

3.4.1. Graficas de Corriente y Descargas Parciales en cada Nivel de Voltaje

A continuación, se muestran las imágenes de corriente y detección de descargas parciales luego de pasar por el proceso de filtrado realizando un breve análisis de cada imagen detallada.

➤ Señales muestrales para un voltaje de 3kV

Al aplicar un voltaje de 3kV a la muestra de poste, se puede apreciar en la figura 3.11, que la señal de color azul es la corriente de fuga, presentando una notable cantidad de ruido, a la cual se le realizó un proceso de filtrado (Filtro FIR orden 30 onda diferente con la señal obtenida en los ensayos permitiendo así apreciar una señal de corriente de fuga filtrada.

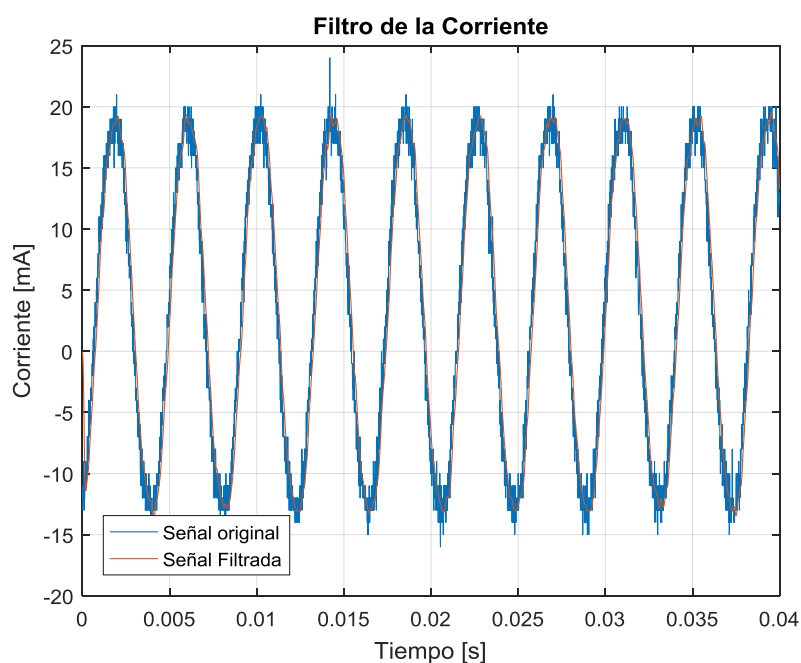


Figura 3.11 Señal de corriente y señal filtrada a un voltaje de 3kV

Fuente: Los Autores

Para poder observar la presencia de DP a este nivel de voltaje, se realizó la diferencia entre la señal filtrada (color rojo) y la señal creada (color amarillo) resultando la señal DP (color morado) presentada en la figura 3.12, para la obtención de la señal creada, se procedió a aplicar un método de ventana en Matlab llamado hamming el cual devuelve una ventana simétrica de punto L, finalmente se puede afirmar que a 3kV de voltaje la corriente de fuga es significativa, y no se puede observar presencia de descargas parciales.

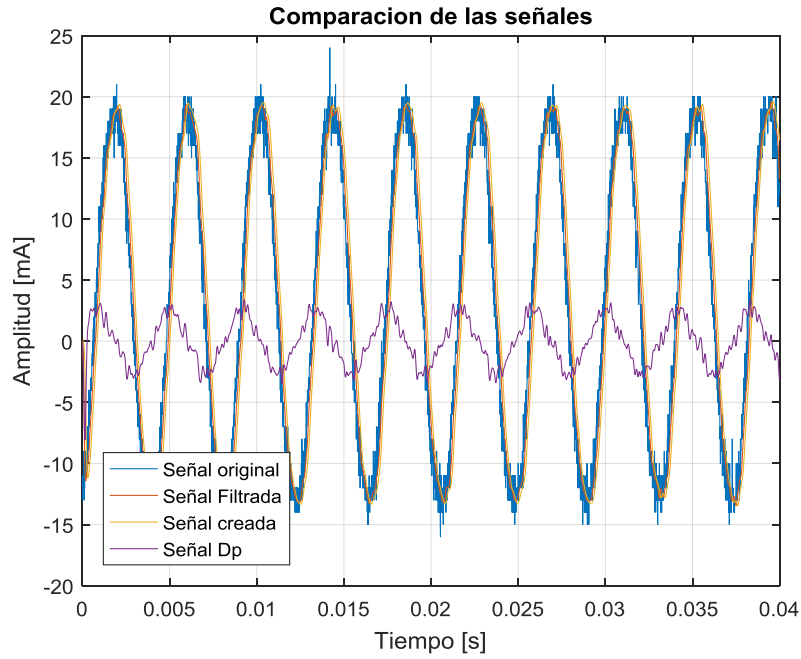


Figura 3.12 Señal de descargas parciales a un voltaje de 3kV
Fuente: Los Autores

➤ **Señales muestrales para un voltaje de 6kV**

A un nivel de voltaje de 6kV aplicados sobre la muestra de poste, se observa en la figura 3.13, que la señal de corriente de fuga (color azul) posee una menor cantidad de ruido que el ensayo anterior figura 3.11, asimismo se le realizó el proceso de filtrado para obtener una señal más pura.

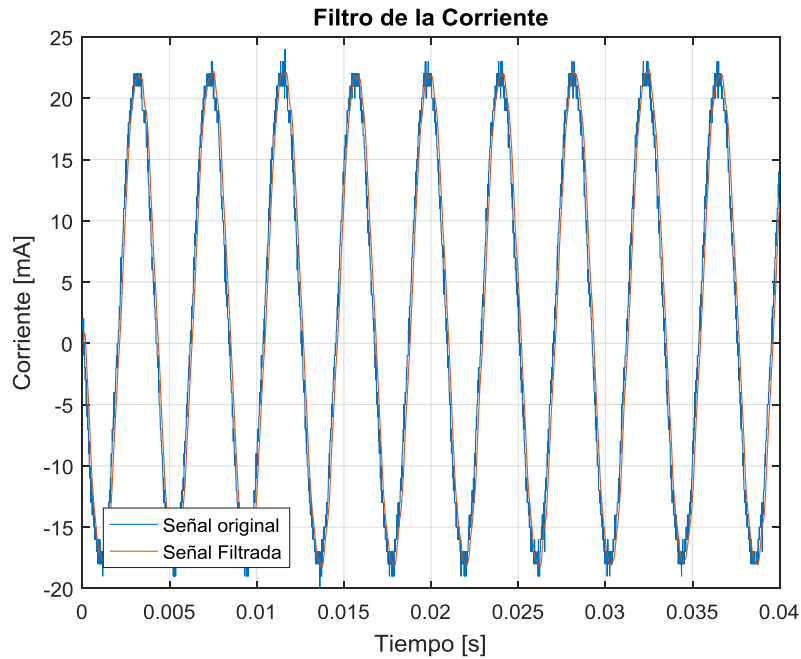


Figura 3.13 Señal de corriente y señal filtrada a un voltaje de 6kV
Fuente: Los Autores

En la figura 3.14, se presenta la diferencia entre la señal filtrada y la señal creada, resultando la señal de descargas parciales, afirmando que para un nivel de voltaje de 6kV las corrientes de fuga presentan valores significativos, pero no se aprecia la presencia de descargas parciales.

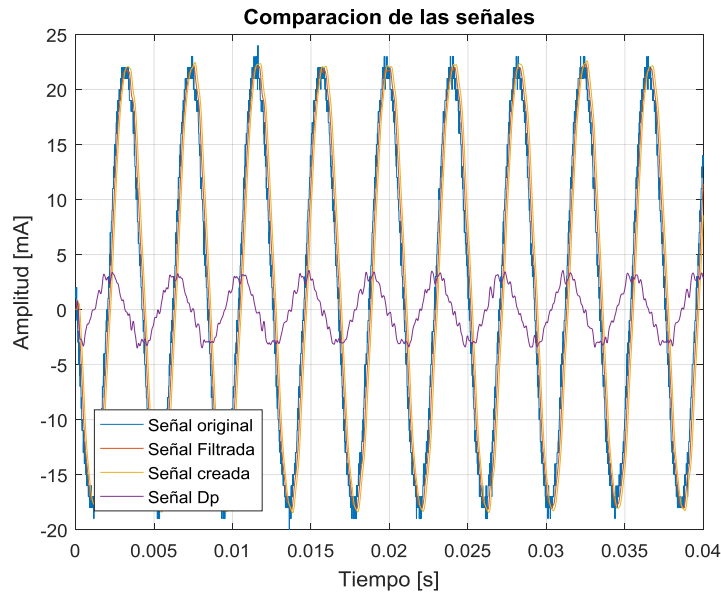


Figura 3.14 Señal de descargas parciales a un voltaje de 6kV
Fuente: Los Autores

➤ **Señales muestrales para un voltaje de 9kV**

La muestra de poste al ser sometida a un nivel de voltaje de 9kV presenta en la figura 3.15, la señal filtrada de corriente de fuga con muy poco ruido y con valores de corriente muy elevados.

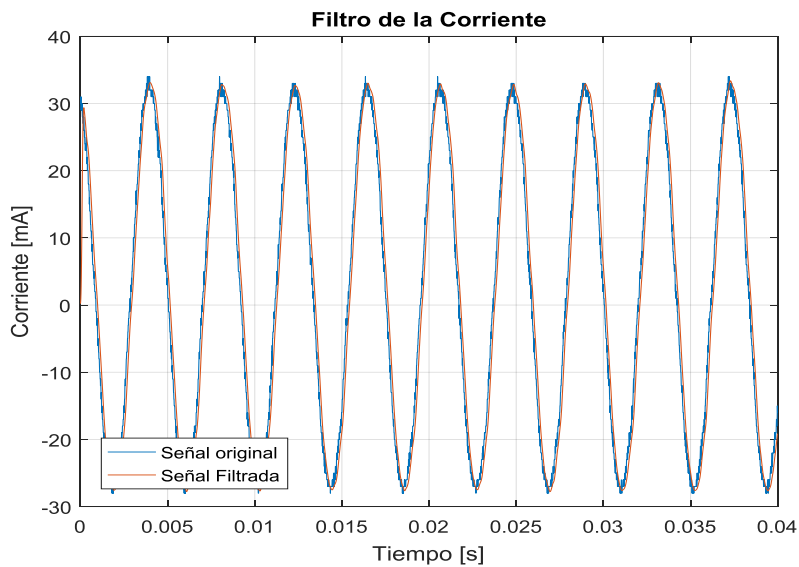


Figura 3.15 Señal de corriente y señal filtrada a un voltaje de 9kV
Fuente: Los Autores

Realizando la diferencia entre la señal creada y la señal filtrada, obtenemos la señal de descargas parciales (color morado) presentado en la figura 3.16, a este nivel de voltaje se pudo apreciar valores elevados de corrientes de fuga y pequeñas descargas parciales sobre la muestra de poste.

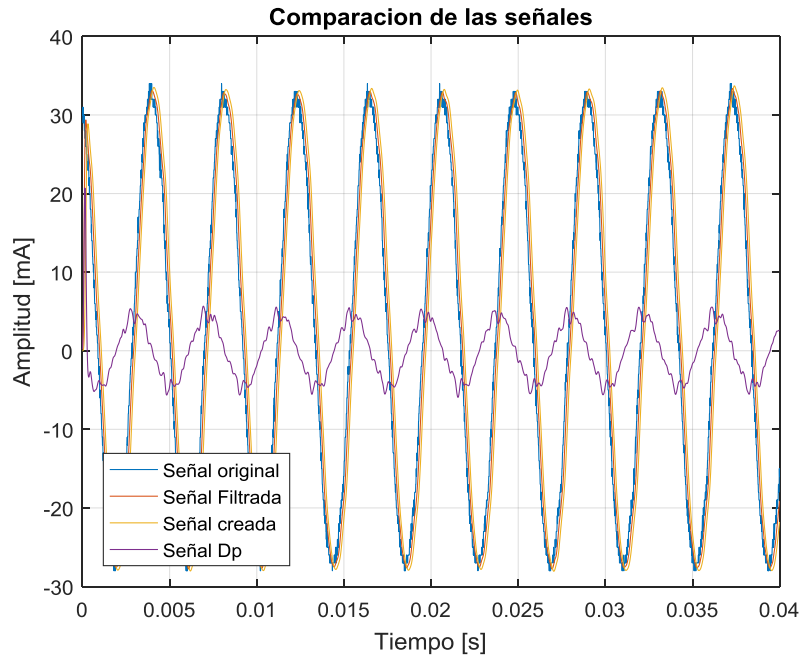


Figura 3.16 Señal de descargas parciales a un voltaje de 9kV
Fuente: Los Autores

➤ Señales muestrales para un voltaje de 12kV

La muestra fue sometida a un voltaje de 12kV presentada en la figura 3.17, apreciándose la señal se corriente de fuga presenta valores de corriente elevados, asimismo se realizó el filtrado de la señal para obtener una señal con menos ruido.

