

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 EXPERIMENTAL E
INVESTIGATIVO:
“COMPORTAMIENTO DE CALZADO DIELECTRICO ANTE
SOBRETENSIONES EN MEDIO VOLTAJE”**

AUTORES:

JUAN GABRIEL AMAYA CÁRDENAS
JORGE LUIS MOLINA VILLAVICENCIO

TUTOR:

ING. PABLO ROBLES, MsC

CUENCA – ECUADOR

2019

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros, Juan Gabriel Amaya Cárdenas con documento de identificación N° 0105481212 y Jorge Luis Molina Villavicencio con documento de identificación N° 0105262109, 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: **“COMPORTAMIENTO DE CALZADO DIELECTRICO ANTE SOBRETENSIONES EN MEDIO VOLTAJE”**, 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 la entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, septiembre del 2019



Juan Gabriel Amaya Cárdenas
C.I. 0105481212



Jorge Luis Molina Villavicencio
C.I. 0105262109

CERTIFICACIÓN

Yo, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **“COMPORTAMIENTO DE CALZADO DIELECTRICO ANTE SOBRETENSIONES EN MEDIO VOLTAJE”**, realizado por Juan Gabriel Amaya Cárdenas y Jorge Luis Molina Villavicencio, obteniendo el *Proyecto Técnico con enfoque experimental e investigativo*, que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, Septiembre del 2019



Ing. Pablo Daniel Robles Lovato, MsC.

C.I. 0101663342

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, Juan Gabriel Amaya Cárdenas con documento de identificación N° 0105481212 y Jorge Luis Molina Villavicencio con documento de identificación N° 0105262109, autores del trabajo de titulación: **“COMPORTAMIENTO DE CALZADO DIELECTRICO ANTE SOBRETENSIONES EN MEDIO VOLTAJE”**, certificamos que el total contenido del *Proyecto Técnico con enfoque experimental e investigativo* es de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Cuenca, Septiembre del 2019



Juan Gabriel Amaya Cárdenas
C.I. 0105481212



Jorge Luis Molina Villavicencio
C.I. 0105262109

DEDICATORIA

Quiero dedicar este proyecto de titulación primeramente a Dios por bendecirme la vida, la salud, la familia y la sabiduría para desarrollarme en el ámbito estudiantil y social.

A mi familia por su absoluta confianza y arduo sacrificio para hacer de mí un buen ser humano y lograr mis metas y propósitos y a todas las personas que formaron parte de mi vida de forma positiva, ya que me animaron en situaciones críticas y me dieron fuerzas para seguir adelante.

Juan Gabriel Amaya Cárdenas

Primeramente, quiero dedicar este trabajo a Dios por regalarme la vida, brindarme salud, fortaleza y sabiduría para poder cumplir mis metas trazadas. También dedico todo mi esfuerzo a mis padres y hermanos que han sido el pilar fundamental para lograrlo, juntos hemos superado muchas barreras y circunstancias que nos han permitido crecer como una familia sólida, logrando enfocarme en ser una persona profesional. A mis amigos que siempre estuvieron pendientes durante esta trayectoria, con sus palabras de aliento orientadas al objetivo primordial de culminar exitosamente mi carrera.

Jorge Luis Molina Villavicencio

AGRADECIMIENTOS

Gracias a Dios por la vida de mi familia, por ser mi guía fundamental en el trayecto de mi camino, por ser el forjador de mi sendero y por las bendiciones prestadas a lo largo de mi trayectoria personal y estudiantil.

Gracias a mis padres Eduardo Amaya R. y María Cárdenas S., por ser quienes son y por hacer de mí quien hoy en día soy, por su apoyo incondicional en todas las adversidades de la vida, por permitirme hacer realidad mis sueños y por su eterno e infinito amor.

A mis hermanos Marco, Manuel, Hugo, Cecilia, Carlos, Luis y Eduardo ya que sin su ayuda esto no habría sido posible, puesto que me brindaron su apoyo de manera absoluta en cada una de las dificultades vividas.

Expresar mi gratitud a mis amigos/as por ser partícipes de mi experiencia estudiantil y cotidiana, de manera especial a mi amigo y compañero Jorge Luis Molina y Carlos Alexander Toro.

Juan Gabriel Amaya Cárdenas

Agradezco primeramente a Dios por darme la vida y permitirme culminar con éxito esta etapa, por consentirme resolver todos aquellos problemas que se presentaron en el transcurso de mis estudios.

Agradezco a mis padres: Víctor Rolendio Molina y Nelly Rosario Villavicencio, por su apoyo incondicional durante todo este tiempo, ustedes han sido mi motivación, pues siempre estuvieron a mi lado para apoyarme y hacerme sentir que cada paso que dé, siempre puedo contar con ustedes.

A mis hermanos: Johanna y Edwin, por estar siempre cuando más los he necesitado para brindarme ese cariño y motivación de enfocarme siempre en mi carrera.

A mi cuñado, amigos, primos y sobrinos que forman parte de mi vida y de manera especial a mi compañero de fórmula Juan Gabriel Amaya, por ser un magnífico amigo y un gran ser humano.

Jorge Luis Molina Villavicencio

Agradecemos infinitamente a la Universidad Politécnica Salesiana y sus colaboradores por abrirnos las puertas y brindarnos las enseñanzas necesarias para cumplir nuestras metas.

Queremos reconocer nuestra gratitud al Ing. Pablo Robles MsC, por aceptar estar bajo la tutela de nuestro Proyecto de titulación, ya que nos brindó los conocimientos, aportes y apoyo para desarrollar este proyecto. De igual manera al Ing. Flavio Quizpi por todos los conocimientos y tiempo brindado durante nuestra ejecución del proyecto.

Agradecemos también al Ing. Byron Cabrera por su apoyo y asesoramiento durante la ejecución del Proyecto.

De manera especial al Tnlgo. Edwin Molina, Tnlgo. Byron Togra, Sr. Edison Jaya y Sr. Lisandro Córdova, quienes nos donaron los calzados para desarrollar los respectivos ensayos.

Juan Gabriel Amaya & Jorge Luis Molina

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	V
AGRADECIMIENTOS	VI
ÍNDICE GENERAL	IX
ÍNDICE DE TABLAS	XIII
ÍNDICE DE FIGURAS	XV
RESUMEN	XXII
ABSTRACT	XXIII
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	XXV
JUSTIFICACIÓN	XXVI
GRUPO OBJETIVO	XXVII
OBJETIVOS	XXVII
Objetivo General	XXVII
Objetivos Específicos	XXVII
PROPUESTA DE SOLUCIÓN	XXVIII
CAPÍTULO 1: MARCO TEÓRICO	1
1.1 NORMA ASTM F2413-11	1
1.1.1 Requisitos de rendimiento	1
1.1.2 Calzado resistente a los choques eléctricos (EH)	2
1.1.3 Etiquetado e Identificación	2
1.2 NORMA ASTM F2412-11	4
1.2.1 Resistencia a la conductividad eléctrica (Cd)	4
1.2.2 Calzado resistente a choques eléctricos (EH).	6
1.2.3 Equipos y Materiales	6
1.2.4 Procedimiento de Ensayo	7
1.3 NORMA ASTM F1116-03	8
1.3.1 Procedimiento de ensayo	8
1.3.2 Procedimiento de Ensayo en AC.	8
1.3.3 Procedimiento de Ensayo en DC	9
1.4 ESTÁNDAR IEEE 80-2013.	9
1.4.1 Efectos de la magnitud y duración.	9
1.4.2 Límites de corriente tolerable por el cuerpo.	10
1.4.3 Resistencia del cuerpo humano	11
1.4.4 Circuitos accidentales equivalentes.	11
1.4.5 Voltajes de paso y contacto	11
1.5 ESTÁNDAR IEC 60071.1	13
1.5.1 Determinación de las sobretensiones representativas.	13
1.5.2 Voltajes de soporte normalizadas	14
1.6 ESTANDAR IEC 60071.2	14
1.6.1 Determinación de la resistencia dieléctrica por tipo de ensayo	14
1.6.1.1 Aislamiento no Regenerable:	14
1.6.1.2 Aislamiento Regenerable:	15
1.6.1.3 Aislamiento Mixto:	15
1.7 DESCARGAS PARCIALES	16
1.7.1 Origen y Evolución de las DP	16
1.7.2 Tipos de Descargas Parciales	17
1.7.2.1 Descargas Parciales Internas	17
1.7.2.2 Descarga Parcial Superficial	18

1.7.2.3 Descarga Parcial Corona	18
1.8 NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 4591	19
1.8.1 Requisitos generales para los procedimientos de ensayo	19
1.8.2 Disposición General del Objeto	19
1.8.2.1 Ensayo en Seco	19
1.8.2.2 Ensayo en Húmedo	19
1.9 IEEE STANDARD FOR HIGH - VOLTAGE TESTING TECHNIQUES	19
1.9.1 Condiciones Ambientales Normales.	19
1.9.2 Condiciones Atmosféricas Estándares.	20
1.9.3 Aplicación de Factores de Corrección.	20
1.9.3.1 Factor de corrección condiciones atmosféricas interelectrónicas hasta 1 m	20
1.9.3.2 Factor de corrección condiciones atmosféricas interelectrónicas superiores a 1 m.	21
1.9.3.3 Factor de corrección de la densidad del aire, K1	21
1.9.3.4 Factor de corrección de humedad, K2	22
1.9.3.5 Exponentes m y w	23
1.10 SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS (DAQ)	24
CAPITULO 2: MARCO METODOLÓGICO	26
2. 1 Construcción del pie de aluminio	27
2.2 Base metálica para el calzado	28
2.3 Adquisición del calzado dieléctrico	29
2.4 Sistema de adquisición de datos	31
2.5 Equipos y materiales utilizados	31
2.6 Variables de Estudio y Cálculo RMS	37
2.7 Factores de Corrección Atmosféricos	37
2.8 Esquemas Eléctricos	40
2.9 Diagrama de Flujo	42
CAPÍTULO 3: ANÁLISIS DE RESULTADOS	44
3.1 ANÁLISIS DE LA CORRIENTE EN EL PIE DE ALUMINIO	45
3.1.1 Calzado Dado de Baja Condiciones Normales	45
3.1.1.1 Ensayo Calzado dado de Baja Derecho	46
3.1.1.2 Análisis de Forma de Onda de Corriente Dado de Baja Derecho	47
3.1.1.3 Ensayo Calzado Dado de Baja Izquierdo	48
3.1.1.4 Análisis de Forma de Onda de Corriente Dado de Baja Izquierdo	49
3.1.2 Calzado Dado de Baja Condiciones Viscosas	49
3.1.2.1 Ensayo Calzado Dado de Baja Derecho	50
3.1.2.2 Análisis de Forma de Onda de Corriente dado de Baja Derecho	51
3.1.2.3 Ensayo Calzado Dado de Baja Izquierdo	52
3.1.2.4 Análisis de Forma de Onda de Corriente Dado de Baja Izquierdo	53
3.1.3 Calzado Dado de Baja Condiciones Húmedas	54
3.1.3.1 Ensayo Calzado Dado de Baja Derecho	54
3.1.3.2 Análisis de Forma de Onda de Corriente Dado de Baja Derecho	56
3.1.3.3 Ensayo Calzado Dado de Baja Izquierdo	56
3.1.3.4 Análisis de Forma de Onda de Corriente Dado de Baja Izquierdo	58
3.1.4 Calzado Medio Uso (1) Condiciones Normales	58
3.1.4.1 Ensayo Calzado Medio Uso Derecho	59
3.1.4.2 Análisis de Forma de Onda de Corriente Medio Uso Derecho	60
3.1.4.3 Ensayo Calzado Medio Uso Izquierdo	61
3.1.4.4 Análisis de Forma de Onda de Corriente Medio Uso Izquierdo	62
3.1.5 Calzado Medio Uso (1) Condiciones Viscosas	63

3.1.5.1 Ensayo Calzado Medio Uso Derecho	63
3.1.5.2 Análisis de Forma de Onda de Corriente Medio Uso Derecho	64
3.1.5.3 Ensayo Calzado Medio Uso Izquierdo	65
3.1.6 Calzado Medio Uso (1) Condiciones Húmedas	67
3.1.6.1 Ensayo Calzado Dado De Baja Derecho	67
3.1.6.2 Análisis de Forma de Onda de Corriente Medio Uso Derecho	68
3.1.6.3 Ensayo Calzado Medio Uso Izquierdo	69
3.1.6.4 Análisis de Forma de Onda de Corriente Medio Uso Izquierdo	70
3.1.7 Calzado Medio Uso (2) Condiciones Normales	71
3.1.7.1 Ensayo Calzado Medio Uso (2) Derecho	71
3.1.7.2 Análisis de Forma de Onda de Corriente Medio Uso (2) Derecho	72
3.1.7.3 Ensayo Calzado Medio Uso (2) Izquierdo	73
3.1.7.4 Análisis De Forma De Onda De Corriente Medio Uso (2) Izquierdo	74
3.1.8 Calzado Medio Uso (2) Condiciones Viscosas	75
3.1.8.1 Ensayo Calzado Medio Uso (2) Derecho	75
3.1.8.2 Análisis de Forma de Onda de Corriente Medio Uso (2) Derecho	77
3.1.8.2 Ensayo Calzado Medio Uso (2) Izquierdo	77
3.1.8.3 Análisis De Forma De Onda De Corriente Medio Uso (2) Izquierdo	79
3.1.9 Calzado Medio Uso (2) Condiciones Húmedas	80
3.1.9.1 Ensayo Calzado Medio Uso (2) Derecho	80
3.1.9.2 Análisis de Forma de Onda de Corriente Medio Uso (2) Derecho	81
3.1.9.3 Ensayo Calzado Medio Uso (2) Izquierdo	82
3.1.9.3 Análisis de Forma de Onda de Corriente Medio Uso (2) Izquierdo	83
3.1.10 Calzado Nuevo Condiciones Normales	83
3.1.10.1 Ensayo Calzado Nuevo Derecho	83
3.1.10.2 Análisis de Forma de Onda de Corriente Calzado Nuevo Derecho	85
3.1.10.3 Ensayo Calzado Nuevo Izquierdo	86
3.1.10.4 Análisis de Forma de Onda de Corriente Calzado Nuevo Izquierdo	87
3.1.11 Calzado Nuevo Condiciones Viscosas	88
3.1.11.1 Ensayo Calzado Nuevo Derecho	88
3.1.11.2 Análisis De Forma De Onda De Corriente Calzado Nuevo	90
3.1.11.3 Ensayo Calzado Nuevo Izquierdo	91
3.1.11.4 Análisis de Forma de Onda de Corriente Calzado Nuevo Izquierdo	92
3.1.12 Calzado Nuevo Condiciones Húmedas	93
3.1.12.1 Ensayo Calzado Nuevo Derecho	93
3.1.12.2 Análisis De Forma De Onda De Corriente Calzado Nuevo Derecho	95
3.1.12.3 Ensayo Calzado Nuevo Izquierdo	95
3.1.12.4 Análisis de Forma de Onda de Corriente Calzado Nuevo Izquierdo	97
3.2 ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO GENERAL DE LA CORRIENTE RMS DE ACUERDO CON EL ESTADO DEL CALZADO.	97
3.2.1 Comportamiento de la Corriente RMS en los Calzados: Dado de Baja, Medio Usos y Nuevos Ensayo en Condiciones Normales.	97
3.2.2 Comportamiento Final de la Corriente RMS en los Calzados: Dado de Baja, Medio Uso y Nuevos Ensayo en Condiciones Viscosas.	100
3.2.3 Comportamiento Final de la Corriente RMS en los Calzados: Dado de Baja, Medio Uso y Nuevos Ensayo en Condiciones Húmedas.	102
CAPÍTULO 4: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	105
LISTA DE REFERENCIAS	107
APÉNDICES	109

APÉNDICE A: ADQUISICIÓN DE DATOS EN LABVIEW CORRIENTE DE RUPTURA RMS	109
APÉNDICE B: CORRIENTE RMS DE RUPTURA SEÑALES PROCESADAS EN EXCEL	111
APÉNDICE C: GENERACIÓN DE EFECTO CORONA Y DESCARGA POR ARCO ELÉCTRICO	115

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. Procedimientos de ensayo. [7]	9
TABLA 2 Características básicas del banco de control HV 9103 [16][17].	34
TABLA 3. Especificaciones técnicas del HV 9105 [16] [17].	35
TABLA 4. Descripción técnica del HV 9141. [16][17].	35
TABLA 5. Características técnicas de la HV 9124 [16][17].	36
TABLA 6. Especificaciones técnicas de la HV 9121[16] [17]	36
TABLA 7. Características de la barra de descarga [16] [17].	37
TABLA 8. Propiedades de la copa conectora [16][17].	37
TABLA 9. Propiedades de la HV 9108 [16] [17].	38
TABLA 10. Especificaciones técnicas HV 9110 [16] [17].	38
TABLA 11. Variación de voltaje y corriente calzado dado de baja derecho (C. Normales)	48
TABLA 12. Variación de voltaje y corriente calzado dado de baja izquierdo (C. Normales)	50
TABLA 13. Variación de voltaje y corriente calzado dado de baja derecho (C. Viscosas)	53
TABLA 14. Variación de voltaje y corriente calzado dado de baja izquierdo (C. Viscosas)	55
TABLA 15. Variación de voltaje y corriente calzado dado de baja derecho (C. Húmedas)	57
TABLA 16. Variación de voltaje y corriente calzado dado de baja izquierdo (C. Húmedas)	59
TABLA 17. Variación de voltaje y corriente calzado medio uso derecho (C. Normales)	62
TABLA 18. Variación de voltaje y corriente calzado medio uso izquierdo (C. Normales)	64
TABLA 19. Variación de voltaje y corriente calzado medio uso derecho (C. Viscosas)	66
TABLA 20. Variación de voltaje y corriente calzado medio uso izquierdo (C. Viscosas)	68
TABLA 21. Variación de voltaje y corriente calzado medio uso derecho (C. Húmedas)	70
TABLA 22. Variación de voltaje y corriente calzado medio uso izquierdo (C. Húmedas)	72
TABLA 23. Variación de voltaje y corriente calzado medio uso(2) derecho (C. Normales)	74
TABLA 24. Variación de voltaje y corriente calzado medio uso (2) izquierdo (C. Normales)	76
TABLA 25. Variación de voltaje y corriente calzado medio uso (2) derecho (C. Viscosas)	78

TABLA 26. Variación de voltaje y corriente calzado medio uso (2) izquierdo (C. Viscosas)	80
TABLA 27. Variación de voltaje y corriente calzado medio uso (2) derecho (C. Húmedas)	82
TABLA 28. Variación de voltaje y corriente calzado medio uso (2) izquierdo (C. Húmedas)	84
TABLA 29. Variación de voltaje y corriente calzado nuevo derecho (C. Normales)	87
TABLA 30. Variación de voltaje y corriente calzado nuevo izquierdo (C. Normales)	89
TABLA 31. Variación de voltaje y corriente calzado nuevo derecho (C. Viscosas)	91
TABLA 32. Variación de voltaje y corriente calzado nuevo izquierdo (C. Viscosas)	93
TABLA 33. Variación de voltaje y corriente calzado nuevo derecho (C. Húmedas)	96
TABLA 34. Variación de voltaje y corriente (calzado nuevo izquierdo) (C. Húmedas)	98
TABLA 35. Variación de voltaje y corriente (Condiciones Normales Derecho)	100
TABLA 36. Variación de voltaje y corriente (Condiciones Normales Izquierdo)	101
TABLA 37. Variación de voltaje y corriente (Condiciones Viscosas Derecho)	102
TABLA 38. Variación de voltaje y corriente (Condiciones Viscosas Izquierdo)	103
TABLA 39. Variación de voltaje y corriente (Condiciones Húmedas Derecho)	104
TABLA 40. Variación de voltaje y corriente (Condiciones Húmedas Izquierdo)	104
TABLA 41. Voltaje y Corriente rms de ruptura del calzado (condiciones normales)	112
TABLA 42. Voltaje y Corriente rms de ruptura del calzado (condiciones normales)	113

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Etiqueta ASTM. [5]	3
Figura 2. Circuito de ensayo para resistencia de conductividad eléctrica. [6]	5
Figura 3. Circuito de ensayo de riesgos dieléctricos. [6]	8
Figura 4. Representación resistiva del cuerpo humano. [9]	12
Figura 5. Exposición a voltajes de paso. [8]	12
Figura 6. Circuito equivalente de Thevenin. [8]	13
Figura 7. Clases y formas de sobretensiones, formas de voltaje estándar y de ensayo de resistencia estándar. [10]	14
Figura 8. Fenómeno de descargas parciales. [12]	18
Figura 9. Descarga parcial interna. [12]	18
Figura. 10 Descarga parcial superficial.[12]	19
Figura 11. Descarga parcial corona. [12]	19
Figura 12. Factor de corrección condiciones atmosféricas distancias interelectródicas hasta 1m. [14]	22
Figura 13. Valores de m , n y w . [14]	22
Figura 14. k en función de la relación entre h , δ . [14]	24
Figura 15. Valores de los exponentes m y w en función del parámetro g . [14]	24
Figura 16. Factores de correcciones atmosféricas para K y w según el tipo de voltaje aplicado al ensayo [14].	25
Figura 17. Proceso de adquisición de información de un DAQ [15].	25
Figura 18. Sistema de adquisición de datos y entorno gráfico en LabVIEW para el procesamiento de información.	26
Figura 19. a) Proporción de agua y alginato. b) Mezcla homogénea de los dos componentes y c) Pie introducido en el producto.	28
Figura 20. Verificación de la talla del molde en un calzado Timberland Pro.	29
Figura 21. Vista frontal y lateral de los moldes fundidos en aluminio.	29
Figura 22. Conexión del perno tipo ojo en la parte posterior del pie.	30
Figura 23. a) Diseño de la base con sus dimensiones en cm. b) Base construida.	31
Figura 24. Calzado dieléctrico nuevo Andino: a) Vista frontal, b) Vista lateral y c) Etiqueta ASTM.	31

Figura 25. Calzado dieléctrico de medio uso (1) Timberland PRO: a) Vista frontal, b) Vista lateral y c) Etiqueta ASTM.	32
Figura 26. Calzado dieléctrico de medio uso (2) Timberland PRO: a) Vista frontal, b) Vista lateral y c) Etiqueta ASTM.	32
Figura 27. Calzado dieléctrico dado de baja MTO: a) Vista frontal, b) Vista lateral y c) Etiqueta ASTM.	32
Figura 28. Interfaz gráfica del sistema de adquisición de datos. Fuente (Ing. Byron C y Víctor H).	33
Figura 29. Escritorio de control HV 9103.	34
Figura 30. Transformador HV 9105.	35
Figura 31. Capacitor de medida TERCO [16][17].	36
Figura 32. Barra aislante TERCO HV 9124 [16][17].	36
Figura 33. Resistencia de carga TERCO HV 9121[16] [17].	37
Figura 34. Barra de descarga TERCO HV 9107[16] [17].	37
Figura 35. Copa conectora TERCO [16] [17].	38
Figura 36. Barra conectora TERCO HV 9108 [16] [17].	38
Figura 37. Pedestal de piso TERCO HV 9110 [16] [17].	39
Figura 38. Datos atmosféricos de la ciudad de Cuenca.	40
Figura 39. Calculo de la temperatura absoluta.	41
Figura 40. Curvas características para el factor de corrección por humedad.	41
Figura 41. Esquema eléctrico de conexión para ensayo de calzado dieléctrico.	43
Figura 42. Conexión ensayos eléctricos de calzado dieléctrico.	43
Figura 43. Circuito de ensayo implementado.	44
Figura 44. Diagrama de flujo del proceso del ensayo del calzado dieléctrico.	45
Figura 45. .Ensayo Condiciones Normales: a) Calzado dado de baja derecho b) Calzado dado de baja Izquierdo	47
Figura 46. Variación de voltaje frente a la corriente calzado dado de baja derecho (C. Normales)	49
Figura 47. Onda de Corriente (datos de baja derecho) a) Inicio ensayo 1kV, b) Ampliación corriente ensayo inicial, c) Final ensayo 18kV y d) Ampliación de corriente ensayo final	49
Figura 48. Variación de voltaje frente a la corriente calzado dado de baja izquierdo (C. Normales)	51

Figura 49. Onda de Corriente (datos de baja izquierdo) a) Inicio ensayo 1kV, b) Ampliación corriente ensayo inicial, c) Final ensayo 15kV y d) Ampliación de corriente ensayo final	51
Figura 50. Ensayo Condiciones Viscosas: a) Calzado dado de baja derecho b) Calzado dado de baja Izquierdo	52
Figura 51. Variación de Voltaje frente a la Corriente calzado dado de baja derecho (C. Viscosas)	53
Figura 52. Onda de Corriente (datos de baja derecho) a) Inicio ensayo 1kV, b) Ampliación corriente ensayo inicial, c) Final ensayo 22kV y d) Ampliación de corriente ensayo final	54
Figura 53. Variación de Voltaje frente a la Corriente calzado dado de baja izquierdo (C. Viscosas)	56
Figura 54. Onda de Corriente (datos de baja izquierdo) a) Inicio ensayo 1kV, b) Ampliación corriente ensayo inicial, c) Final ensayo 18kV y d) Ampliación de corriente ensayo final.	56
Figura 55. Ensayo Condiciones Húmedas: a) Medida del agua b) Calzado dado de baja Derecho c) Calzado dado de baja Izquierdo.	57
Figura 56. Variación de Voltaje frente a la Corriente calzado dado de baja derecho (C. Húmedas)	58
Figura 57. Onda de Corriente (datos de baja derecho) a) Inicio ensayo 1kV, b) Ampliación corriente ensayo inicial, c) Final ensayo 14kV y d) Ampliación de corriente ensayo final	59
Figura 58. Variación de Voltaje frente a la Corriente calzado dado de baja izquierdo (C. Húmedas)	60
Figura 59. Onda de Corriente (datos de baja izquierdo) a) Inicio ensayo 1kV, b) Ampliación corriente ensayo inicial, c) Final ensayo 8kV y d) Ampliación de corriente ensayo final	61
Figura 60. Variación de Voltaje frente a la Corriente (medio uso derecho C. Normales)	62
Figura 61. Onda de Corriente (medio uso derecho) a) Inicio ensayo 1kV, b) Ampliación corriente ensayo inicial, c) Final ensayo 21kV y d) Ampliación de corriente ensayo final	63
Figura 62. Variación de Voltaje frente a la Corriente medio uso izquierdo (C. Normales)	64

Figura 63. Onda de Corriente (medio uso izquierdo) a) Inicio ensayo 1kV, b) Ampliación corriente ensayo inicial, c) Final ensayo 20kV y d) Ampliación de corriente ensayo final	65
Figura 64. Variación de Voltaje frente a la Corriente medio uso derecho (C. Viscosas)	66
Figura 65. Onda de Corriente (medio uso derecho) a) Inicio ensayo 1kV, b) Ampliación corriente ensayo inicial, c) Final ensayo 24kV y d) Ampliación de corriente ensayo final	67
Figura 66. Variación de Voltaje frente a la Corriente medio uso izquierdo (C. Viscosas)	68
Figura 67. Onda de Corriente (medio uso izquierdo) a) Inicio ensayo 1kV, b) Ampliación corriente ensayo inicial, c) Final ensayo 24kV y d) Ampliación de corriente ensayo final	69
Figura 68. Variación de Voltaje frente a la Corriente medio uso derecho (C. Húmedas)	70
Figura 69. Onda de Corriente (medio uso derecho) a) Inicio ensayo 1kV, b) Ampliación corriente ensayo inicial, c) Final ensayo 16kV y d) Ampliación de corriente ensayo final	71
Figura 70. Variación de Voltaje frente a la Corriente medio uso izquierdo (C. Húmedas)	72
Figura 71. Onda de Corriente (medio uso izquierdo) a) Inicio ensayo 1kV, b) Ampliación corriente ensayo inicial, c) Final ensayo 15kV y d) Ampliación de corriente ensayo final	73
Figura 72. Variación de Voltaje frente a la Corriente medio uso (2) derecho (C. Normales)	74
Figura 73. Onda de Corriente (medio uso (2) derecho) a) Inicio ensayo 1kV, b) Ampliación corriente ensayo inicial, c) Final ensayo 19kV y d) Ampliación de corriente ensayo final.	75
Figura 74. Variación de Voltaje frente a la Corriente medio uso (2) izquierdo (C. Normales)	76
Figura 75. Onda de Corriente (medio uso (2) izquierdo) a) Inicio ensayo 1kV, b) Ampliación corriente ensayo inicial, c) Final ensayo 20kV y d) Ampliación de corriente ensayo final	77
Figura 76. Variación de Voltaje frente a la Corriente medio uso (2) derecho (C. Viscosas)	79
Figura 77. Onda de Corriente (medio uso (2) derecho) a) Inicio ensayo 1kV, b) Ampliación corriente ensayo inicial, c) Final ensayo 21kV y d) Ampliación de corriente ensayo final.	79

Figura 78. Variación de Voltaje frente a la Corriente medio uso (2) izquierdo (C. Viscosas)	81
Figura 79. Onda de Corriente (medio uso (2) izquierdo) a) Inicio ensayo 1kV, b) Ampliación corriente ensayo inicial, c) Final ensayo 22kV y d) Ampliación de corriente ensayo final	82
Figura 80. Variación de Voltaje frente a la Corriente medio uso (2) derecho (C. Húmedas)	83
Figura 81. Onda de Corriente (medio uso (2) derecho) a) Inicio ensayo 1kV, b) Ampliación corriente ensayo inicial, c) Final ensayo 12kV y d) Ampliación de corriente ensayo final	84
Figura 82. Variación de Voltaje frente a la Corriente medio uso (2) izquierdo (C. Húmedas)	85
Figura 83. Onda de Corriente (medio uso (2) izquierdo) a) Inicio ensayo 1kV, b) Ampliación corriente ensayo inicial, c) Final ensayo 14kV y d) Ampliación de corriente ensayo final	86
Figura 84. Variación de Voltaje frente a la Corriente calzado nuevo derecho (C. Normales)	88
Figura 85. Onda de Corriente (calzado nuevo derecho) a) Inicio ensayo 1kV, b) Ampliación corriente ensayo inicial, c) Final ensayo 36kV y d) Ampliación de corriente ensayo final	88
Figura 86. Variación de Voltaje frente a la Corriente calzado nuevo izquierdo (C. Normales)	90
Figura 87. Onda de Corriente (calzado nuevo izquierdo) a) Inicio ensayo 1kV, b) Ampliación corriente ensayo inicial, c) Final ensayo 35kV y d) Ampliación de corriente ensayo final	90
Figura 88. Variación de Voltaje frente a la Corriente (calzado nuevo derecho)	92
Figura 89. Onda de Corriente (calzado nuevo derecho) a) Inicio ensayo 1kV, b) Ampliación corriente ensayo inicial, c) Final ensayo 38kV y d) Ampliación de corriente ensayo final	93
Figura 90. Variación de Voltaje frente a la Corriente calzado nuevo izquierdo (C. Viscosas)	94
Figura 91. Onda de Corriente (calzado nuevo izquierdo) a) Inicio ensayo 1kV, b) Ampliación corriente ensayo inicial, c) Final ensayo 37kV y d) Ampliación de corriente ensayo final	95

Figura 92. Variación de Voltaje frente a la Corriente (calzado nuevo derecho)	97
Figura 93. Onda de Corriente (calzado nuevo derecho) a) Inicio ensayo 1kV, b) Ampliación corriente ensayo inicial, c) Final ensayo 29kV y d) Ampliación de corriente ensayo final	97
Figura 94. Variación de Voltaje frente a la Corriente calzado nuevo izquierdo (C. Húmedas)	99
Figura 95. Onda de Corriente (calzado nuevo izquierdo) a) Inicio ensayo 1kV, b) Ampliación corriente ensayo inicial, c) Final ensayo 26kV y d) Ampliación de corriente ensayo final	99
Figura 96. Ensayo final de todos los calzados (Derecho Condiciones Normales)	101
Figura 97. Ensayo final de todos los calzados (Izquierdo Condiciones Normales)	102
Figura 98. Ensayo final de todos los calzados (Derecho Condiciones Viscosas)	103
Figura 99. Ensayo final de todos los calzados (Izquierdo Condiciones Viscosas)	104
Figura 100. Ensayo final de todos los calzados (Derecho Condiciones Húmedas)	105
Figura 101. Ensayo final de todos los calzados (Izquierdo Condiciones Húmedas)	105
Figura 102. a) Interfaz gráfica labview: voltaje 40kV y corriente de ruptura de 1,0907714mA calzado nuevo derecho	110
Figura 103. a) Interfaz gráfica labview: voltaje 40kV y corriente de ruptura de 1,07583 mA calzado nuevo izquierdo	110
Figura 104. a) Interfaz gráfica labview: voltaje 24kV y corriente de ruptura de 1,09299 mA calzado medio uso (2) derecho	111
Figura 105. a) Interfaz gráfica labview: voltaje 24kV y corriente de ruptura de 1,09299 mA calzado medio uso (2) izquierdo	111
Figura 106. a) Onda de Corriente de ruptura calzado dado de baja derecho 22kV b) Ampliación de la corriente de ruptura.	112
Figura 107. a) Onda de Corriente de ruptura calzado medio uso (1) derecho 25kV b) Ampliación de la corriente de ruptura.	112
Figura 108. a) Onda de Corriente de ruptura calzado medio uso (2) derecho 25kV b) Ampliación de la corriente de ruptura.	113
Figura 109. a) Onda de Corriente de ruptura calzado nuevo derecho 40 kV b) Ampliación de la corriente de ruptura.	113
Figura 110. a) Onda de Corriente de ruptura calzado dado de baja izquierdo 20kV b) Ampliación de la corriente de ruptura.	114

Figura 111. a) Onda de Corriente de ruptura calzado medio uso (1) izquierdo 24kV b) Ampliación de la corriente de ruptura.	114
Figura 112. a) Onda de Corriente de ruptura calzado medio uso (2) izquierdo 24kV b) Ampliación de la corriente de ruptura.	114
Figura 113. a) Onda de Corriente de ruptura calzado nuevo izquierdo 40kV b) Ampliación de la corriente de ruptura.	115
Figura 114. a) Calzado nuevo derecho descarga por arco eléctrico b) Calzado nuevo izquierdo descarga por arco eléctrico.	116
Figura 115. a) Calzado medio uso derecho descarga por arco eléctrico b) Calzado medio uso izquierdo descarga por arco eléctrico.	116

RESUMEN

El calzado dieléctrico forma parte del equipo de seguridad, de las personas encargadas de realizar labores en el área eléctrica. Es utilizado por supervisores, técnicos y profesionales que realizan trabajos en líneas aéreas, subterráneas y mantenimiento en unidades de generación, distribución y transmisión con alto índice de voltaje, los mismos que presentan un considerable grado de peligro, por lo que el calzado dieléctrico tiene mucha importancia para la seguridad y protección del operario.

Con el transcurso del tiempo y uso, el material dieléctrico del calzado va perdiendo su aislamiento lentamente, pudiendo generar el flujo de corrientes eléctricas a través del cuerpo, las mismas que podrían tener consecuencias que van desde el umbral de percepción hasta la muerte del personal que lo porta.

En el presente trabajo se estudia como se ve afectada la resistividad dieléctrica del calzado en distintos niveles de voltaje y en diferentes condiciones (secas, húmedas y viscosas), para determinar el comportamiento del material aislante en cada una de ellas.

Los ensayos serán realizados en el laboratorio de alto voltaje de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca. Generando ensayos con niveles de voltaje a partir de 1 kV, hasta niveles superiores a los 18 kV, de acuerdo con lo estipulado en las normas:

- ASTM F2413-11 (Standard Specification for Performance Requirements for Protective Footware).
- ASTM F2412-11 (Standard Test Methods for Foot Protection).

Palabras Claves: calzado dieléctrico, riesgo eléctrico y choque eléctrico.

ABSTRACT

The dielectric footwear is part of the safety equipment of the personnel in charge of performing tasks in the electrical area. It is used by supervisors, technicians and professionals who tend to perform work on overhead lines, underground and preventive maintenance. In units of generation, distribution and transmission with high voltage index. They present a considerable degree of danger, so the dielectric footwear is very important for the safety and protection of the operator.

With the time of use the dielectric footwear can lose its dielectric strength, is it loses its insulation. Being able to generate consequences that go from the threshold of perception until the death of the person that carries it.

In this paper we study how the dielectric resistance of footwear is affected in different voltage levels and in different conditions (dry, wet and viscous), to determine the behavior of the insulating material in each of them.

The tests carried out in the high voltage laboratory of the Salesian Polytechnic University Cuenca. Generating tests with voltage levels from 1 kV, up to levels higher than 18 kV, in accordance with the regulations:

- ASTM F2413-11 (Standard Specification for Performance Requirements for Protective Footwear).
- ASTM F2412-11 (Standard Test Methods for Foot Protection).

Keywords: dielectric footwear, electric risk and electric shock.