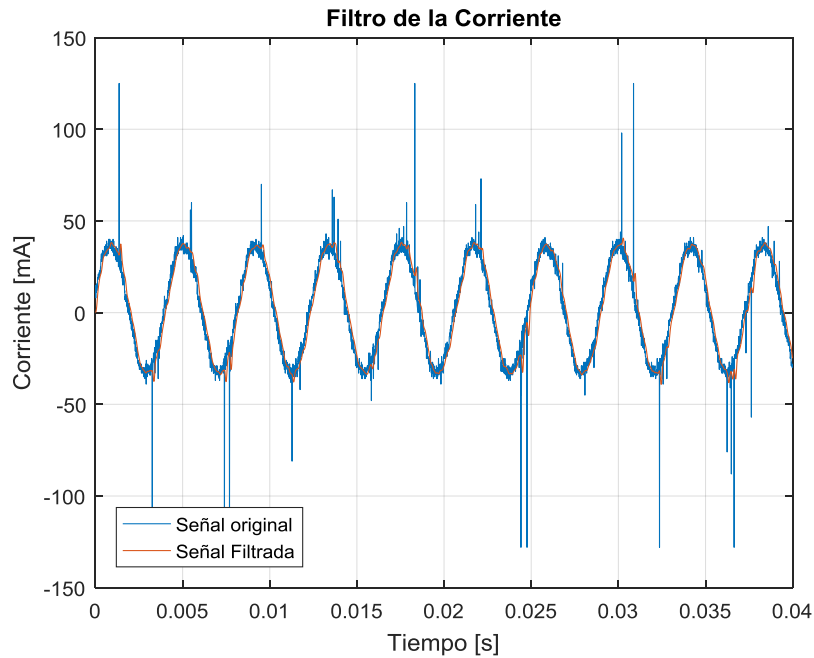


Figura 3.17 Señal de corriente y señal filtrada a un voltaje de 12kV
Fuente: Los Autores

Realizando la diferencia entre la señal creada y la señal filtrada se obtuvo la señal de descargas parciales (color morado) observada en la figura 3.18, apreciándose la presencia de descargas parciales en el ensayo, se puede afirmar que al aumentar el voltaje se formará un arco eléctrico en la configuración de electrodos punta-punta, y al presentarse elevados valores de corriente los equipos de medición podrían sufrir algún fallo.

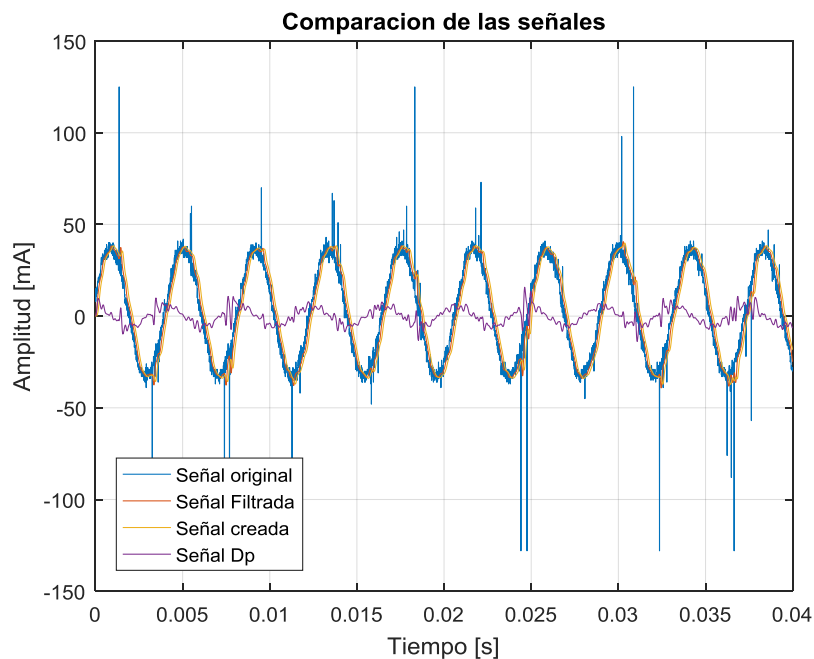


Figura 3.18 Señal de descargas parciales a un voltaje de 12kV
Fuente: Los Autores

3.4.2. Degradación del aislamiento

La prueba de degradación del aislamiento se realizó con la ayuda del equipo Fluke 1550C/1555 y de forma paralela a la prueba de descargas parciales, en esta prueba se determinó la resistencia de aislamiento sobre las muestras de PRFV. Estos ensayos se realizaron antes de que la muestra PRFV entre a la prueba de descargas parciales y luego de finalizada la prueba de descargas parciales para así poder obtener datos de cuanto se degrada la muestra de PRFV una vez que es sometida con voltajes, dichos voltajes a los que se sometieron fueron de 3kV a 12kV.



Figura 3.19 Equipo Fluke 1550C/1555
Fuente: Los Autores

El voltaje seleccionado para la prueba en el equipo Fluke 1550C/1555 fue de 10kV DC con una duración de 10 min por muestra, realizando como se mencionó anteriormente una medición inicial y otra sometiendo a los voltajes que van desde los 3kV a 12kV, en la tabla 3.4, se muestran los valores promedios obtenidos de los ensayos realizados por cada muestra, en la cual se obtuvo una medición inicial de 1,06 [TΩ] de resistencia de aislamiento y un valor final de 517,875[GΩ] de resistencia de aislamiento.

Degradación de Aislamiento	
Voltaje [kV]	Resistencia de aislamiento en [GΩ]
0	1066,284
3	817,05
6	746,875
9	594,5
12	517,875

Tabla 3.4 Valores promedios de resistencia de aislamiento en muestras de poste (PRFV)
Fuente: Los Autores

Una vez obtenido los datos de los valores promedio de resistencia de aislamiento, se procedió a graficar la curva de degradación de aislamiento en la cual se puede observar que a medida que se aumenta el nivel de voltaje, la muestra de poste (PRFV) evidencia pérdida de aislamiento tal como se ve en la figura 3.20.

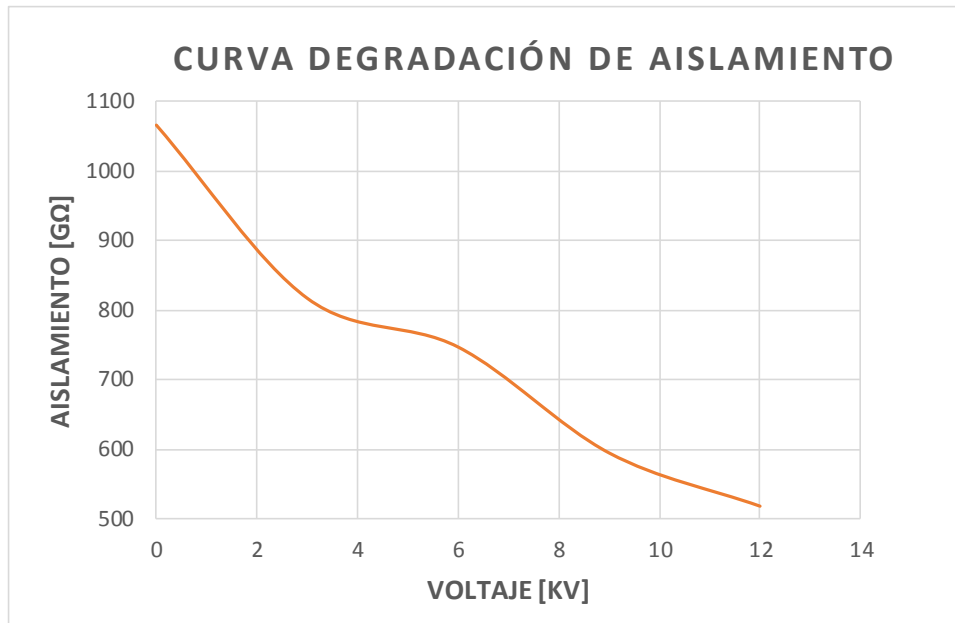


Figura 3.20 Curva de Degradación de Aislamiento
Fuente: Los Autores

➤ **Pruebas de aislamiento de DAR (Índice de Absorción Dieléctrica) y PI (Índice de Polarización)**

Las pruebas del DAR y PI sirven para establecer el estado de un aislante, ya sea por humedad o porque el aislamiento está contaminado. Para determinar el DAR y PI se lo realiza mediante mediciones de resistencia a través del tiempo las cuales se expresan como una proporción de la resistencia en el tiempo t2 dividida por la resistencia en el tiempo t1, aplicando un voltaje continuo [26],[27].

El FLUKE 1555C/1550 memoriza y mide el PI, esta prueba se realiza en un período de tiempo de 10 minutos, al finalizar este tiempo el índice de polarización se finaliza y se memoriza en el equipo, es decir que el PI se lo determina teniendo en cuenta la resistencia de aislamiento a los 10 min dividida para la resistencia de aislamiento a 1 min, que es lo que realiza el FLUKE 1555C/1550 [26],[27],[28].

$$PI = \frac{R_{10min}}{R_{1min}} \quad (3.5)$$

La IEC 60085-01 considera como resultados aceptables valores de $PI > 1,5$ para la clase térmica A, y valores de $PI > 2,0$ para las clases térmicas B, F, H [29].

Para obtener el DAR el FLUKE 1555C/1550 memoriza y mide el índice de absorción dieléctrica, a diferencia de la prueba del IP que tarda 10 minutos esta tarda solamente 1 minuto en completarse, se lo determina con la relación de la resistencia de aislamiento a 1 min dividida para la resistencia de aislamiento a 30 s que es lo que realiza el FLUKE 1555C/1550 [26],[27],[28].

$$DAR = \frac{R_{1min}}{R_{30s}} \quad (3.6)$$

Dado lo anterior se establecen los valores tentativos del DAR en la tabla 3.5, y el PI en la tabla 3.6, para evaluar el estado de una aislación.

Condición del Aislamiento	Resultado de DAR
Deficiente	< 1
Aceptable	De 1 a 1,4
Excelente	De 1,4 a 1,6

Tabla 3.5 Valores DAR

Fuente: [29]

Condición del Aislamiento	Resultado de PI
Deficiente	< 1
Cuestionable	De 1 a 2
Aceptable	De 2 a 4
Bueno	> 4

Tabla 3.6 Valores PI

Fuente: [29]

En el siguiente apartado se muestran los resultados de pruebas realizadas en el FLUKE 1555C/1550 con los diferentes niveles de voltajes aplicados, comparando si los resultados obtenidos tanto para el DAR como para el PI son los recomendados por las normas internacionales.

➤ RESULTADOS DEL DAR

Voltaje [kV]	DAR	Condición de Aislamiento
0	1,1709375	Aceptable
3	1,41875	Excelente
6	1,15625	Aceptable
9	1,14625	Aceptable
12	1,46625	Excelente

Tabla 3.7 Resultados DAR

Fuente: Los Autores

Como se observar en la tabla 3.7, los resultados del DAR resultan valores favorables, lo que nos indica que el aislamiento de la muestra de postes PRFV se encuentra en buenas condiciones a pesar de las condiciones a las que fue expuesta.

➤ RESULTADOS DEL PI

Voltaje [kV]	PI	Condición de Aislamiento
0	1,2796875	Cuestionable
3	5,9175	Bueno
6	2,1675	Aceptable
9	1,685	Cuestionable
12	3,385	Bueno

Tabla 3.8 Resultados PI

Fuente: Los Autores

Como se observar en la tabla 3.8, los resultados del PI presentan dos casos en los cuales los valores son cuestionables. Esto puede atribuirse a las condiciones a la que fue expuesta la muestra de PRFV. Sin embargo, a pesar de estos resultados, cuestionables, se puede decir que la condición del aislamiento, en la mayoría de los casos es aceptable; pudiendo concluir que el aislamiento se encuentra en perfecto estado.

3.5.BIL

3.5.1. Impulso Tipo Rayo

En esta parte se procede a determinar los niveles de aislamientos básicos BIL y BSL, utilizando las normas estándar IEEE 4 y IEC 60071-2, en las cuales se define la tensión crítica de flameo U50% que es el voltaje de descarga disruptivo en el cual se presenta una probabilidad del 50% de producir una descarga a un aislamiento. A partir de ello procedemos a estimar el voltaje inicial.

3.5.2. Voltaje inicial

Mediante un análisis de las diferentes normas basadas en los niveles de aislamientos, se puede afirmar que no existe una base teórica para la determinación del voltaje inicial, para lo cual se procedió a realizar una cantidad determinada de pruebas a diferentes muestras de material polimérico para establecer un nivel de voltaje donde se observe que existe el 100% de descargas en cada impulso de voltaje dado.

Se determinó que aun nivel de voltaje de 45 kV existe un 100% de descargas en la muestra, a partir de este voltaje se procedió a realizar las pruebas a diferentes niveles de voltaje. El nivel se determinó reduciendo el 3% del voltaje inicial determinado. Los resultados se encuentran detallados a continuación en la tabla 3.9.

En la tabla 3.9, se encuentran 9 niveles de voltaje, en cada nivel de voltaje se utilizó una muestra la cual fue sometida a 15 impulsos, estando los resultados detallados con ceros y unos, definiendo los ceros como inexistencia de falla y los unos como la existencia de falla, determinando que el nivel de voltaje donde no existieron falla es 34,2 kV, y superior donde el 100% de los impulsos fueron fallas es 45kV.

TABLA DE MEDICIONES DE BIL (vrms)									
Niveles de Voltaje									
N° Impulsos	34,2 kV	35,55 kV	36,9 kV	38,25 kV	39,6 kV	40,95 kV	42,3 kV	43,65 kV	45 kV
1	0	0	0	1	1	1	1	1	1
2	0	0	0	0	1	1	1	1	1
3	0	0	0	0	1	1	1	1	1
4	0	0	0	0	1	0	1	1	1
5	0	0	0	0	1	1	1	1	1
6	0	0	0	1	1	1	1	1	1
7	0	0	0	0	1	1	1	1	1
8	0	0	0	0	1	1	1	1	1
9	0	0	0	0	1	1	1	1	1
10	0	0	0	0	0	1	1	1	1
11	0	0	0	0	1	1	1	1	1
12	0	0	0	0	1	1	1	1	1

13	0	0	0	0	1	1	1	1	1
14	0	0	0	0	0	1	1	1	1
15	0	0	0	0	0	1	1	1	1
Total, de Descargas	0	0	0	2	13	14	15	15	15
Porcentaje de Descargas	0%	0%	0%	13,33%	86,66%	93,33%	100%	100%	100%

Tabla 3.9 Resultados de ensayo de BIL
Fuente. Los Autores

En la tabla 3.9, se determinó el total y el porcentaje de descargas por cada nivel de voltaje, con lo cual se determinó la curva del BIL que se muestra a continuación en la figura 3.21.