GLOSARIO

Voltio [V]: Voltaje eléctrico que es representada por la letra V. [1]

Alto voltaje: Voltaje Superior a 30 kV (kilovoltios). [2]

Bajo voltaje: Voltajes inferiores a 0,60 kV. Los voltajes que son utilizados en la industria son 220, 380 y 440V de corriente alterna y en los hogares entre 110 y 120 V. [2]

mA: miliamperios es igual a 0.001 A (1A=1000mA).[2]

Sistema eléctrico de potencia: (SEP) Conjunto de nodos que están conformados por líneas de transmisión y transformadores.[2]

Voltaje de ruptura dieléctrica: Diferencia de potencial donde se produce la falla dieléctrica en un material aislante eléctrico situado entre dos electrodos se conocen también como (voltaje de ruptura) o (voltaje disruptivo).[2]

Amperio [A]: Intensidad de la corriente eléctrica viene representada por la letra A. [1]

Kilovoltio [KV]: Medida de voltaje que corresponde a mil voltios (1000V). [1]

DAC: Data Acquisition (Recolección de datos).

ASTM: American Society for Testing and Materials (Sociedad Americana para Pruebas y Materiales). [2]

IEC: International Electrotechnical Comission (Comisión Electrotécnica Internacional). [2]

DP: Descargas Parciales. [3]

LabVIEW: Plataforma de simulación virtual que permite el diseño de sistemas y el control en tiempo real de variables de entrada.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los nuevos reglamentos que rigen en el país, establecidos por diversos entes internacionales. La norma de seguridad industrial específicamente en el sector eléctrico conlleva a la seguridad integral del trabajador que realiza maniobras, mantenimientos y operaciones en el área eléctrica.

Este trabajo investigativo es elaborado con el fin de ayudar a las empresas y trabajadores, a la verificación de normas dieléctricas en calzados en el sector eléctrico, con el propósito de disminuir los riesgos que atentan contra la integridad física de los trabajadores, debido a una serie de factores que será de análisis en esta propuesta.

El personal que labora en este sector deberá tener una confiabilidad del calzado dieléctrico que utiliza, ya que son quienes realizan la supervisión y mantenimiento de las instalaciones eléctricas.

Con el desarrollo de esta propuesta se pretende brindar un conocimiento tanto al personal y empresas que utiliza o adquieren calzados dieléctricos.

JUSTIFICACIÓN

Obtener información sobre el estado del calzado dieléctrico permite que el trabajador eléctrico puede desempeñar su trabajo de manera eficaz. La falta de información sobre el estado de seguridad de su equipo de protección provoca temor al desarrollar actividades de índole eléctrico, más aún si desarrollan actividades en áreas de medio voltaje [2].

El personal encargado de realizar el mantenimiento utiliza equipos de protección personal, el calzado dieléctrico está dentro de estos equipos. Por lo cual se pretende obtener un conocimiento sobre su comportamiento [2].

Analizar el comportamiento dieléctrico del calzado, los mismos que serán sometidos a diferentes condiciones atmosféricas (seco, húmedo y viscoso). Se estudiará el voltaje de ruptura cuando el calzado es nuevo, usado y dado de baja, acorde a las normas de manufactura establecidas, las mismas que brindaran seguridad al personal que hace uso de estos.

GRUPO OBJETIVO

El enfoque de este análisis en calzado dieléctrico está encaminado a los trabajadores del sector eléctrico, seguridad industrial, estudiantes, docentes e investigadores, y para todas las personas que tengan la necesidad de conocer el comportamiento dieléctrico de los equipos de protección personal.

OBJETIVOS

Objetivo General

Comprobar y verificar el comportamiento del calzado dieléctrico dependiendo de algunas solicitaciones eléctricas, observando que niveles de voltajes pueden soportar en ambientes secos, húmedos y viscosos.

Objetivos Específicos

- Investigar las normativas, factores y métodos de ensayo, que permiten determinar el comportamiento de la resistencia dieléctrica del calzado de seguridad.
- Construir un pie de aluminio con medidas estándares que representan el pie de un trabajador eléctrico.
- Implementar un sistema de adquisición de datos en Matlab o Labview que permita visualizar y representar la proyección de ruptura del calzado (Townsend).
- Verificar las descargas parciales en ciertos periodos de tiempo de la vida útil del calzado, analizando el voltaje de ruptura en diferentes estaciones de tiempo y niveles de contaminación.
- Comprobar si el calzado dieléctrico cumple con lo establecido en las normativas internacionales, analizando su comportamiento frente a diferentes eventos de falla que se puedan presentar en los mismos.

PROPUESTA DE SOLUCIÓN

Se pretende verificar el comportamiento del calzado dieléctrico aplicando diferentes niveles de voltaje y cambios atmosféricos, realizando un análisis dieléctrico en los ensayos que son planteadas para el análisis de este.

Para los ensayos de ruptura dieléctrica en alto voltaje se aplica la Norma ASTM 2412-11 y 2413-11. La norma 2412-11 detalla el procedimiento para los ensayos dieléctricos en calzado y la metodología aplicada para obtener un ensayo favorable aplicado a dicho calzado. La norma 2413-11 da a conocer los niveles de voltajes que pueden ser aplicados a los calzados y cuál debe ser su respuesta ante este.

CAPÍTULO 1: MARCO TEÓRICO

En este capítulo, se expone el fundamento teórico que sirve como base para el desarrollo de los ensayos del calzado dieléctrico. La normativa utilizada es la ASTM F-2412-11, F2413-11, IEEE 80 y la IEC 71.1 Y 71.2.

La norma ASTM F 2412-11 sustituyó a la norma ANZI Z4, debido a que plantea reglamentos y parámetros que garantizan un mayor grado de calidad en el calzado dieléctrico. Esta norma describe los métodos de ensayo (resistencia al impacto, a la compresión, al impacto metatarsiano, propiedades conductoras, riesgo eléctrico y disipación estática). En este documento se exhibe únicamente la metodología de ensayo para el riesgo de choque eléctrico, requerido para el caso de estudio.

La norma ASTM F 2413-11 detalla el rendimiento del comportamiento del calzado de seguridad durante los ensayos definidos en la ASTM F2412-11. De igual forma en este escrito se detalla exclusivamente lo relacionado con el riesgo eléctrico.

La norma ASTM F1116-03 es empleada para realizar el ensayo en agua u otros medios conductores. La norma IEC 71.1 y 71.2 es empleada para factores y procedimientos para la coordinación de aislamiento, mientras que la IEEE 80 es utilizada para recopilar información acerca de las corrientes de paso y contacto.

1.1 NORMA ASTM F2413-11

Este estatuto abarca las exigencias con las que debe cumplir el diseño del calzado de seguridad, para proporcionar un grado de protección confiable contra una serie de riesgos que se pueden presentar en el área de operación [4].

1.1.1 Requisitos de rendimiento

La ASTM F2413-11 engloba las condiciones para medir la utilidad del calzado en los aspectos:

- Resistencia al impacto
- Resistencia a la compresión
- Protección metatarsiana

- Propiedades conductivas
- Resistencia al choque eléctrico
- Disipación estática
- Aguante a la perforación
- Resistencia al corte
- Aislamiento dieléctrico

La cuestión central que se trata de resolver en este estudio es el comportamiento del calzado dieléctrico frente a sobretensiones en medio voltaje, razón por la cual se aborda únicamente las condiciones de evaluación a la resistencia de choque eléctrico de la normativa.

1.1.2 Calzado resistente a los choques eléctricos (EH)

Todo calzado dieléctrico deberá cumplir con especificaciones de construcción y diseño:

1. La suela y el tacón deberán de ser de material no conductor, de manera que garanticen la no conductividad eléctrica, en el caso de llevarse a cabo el contacto con circuitos vivos o áreas energizadas.
2. La característica constructiva de la suela y el tacón debe ser tal, que evite la penetración de componentes u objetos eléctricamente activos.
3. En condiciones secas la suela externa del calzado debe proteger totalmente el choque eléctrico cuando existan roces con zonas eléctricas activas.
4. El grado de protección dieléctrico se ve deteriorado cuando la suela del calzado tiene un desgaste excesivo y cuando esta se expone a ambientes húmedos.
5. Tanto los tacones como las suelas serán de material dieléctrico, para evitar el choque eléctrico.
6. Los métodos de ensayo para medir la resistencia a los choques eléctricos están definidos en norma ASTM F2412-11.
7. El calzado únicamente será certificado cuando, su ensayo soporte la aplicación de 18 kV , a 60 Hz durante 1 minuto sin corrientes de fuga mayores a 1 mA .

1.1.3 Etiquetado e Identificación

El calzado dieléctrico debe cumplir con los métodos de ensayo de ASTM (Sociedad Americana para Pruebas y Materiales). Todos los calzados etiquetados con la marca ASTM tienen marcas de seguridad adecuadas en la superficie interior o exterior de la lengüeta. En

la Figura 1, se puede observar el aspecto que tiene una etiqueta de muestra en un calzado dieléctrico. Dependiendo de la marca o el fabricante, puede variar con elementos en diferentes ubicaciones. [4]

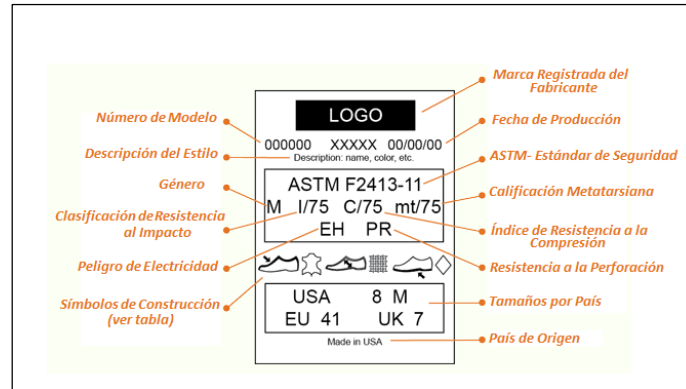


Figura 1. Etiqueta ASTM. [5]

En la parte superior se ubica el logotipo de la marca con el número de modelo o estilo y la fecha de producción debajo. Si incluye una descripción, esta será la lista de impermeabilidad y aislamiento si el calzado lo tiene. Debajo de esto está el rectángulo con las marcas ASTM requerida en un formato de 3 o 4 líneas. [4]

El etiquetado del calzado debe ser ubicado en una zona donde tenga un alto grado de visibilidad y un tamaño de no más de 3.75 mm.

Línea 1: ASTM F2413-11

Esta línea identifica el estándar ASTM. En este caso, los componentes cumplen o exceden la revisión más reciente de los requisitos del calzado de acuerdo con su rendimiento de protección o de puntera de seguridad. [4]

Línea 2 M I/75, C/75 y Mt/75

En esta línea se identifica el género M (masculino) o W (femenino). También indica las calificaciones de impacto y compresión límites (I/75) y (C/75), su designación y calificación de metatarsianos (Mt/75). [4]

I/75: La punta puede soportar 75 pies-libras de impacto. [4]

C/75: La puntera debe soportar 2500 libras de presión o compresión. [4]

Mt/75: Significa que el protector puede soportar 75 pies-libras de impacto y compresión. [4]

Línea 3-4: EH PR

Estas dos líneas se usan para indicar cualidades protectoras del calzado, como el peligro eléctrico (EH), la resistencia a la perforación (PR) y el disipativo de estática (SD). [4]

1.2 NORMA ASTM F2412-11

Presenta los métodos de ensayo estándar para la protección de los pies. Estos métodos de ensayo miden la resistencia del calzado a una variedad de peligros que potencialmente puede causar lesiones e incluso la muerte. [6]

- Resistencia al impacto (I)
- Resistencia a la compresión (C)
- La resistencia al impacto metatarsiano (Mt)
- Resistencia a la conductividad eléctrica. (Cd)
- Resistencia a riesgos dieléctricos. (EH)
- El rendimiento disipativo estático (SD)
- Resistencia a la punción (PR)

1.2.1 Resistencia a la conductividad eléctrica (Cd)

Se obtiene colocando el calzado sobre una placa de electodos, el segundo electrodo se coloca en el pie de aluminio el mismo que es introducido en la parte inferior del calzado. La resistencia eléctrica se calcula luego de haber aplicado el voltaje durante un cierto tiempo. Para obtener estas mediciones se tiene que seguir el diagrama que es ilustrado en la Figura 2 con sus respectivas características. [6]

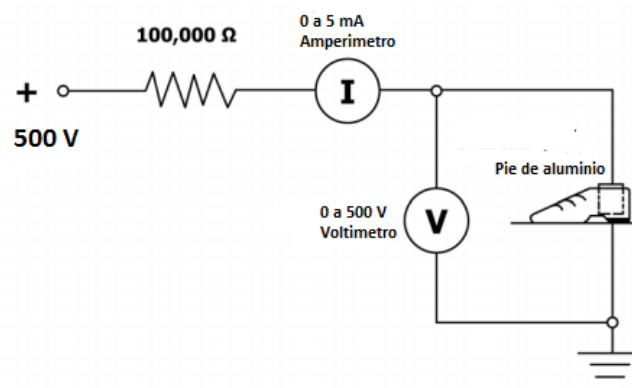


Figura 2. Circuito de ensayo para resistencia de conductividad eléctrica. [6]

Componentes y Características para realizar este ensayo:

- Alimentación de CC regulada hasta los 500 V con una intensidad de 5mA o más.
- Resistencia de 100000Ω con precisión de $\pm 10\%$ nominal 2.5W y 500V o superior.
- Amperímetro de CC con rangos entre 0 a 5mA con una precisión de $\pm 5\%$ en uno o más rangos.
- Voltímetro de CC con rangos entre 0 a 500V con una precisión mínima de $\pm 5\%$ en uno o más rangos con una resistencia interna nominal de $10 M\Omega$ o mayor.

El circuito eléctrico conecta a la fuente de alimentación en serie con la resistencia, el amperímetro, los electrodos y la muestra de ensayo. El voltímetro está conectado a los dos electrodos para medir el voltaje a través del espécimen. [6]

La resistencia se calcula utilizando la ecuación 2

Ecuación 1: Formula del voltaje

$$V = I \times R [v]$$

Ecuación 2: Formula de la resistencia

$$R = \frac{V}{I} [\Omega]$$

R= Resistencia a la conductividad calculada en ohmios

V=Voltaje a través de la muestra de ensayo en V

I= Corriente obtenida de la muestra de ensayo en A

Procedimiento:

- Coloque el calzado en la placa de acero (Electrodo exterior del zapato) [6].
- Inserte el pie de aluminio en el interior del calzado [6].
- Obtener valores de la resistencia eléctrica en un tiempo máximo de 30 segundos [6].

1.2.2 Calzado resistente a choques eléctricos (EH).

Se coloca el calzado sobre un electrodo de base metálica, el segundo electrodo va colocado en el pie metálico construido. El voltaje es aplicado al electrodo de base metálica en un tiempo determinado. La resistencia de AC se obtiene con la medición de la corriente que atraviesa el calzado [6].

1.2.3 Equipos y Materiales

Para el manejo de los equipos la norma establece que el personal que va a realizar el ensayo sea plenamente capacitado y conozca las normas de seguridad y riesgo eléctrico, ya que una mala operación por parte de los operarios podría ser letal [6].

Para el gabinete de ensayo la norma sugiere que la operación de los equipos sea con interbloqueo de puerta, característica con la cual consta el laboratorio de la UPS [6].

Los aparatos que se utilizaran para el desarrollo este ensayo son [6]:

- Transformador con sistema de medición.
- Base metálica suficientemente robusta para soportar el peso del calzado.
- Electrodo interno (pie de aluminio).
- Voltímetro y transformador de potencia.
- Amperímetro.

Muestreo:

- Seleccionar aleatoriamente tres pares de calzado [6].
- La talla del calzado masculino será 9 y del femenino 8 [6].
- Las condiciones atmosféricas para realizar el ensayo [6]:
 - - *Temperatura* = 21.1 ± 1.1 °C
 - *Humedad Relativa* = 50 ± 2 %
- El calzado con el pie de aluminio finalmente es montado sobre la base metálica para aplicar los voltajes de ensayos.

1.2.4 Procedimiento de Ensayo

Procedimiento [6]:

- Mantener el electrodo del pie de aluminio al mismo equipotencial de tierra.
- Aplicar el voltaje de ensayo para el electrodo exterior en un nivel bajo (Cerca de 0 V)
- Variar el voltaje a cada $1kV_{RMS}$ con rangos comprendidos desde $1kV_{RMS}$ hasta $18kV_{RMS}$ a una frecuencia de 60 Hz y mantener este voltaje durante 1 minuto.
- Medir el voltaje usando el voltímetro en conjunto con el transformador de potencial de instrumento calibrado que está conectado directamente a través del circuito de alto voltaje.
- La corriente se debe medir con el amperímetro AC o resistencia Shunt y un voltímetro, conectado en serie con el circuito de la Figura 3.
- Reportar resultados.

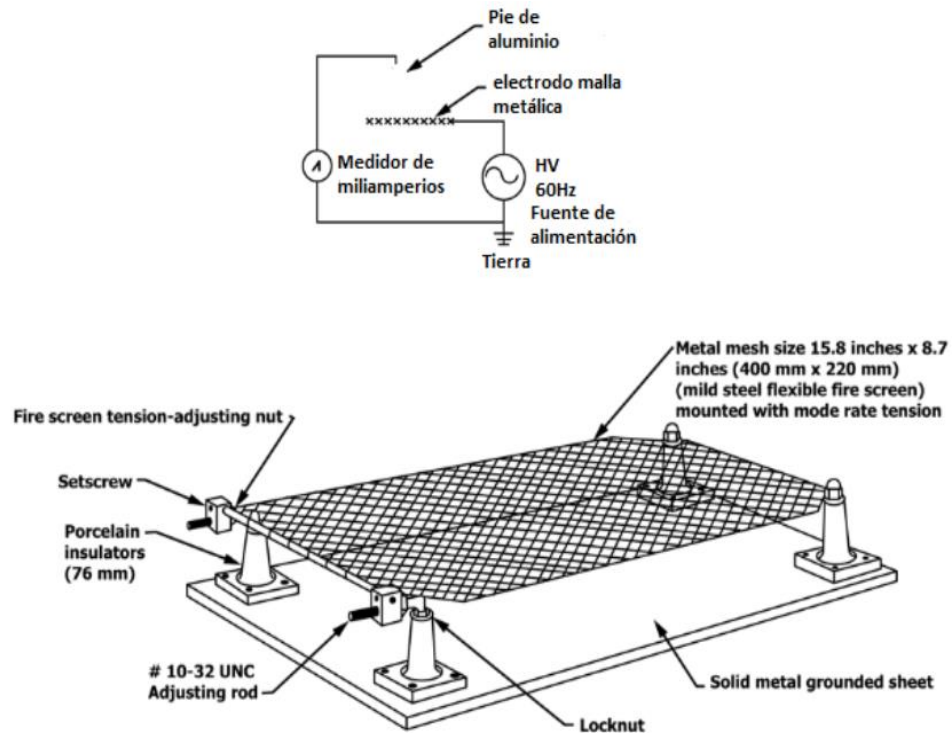


Figura 3. Circuito de ensayo de riesgos dieléctricos. [6]

1.3 NORMA ASTM F1116-03

Esta norma explica la metodología de ensayo estándar para determinar la rigidez dieléctrica en los calzados dieléctricos. Sugiere el agua u otro medio conductor como medio para los electrodos asegurando la cobertura completa de las superficies del calzado. [7]

1.3.1 Procedimiento de ensayo

El calzado debe sumergirse en agua u otro medio conductor hasta una profundidad amplitud del arco eléctrico sea consistente con el voltaje de ensayo como se observa en la Tabla 1, ya que el agua u otros medios conductores dentro del calzado forman un electrodo de ensayo y los mismos fuera del calzado forma el otro electrodo. [7]

El electrodo de ensayo debe conectarse a un terminal de la fuente de voltaje mediante una varilla deslizante que ira sumergido en el electrodo. El electrodo formado fuera del calzado se debe conectar directamente al otro terminal de la fuente de voltaje. [7]

De acuerdo con el peso del agua u otro medio conductores se necesitará estantes para soportar y asegurar el calzado que se está realizando los ensayos. [7]

TABLA 1. Procedimientos de ensayo. [7]

Ensayo AC		Ensayo DC	
Voltaje (valor rms)	mm (In)	Voltaje (valor rms)	mm (In)
15000	127 (5)	45000	152 (6)
20000	152(6)	60000	178 (7)

152 mm o 6 pulgadas, es el espacio libre en los electrodos, desde la parte superior del calzado hasta la parte superior del agua u otros medios conductores, dentro o fuera del mismo. [7]

1.3.2 Procedimiento de Ensayo en AC.

Para realizar los ensayos en AC se debe realizar en temperaturas ambientes, los calzados deben estar limpios, luego se debe llenar con agua u otro medio conductor basándonos en las explicaciones descritas [7].

Después se debe aplicar un voltaje al 75%, se incrementa en un rango de 1000 voltios por segundo [V/s] ± 20 , hasta alcanzar el voltaje de ensayo descrito o se produzca algún fallo. [7]

Una vez alcanzado el voltaje de ensayo prescrito, se comienza con el periodo de ensayo que comprende como mínimo 1 minuto y un máximo de 3 minutos, se reduce gradualmente el voltaje aplicado al menos la mitad del valor de voltaje prescrito antes de abrir el circuito de ensayo. [7]

Los ensayos en los calzados dieléctricos se realizan cada año en el caso de que el calzado no cumpla con los requisitos propuestos deberá ser cortado o marcado identificado de otra manera para indicar que no debe usarse para el servicio eléctrico. [7]

1.3.3 Procedimiento de Ensayo en DC

Se realiza de igual manera que el ensayo en AC, solo con un pequeño cambio el rango que se ira incrementado es de 3000 voltios por segundo [V/s]. [7]

1.4 ESTÁNDAR IEEE 80-2013.

1.4.1 Efectos de la magnitud y duración.

Los efectos más comunes de la corriente eléctrica en el cuerpo humano a medida que se incrementa la intensidad: percepción del umbral, contracción muscular, inconsciencia, fibrilación ventricular, problemas respiratorios y quemaduras. [8]

- Las corrientes de 1 mA son denominadas umbral de percepción, a corrientes de este nivel las personas no sufren daños, solo sienten leves hormigueos en las manos. [8]
- Las corrientes entre 1 y 6 mA son conocidas como umbral de reacción, no afecta la capacidad de control muscular. [8]
- En el rango de 9-25 mA existe la posibilidad de que la persona no tenga la capacidad de liberar objetos energizados, esto se da debido a las contracciones musculares. [8]
- Las magnitudes de corrientes entre 60 y 100 mA pueden causar la fibrilación ventricular, problemas respiratorios, infartos, lesiones o incluso la muerte. [8]

1.4.2 Límites de corriente tolerable por el cuerpo.

El valor de las corrientes tolerables que circulan por el cuerpo humano debe ser menor a los valores de corrientes causantes de la fibrilación ventricular o la muerte, bien sea en 50 o 60 Hz. [8]

La ecuación 3 presenta la fórmula que permite determinar el tiempo de duración de una corriente eléctrica tolerable por las personas a 50 o 60 Hz, aclarando que el tiempo tolerable podría variar de acuerdo con la magnitud de la corriente. [8]

Ecuación 3: Formula tiempo de duración de corriente eléctrica

$$S_B = (I_B)^2 * t_s$$

De donde:

- I_B representa la magnitud rms de la corriente a través del cuerpo humano [8].
- t_s es el tiempo de duración de la corriente por el cuerpo ($0.03 s \leq t_s \leq 3s$) [8].
- S_B es una constante empírica que vincula el porcentaje tolerable de una población dada a la energía de choque eléctrico. [8]

Estudios previamente desarrollados por Dalzied y Lee en el año 1961 determinan que el 99.5 % de todas las personas son capaces de tolerar con seguridad. El desplazamiento de una corriente con cierta medida y tiempo de duración, obtenida a partir de la aplicación de la ecuación 4. [8]

Ecuación 4: Magnitud de corriente para una persona

$$I_B = \frac{k}{\sqrt{t_s}}$$

Considerando:

Ecuación 5: Porcentaje tolerable de una población

$$k = \sqrt{S_B} \quad (3)$$

Los estudios de Dalzied dan como resultados el valor de las constantes empíricas para una persona de 50 y 70 kg que pueden soportar el 99.5 % de choques de energía. [8]

Para una persona de 50 kg.

$$S_{B-50} = 0.0135$$
$$k = 0.116$$

Para una persona de 70 kg.

$$S_{B-70} = 0.0246$$

$$k = 0.157$$

1.4.3 Resistencia del cuerpo humano

El cuerpo humano no puede ser modelado como un cuerpo puramente resistivo, ya que investigaciones posteriormente realizadas lo definen por medio de una impedancia equivalente. Sin embargo, se puede considerar que el valor resistivo aproximado varía entre 500Ω y $1 K\Omega$, este valor cambia de acuerdo con las condiciones físicas de la persona, así como la temperatura y humedad del ambiente en el que se encuentre. [9]

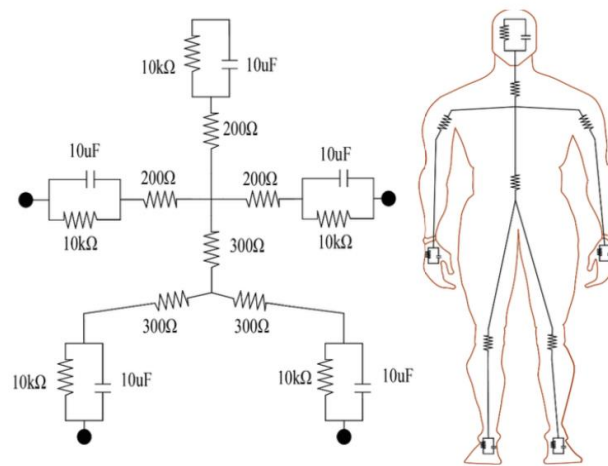


Figura 4. Representación resistiva del cuerpo humano. [9]

1.4.4 Circuitos accidentales equivalentes.

Para determinar el valor de voltaje tolerable entre dos puntos de contacto es importante considerar las constantes empíricas tanto para personas con pesos de 50 y 70 kg, así como los valores de corriente tolerables por el cuerpo humano I_B . [8]

1.4.5 Voltajes de paso y contacto

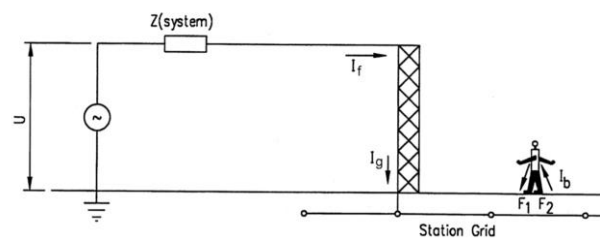


Figura 5. Exposición a voltajes de paso. [8]

Donde:

- U es el voltaje efectivo total del circuito en V.
- I_f corriente de falla total en A.
- I_g corriente que fluye por una malla de puesta a tierra en A
- I_b es la corriente que circula por el cuerpo humano a por medio del pie 1 hasta el pie 2.
- F_1 y F_2 área de la superficie en contacto entre los dos pies.

Para determinar la corriente que circula por el cuerpo a través de los pies, se considera el circuito equivalente de Thevenin de la Figura 6, la aplicación de este teorema permite representar dos puntos terminales F_1 y F_2 . [8]

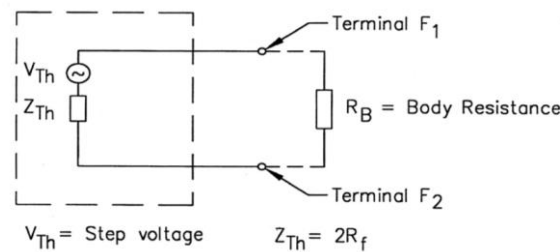


Figura 6. Circuito equivalente de Thevenin. [8]

La corriente I_b que circula por el cuerpo humano lo determina la ecuación 6. [8]

Ecuación 6: Corriente que circula por el cuerpo humano

$$I_b = \frac{V_{Th}}{Z_{Th} + R_B}$$

- R_B es la resistencia del cuerpo humano.
- Z_{Th} representa la impedancia equivalente de los pies de una persona.
- La impedancia Z_{Th} para voltajes de paso se calcula a partir de la ecuación 7:

Ecuación 7: Impedancia para voltajes de paso

$$Z_{Th} = 2R_f$$

- R_f es la resistencia de tierra de un pie en Ω .

Finalmente, el voltaje permisible equivalente total para voltajes de paso y contacto son los de la ecuación 8 y 9:

Ecuación 8: Voltaje permisible de paso

$$E_{touch} = I_B(R_B + 1.5\rho)$$

Ecuación 9: Voltaje permisible de contacto

$$E_{step} = I_B(R_B + 6\rho)$$

1.5 ESTÁNDAR IEC 60071.1

1.5.1 Determinación de las sobretensiones representativas.

Las sobretensiones que provocan fallas de aislamiento (Ver Figura 7) deben ser definidas en forma, amplitud y duración por medio de un análisis del sistema, con el propósito de definir los equipos de protección y la ubicación de estos para limitar las fallas. [10]

Class	Low frequency		Transient		
	Continuous	Temporary	Slow-front	Fast-front	Very-fast-front
Voltage or over-voltage shapes					
Range of voltage or over-voltage shapes	$f = 50 \text{ Hz or } 60 \text{ Hz}$ $T_t \geq 3 \text{ 600s}$	$10 \text{ Hz} < f < 500 \text{ Hz}$ $0,02 \text{ s} \leq T_t \leq 3 \text{ 600 s}$	$20 \mu\text{s} < T_p \leq 5 \text{ 000 } \mu\text{s}$ $T_2 \leq 20 \text{ ms}$	$0,1 \mu\text{s} < T_1 \leq 20 \mu\text{s}$ $T_2 \leq 300 \mu\text{s}$	$T_f \leq 100 \text{ ns}$ $0,3 \text{ MHz} < f_1 < 100 \text{ MHz}$ $30 \text{ kHz} < f_2 < 300 \text{ kHz}$
Standard voltage shapes					a
Standard withstand voltage test	a	Short-duration power frequency test	Switching impulse test	Lightning impulse test	a

^a To be specified by the relevant apparatus committees.

Figura 7. Clases y formas de sobretensiones, formas de voltaje estándar y de ensayo de resistencia estándar. [10]

Las características de las sobretensiones representativas:

- Máximo asumido.
- Conjunto de valores máximos. [10]
- Una distribución estadística completa de los valores máximos. [10]

1.5.2 Voltajes de soporte normalizadas

1. De corta duración a 60 Hz. [10]
2. De impulso tipo maniobra. [10]
3. De impulso tipo atmosférico. [10]
4. De impulso combinado. [10]

1.6 ESTANDAR IEC 60071.2

1.6.1 Determinación de la resistencia dieléctrica por tipo de ensayo

Para elegir el tipo de ensayo que requiere un determinado elemento al cual se busca conocer su resistencia dieléctrica, es necesario conocer el tipo de aislamiento del material aislante, que pueden ser de tres tipos. [11]

- Aislamiento no regenerable.
- Aislamiento regenerable.
- Mixto.

1.6.1.1 Aislamiento no Regenerable:

Las propiedades aislantes del aislamiento no regenerable se deterioran cuando este es sometido a ensayo de descargas disruptivas o incluso a voltajes de ensayo que no superen el nivel de voltaje nominal del elemento. Por esta razón, este tipo de aislamiento tiene un número limitado de voltajes de ensayo en el nivel de resistencia estándar. [11]

La norma IEC 60.1 menciona que el aislamiento no regenerable se ensaya por medio del empleo de 3 impulsos por cada polaridad, si en este proceso no se ocasiona ninguna disrupción, el ensayo es considerado como exitoso. [11]

1.6.1.2 Aislamiento Regenerable:

En el aislamiento autor generable se puede medir la resistencia dieléctrica por medio de la aplicación de un gran número de ensayo. El alto número de ensayos aplicados proporciona una base de datos que, mediante un análisis estadístico conlleva a la deducción de la resistencia dieléctrica. [11]

El estándar IEC 60.1 indica que para determinar la resistencia de este tipo de aislamiento el ensayo correcto es aplicar el método de resistencia ascendente-descendente con 7 impulsos por grupo y al menos 8 grupos, este es el tipo de ensayo más acertado para determinar U50. [11]

1.6.1.3 Aislamiento Mixto:

Para realizar los ensayos en este tipo de aislamiento hay que conocer que está conformado por elementos con aislantes no regenerables y elementos regenerables. Para el caso de los elementos no regenerables el número de ensayo es limitado, mientras que para el caso del regenerable el número de ensayo es de gran cantidad con fines de selectividad. [11]

El método de ensayo debe ser realizado de manera que no se vea afectado el aislamiento no restaurable, mientras que a la vez discrimine de manera eficaz el estado del aislante regenerable. [11]

La IEC 60.1 decreta que el procedimiento para determinar la resistencia dieléctrica de este tipo de aislantes consiste en aplicar 15 impulsos, si en esta fase el aislante regenerativo no experimenta más de dos descargas disruptivas, se considera que es aceptable. [11]

Otro tipo de táctica establecido por la IEC 60.1 sugiere que se apliquen tres impulsos de voltaje de ensayo, permitiendo una sola descarga disruptiva en el material de aislante tipo auto regenerativo. En ese caso se deben emplear nueve impulsos más y el ensayo se considera exitoso, si no se provocaron más interrupciones. [11]

1.7 DESCARGAS PARCIALES

Las descargas parciales (PD) son un fenómeno que deterioran los sistemas de aislamiento de manera local. La degradación progresiva que experimentan los sistemas de aislamiento consta de tres fases. [3]

En la fase inicial llamada Streamer las DP son caracterizadas por ser de gran amplitud y por poseer intensidades en el rango de los nanosegundos que oscilan entre los 10 y 100 mA. La segunda fase denominada como Townsend o también nombrada zona de ruptura, ocurre minutos más tarde de haberse dado la primera etapa; tiene la peculiaridad de que las intensidades tienen menor amplitud que las de la primera fase, y que en esta se produce el deterioro de los aislamientos. [3]

En la etapa final denominada como Pitting las intensidades decrecen aproximadamente a los 200 μA , con tiempos en la gama de los μs ; el defecto del sistema de aislamiento es un hecho ya que experimenta fuertes deterioros debidos a la disrupción. [3]

1.7.1 Origen y Evolución de las DP

Las DP son el producto de una mala distribución de los campos eléctricos (E) formados al aplicar voltaje a un sistema de aislamiento dentro de una superficie no homogénea. Este campo produce voltajes eléctricos en la región de la deformidad trayendo consigo la ruptura de la rigidez dieléctrica y de esta forma ocasionando las DP. [12]

Para comprender cuando se producen las DP se iniciará por definir cada uno de los términos de la Figura 8, de manera que. [12]

$u_{c1}(t)$ es el voltaje dentro de la falla.

$+u_{cli}(t)$ es el voltaje de ignición.

$+u_{cle}(t)$ es el voltaje de extinción.

$-u_{cli}(t)$ es el voltaje negativo de ignición.

$-u_{cle}(t)$ es el voltaje negativo de extinción.

Una descargar parcial ocurre cuando:

$$u_{c1}(t) > +u_{cli}(t)$$

Una descarga parcial desaparece cuando:

$$u_{c1}(t) < +u_{cle}(t)$$

De la misma manera ocurren las DP para el lado negativo de la forma de onda solo que ahora se consideran los voltajes de ignición y extinción negativos, lo que implica una DP con otra polaridad. [12]

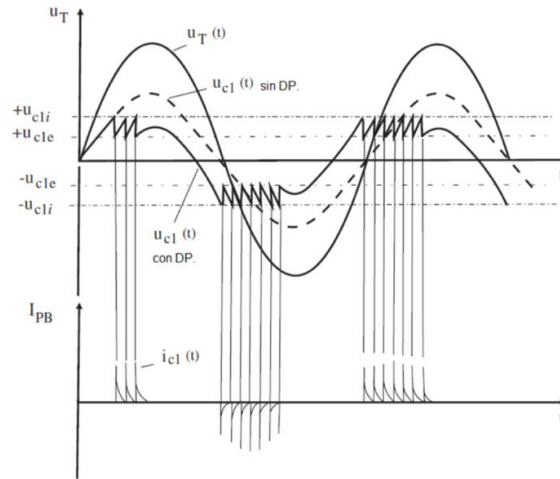


Figura 8. Fenómeno de descargas parciales. [12]

1.7.2 Tipos de Descargas Parciales

Conforme al sitio del suceso las DP se clasifican en 3 prototipos: descargas internas, superficiales y de tipo corona. [12]

1.7.2.1 Descargas Parciales Internas

Las descargas parciales internas ocurren en los sistemas de aislamiento sólido y líquido. En el primero se da en los orificio y anomalías con escasa rigidez dieléctrica, mientras que en el segundo en las burbujas del líquido. [12]

Este tipo de descargas presenta impulsos recurrentes en los pasos por cero de la señal, es decir donde la señal de voltaje asignada al aislante en experimento tiene una pendiente más pronunciada. En la Figura 9, se observa el boceto de una descarga interna. [12]

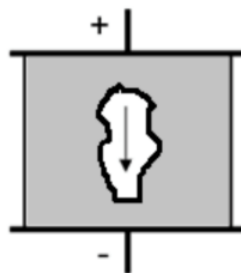


Figura 9. Descarga parcial interna. [12]

1.7.2.2 Descarga Parcial Superficial

Este tipo de descarga tiene lugar entre las superficies de dos medios aislantes con gran concentración de campos eléctricos tangenciales. Factores como la contaminación ambiental y condiciones atmosféricas accionan las descargas. [12]

El comportamiento de los impulsos generados por esta descarga es semejante al de las descargas internas, pero son más simétricos están más concentrados en el semi-ciclo negativo. La Figura 10 representa el esquema de esta descarga. [12]

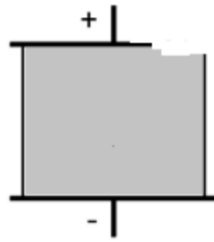


Figura. 10 Descarga parcial superficial.[12]

1.7.2.3 Descarga Parcial Corona

Las descargas tipo corona se producen en las regiones afiladas de aislantes líquidos o gaseosos en presencia de un campo eléctrico de gran fortaleza. [12]

El patrón de impulsos está ubicado aproximadamente a los 270 grados, debido a que los voltajes de ignición son diferentes en el semi-ciclo positivo y negativo. La Figura 11 representa el esquema de la descarga corona. [12]

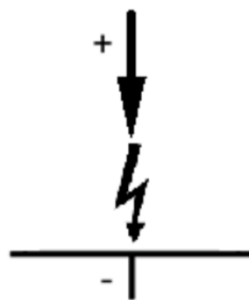


Figura 11. Descarga parcial corona. [12]

1.8 NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 4591

1.8.1 Requisitos generales para los procedimientos de ensayo

Las técnicas de ensayo que comprenden agentes tales como número de ensayo, y sus ensayos atribuidos a específicos tipos de objetos, varían de acuerdo con factores como. [13]

- La veracidad de la consecuencia del ensayo.
- Pérdidas progresivas de propiedades con los ensayos repetidos.