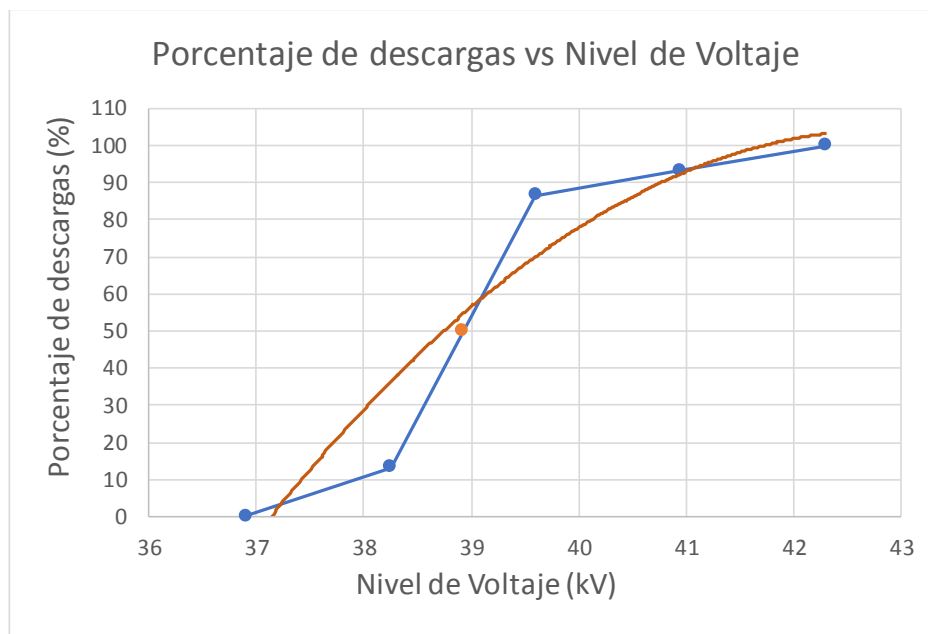


Figura 3.21 Curva Impulso Tipo Rayo
Fuente: Los Autores

En la figura 3.21, se observa la línea azul representa la distribución normal del porcentaje de descargas con relación a los niveles de voltajes que se dieron en las pruebas, determinando así el voltaje de flameo $U_{50\%} = 38,92$ kV, a partir de esto se calcula el nivel de aislamiento utilizando la ecuación 3.7.

$$BIL = 0,9616 \cdot U_{50\%} \quad (3.7)$$

$$BIL = 0,9616 \cdot 38,92$$

$$BIL = 37,4255 \text{ kV}$$

Luego se determinó el voltaje soportado para impulso tipo maniobra (BSL), aplicando la ecuación 3.8.

$$BSL = 0,936 \cdot U_{50\%} \quad (3.8)$$

$$BSL = 0,936 \cdot 38,92$$

$$BSL = 36,4291 \text{ kV}$$

3.5.3. Factor de corrección atmosférica

Para determinar el factor de corrección atmosférica (K_a), se basó en la teoría presente en la norma IEC 60071-2, mediante la ecuación 3.9, y tomando en consideración que durante el tiempo de pruebas en el laboratorio de Alta Tensión de la Universidad Politécnica Salesiana se presentó un valor promedio de temperatura de 21,4 °C.

La humedad absoluta se determinó tomando los datos del Thermo Recorder que cuenta la Universidad Salesiana, en el mismo que se registran el porcentaje de la humedad relativa del lugar, temperatura del aire y la presión barométrica obteniendo así un valor exacto de humedad en el laboratorio de Alta Tensión.

- Humedad relativa % = 35%
- Temperatura del aire= 22.1°C
- Presión barométrica= 751.2

$$\text{Humedad Absoluta} \quad H_{ab} = 7 \text{ g/m}^3$$

Para realizar ensayos al nivel del mar, la norma IEC 60071-2 establece que las pruebas deben realizarse con una temperatura de 20°C y una presión de 1013 mbar y la humedad absoluta de 11 g/m³, siendo estos valores ideales, se utiliza la ecuación 3.9, realizando una compensación para obtener una corrección de altitud K_a .

$$K'a = e^{m \cdot \left(\frac{H-100}{8150}\right)} \quad (3.9)$$

Donde:

- $m= 1.0$ para tensiones soportadas en coordinación a impulsos tipo rayo
- $m= 0.5$ para tensiones soportadas a frecuencia industrial de corta duración

Al aplicar la fórmula de factor de corrección de altitud se obtuvo los siguientes valores:

$K_a= 1,2095$ para tensiones soportadas en coordinación a impulsos tipo rayo

$K_a= 1,0998$ para tensiones soportadas a frecuencia industrial de corta duración

En la tabla 3.10, se encuentran detallados los valores calculados de la corrección de altura, en condiciones atmosféricas húmedas.

Tipo de Sobretensión	Factor de Corrección Atmosférica	Ensayo en Ambiente Húmedo	Corrección Atmosférica en Ambiente Húmedo
Frecuencia Industrial	Frecuencia Industrial	22,0993 kV	24,3048 kV
Impulso Tipo Rayo	Impulso tipo rayo	37,4245 kV	45,2649 kV

Tabla 3.10 Valores de corrección de altura

Fuente: Los Autores

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- El valor obtenido de rigidez dieléctrica realizado bajo los efectos de la humedad resulta ser aceptable a pesar de las condiciones a la cual fue expuesta la muestra PRFV, cabe mencionar que este valor se lo obtuvo de manera probabilística, esto debido a los diferentes niveles de voltaje de ruptura que se dieron durante el ensayo.
- Las muestras que mayor voltaje de ruptura soportaron bajo los efectos de la humedad fueron aquellas que no mostraron imperfecciones en cuanto a su fabricación logrando así un voltaje de ruptura más alto en comparación a otras muestras que mostraban imperfecciones en su fabricación debido a que no eran homogéneas y por ende se obtenía un voltaje de ruptura menor.
- Durante el ensayo de descargas parciales se realizaron pruebas a 4 niveles de voltajes (3,6,9,12 kV), debido que al nivel más alto de voltaje 12 kV se determinó que la muestra de poste sufría descargas parciales en el aislante, analizándose en las señales mostradas en el osciloscopio, además no se aumentó el nivel de voltaje para el ensayo debido a que los equipos de medición no soportan un nivel elevado de voltaje, lo cual originaría averías en los aparatos [17].
- El número de muestras para realizar el ensayo de descargas parciales fue otro factor negativo, por el cual se utilizaron un total de 8 muestras por cada nivel de voltaje aplicado el ensayo, además de las imperfecciones que se encontraban en las muestras lo cual interfiere al momento de realizar el ensayo, obstaculizando la visualización de las descargas parciales que se daban en la muestra.
- Las señales muestrales de descargas parciales de voltaje y corriente obtenidas en el osciloscopio mostraban exceso de ruido lo cual dificultaba la visualización de las descargas que se presentaban en la muestra de PRFV, para lo cual fue necesario realizar un proceso de filtrado de las señales para eliminar el ruido y poder observar las descargas parciales con más claridad, para ello se utilizó un filtro FIR del software MATLAB de orden 30, con lo cual se pudo observar que a un nivel de voltaje de 12 kV se daban descargas parciales en la muestra.
- Con el FLUKE 1555C/1550 se ejecutó la comprobación del aislamiento de la muestra de PRFV después de cada nivel de voltaje a la que fue sometida la muestra de PRFV en la prueba de Descargas Parciales, en la cual se comenzó con un valor de aislamiento de 1,06 [TΩ], notando que la muestra de PRFV perdía aislamiento conforme se sometía a pruebas con un mayor nivel de voltaje, el voltaje máximo al que se llegó a medir la muestra de PRFV fue de 12 kV en donde la resistencia de aislamiento llegó hasta los 517,875 [GΩ].

- Los valores obtenidos en las pruebas realizadas con respecto al DAR y el IP fueron favorables ya que indicaron que el aislamiento de las muestras de PRFV se encontraban en perfecto estado a pesar de las condiciones (humedad) y niveles de voltaje que fueron expuestas, además que cumplen con los valores aceptables impuestos por las normas internacionales como la IEC 60085-1.
- En la ejecución del ensayo para determinar los niveles básicos de aislamientos, se determinó que, para un nivel de voltaje de 45 kV, la muestra de poste presentará fallas continuas al aplicarle 15 impulsos de voltaje, y a un nivel de voltaje de 34,2 kV, la muestra no presentará fallas al recibir los impulsos, a partir de ello es importante determinar la tensión crítica de flameo U50%, que permitirá calcular el BIL y BSL.
- En condiciones de humedad el BIL tuvo un valor de 37.4255 kV, tomando en cuenta que la norma std.4 IEEE establece que para condiciones húmedas el valor de BIL debe estar sobre los 40 kV de voltaje, fue necesario aplicar el factor de corrección atmosférico utilizando la normativa IEC 60071-2, la cual considera, humedad, temperatura, presión, altura sobre el nivel del mar, determinando así que el BIL tendrá un voltaje de 45,2649 kV en condiciones de humedad, afirmando que el ensayo cumple con los parámetros establecidos en la norma.
- En cuanto a los ensayos en general: rigidez dieléctrica, descargas parciales y nivel básico de aislamiento se puede decir que existe un margen de error de 5%, debido a inconvenientes al momento de colocar las muestras de PRFV dentro de la cámara simuladora de lluvia, debido a que al no existir una base fija y no disponer de espacio suficiente resultó complicado realizar la configuración de electrodos punta-punta y complementando que la muestra no era de tipo plana no se podía ubicar el centro exacto para poder realizar los ensayos .
- Al finalizar los ensayos, se puede afirmar que el aislamiento de los postes fabricados por la empresa Equisplast, cumplen con las condiciones establecidas en la norma IEEE St d.4 y estándar internacional IEC 60085.

Recomendaciones

- Resultó ser un poco complicado la colocación de las muestras de PRFV dentro de la cámara simuladora de lluvia, de tal manera que se recomienda a la Universidad Politécnica Salesiana implementar un tipo de estructura o soporte en la cámara, que facilite la colocación y sujeción de las muestras, y finalmente aumentar la confiabilidad en los valores de las mediciones que se realicen.
- La no uniformidad de las muestras de PRFV resultó ser un problema crucial al momento de realizar los ensayos, por lo que se recomienda a la empresa EQUISPLAST, llevar a cabo un control de los procesos automatizados en la fabricación de los postes, esto ayudará que al momento de ser sometidos a pruebas no tengan mucha diferencia en los resultados, y además aumentar el nivel de confianza, seguridad, y calidad de sus productos.
- Algunas normas para pruebas y en ensayos en Alta Tensión tienden a ser renovadas con frecuencia, motivo por el cual se recomienda realizar una investigación exhaustiva sobre las normas que se encuentren vigentes al momento de realizar los ensayos, y evitar errores e inconvenientes en la obtención de los resultados en las pruebas a realizar.
- El laboratorio de Alta Tensión de la Universidad Politécnica Salesiana consta con un manual de seguridad, se recomienda que se considere de vital importancia cumplir con cada una de sus reglas de seguridad y así evitar que las personas sufran algún accidente, además de preservar el funcionamiento correcto de los equipos.
- A partir de los ensayos realizados en condiciones de humedad a las muestras de PRFV, se recomienda realizar estudios sobre el envejecimiento del poste, análisis de condiciones de contaminación como negro de humo y salinidad.