1.8.2 Disposición General del Objeto

El objeto de estudio al momento de someterse a ensayo, sus características o detalles debe ser absoluto. [13]

La disposición del objeto (distancia entre estructuras energizadas, altura, etc.) sometidos a ensayo puede influenciar de manera directa sobre la singularidad de las descargas disruptivas. Una distancia entre el objeto de ensayo y una estructura externa de 1.5 veces la extensión del menor recorrido de descarga en el objeto de ensayo, permiten omitir los efectos de vecindad. [13]

1.8.2.1 Ensayo en Seco

Para realizar este tipo de ensayo el objeto debe estar limpio y seco, además de que debe estar bajo condiciones ambientales de temperatura, humedad y presión. [13]

1.8.2.2 Ensayo en Húmedo

El proceso de ensayo en húmedo está basado en salpicar el objeto con agua de propiedades de resistencia y temperatura prescritas en esta norma, que caigan sobre este en forma de gotas, orientadas de manera que se produce un rociado uniforme. [13]

1.9 IEEE STANDARD FOR HIGH - VOLTAGE TESTING TECHNIQUES

1.9.1 Condiciones Ambientales Normales.

- Temperatura ambiental no mayor a 40 °C ni tampoco menor a -10 °C. [14]
- Altura sobre el nivel del mar no mayor a 1000 m. [14]
- Nivel de contaminación no mayor al nivel de contaminación II. [14]
- Condensaciones en forma de rocío, niebla, nieve o escarcha. [14]

1.9.2 Condiciones Atmosféricas Estándares.

- Temperatura: $t_o = 20 \text{ }^\circ\text{C}$. [14]
- Presión: $p_o = 101,3 \text{ kPa}$ (1013 mbar). [14]
- Humedad absoluta: $h_o = 11 \text{ g/m}^3$. [14]

1.9.3 Aplicación de Factores de Corrección.

Los voltajes de descarga disruptiva obtenidos fuera de condiciones (t_o, b_o, h_o), a través de la aplicación de factores de corrección puede convertir estas medidas a valores bajo condiciones estándares. [14]

Un valor de voltaje de descarga disruptiva U , determinado en una ubicación cualquiera, puede ser llevado a un valor de voltaje estándar U_o , al dividirlo por una constante K_t . [14]

Ecuación 10: Voltaje bajo condiciones estándar

$$U_o = \frac{U}{K_t}$$

1.9.3.1 Factor de corrección condiciones atmosféricas interelectrónicas hasta 1 m

Ecuación 11: Voltaje de ensayo corregido

$$U_{real} = U_{normalizado} \frac{K_d}{K_h}$$

Ecuación 12: Factor corrección de la densidad de aire

$$K_d = \left(\frac{p}{p_o}\right)^m * \left(\frac{273 + t_o}{273 + t}\right)^n$$

Dónde:

- p = Es la presión en condiciones reales.
- t = Es la temperatura en condiciones reales.
- K_h = Es el factor de corrección por humedad.

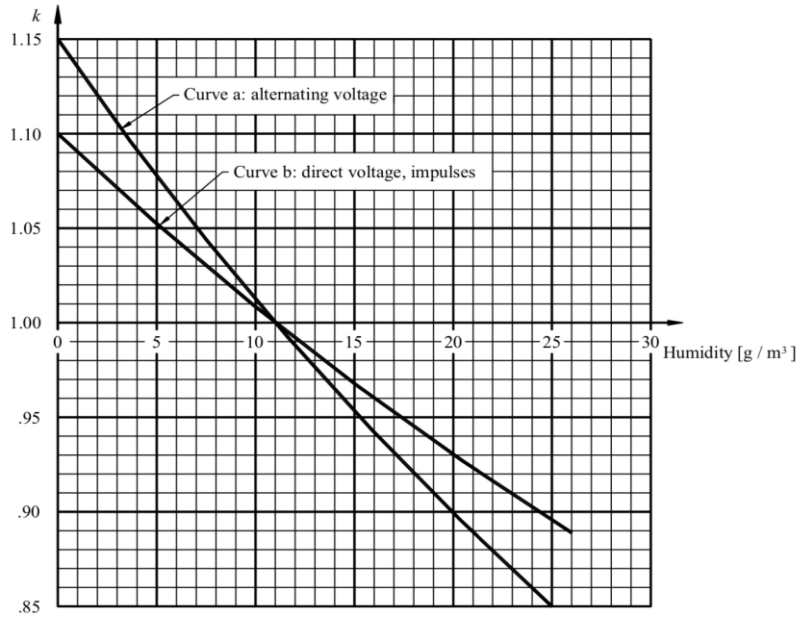


Figura 12. Factor de corrección condiciones atmosféricas distancias interelectrónicas hasta 1m. [14]



Figura 13. Valores de m, n y w . [14]

1.9.3.2 Factor de corrección condiciones atmosféricas interelectrónicas superiores a 1 m.

1.9.3.3 Factor de corrección de la densidad del aire, K_1

Para aplicar el factor de corrección de la densidad del aire hay que considerar la densidad relativa de este [14]:

$$K_1 = \delta^m$$

La temperatura como la presión atmosférica están en °C y *kPa* (mismas unidades), la ecuación para determinar la densidad relativa del aire [14]:

Ecuación 13: Densidad relativa del aire

$$\delta = \frac{p}{p_o} * \frac{273 + t_o}{273 + t}$$

Se considera que la corrección de la densidad del aire es confiable cuando [14]:

$$0.8 < K_1 < 1.05$$

1.9.3.4 Factor de corrección de humedad, K_2

El factor de corrección K_2 se expresa:

Ecuación 14: Factor corrección de humedad

$$K_2 = K_h = k^w$$

k es un parámetro que depende del tipo de voltaje de ensayo [14]:

AC

$$k = 1 + 0.012 \left(\frac{h}{\delta - 11} \right) \quad \frac{1g}{m^3} < \frac{h}{\delta} < \frac{15g}{m^3}$$

Impulso

$$k = 1 + 0.010 \left(\frac{h}{\delta - 11} \right) \quad \frac{1g}{m^3} < \frac{h}{\delta} < \frac{20g}{m^3}$$

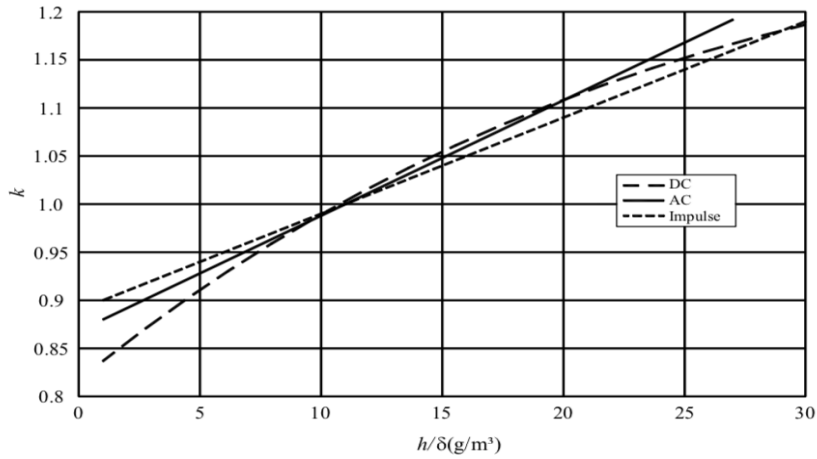


Figura 14. k en función de la relación entre h, δ . [14]

1.9.3.5 Exponentes m y w

Los componentes m y w se obtienen de la tabla ilustrada en la Figura 15.

g	m	w
<0,2	0	0
0,2 to 1,0	$g(g-0,2)/0,8$	$g(g-0,2)/0,8$
1,0 to 1,2	1,0	1,0
1,2 to 2,0	1,0	$(2,2-g)(2,0-g)/0,8$
>2,0	1,0	0

Figura 15. Valores de los exponentes m y w en función del parámetro g . [14]

Los factores de corrección de humedad se representan en la Figura 16.

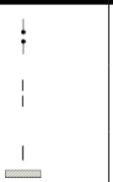
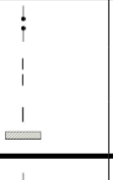
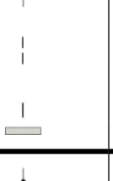
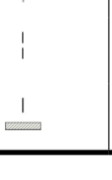
Type of test voltage	Electrode form	Polarity	Air density correction exponents m and n (see Note 2)	Humidity correction	
				Factor k	Exponent w
Direct voltage		+	1.0	See Figure 35 (Curve b)	0
		-			0
		+			1.0
		-			1.0
		+			0
Alternating voltage		~	1.0	See Figure 35 (Curve a)	0
		~	See Figure 36		See Figure 36
		~	See Figure 36		See Figure 36
Lightning impulse voltage		+	1.0	See Figure 35 (Curve b)	0
		-			0
		+			1.0
		-			0.8
		+			1.0
Switching impulse voltage		+	1.0	See Figure 35 (Curve b)	0
		-	1.0		0
		+	See Figure 36		See Figure 36
		-	0 (see Note 1)		0 (see Note 1)
		+	See Figure 36		See Figure 36
-	0 (see Note 1)	0 (see Note 1)			

Figura 16. Factores de correcciones atmosféricas para K y w según el tipo de voltaje aplicado al ensayo [14].

1.10 SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS (DAQ)

El sistema de adquisición de datos (DAC), tiene la capacidad de transformar las señales analógicas (continuas) en señales digitales (discretas), para desarrollar un procesamiento de datos más eficiente mediante un computador. El proceso de conversión de señales se muestra en la Figura 17 [15].

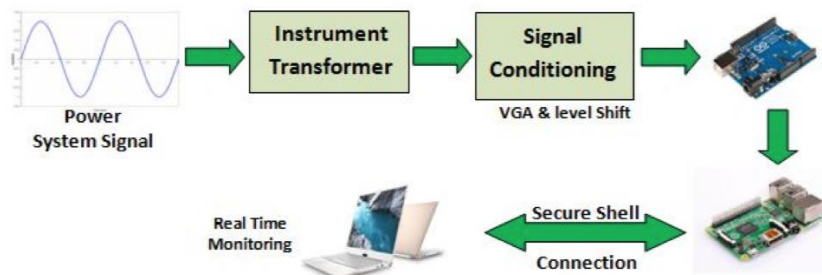


Figura 17. Proceso de adquisición de información de un DAQ [15].

La adquisición de datos de los ensayos se realizó con un DAQ de la National Instruments, perteneciente a la Universidad Politécnica Salesiana. La Figura 18 muestra dicho sistema.



Figura 18. Sistema de adquisición de datos y entorno gráfico en LabVIEW para el procesamiento de información.

CAPITULO 2: MARCO METODOLÓGICO

En esta sección se detalla el proceso para llevar a cabo los ensayos de los calzados dieléctricos. Se presenta una breve descripción de los equipos del laboratorio utilizados, así como los esquemas eléctricos armados.

Para la elaboración de los pies, se realizó un molde de estos, haciendo uso de un producto denominado Alginato (polímero orgánico), para fundirlos en yeso y posterior a ello en aluminio.

El estándar ASTM F24112-11 especifica que la base donde se va a ubicar el calzado para los ensayos es una malla metálica, pero considerando que el estudio no únicamente es en condiciones secas, sino también en húmedas y viscosas, se procedió a construir una base metálica inoxidable, con profundidad para que almacene los líquidos durante las condiciones mencionadas.

La adquisición del calzado fue favorable debido al apoyo del personal eléctrico del Azuay. Se obtuvieron calzado de marcas como son Timberland, MTO y Andino.

La adquisición de datos por medio de un software desarrollado en LabVIEW, que permite la lectura en tiempo real de los voltajes y corrientes de ensayo, que son procesados y visualizados de manera gráfica la ruptura.

Desarrollar los ensayos en el laboratorio de alto voltaje de la Universidad Politécnica Salesiana aplicando distintos grados de contaminación y en diferentes periodos de tiempo de la vida útil del calzado (nuevos, medio uso y dados de baja), con el propósito de conocer el deterioro de la resistencia dieléctrica en el transcurso del tiempo y la influencia del grado de contaminación sobre esta.

Debido a que los ensayos son realizados en la ciudad de Cuenca (2565 msnm), es necesario aplicar factores de correcciones atmosféricos a los resultados obtenidos, ya que las normas especifican ciertos límites de temperatura y humedad relativa diferentes a la de la ciudad.

Analizar los datos obtenidos en los diferentes ensayos con lo establecidos en las normas, para determinar la confiabilidad de estos, teniendo en cuenta su calidad, duración y resistencia.

2. 1 Construcción del pie de aluminio

Para la elaboración de los pies, primeramente, se consideró una talla estándar (40) de hombre a nivel nacional.

1. Elaborar el molde de los pies, se utilizó un polímero orgánico llamado alginato, típicamente utilizado por los odontólogos para hacer impresiones dentales. La preparación de este producto consiste en hacer una mezcla homogénea con agua e introducir los pies, en nuestro caso, por un lapso aproximado de 5 minutos. La Figura 19. muestra el proceso.



Figura 19. a) Proporción de agua y alginato. b) Mezcla homogénea de los dos componentes y c) Pie introducido en el producto.

2. Una vez formado el molde en el alginato, se prepara una dosis espesa de yeso para fundir el pie en este material. Cabe mencionar que, para que el pie cubra toda la caña del calzado el molde consta de todo el tobillo e inicios de la rodilla (Figura 20).



Figura 20. Verificación de la talla del molde en un calzado Timberland Pro.

3. Luego de tener el molde en yeso, personal técnico calificado de talleres Mejía realizaron la fundición del molde en aluminio (Figura 21).



Figura 21. Vista frontal y lateral de los moldes fundidos en aluminio.

4. La medición de la corriente que circula por el pie cuando exista una disrupción del calzado, se coloca en la parte posterior un conector tipo ojo (ver Figura 22) que permita la conexión de un cable de calibre 12 AWG.



Figura 22. Conexión del perno tipo ojo en la parte posterior del pie.

2.2 Base metálica para el calzado

La base metálica fue desarrollada en acero inoxidable, sus especificaciones se detallan en la Figura 23.

Esta base se utilizó debido a que tiene una profundidad de 4 cm, conveniente para el alojamiento de agua y aceite, mientras que la malla que la norma especificaba no brindaba dichas ventajas, se recalcar que el comportamiento del ensayo no se ve afectado por esta variación.

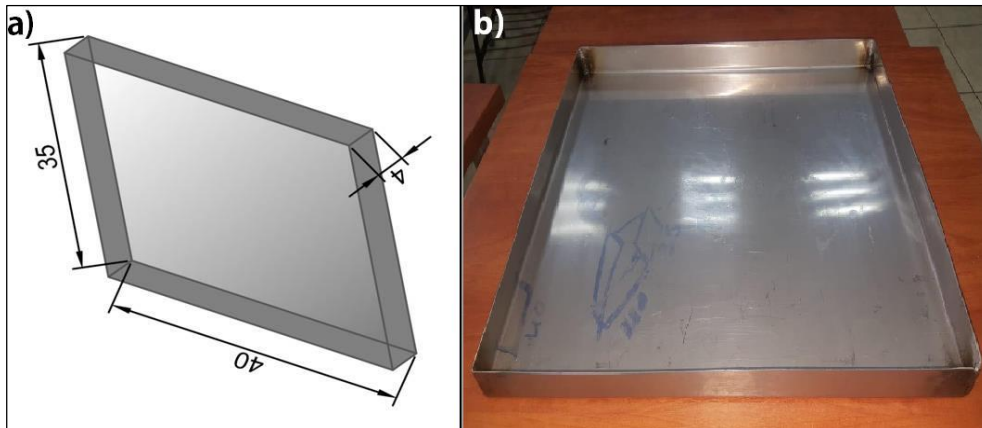


Figura 23. a) Diseño de la base con sus dimensiones en cm. b) Base construida.

2.3 Adquisición del calzado dieléctrico

El calzado dieléctrico fue categorizado en tres grupos que son:

- Nuevos (año de fabricación 2019).
- Medio uso 1 (utilización de un año desde el año de fabricación 2017).
- Medio uso 2 (utilización de un año 6 meses a partir del año de fabricación 2017).
- Dados de baja (utilización de dos años 6 meses a partir del año de fabricación 2016).

Se realizó el ensayo de estos tres grupos con el propósito de conocer el comportamiento del material aislante en el transcurso del tiempo, con el fin de determinar un promedio de vida útil del mismo. Según la ASTM F2413-11, el calzado debe ser sometido a ensayo dieléctricos cada 6 meses de acuerdo con las normas.

En la Figura 24 se visualiza el calzado dieléctrico nuevo, de marca Andino.



Figura 24. Calzado dieléctrico nuevo Andino: a) Vista frontal, b) Vista lateral y c) Etiqueta ASTM.

En las Figura 25 y 26, se visualiza el calzado dieléctrico de medio uso (1) y (2), marca Timberland PRO.



Figura 25. Calzado dieléctrico de medio uso (1) Timberland PRO: a) Vista frontal, b) Vista lateral y c) Etiqueta ASTM.



Figura 26. Calzado dieléctrico de medio uso (2) Timberland PRO: a) Vista frontal, b) Vista lateral y c) Etiqueta ASTM.

En la Figura 27 se visualiza un calzado dieléctrico dado de baja marca MTO.



Figura 27. Calzado dieléctrico dado de baja MTO: a) Vista frontal, b) Vista lateral y c) Etiqueta ASTM.

2.4 Sistema de adquisición de datos

La adquisición de datos por medio del DAQ de la Universidad Politécnica Salesiana y el software desarrollado en LabVIEW por el Ing. Byron Cabrera y Víctor Humala, para el proyecto previo a la titulación de Ingeniero Eléctrico “ANÁLISIS DEL VALOR DE CORRIENTE DEBIDO A SOBRETENSIONES EN GUANTES DIELECTRICOS APLICADOS EN MEDIA TENSIÓN”.

El sistema de adquisición de datos tiene la capacidad de almacenar durante 1 minuto los valores de corriente y voltaje de los ensayos. La norma específica que el voltaje de ensayo inicial debe ser desde $1kV$ e incrementar en intervalos de un $1kV$ por minuto hasta llegar a los $18kV$ o al voltaje de disrupción.

La interfaz gráfica en LabVIEW (Ver Figura 28) consta de dos pantallas, en la izquierda se visualiza la amplitud del voltaje y en la izquierda la amplitud de la corriente.



Figura 28. Interfaz gráfica del sistema de adquisición de datos. Fuente (Ing. Byron C y Víctor H).

2.5 Equipos y materiales utilizados

El laboratorio de la Universidad Politécnica Salesiana cuenta con equipos de marca TERCO. Los equipos utilizados en los ensayos:

- **Banco de control HV 9103**

El banco (Ver Figura 29) permite el control, medición y operación de los equipos en los ensayos de AC, DC e impulso [16] [17].

TABLA 2 Características básicas del banco de control HV 9103 [16][17].

Parámetros	Valor	Unidad
Voltaje de alimentación	220V- 230	[V] monofásico
VARIAC	5 continuo -10 temporal	[KVA]
Frecuencia	50/60	[Hz]
Peso	275	[kg]



Figura 29. Escritorio de control HV 9103.

- **Transformador de Ensayo HV 9105**

El HV 9105 (Ver Figura 30) eleva los niveles de voltaje del VARIAC del panel de control a alto voltaje en un rango entre 220/100kV [16] [17].

TABLA 3. Especificaciones técnicas del HV 9105 [16] [17].

Parámetros	Valor	Unidad
Relación de transformación	220- 100	[V-kV]
VARIAC	5 continuo -10 temporal	[KVA]
Frecuencia	50/60	[Hz]
Impedancia	4 %	[u]
Peso	220	[Kg]

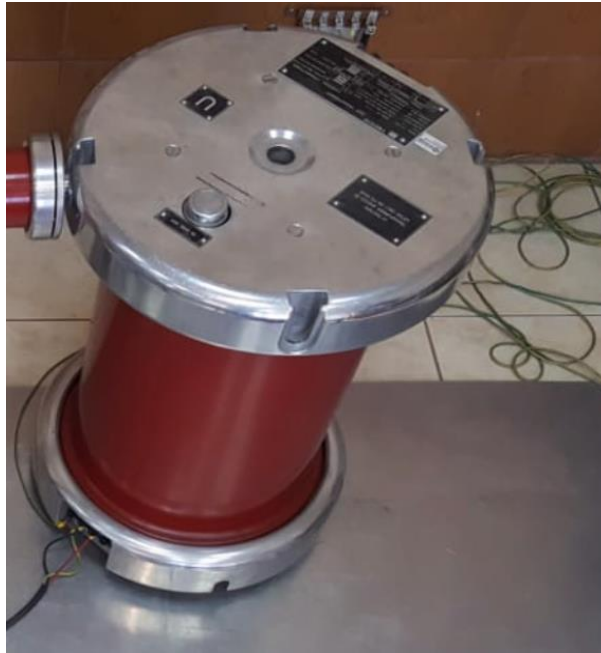


Figura 30. Transformador HV 9105.

- **Capacitor de medida HV 9141**

El HV 9141 (Ver Figura 31) es un equipo de medida de alto voltaje por divisor de voltaje [16][17].

TABLA 4. Descripción técnica del HV 9141. [16][17].

Parámetros	Valor	Unidad
Voltaje AC	100	[kV]
Capacitancia	100	[pF]
Peso	9	[Kg]
Longitud	743	[mm]



Figura 31. Capacitor de medida TERCO [16][17].

- **Barra aislante HV 9124**

La barra HV 9124 (Ver Figura 32) tiene como función aislar los componentes [16][17].

TABLA 5. Características técnicas de la HV 9124 [16][17].

Parámetros	Valor	Unidad
Voltaje AC	100	[kV]
Voltaje DC e impulso	140	[kV]
Peso	1.5	[Kg]
Longitud	743	[mm]



Figura 32. Barra aislante TERCO HV 9124 [16][17].

- **Resistencia de carga HV 9121**

La HV 9121 (Ver Figura 33) actúa como resistencia limitadora para los ensayos DC y de carga para los ensayos de impulso por fases [16][17].

TABLA 6. Especificaciones técnicas de la HV 9121[16] [17]

Parámetros	Valor	Unidad
Voltaje de impulso	140	[kV]
Resistencia	10	[MΩ]
Peso	5	[Kg]
Longitud	743	[mm]



Figura 33. Resistencia de carga TERCO HV 9121[16] [17].

- **Barra de descarga HV 9107**

La HV 9107 (Ver Figura 34) es una barra de descarga manual de los circuitos de alto voltaje [16][17].

TABLA 7. Características de la barra de descarga [16] [17].

Parámetros	Valor	Unidad
Peso	2.5	[Kg]
Longitud	2.5	[m]



Figura 34. Barra de descarga TERCO HV 9107[16] [17].

- **Copa conectora de aluminio HV 9109**

La copa conectora de aluminio (Ver Figura 35) es un elemento conductor que permite la conexión de 2 elementos en posición vertical y 4 en posición horizontal [16] [17].

TABLA 8. Propiedades de la copa conectora [16][17].

Parámetros	Valor	Unidad
Diámetro	157	[mm]
Altura	86	[mm]
Peso	2.2	[Kg]



Figura 35. Copa conectora TERCO [16] [17].

- **Barra conectora de aluminio HV 9108**

La HV 9108 (Ver Figura 36) es un elemento conductor que permite la conexión de elementos entre si [16][17].

TABLA 9. Propiedades de la HV 9108 [16] [17].

Parámetros	Valor	Unidad
Longitud	743	[mm]
Peso	1	[Kg]



Figura 36. Barra conectora TERCO HV 9108 [16] [17].

- **Pedestal de piso HV 9110**

Elemento conductor con la capacidad de montaje de 4 barras en posición horizontal y un elemento en posición vertical (ver Figura 37) [16] [17].

Parámetros	Valor	Unidad
Dimensiones	200x200x80	[mm]
Peso	2	[Kg]

TABLA 10. Especificaciones técnicas HV 9110 [16] [17].



Figura 37. Pedestal de piso TERCO HV 9110 [16] [17].

2.6 Variables de Estudio y Cálculo RMS

- **Variables de Estudio**

En los ensayos del calzado dieléctrico intervienen variables de tipos eléctricas y atmosféricas. Dentro de las variables eléctricas se encuentran el voltaje, la corriente, rigidez dieléctrica y la resistencia, mientras que en las atmosféricas esta la presión, la humedad relativa, la temperatura y los msnm.

El análisis de las variables de estudio es de importancia, debido a que pueden influenciar directamente sobre el comportamiento del ensayo.

- **Calculo del valor RMS**

La norma ASTM F2413-11 requiere que los datos se encuentren en su valor eficaz o RMS (root mean square). Para comparar con el valor admisible.

La ecuación 15 se emplea para obtener el valor RMS, debido a que las ondas de corrientes no son senoidales puras. La DAQ entrega un dato (m) cada 1mseg, esto facilita el cálculo del valor eficaz.

Ecuación 15: Formula obtener valor eficaz

$$V_{RMS} = \sqrt{\frac{m_1^2 + m_2^2 + m_3^2 + m_4^2 + \dots + m_n^2}{n}}$$

Donde:

m: valor de la muestras
n: número de muestras en un periodo

2.7 Factores de Corrección Atmosféricos

Los estándares ASTM (F2412 y F2413) están direccionados para ensayos con alturas no mayores a los 1000 msnm, pero debido a que Cuenca es una ciudad ubicada a 2565 msnm, los ensayos eléctricos requieren la aplicación de factores de corrección atmosféricos, ya que los ensayos en dieléctricos externos se ven afectados por factores como la presión del aire y la humedad relativa del mismo.

Los factores de corrección (IEEE Std 4-2013) permiten determinar el nivel de voltaje de ensayo que se tiene que aplicar de acuerdo con las condiciones atmosféricas del medio, omitiendo los valores especificados por las normativas.

Las condiciones ambientales promedio del mes de junio en Cuenca (Ver Figura 38) son:

$$\begin{aligned} T &= 19 \text{ }^\circ\text{C} \\ Hr &= 53 \% \\ P &= 751 \text{ hPa} \end{aligned}$$



Figura 38. Datos atmosféricos de la ciudad de Cuenca.

Haciendo uso de las Ecuaciones 11, 12,14 y los conceptos concernientes al tema de los factores de corrección atmosféricos desarrollados en el CAPITULO 1 se obtiene:

- **Factor de corrección de humedad**

$$k_h = k^w$$

Para determinar el factor de corrección atmosférico se requiere transformar la humedad relativa en absoluta ver Figura 39.

A screenshot of a web calculator titled "Calculadora de humedad relativa a humedad absoluta". The calculator has three input fields: "Humedad relativa, porcentaje" with the value "53", "Temperatura del aire en centígrados" with the value "19", and "Presión barométrica" with the value "751". Below these is a dropdown menu for "Unidades de presión" set to "hPa". To the right, there is a "Cálculo preciso" section with a slider set to "Dígitos después del punto decimal: 3". A red "CALCULAR" button is located at the bottom right. The result, "Humedad absoluta, kg/m3", is displayed as "0.009" at the bottom left.

Figura 39. Calculo de la temperatura absoluta en la Ciudad de Cuenca.

La humedad absoluta es:

$$H_{abs} = 0.009 \frac{kg}{m^3} = 9 \frac{g}{m^3}$$

Para determinar el parámetro k es necesario basarse en la Figura 40, tomando como referencia la curva característica de voltaje alterno. En esta gráfica, el eje de las ordenadas representa la humedad absoluta, mientras que en el de las abscisas el valor del parámetro a determinar.

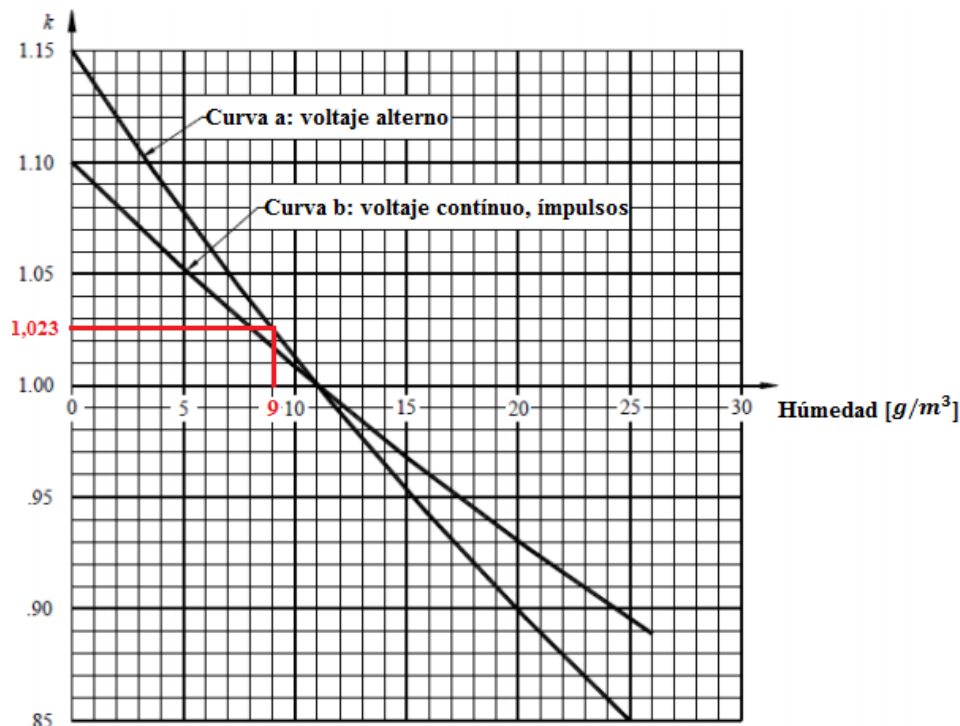


Figura 40. Curvas características para el factor de corrección por humedad.

De la Figura 40 se tiene que para una humedad absoluta de $9 \frac{g}{m^3}$ el factor $k = 1.023$.

Para determinar el valor de w es necesario referirse a la Figura 16. Este parámetro depende del tipo de voltaje aplicado en el ensayo, en este caso debido a que el voltaje es de tipo alterno se tiene que $w = 0$.

$$k_h = 1.023^0 = 1$$

- **Factor de corrección de densidad del aire**

$$K_d = \left(\frac{p}{p_o}\right)^m * \left(\frac{273 + t_o}{273 + t}\right)^n$$

Remplazando los datos de presión y temperatura se tiene que:

$$K_d = \left(\frac{751_{hPa}}{1013_{hPa}} \right)^1 * \left(\frac{273 + 20^\circ C}{273 + 19^\circ C} \right)^1$$

$$K_d = 0.7413 * 1.0034 = 0.7438$$

Para determinar el factor de corrección atmosférico se aplica la siguiente ecuación 11:

$$\frac{k_d}{k_h} = 0.7438$$

Conforme con la normativa ASTM F2412 y F2413 el voltaje de ensayo del calzado dieléctrico es de 18kV, pero este voltaje varía al aplicar el factor de corrección atmosférico de manera que:

$$V_{ensayo} = 0.7438 * 18kV = 13.389 kV$$

2.8 Esquemas Eléctricos

Para llevar a cabo los ensayos del calzado dieléctrico es necesario la implementación de un circuito de alto voltaje (Figura 41), en el laboratorio de la UPS. El circuito básicamente está conformado por un escritorio de control, un transformador de ensayo, resistencia de carga, capacitor de medida, barra conductora de aluminio, barra aislante, soportes y copas de conexión.

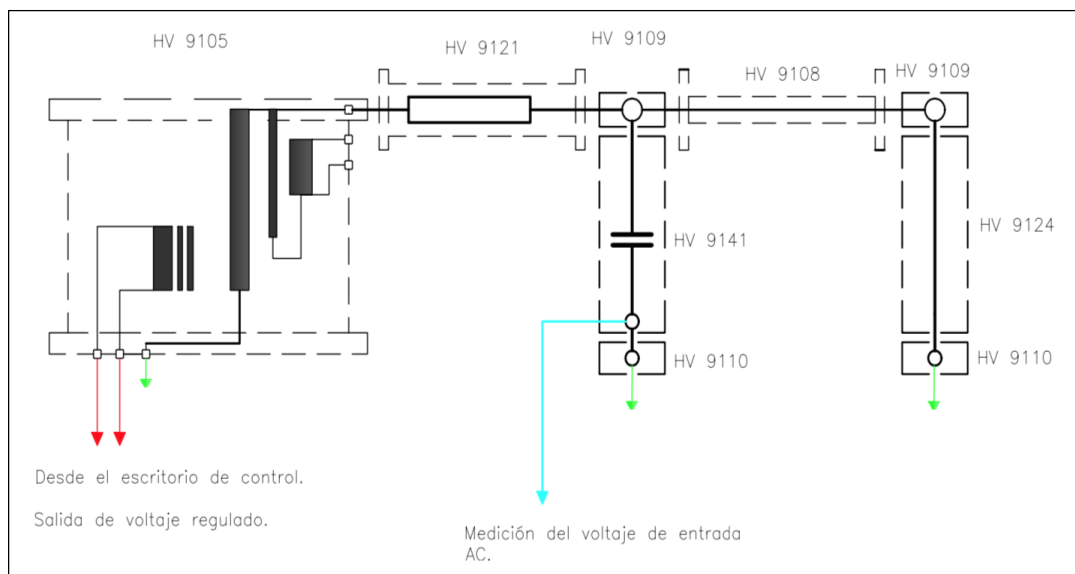


Figura 41. Esquema eléctrico de conexión para ensayo de calzado dieléctrico.

El esquema de la Figura 42 representa el circuito de alto voltaje, así como el circuito para la adquisición de datos y procesamiento de señales. Se conectó una resistencia de 1 K al pie de aluminio, con el propósito de medir los voltajes y corrientes de fuga que circulan a través del pie cuando exista una disrupción del dieléctrico del calzado.

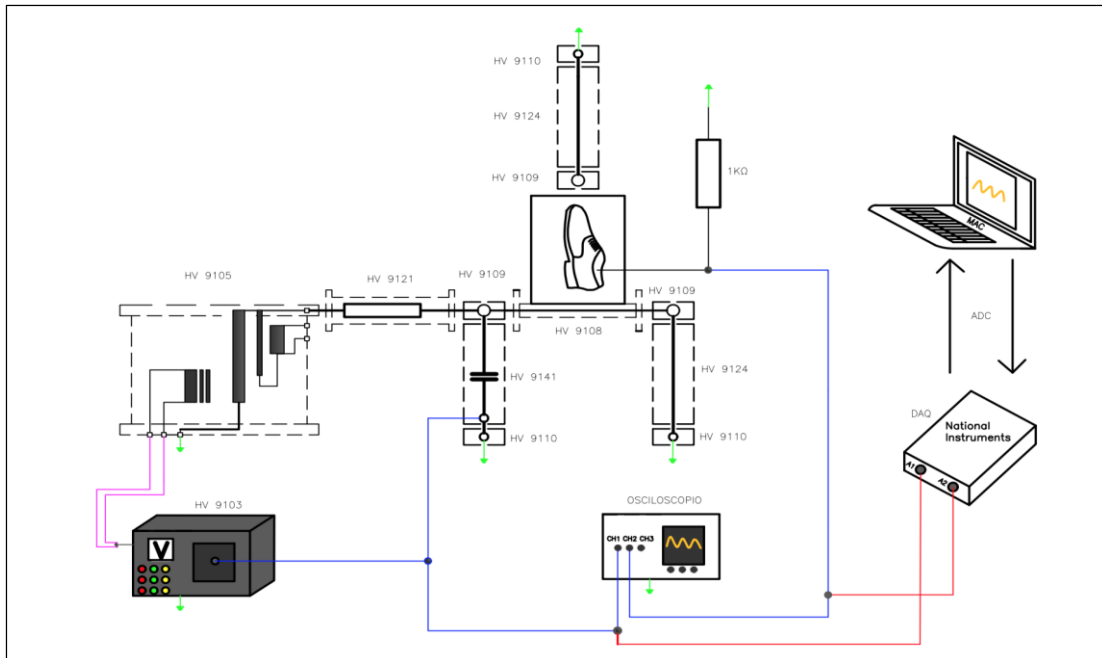


Figura 42. Conexión ensayos eléctricos de calzado dieléctrico.