REFERENCIAS

- [1] H. Javier and A. 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," *UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA*, 2018.
- [2] H. Del Pozo, "Tercer suplemento Ley Orgánica del Servicio Público de Energía Eléctrica," *Asamblea Nacional Ecuador*, 2015.
- [3] ARCONEL, "Regulación 004/18-Distribución y Comercialización de Energía Eléctrica," *AGENCIA DE REGULACION Y CONTROL DE ELECTRICIDAD*, 2018.
- [4] ARCONEL, "Resolución 022/19 Calidad del Servicio de Distribución y Comercialización de Energía Eléctrica," *AGENCIA DE REGULACION Y CONTROL DE ELECTRICIDAD*, 2019.
- [5] MEER, "Homologación De Las Unidades De Propiedad (Up) Y Unidades De Construcción (Uc) Del Sistema De Distribución Eléctrica," *Catálogo Digit. - Redes Distrib. Energía Eléctrica*, 2013.
- [6] I. E. C.- IEC-, "Iec 60071-1 Coordinación de Aislamiento," *SECRETARIA CENTRAL DE LA COMISION ELECTRONICA INTERNACIONAL*, 2011.
- [7] E. Testing, "ASTM D 149: Standard Test Method for Dielectric Breakdown Voltage and Dielectric Strength of Solid Electrical Insulating Materials Using Impulse Waves," *Astm*, 2015.
- [8] NTE-INEN 2515, "Ecuatoriana Nte Inen 2515 Postes de Plástico Reforzados con Fibra de Vidrio," *Instituto Ecuatoriano de Normalización*, 2014.
- [9] M. Saguay, R. Torres, M. Favian, S. Tacuri, R. Augusto, and T. Cuenca, "Análisis Del Comportamiento De Medios Dielectricos En Alta Tension," *UNIVERSIDAD DE CUENCA*, 2011.
- [10] J. C. Hernandez-Mejia and J. Perkel, "Partial Discharge (PD) HV and EHV Power Cable Systems," *CDFI Handb, GEORGIA*, no. February, 2016.
- [11] B. M. Cabrera Rodriguez and V. M. Humala Avila, "Análisis del valor de corriente debido a sobretensiones en guantes dieléctricos aplicados a media tensión," *UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA, CUENCA*, 2018.
- [12] C. Ocaña, "Postes de Poliéster reforzado con fibra de vidrio, Ocaña Miranda Cesar," *PROMELSA*, 2012.
- [13] "Equisplast | Postes y estructuras de PRFV." [Online]. Available: <https://www.equisplast.com/>. [Accessed: 10-Mar-2020].
- [14] C. de homologación de las unidades de Propiedad., "Homologación de las Unidades de Propiedad y Unidades de Construcción del Sistema de Distribución Eléctrica," *MINISTERIO DE ELECTRICIDAD Y ENERGIA RENOVABLE*, 2013.
- [15] J. Rodrigo and M. Sandoval, "Diseño y Construcción de un Simulador de Lluvia

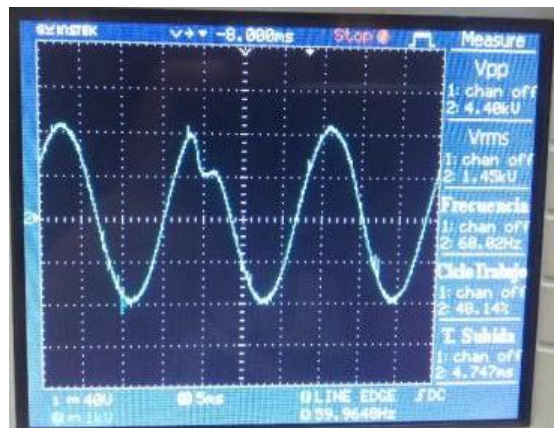
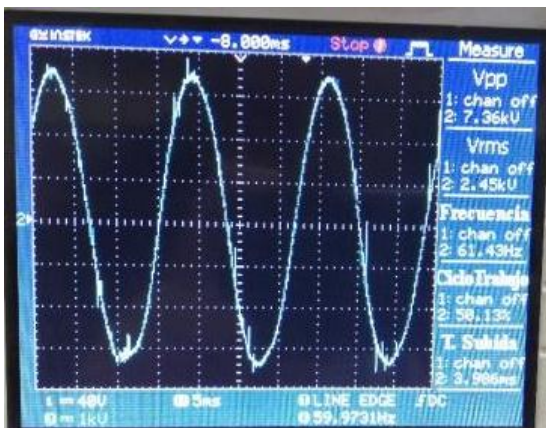
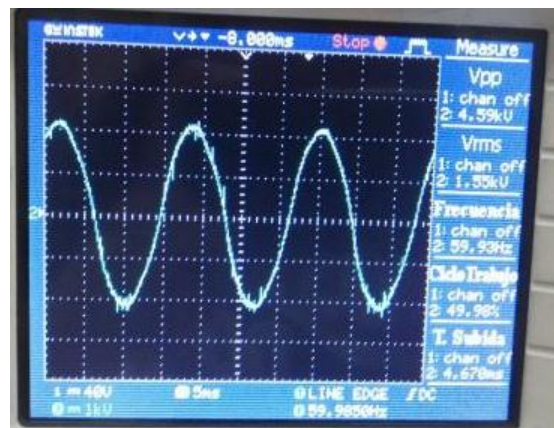
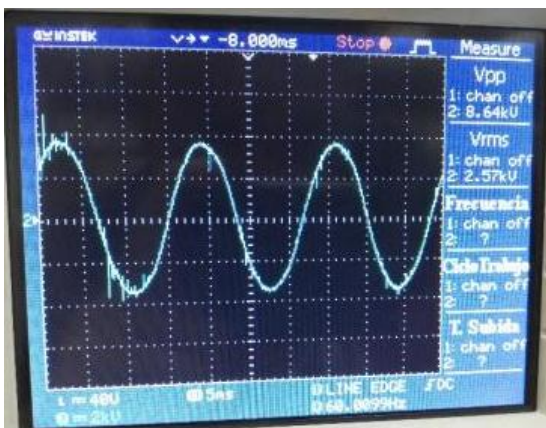
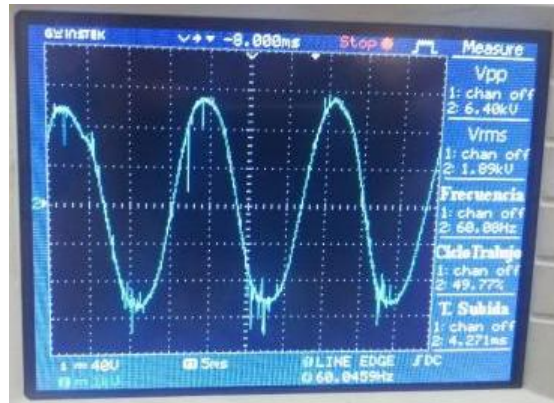
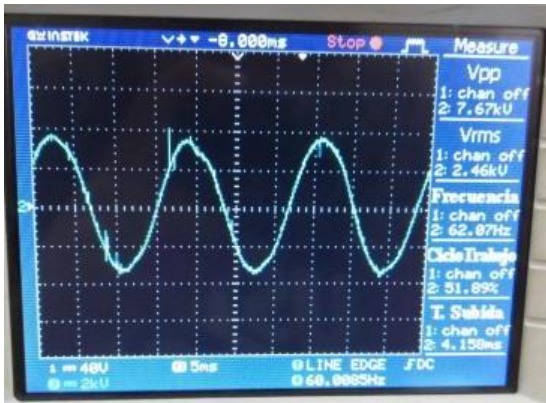
- para el Laboratorio de Alta Tensión de la UPS-Cuenca,” *UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA, CUENCA*, 2018.
- [16] E. Society, “IEEE Standard for High-Voltage Testing Techniques IEEE Power and Energy Society,” *IEEE STANDARDS ASSOCIATION*, vol. 13, no. May, 2013.
- [17] F. Quizhpi and F. Gómez, “Determinación de las Condiciones de fuga, descargas parciales y superficiales en aisladores mediante el análisis de corriente,” *UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA, CUENCA*, p. 63, 2017.
- [18] D. Leonardo and G. Huertas, “Sistema de detección de descargas parciales en transformadores de potencia basado en técnicas de microondas .,” *UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA*, 2019.
- [19] “Tipos de descargas parciales.” [Online]. Available: <https://www.amperis.com/content/tipos-de-descargas-parciales/>. [Accessed: 10-Mar-2020].
- [20] Iec, “IEC INTERNATIONAL 60270 STANDARD High-voltage test techniques-Partial discharge measurements IEC INTERNATIONAL 60270 STANDARD High-voltage test techniques-Partial discharge measurements including photocopying and microfilm, without permission in writing f,” *Iec*, vol. 60270, p. 2000, 2000.
- [21] J. A. Martínez Velasco, “Coordinación de Aislamiento en Redes Eléctricas de Alta Tensión,” *UNIVERSIDAD POLITECNICA DE CATALUNYA, BARCELONA*.
- [22] I. E. C.- IEC-, “INTERNATIONAL STANDARD IEC 6071-2. Insulation coordination Part2: Application guide.” .
- [23] D. Zapata, “Implementación de Pararrayos en la Línea 230kV Brillantes-La Esperanza para Reducir Salidas Forzadas por Descargas Electroatmosféricas,” *UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA*, 2004.
- [24] F. Mario and S. Jhonny, “Determinación de características dieléctricas en crucetas de poliéster reforzado con fibra de vidrio en diversas condiciones ambientales mediante ensayos en el Laboratorio de Alta Tensión de la Universidad Politécnica Salesiana, sede Cuenca,” *UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA, CUENCA*, 2020.
- [25] B. Escobar., “COORDINACIÓN DE AISLAMIENTO EN FORMA DETERMINÍSTICA, ANTE DESCARGAS ATMOSFÉRICAS EN SUBESTACIONES AISLADAS EN SF6. APLICACIÓN: PATIO DE 230 kV DE LA SUBESTACIÓN SOPLADORA,” *ESCUELA POLITECNICA NACIONAL*, 2015.
- [26] D. Johana and R. Hualpa, “Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño Trabajo Fin De Máster APLICACIÓN DE ENSAYOS OFF LINE PARA AISLAMIENTO EN MÁQUINAS ELÉCTRICAS ROTATIVAS A NIVEL INDUSTRIAL .,” *UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA*, 2018.
- [27] A. N. de Oliveira, “RAZÓN DE ABSORCIÓN DIELECTRICA PARA DIAGNOSTICAR EL ESTADO DE UNA AISLACION,” *UNIVERSIDAD DE CHILE*, 2009.
- [28] O. Portocarrero, “Determinación De Los Protocolos De Prueba En Alta Tensión a

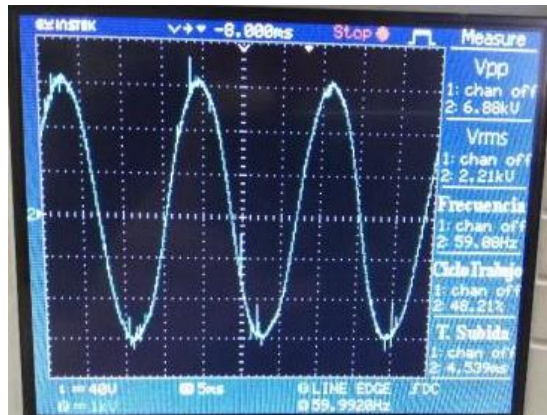
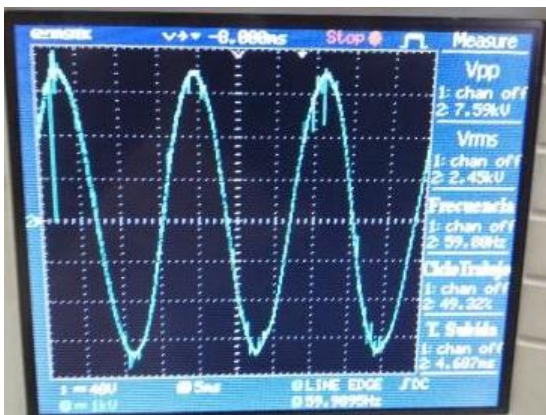
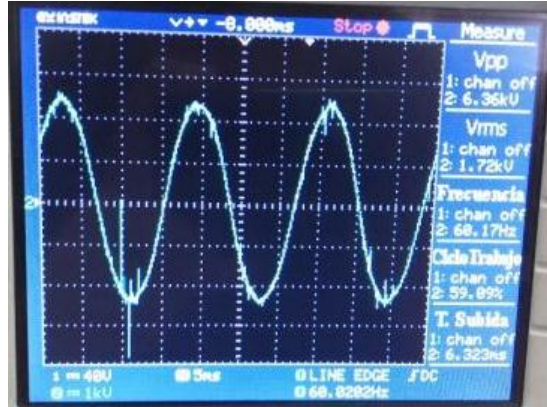
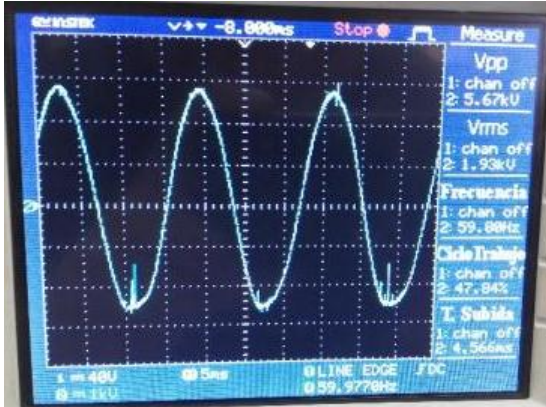
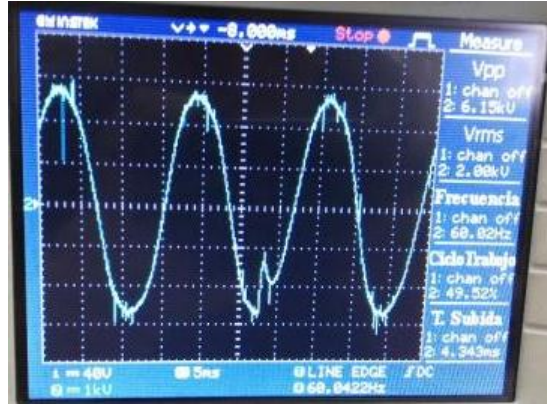
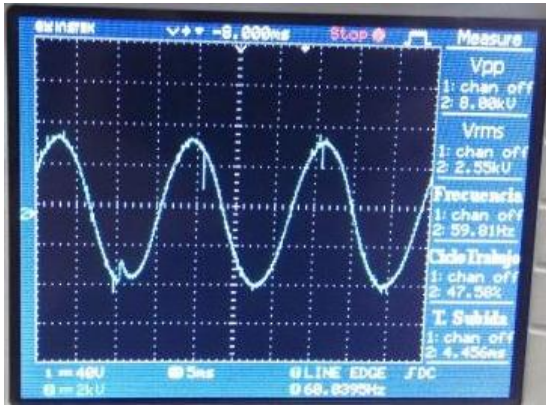
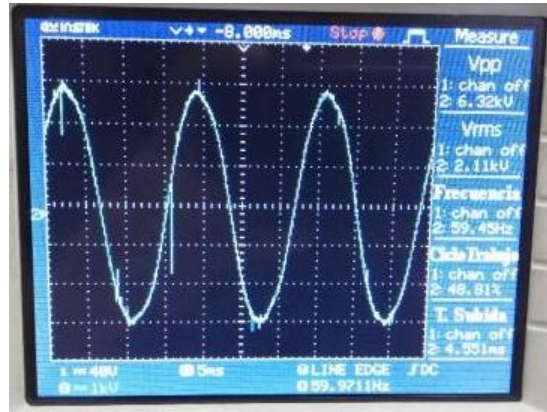
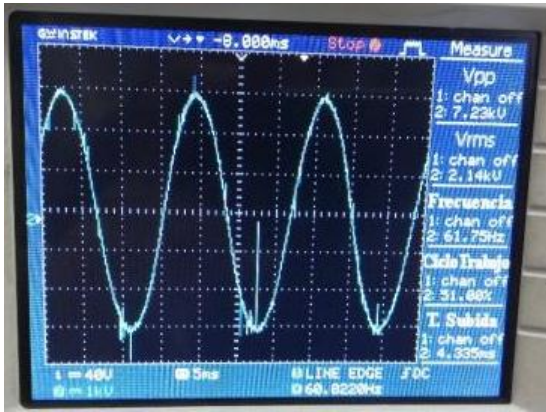
Ser Aplicados En Equipos Y Materiales Utilizados En Novel De Hasta 22Kv,”
UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA. p. 50, 2012.

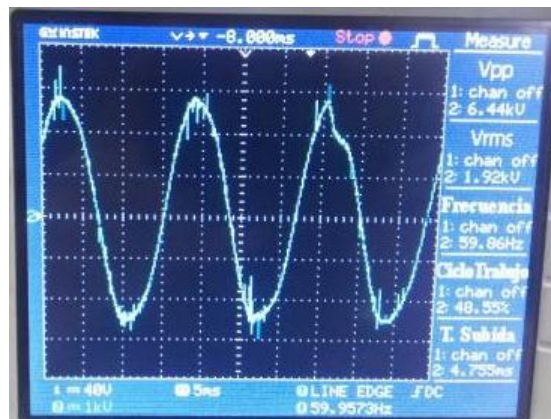
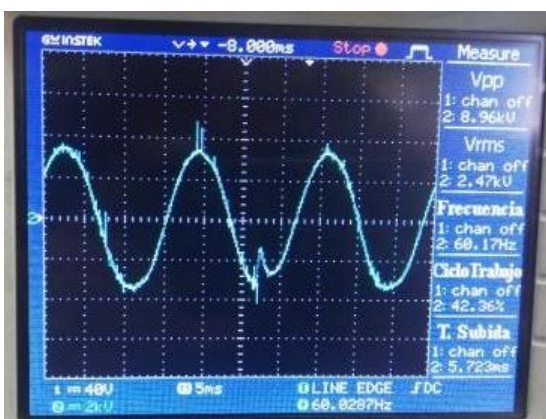
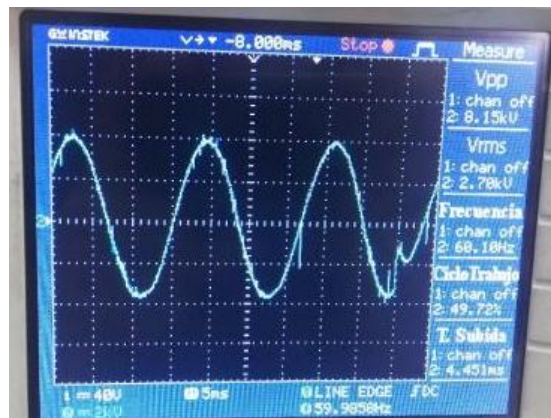
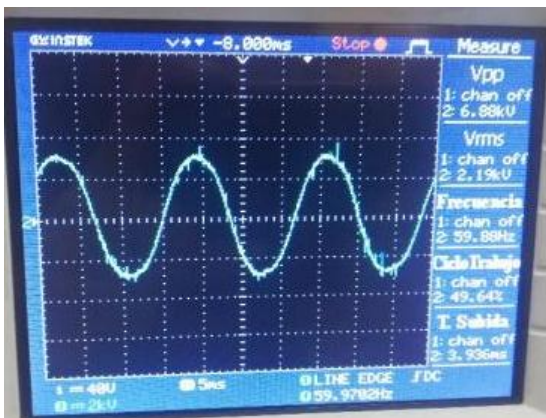
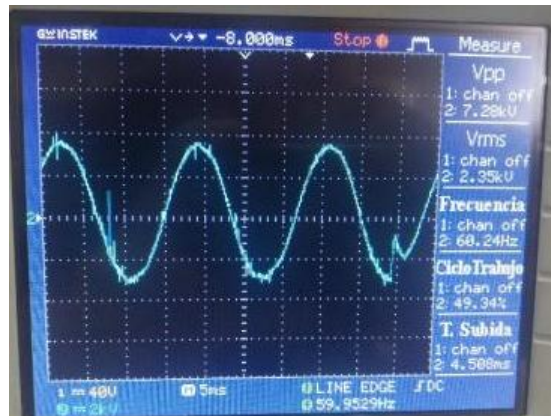
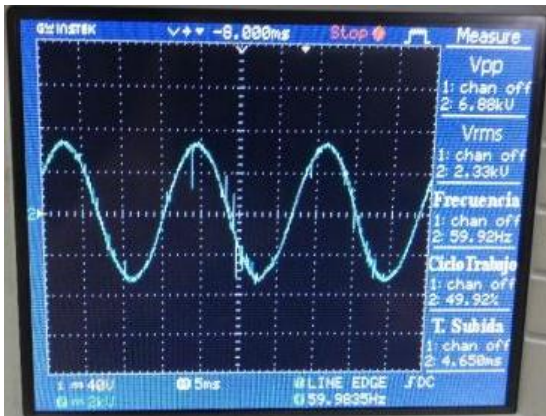
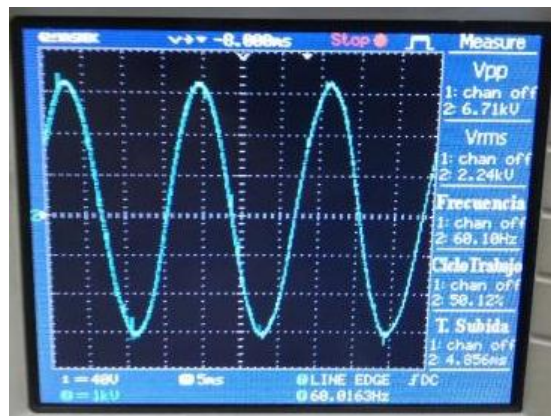
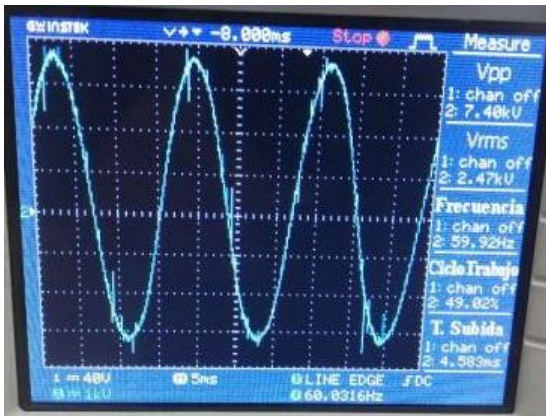
[29] MEGGER, “MIT515, MIT525, MIT1025 y MIT1525,” p. 31.

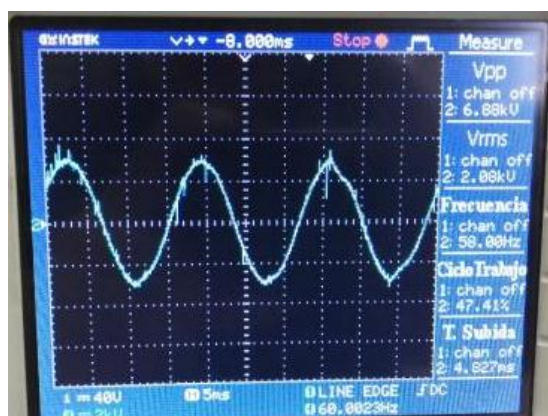
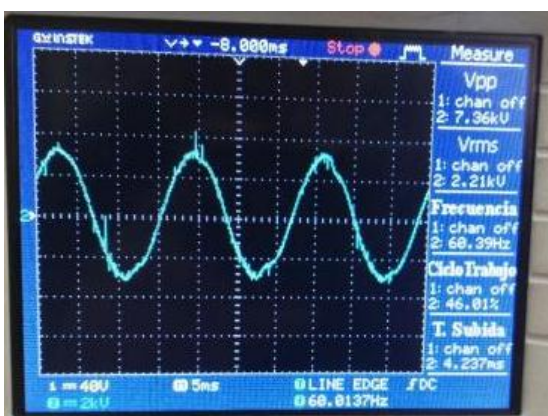
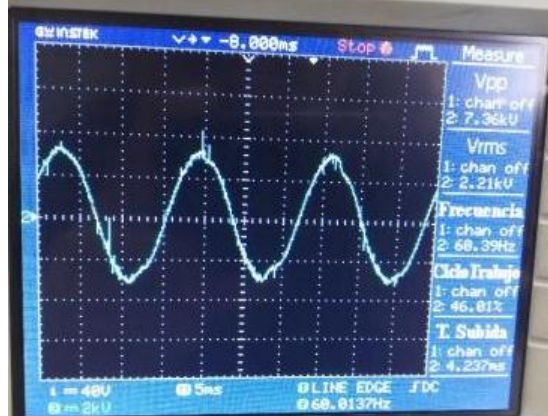
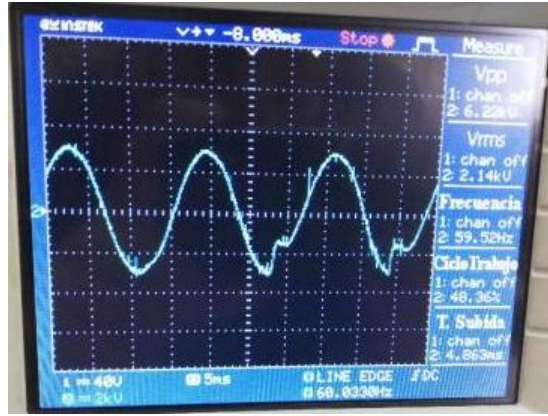
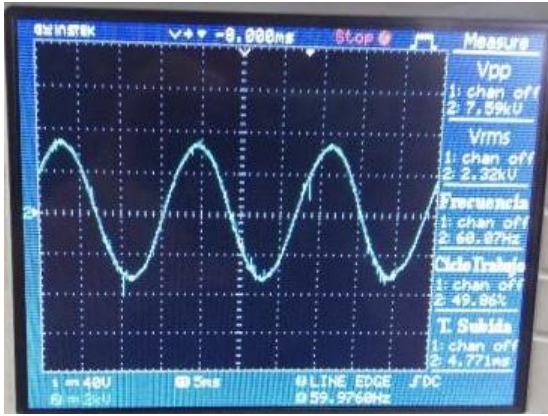
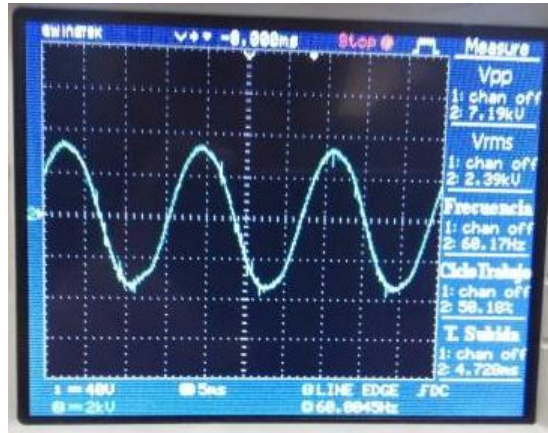
ANEXOS

Anexo 1: Rigidez dieléctrica, producidas sobre 30 muestras a diferentes niveles de voltaje.