La Figura 43 representa el esquema eléctrico utilizado en el laboratorio de alto voltaje, se observan todos los elementos que intervienen en el circuito.

Como norma básica de seguridad es necesario descargar los circuitos con la pértiga en cada ocasión que se ingrese al laboratorio y mantener el HV 9105 aterrizado durante la maniobra de los elementos del circuito, para evitar choques eléctricos del operario al momento de maniobrar el mismo. Al terminar las maniobras retirarse con la pértiga y dejarla junto a la puerta de entrada, para que sea de fácil alcance al momento de realizar un nuevo ingreso.

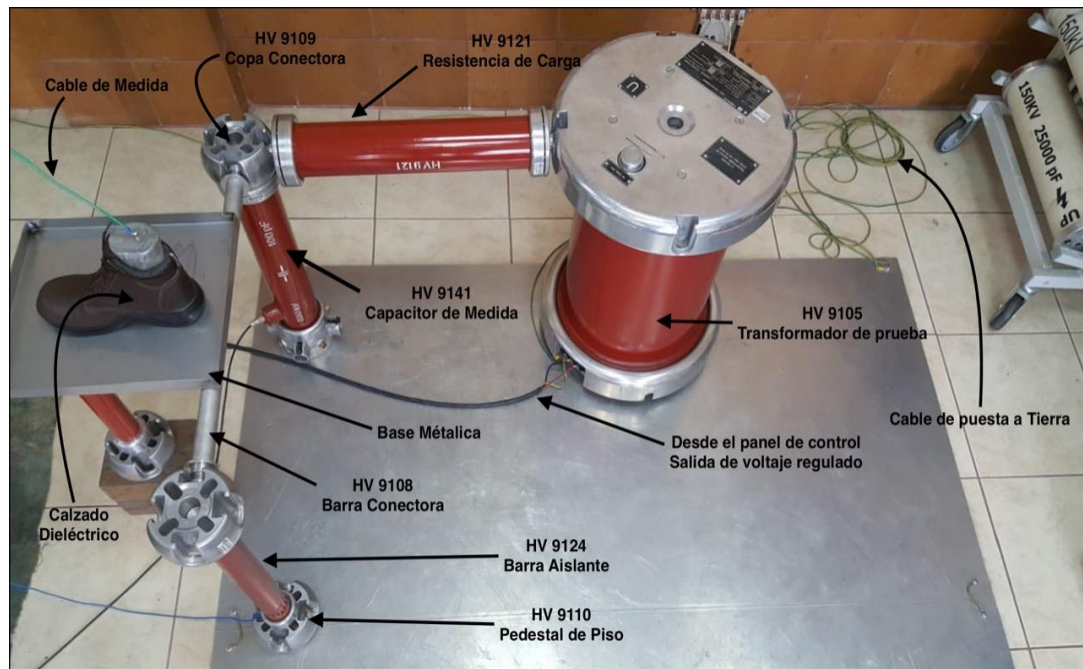


Figura 43. Circuito de ensayo implementado.

2.9 Diagrama de Flujo

Para llevar a cabo el desarrollo de los ensayos del calzado dieléctrico es necesario cumplir:

1. Verificar que el transformador de ensayo este desenergizado y ponerlo a tierra con la barra de descarga (pértiga), para evitar posibles choques eléctricos por corrientes almacenadas en los elementos.
2. La conexión de los elementos del circuito (Figura 43) debe ser realizada de manera segura, evitando posibles fallos de contacto entre elementos o con la superficie.
3. Para el sistema de adquisición de datos se requiere la conexión de una resistencia de $1\text{ K}\Omega$ con el pie, con el propósito de medir el flujo de corrientes y voltajes a través de este, en el caso de que exista una disrupción eléctrica del calzado, cómo lo muestra el esquema de la Figura 42.
4. Según lo estipulado por la normativa ASTM F2412-11 y F2413-11, el voltaje de inicio deberá ser cercano a los 0 kV e ir incrementando en rangos de $1\text{ kV}/\text{min}$, hasta llegar al voltaje de ensayo o al voltaje de ruptura.
5. Se considera que el calzado cumple la normativa si no existen corrientes de fuga $i_{RMS} \geq 1\text{ mA}$ al alcanzar el voltaje de ensayo, caso contrario no es aceptado.

- Al haber culminado con los ensayos es necesario desenergizar el circuito desde el escritorio de control y próximo a la maniobra de los elementos aterrar el transformador de ensayos.

En la Figura 44 se presenta el diagrama de flujo del procedimiento de ensayo en calzados dieléctricos.

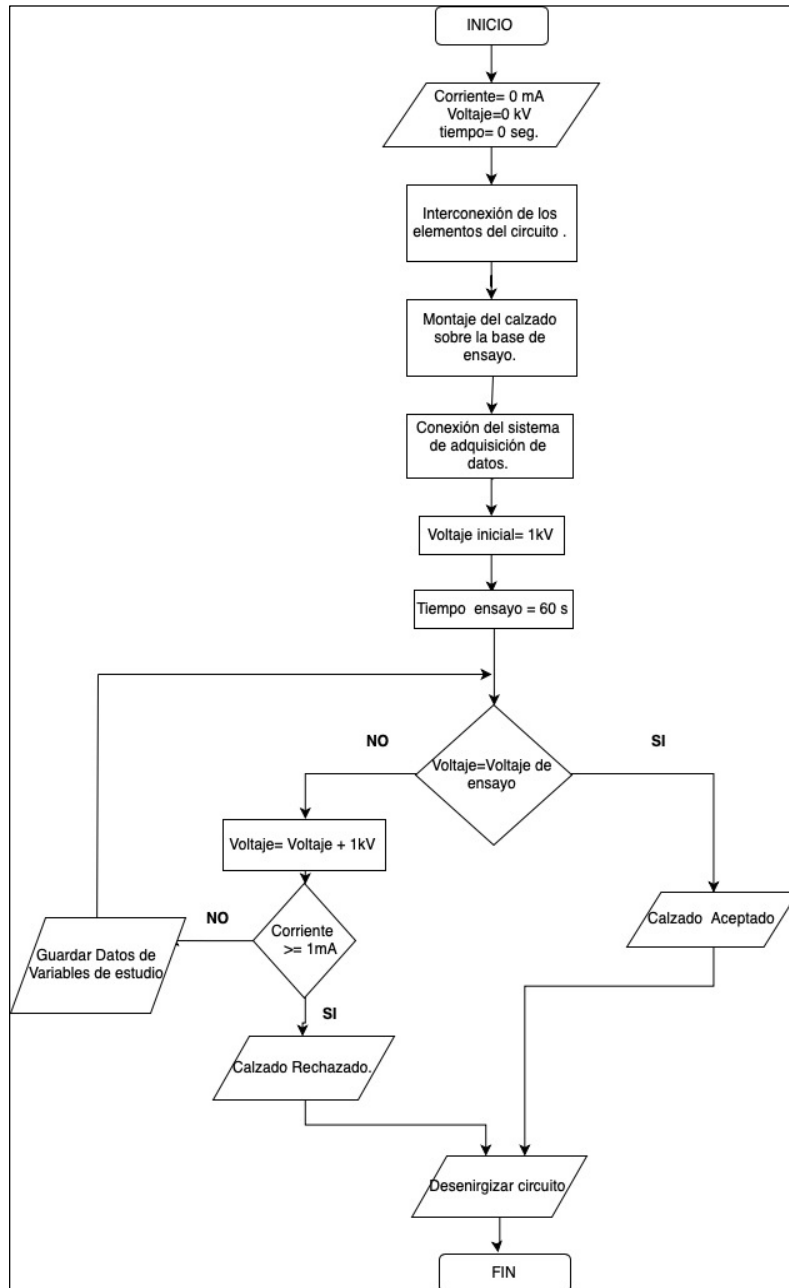


Figura 44. Diagrama de flujo del proceso del ensayo del calzado dieléctrico.

CAPÍTULO 3: ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este capítulo se presenta los resultados obtenidos de los ensayos en calzado dieléctrico utilizados para los ensayos es de talla 40 en las marcas MTO, TIMBERLAND y ANDINO. De acuerdo con la norma ASTM F2412-11 el voltaje asignado para los calzados dieléctricos es de $18kV$ sin superar una corriente de $1mA$ durante un minuto, todos los ensayos inician en $1kV$. Los ensayos fueron desarrollados en tres distintos escenarios: condiciones normales, condiciones viscosas y condiciones húmedas. Aplicados a calzados nuevos, calzado medio uso y calzado dado de baja.

En la sección 3.1 se realiza los ensayos eléctricos en calzado dieléctrico basado en la norma ASTM 2412-11 y ASTM 2413-11.

Consiste en colocar el calzado en una base metálica y esta sobre un electrodo positivo, el electrodo negativo va colocado al pie de aluminio, que va incrustada en la parte interior del calzado. El voltaje es aplicado al electrodo positivo en un tiempo determinado. Se eleva los voltajes desde los $1kV$ hasta los $18kV$ y mantener el voltaje durante 1 minuto.

Se registran todas las mediciones de las corrientes eléctricas, de los diferentes escenarios, la misma que es medida cuando circula por el pie de aluminio, cuando el calzado dieléctrico es ubicado sobre una base metálica la misma que es asentada sobre el electrodo positivo HV-9108 como se observa en la Figura 43. El circuito es cerrado por una resistencia de $1k\Omega$ que es conectada a tierra. Luego se analizan las formas de ondas producidas por la corriente en el pie de aluminio.

En la sección 3.2 se analizan los 4 calzados que fueron puestos a ensayos diferentes para observar su comportamiento, sus corrientes dependiendo de los factores que les influye para obtener un mejor análisis de su estado, se presenta las tablas con las corrientes rms mas significantes en algunos casos en donde se supera las condiciones que son planteadas anteriormente. También se podrá visualizar las gráficas del comportamiento del calzado izquierdo y el derecho ante los escenarios planteados para el estudio.

3.1 ANÁLISIS DE LA CORRIENTE EN EL PIE DE ALUMINIO

Se especifican los resultados conseguidos de las corrientes eléctricas producidas en cada ensayo. Su esquema eléctrico por seguir para este tipo de ensayo se ilustra en la Figura 43. La adquisición de datos se obtiene mediante una DAQ (Sistema de Adquisición de Datos) y un computador portátil con una interfaz gráfica en LabVIEW 2016, la cual cumple la función de obtener valores para luego almacenar variables, en este caso señales de corriente. Estos archivos son obtenidos en formato Excel que son almacenados para su análisis posterior, se obtiene la forma de onda, los picos máximos y el valor rms de cada una de las corrientes a ser analizadas durante un periodo de 60 segundos, tiempo que dura cada ensayo y los valores de corriente rms para los diferentes calzados (nuevos, medió uso, dado de baja) en diferentes condiciones (normales, húmedas, viscosas).

Se utilizó calzados de marcas diferentes; los dados de baja en la marca MTO, los de medio uso en la marca Timberland, los nuevos en la marca Andino. Todos estos calzados son de talla 40. Vienen con su respectiva etiqueta donde están las especificaciones de la norma ASTM F2412-11 y F2413-11. (Ver Figuras 24, 25, 26 y 27).

3.1.1 Calzado Dado de Baja Condiciones Normales

El calzado es ubicado sobre una base metálica libre de impurezas, ya que estos factores podrían modificar o variar los datos obtenidos, en la Figura 45 se ilustra los ensayos en los calzados izquierdo y derecho dados de baja en condiciones normales.

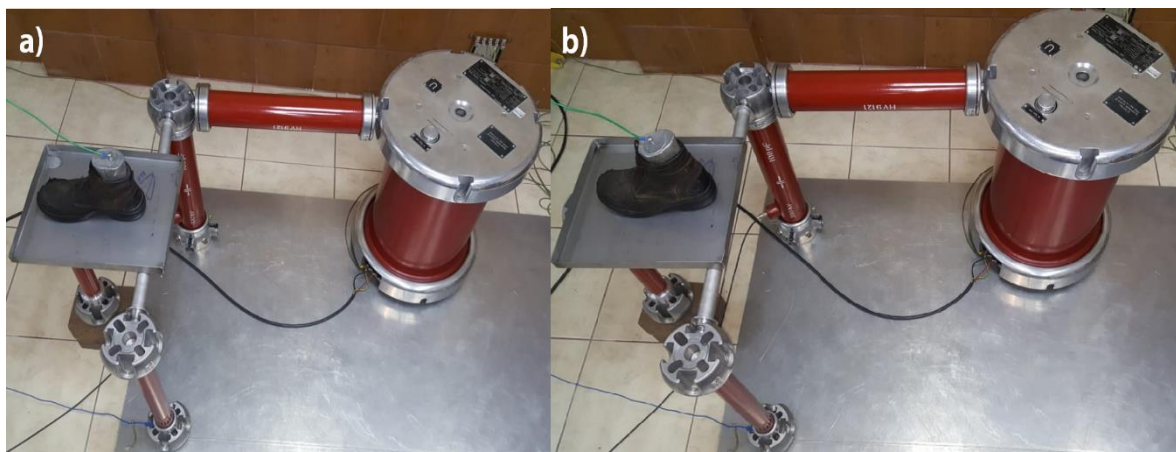


Figura 45. Ensayo Condiciones Normales: a) Calzado dado de baja derecho b) Calzado dado de baja Izquierdo

3.1.1.1 Ensayo Calzado dado de Baja Derecho

El calzado utilizado es de la marca MTO, es dado de baja ya que presenta averías, rajaduras en su suela y deteriorado su forro que cubre la totalidad del calzado. Para poder visualizar que sucede con el calzado se varía el voltaje desde $1kV$ hasta los $18kV$, para determinar el comportamiento de la corriente a través del pie.

En la TABLA 11, se registran los valores de las corrientes obtenidas en el ensayo, se realizaron 18 mediciones, empezando en $1kV$ hasta los $19kV$. La corriente máxima pico alcanzada tiene un valor de un semiciclo positivo $1,08767 mA$

TABLA 11. Variación de voltaje y corriente calzado dado de baja derecho (C. Normales)

Voltajes rms (kV)	Corriente rms (mA)	Corriente Pico Máximo (mA)	Tiempo (s)
1	0,019087	-0,03124	60
2	0,036654	-0,05742	60
3	0,055883	-0,08606	60
4	0,076829	-0,11671	60
5	0,093403	-0,14091	60
6	0,110143	-0,16531	60
7	0,129480	-0,19425	60
8	0,147919	-0,22168	60
9	0,168545	-0,25220	60
10	0,188954	-0,28379	60
11	0,205922	-0,30951	60
12	0,222975	-0,33555	60
13	0,244501	-0,36903	60
14	0,261348	-0,39524	60
15	0,283121	-0,42924	60
16	0,310248	-0,47403	60
17	0,368329	-0,57368	60
18	0,606459	1,07714	60

Los datos tabulados generan una curva donde se puede apreciar como la corriente va creciendo de acuerdo con el aumento del voltaje. La corriente mínima de $0,019087mA$, a $18kV$ su corriente alcanza $0,606459mA$, por lo cual el calzado supera el ensayo, también se puede visualizar que al subir el voltaje a $19kV$ la corriente supera a $1mA$ produciendo la ruptura del calzado, ver Figura 46.

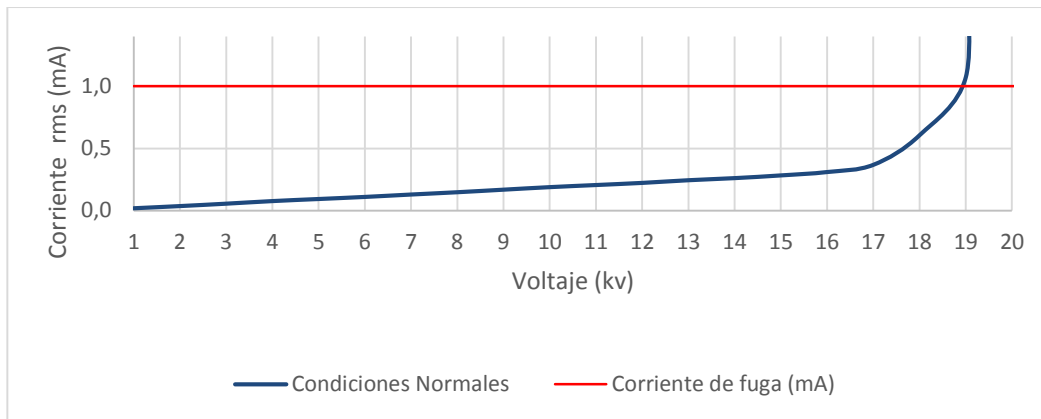


Figura 46. Variación de voltaje frente al corriente calzado dado de baja derecho (C. Normales)

3.1.1.2 Análisis de Forma de Onda de Corriente Dado de Baja Derecho

El voltaje de inicio del ensayo es de $1kV$, el pico de corriente máximo presentado durante todo el ensayo tiene un valor de $-0,03124 mA$ en 60 segundos como se observa en la Figura 47 a), se visualiza que existe una onda sinusoidal pura, no presenta distorsiones producidas por descargas parciales, Figura 47 b). La Figura 47 c) representa la corriente de ensayo con un voltaje de $18kV$, en la figura 47 d) se realiza una ampliación donde se puede apreciar que existe una forma de onda sinusoidal con distorsiones y supera la corriente de pico máximo de $1,07714 mA$, obteniendo una corriente rms medida con la corriente de pico máximo de $0,606459 mA$.