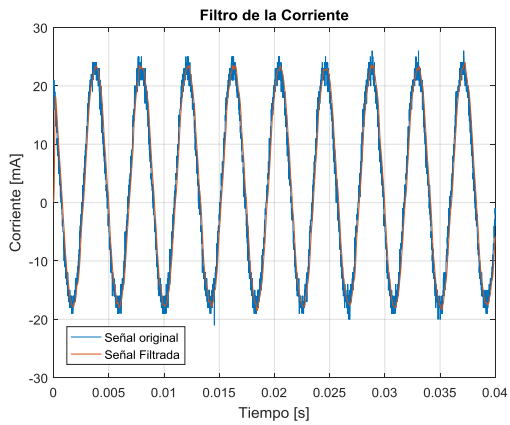




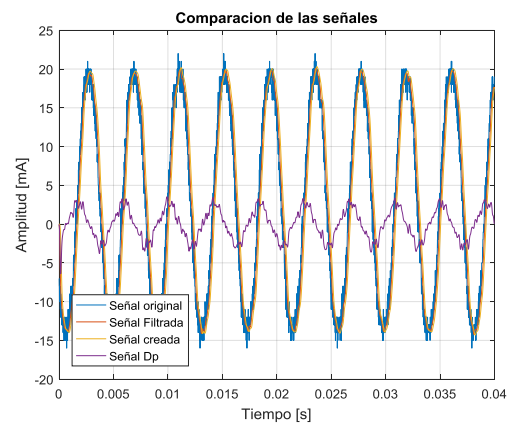
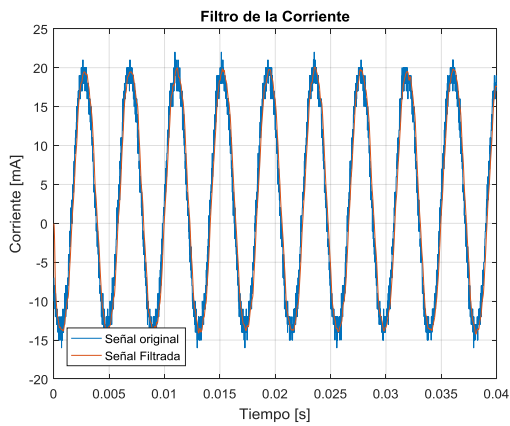
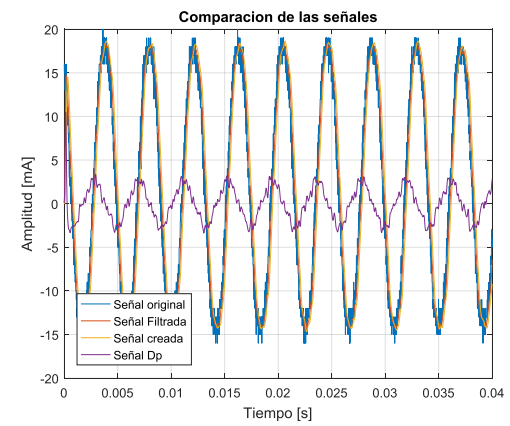
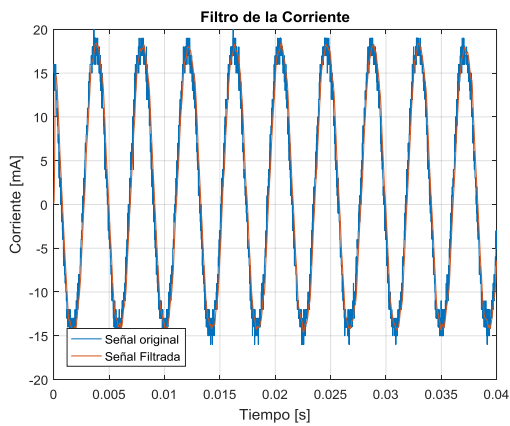
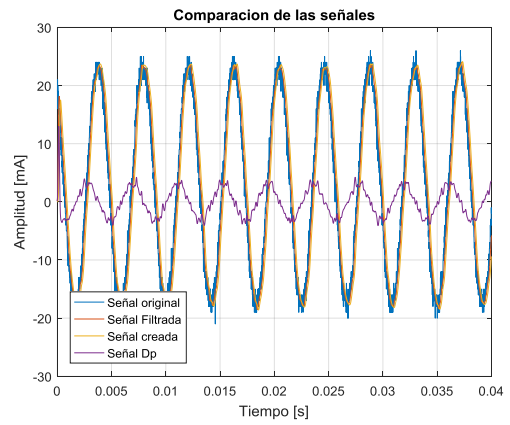


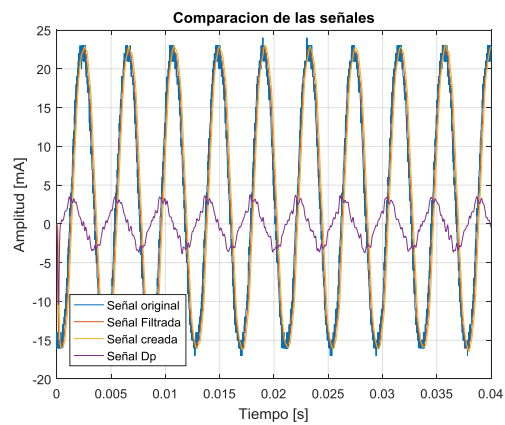
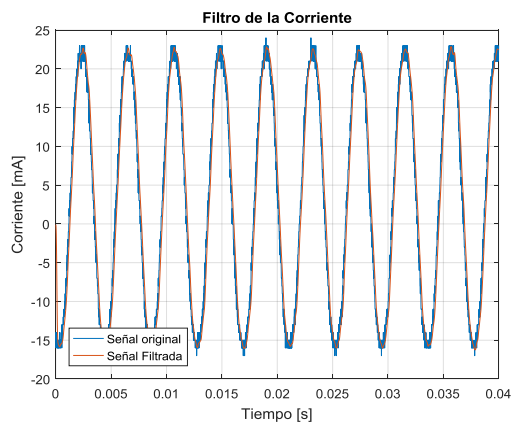
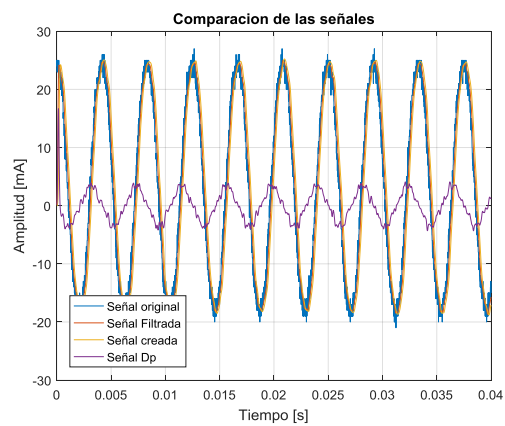
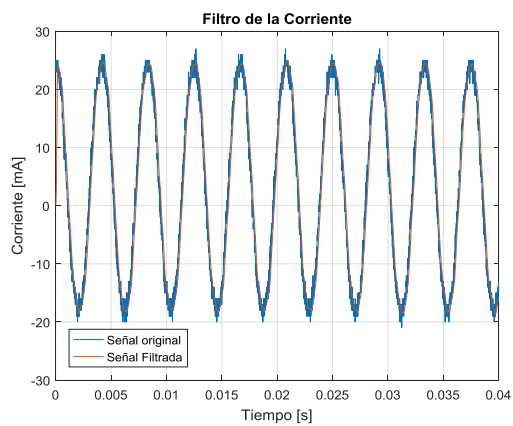
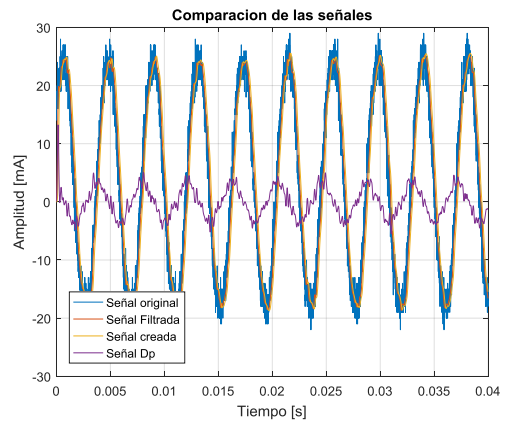
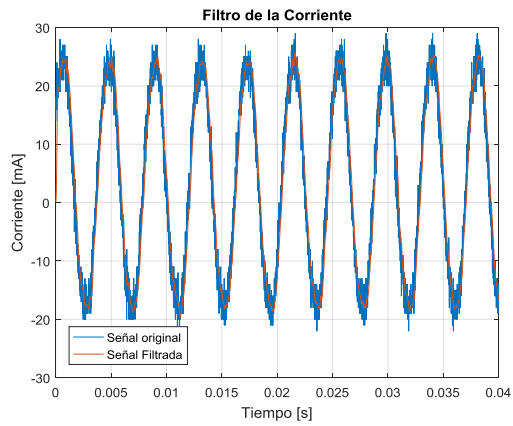
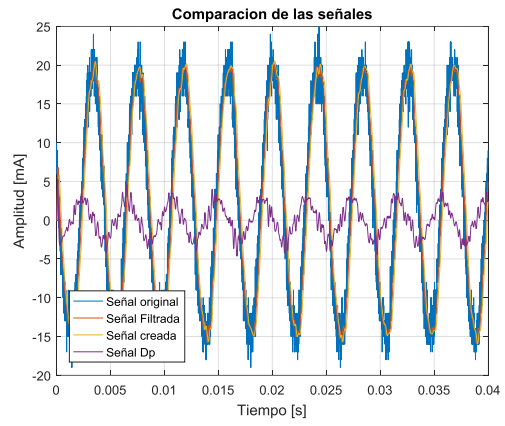
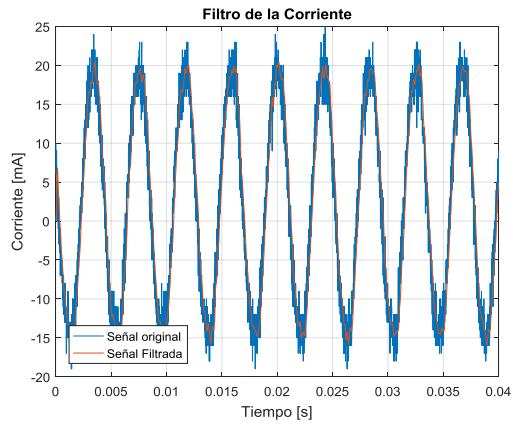
Anexo 2: Descargar parciales a un nivel de voltaje de 3kV sobre 7 muestras de PRFV

FILTROS DE LA CORRIENTE



COMPARACION DE SEÑALES

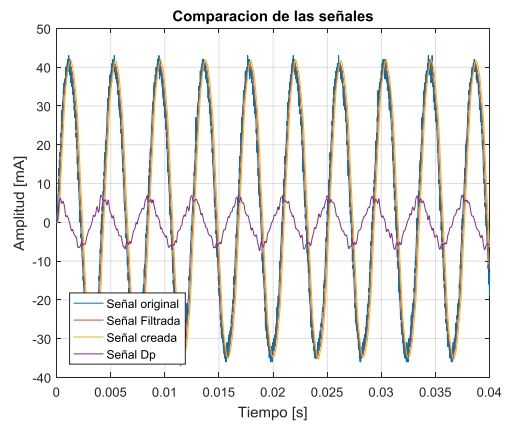
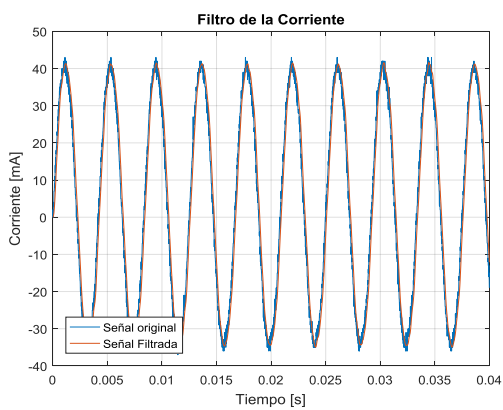
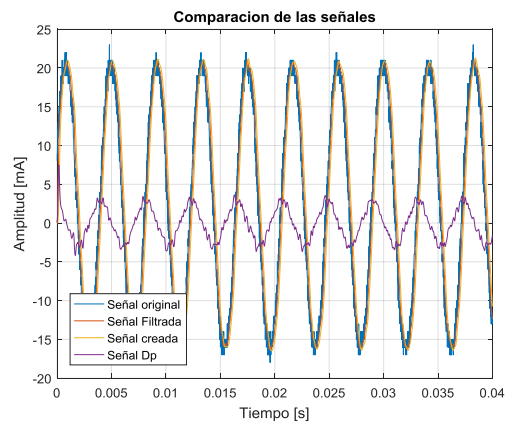
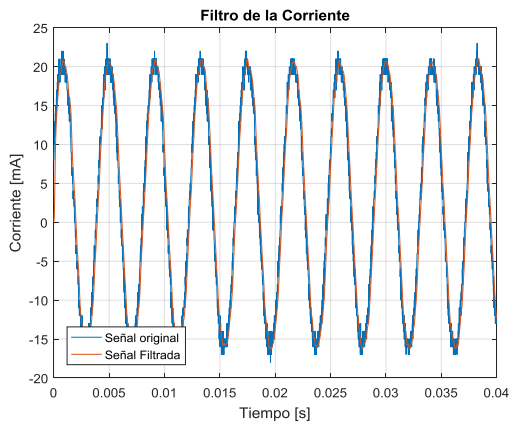
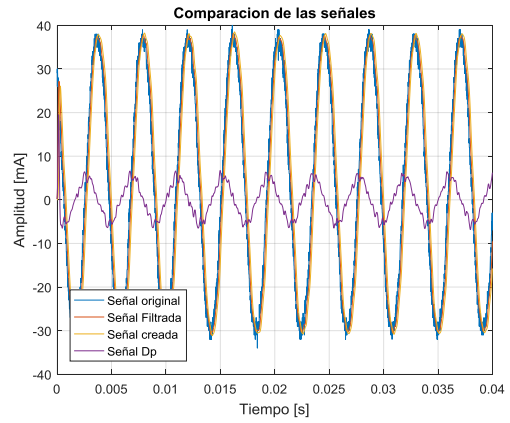
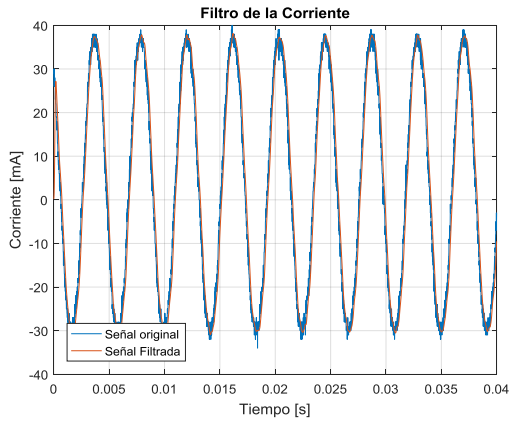


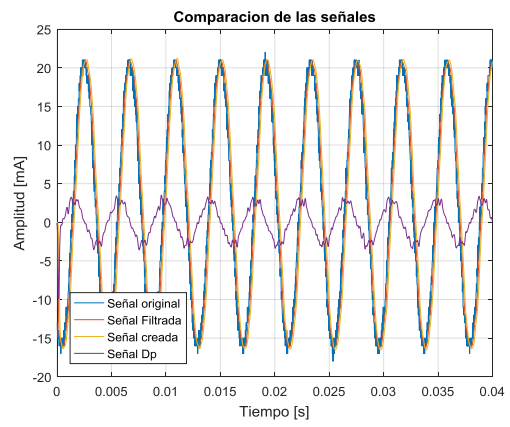
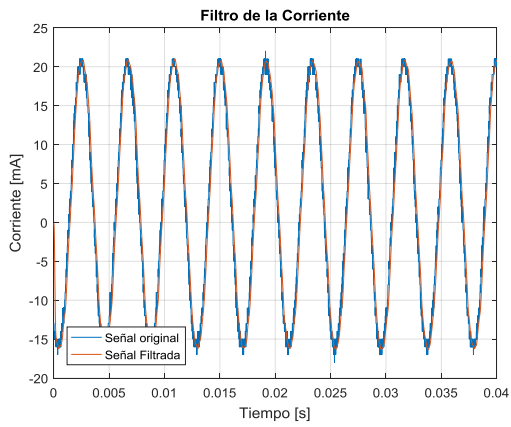
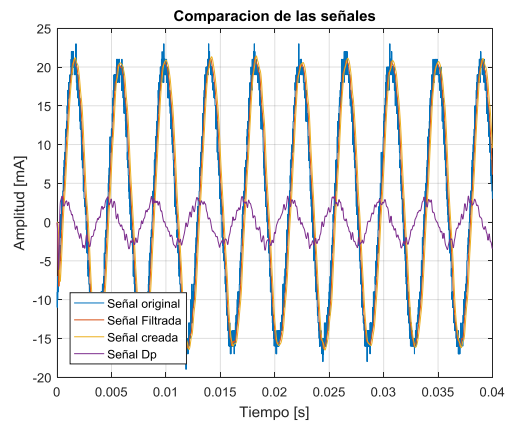
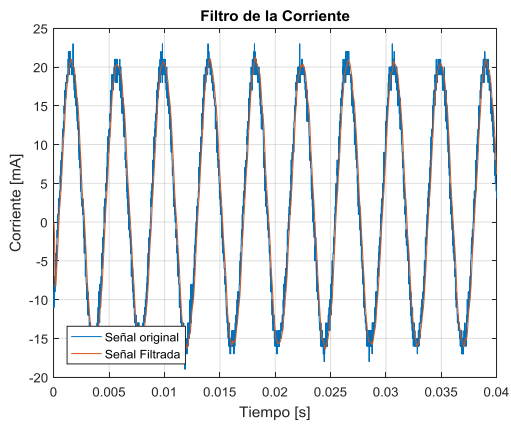
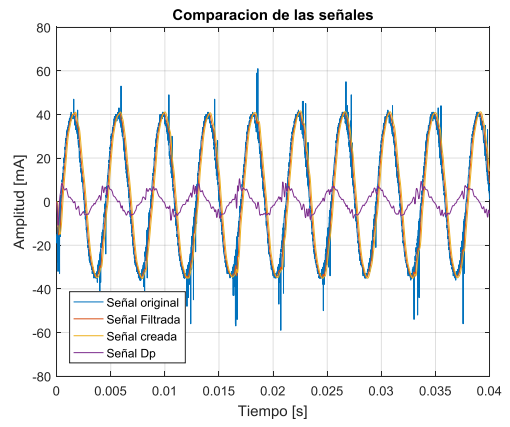
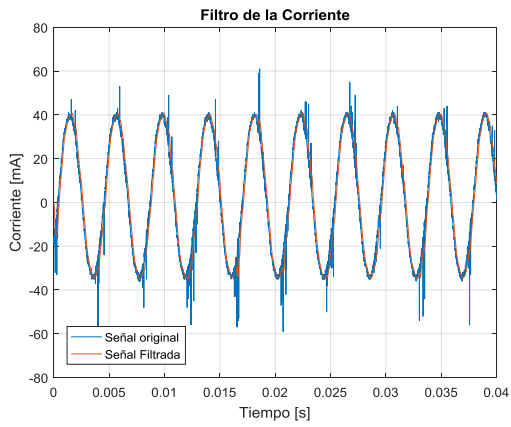
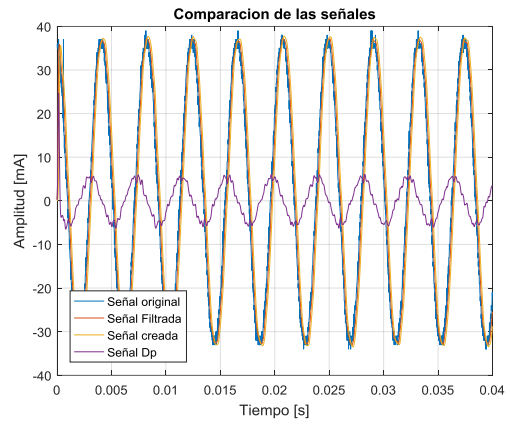
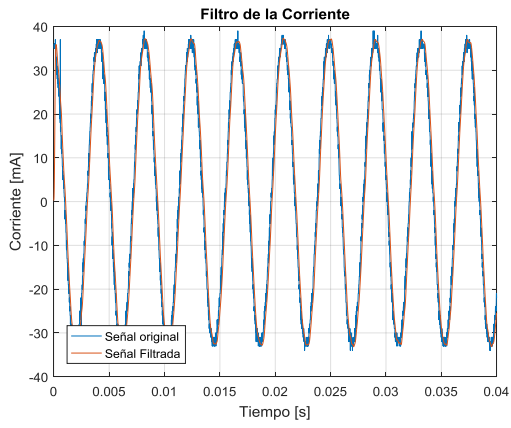


Anexo 3: Descargar parciales a un nivel de voltaje de 6kV sobre 7 muestras de PRFV

FILTROS DE LA CORRIENTE

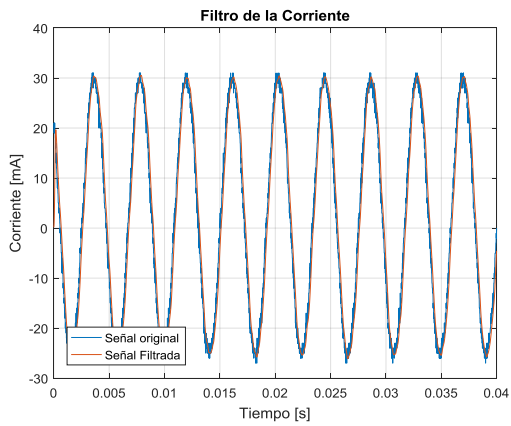
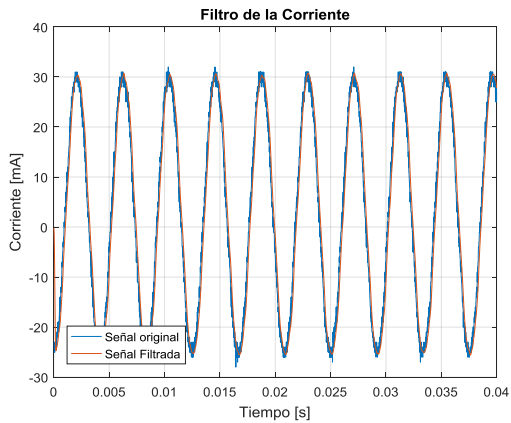
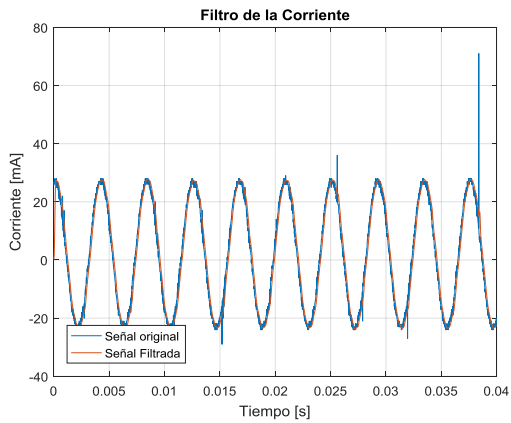
COMPARACION DE SEÑALES



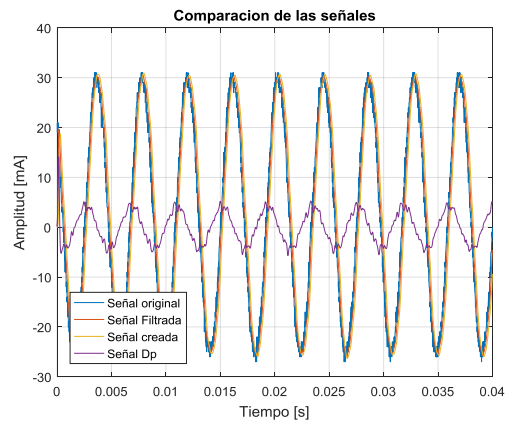
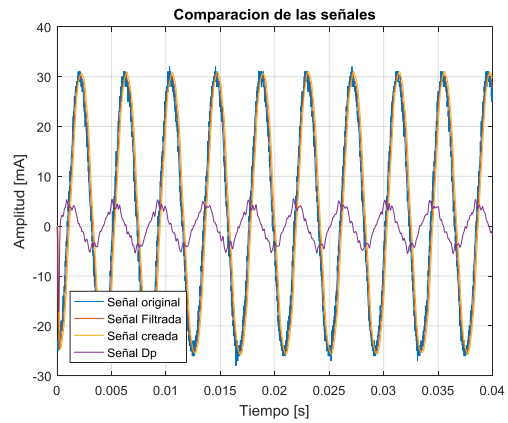
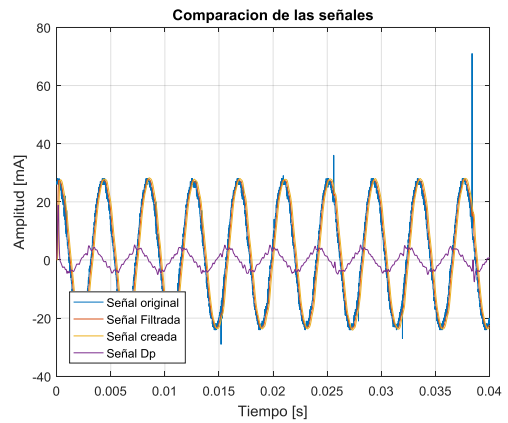


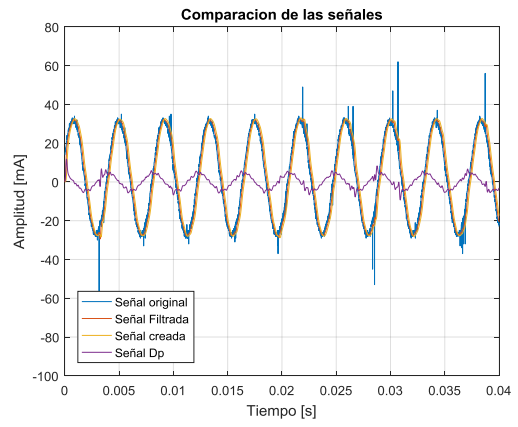
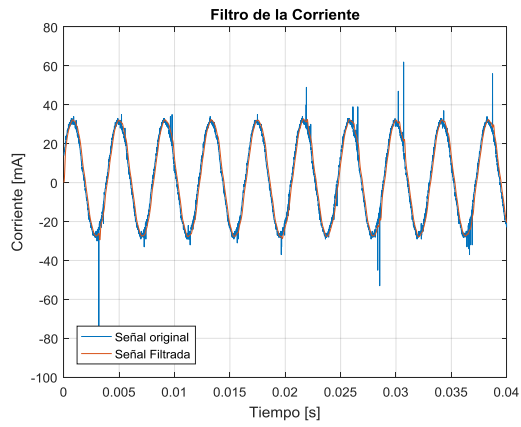
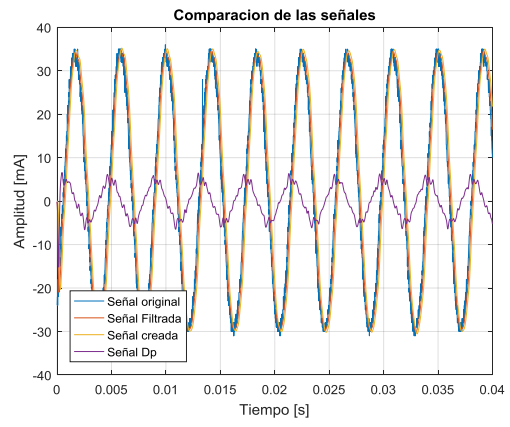
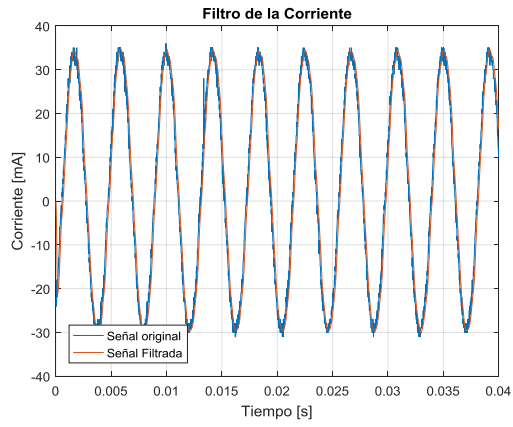
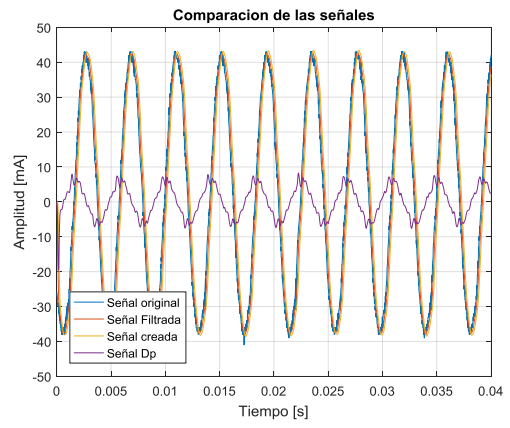
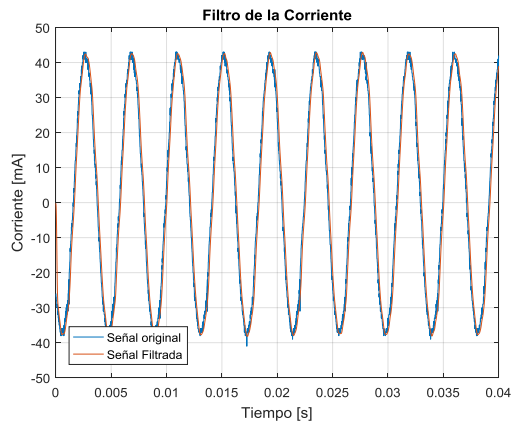
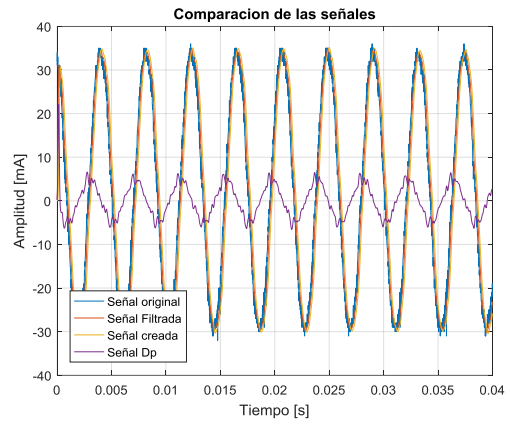
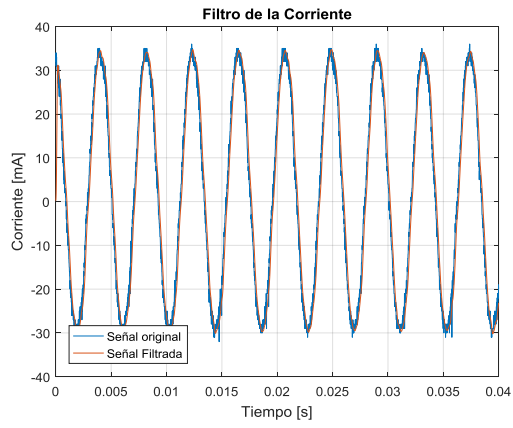
Anexo 4: Descargar parciales a un nivel de voltaje de 9kV sobre 7 muestras de PRFV

FILTROS DE LA CORRIENTE



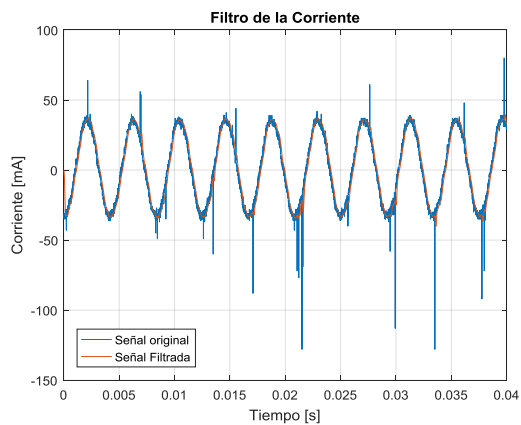
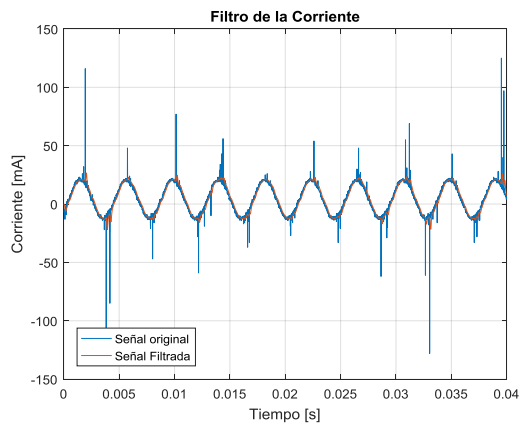
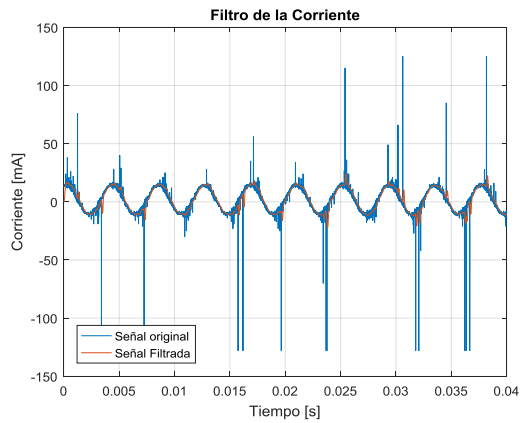
COMPARACION DE SEÑALES



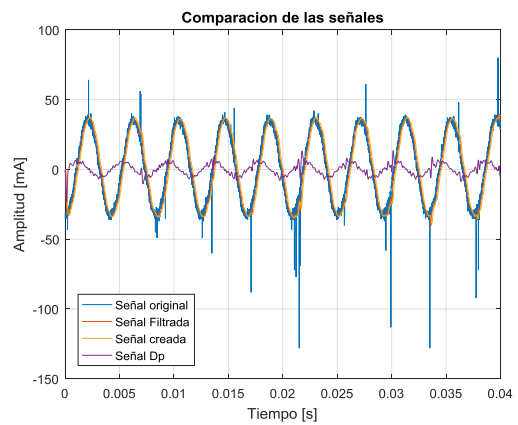
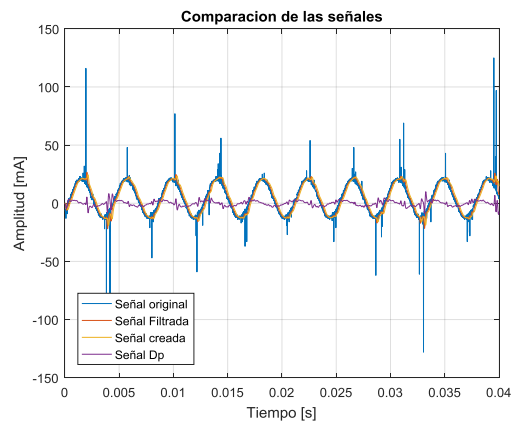
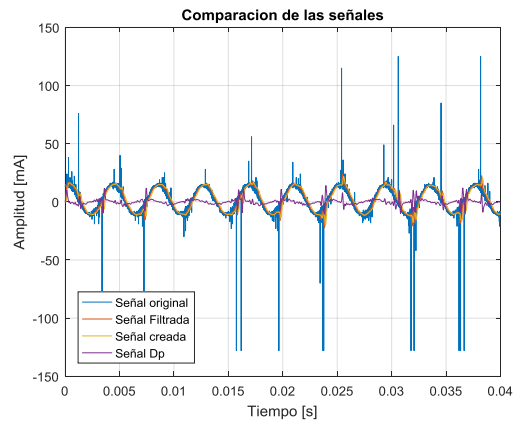


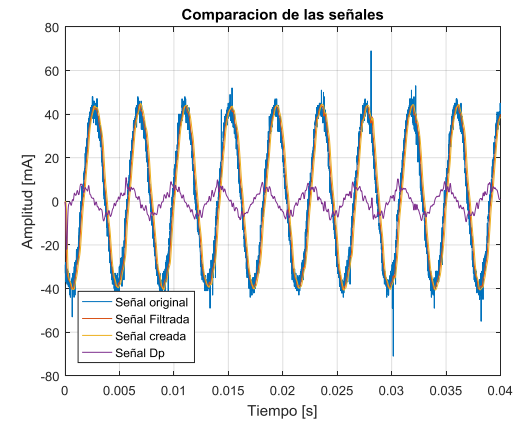
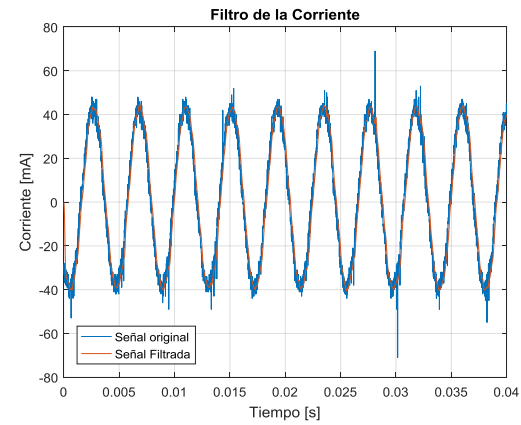
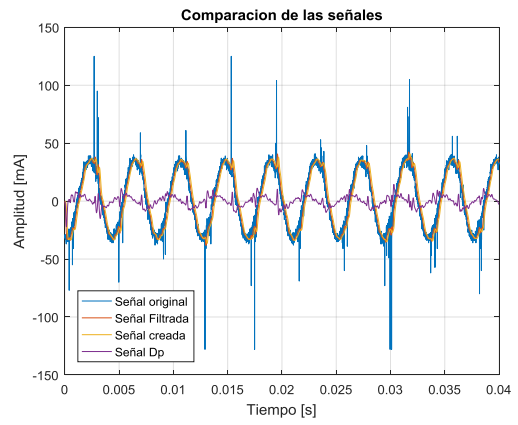
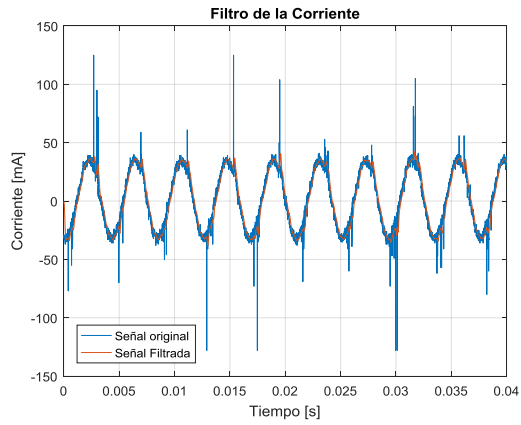
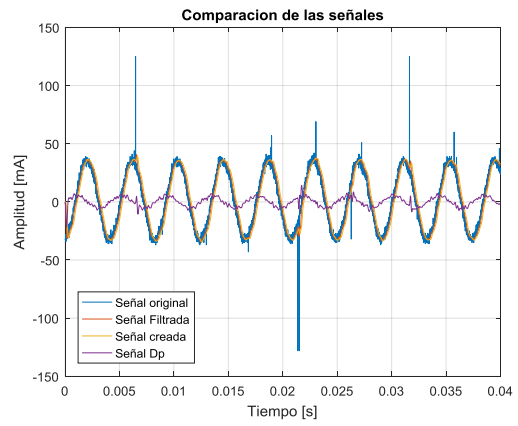
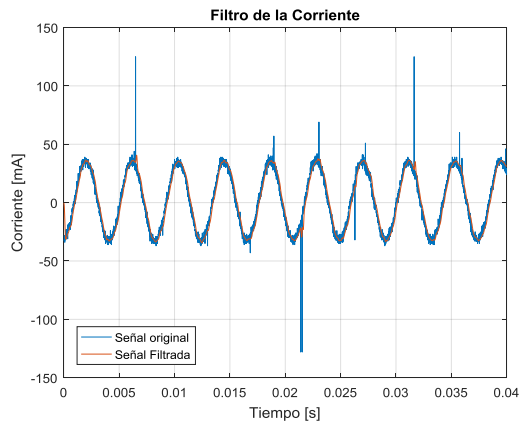
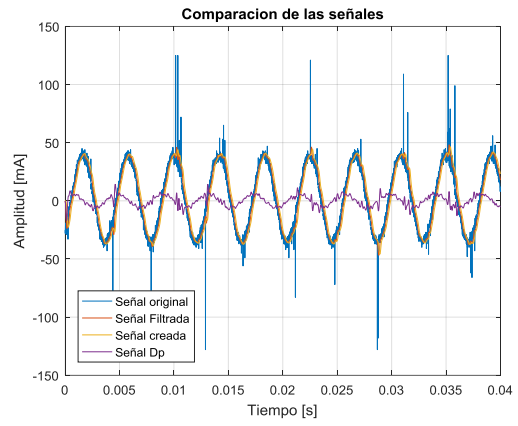
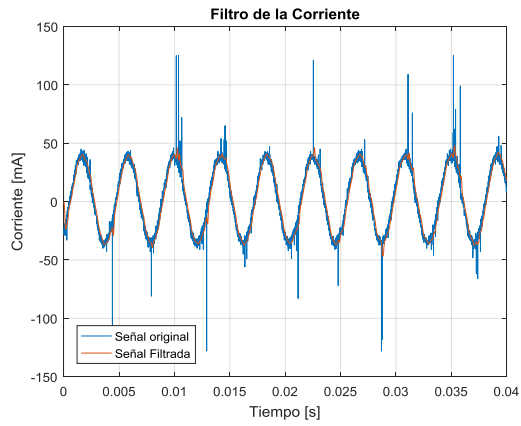
Anexo 5: Descargar parciales a un nivel de voltaje de 12kV sobre 7 muestras de PRFV

FILTROS DE LA CORRIENTE



COMPARACION DE SEÑALES





Anexo 6: Ondas de impulso tipo rayo