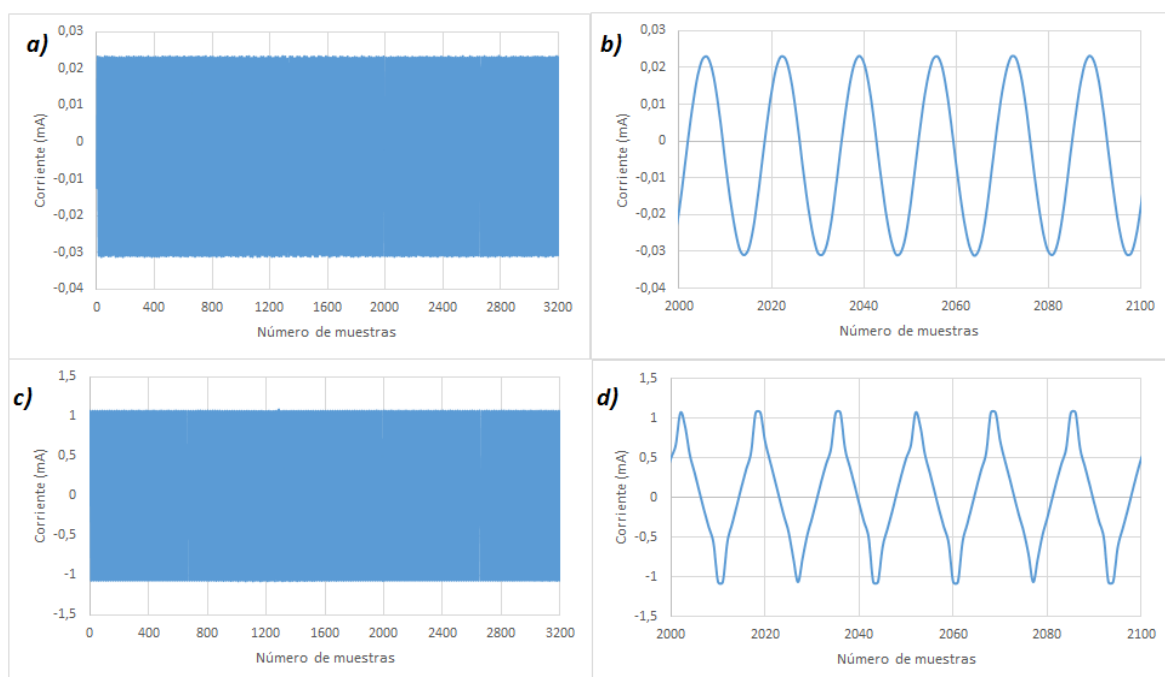


Figura 47. Onda de Corriente (datos de baja derecho) a) Inicio ensayo $1kV$, b) Ampliación corriente ensayo inicial, c) Final ensayo $18kV$ y d) Ampliación de corriente ensayo final/

3.1.1.3 Ensayo Calzado Dado de Baja Izquierdo

En la TABLA 12 se registran los valores de las corrientes obtenidas en el ensayo, se realizaron 15 mediciones, empezando en 1kV hasta los 16kV. La corriente máxima pico alcanzada tiene un valor de un semiciclo positivo 1,09299 mA.

TABLA 12. Variación de voltaje y corriente calzado dado de baja izquierdo (C. Normales)

Voltajes rms (kV)	Corriente rms (mA)	Corriente Pico Máximo (mA)	Tiempo (s)
1	0,01754	-0,02940	60
2	0,03521	-0,05531	60
3	0,05313	-0,08149	60
4	0,07510	-0,11391	60
5	0,09185	-0,13848	60
6	0,11080	-0,16643	60
7	0,12918	-0,19343	60
8	0,14815	-0,22145	60
9	0,16620	-0,24822	60
10	0,19002	-0,29944	60
11	0,22924	-0,21098	60
12	0,26144	-0,36598	60
13	0,30120	-0,46048	60
14	0,34213	-0,53944	60
15	0,59259	1,07642	60

Los valores generan una curva (Ver Figura 48) donde la corriente se va incrementado de acuerdo con el aumento del voltaje. La corriente mínima es de 0,01754 mA y su corriente en los 16kV es de 1,06216 mA por lo cual el calzado no supera el ensayo, lo que implica que el calzado izquierdo no puede ser utilizado.

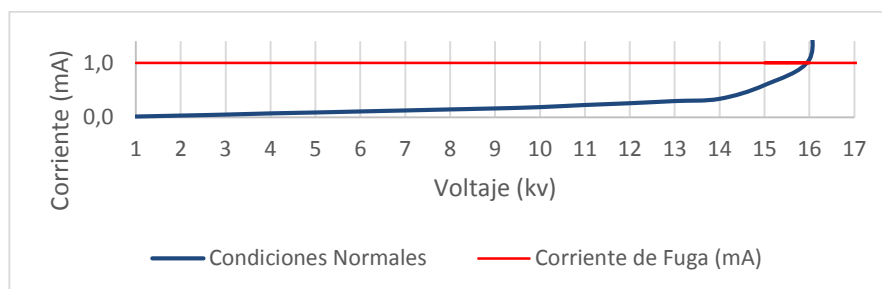


Figura 48. Variación de voltaje frente al corriente calzado dado de baja izquierdo (C. Normales)

3.1.1.4 Análisis de Forma de Onda de Corriente Dado de Baja Izquierdo

Para este análisis se selecciona la forma de onda de la corriente eléctrica, empieza en $1kV$ donde se da inicio al ensayo cuyo pico de corriente máximo presentado durante todo el ensayo tiene un valor de $-0,02940 mA$ en 60 segundos como se observa en la Figura 49 a), no presenta distorsiones producidas por descargas parciales, Figura 49 b). La Figura 49 c) representa la corriente de ensayo con un voltaje de $15kV$, en la Figura 49 d) se realiza una ampliación donde se puede apreciar que existe una forma de onda sinusoidal con distorsiones y supera la corriente de pico máximo de $1,07642 mA$, obteniendo una corriente rms medida con la corriente de pico máximo de $0,59259 mA$.

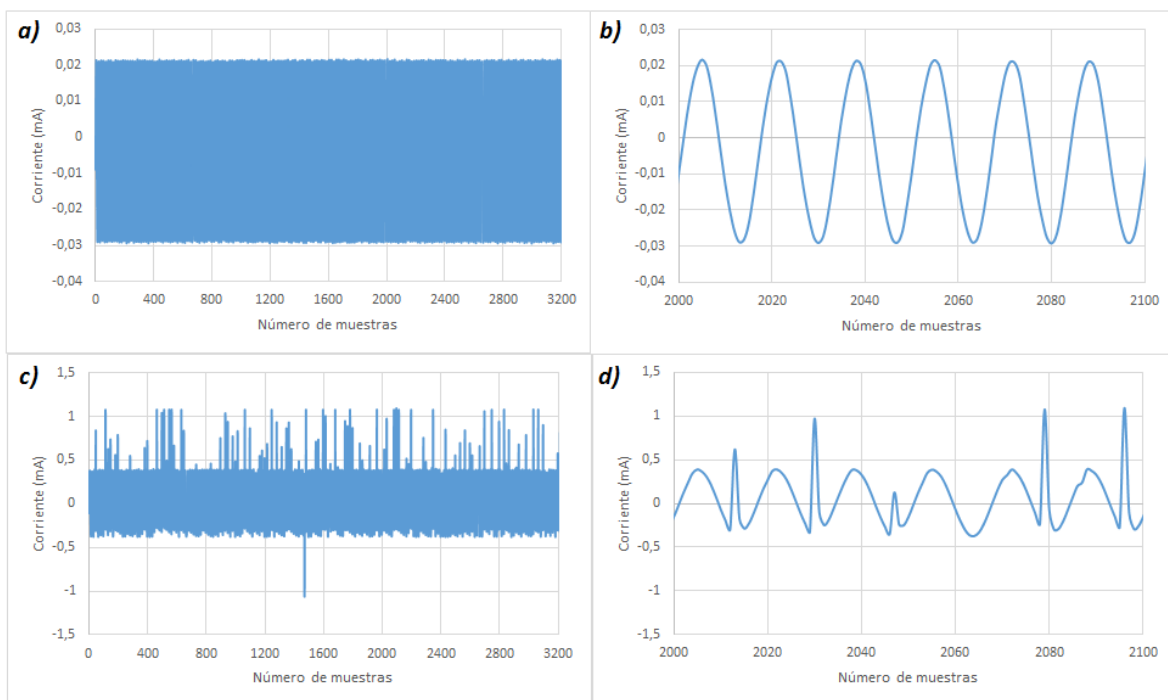


Figura 49. Onda de Corriente (datos de baja izquierdo) a) Inicio ensayo $1kV$, b) Ampliación corriente ensayo inicial, c) Final ensayo $15kV$ y d) Ampliación de corriente ensayo final.

3.1.2 Calzado Dado de Baja Condiciones Viscosas

En el ensayo en condiciones viscosas se utilizó aceite dieléctrico de transformador el mismo que fue depositado en la placa metálica, para luego sumergir el calzado y remojar su planta en su totalidad, Figura 50.

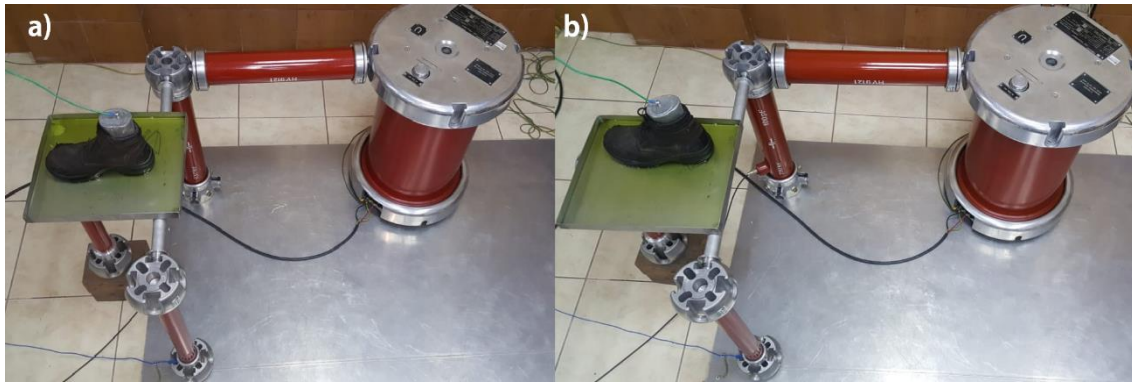


Figura 50. Ensayo Condiciones Viscosas: a) Calzado dado de baja derecho b) Calzado dado de baja Izquierdo

3.1.2.1 Ensayo Calzado Dado de Baja Derecho

En la TABLA 13 se registran los valores de las corrientes obtenidas en el ensayo, se realizaron 21 mediciones, empezando en $1kV$ hasta los $21kV$. La corriente máxima pico alcanzada tiene un valor de un semiciclo positivo $1,09299 mA$.

Con los valores de la TABLA 13 se genera una curva (Figura 51) donde la corriente se va incrementado de acuerdo al aumento del voltaje; se puede apreciar que la corriente mínima a $1 kV$ es de $0,018539 mA$, mientras que a los $18 kV$ su corriente máxima alcanza los $0,373342mA$; por tanto el calzado supera el ensayo, se incrementa el voltaje hasta los $22kV$ donde la corriente supera a $1mA$ lo cual nos da a entender que el aceite ayuda a que el zapato soporte una subida de voltaje, en comparación con las condiciones normales.

TABLA 13. Variación de voltaje y corriente calzado dado de baja derecho (C. Viscosas)

Voltajes rms (kV)	Corriente rms (mA)	Corriente Pico Máximo (mA)	Tiempo (s)
1	0,018539	-0,03210	60
2	0,035330	-0,07277	60
3	0,057950	-0,08606	60
4	0,075077	-0,11671	60
5	0,092172	-0,14091	60
6	0,109967	-0,16518	60
7	0,128438	-0,19284	60
8	0,147166	-0,22020	60
9	0,167189	-0,24989	60
10	0,190691	-0,28504	60
11	0,208771	-0,31211	60
12	0,227353	-0,33950	60
13	0,246755	-0,36903	60

14	0,265231	-0,39711	60
15	0,287057	-0,43079	60
16	0,315499	-0,47426	60
17	0,349523	-0,55776	60
18	0,373342	1,00496	60
19	0,417449	1,01436	60
20	0,485521	1,07416	60
21	0,594640	1,09299	60

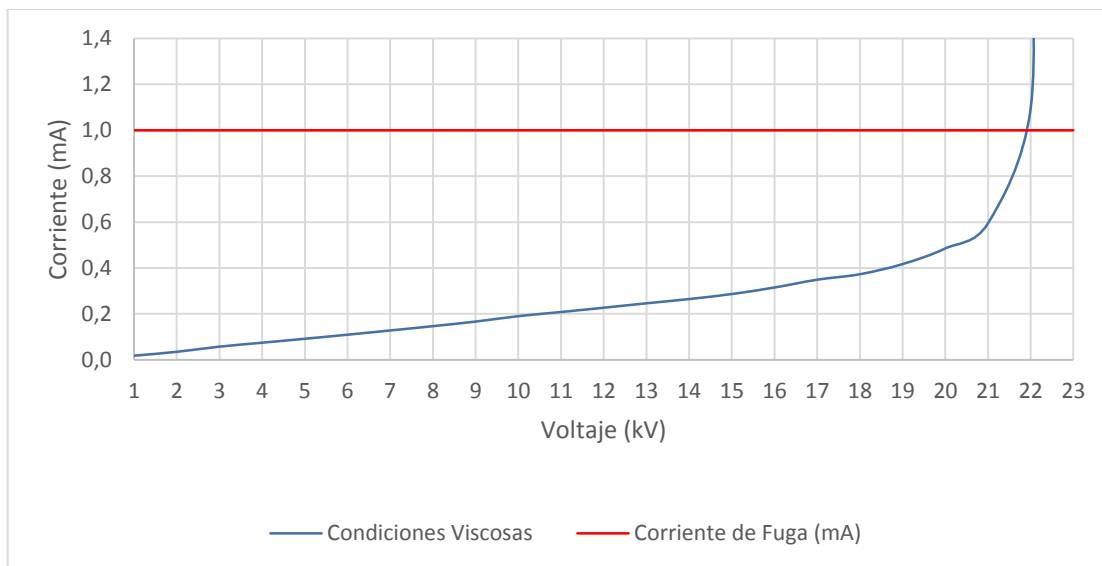


Figura 51. Variación de Voltaje frente a la Corriente calzado dado de baja derecho (C. Viscosas)

3.1.2.2 Análisis de Forma de Onda de Corriente dado de Baja Derecho

El pico de corriente máximo presentado durante todo el ensayo tiene un valor de $-0,03210 \text{ mA}$ en 60 segundos como se observa en la Figura 52 a), se visualiza una onda sinusoidal pura, no presenta distorsiones producidas por descargas parciales, Figura 52 b). La Figura 52 c) representa la corriente de ensayo con un voltaje de 22 kV , en la Figura 52 d) se realiza una ampliación donde se puede apreciar que existe una forma de onda sinusoidal con distorsiones y supera la corriente de pico máximo de $1,092299 \text{ mA}$, obteniendo una corriente rms medida con la corriente de pico máximo de $0,594640 \text{ mA}$.

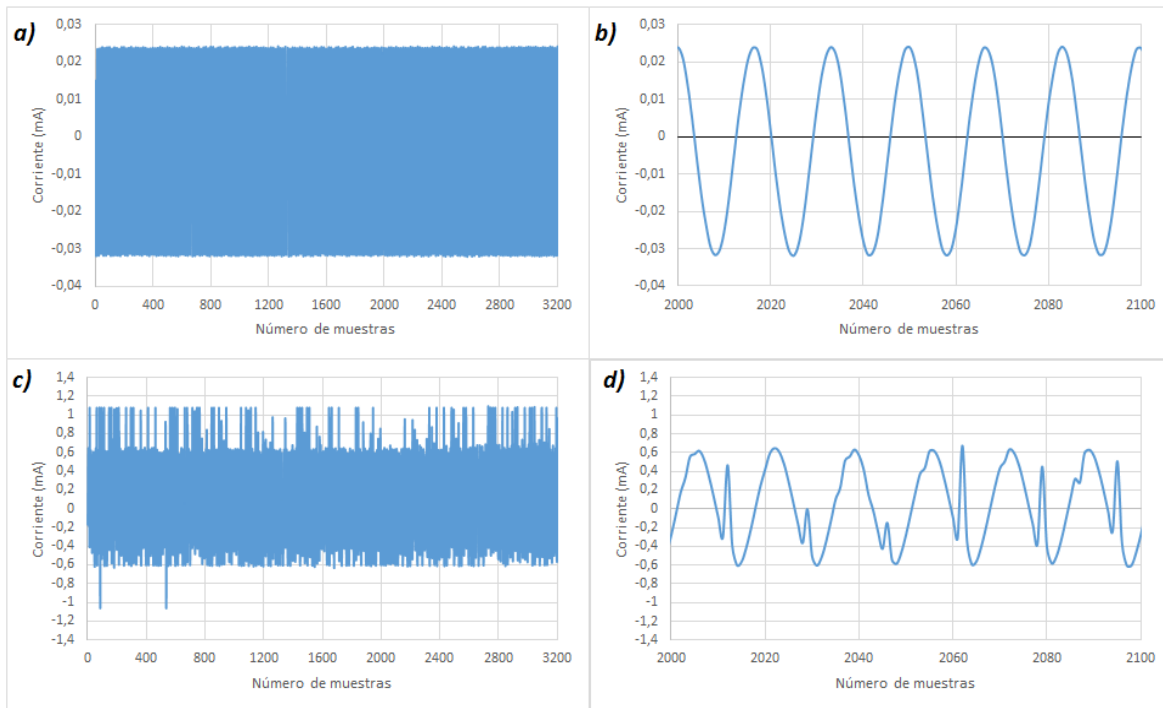


Figura 52. Onda de Corriente (datos de baja derecha) a) Inicio ensayo 1kV, b) Ampliación corriente ensayo inicial, c) Final ensayo 22kV y d) Ampliación de corriente ensayo final.

3.1.2.3 Ensayo Calzado Dado de Baja Izquierdo

En la TABLA 14 se registran los valores de las corrientes obtenidas en el ensayo, se realizaron 18 mediciones, empezando en 1kV hasta los 18kV. La corriente máxima pico alcanzada tiene un valor de un semiciclo positivo 1,08737 mA.

TABLA 14. Variación de voltaje y corriente calzado dado de baja izquierdo (C. Viscosas)

Voltajes rms (kV)	Corriente rms (mA)	Corriente Pico Máximo (mA)	Tiempo (s)
1	0,01893	-0,03137	60
2	0,03608	-0,05643	60
3	0,05457	-0,08350	60
4	0,06426	-0,09787	60
5	0,07810	-0,01212	60
6	0,09386	-0,14101	60
7	0,12985	-0,19448	60
8	0,14866	-0,22135	60
9	0,16706	-0,24848	60
10	0,18904	-0,28107	60
11	0,20203	-0,30175	60
12	0,22899	-0,32408	60
13	0,26331	-0,37408	60

14	0,32175	-0,41408	60
15	0,35239	-0,54408	60
16	0,40690	1,07642	60
17	0,49835	1,07698	60
18	0,58528	1,08737	60

Con los valores de la TABLA 14 se genera una curva (Figura 53) donde la corriente se va incrementado de acuerdo al aumento del voltaje, la corriente mínima de $0,01893 \text{ mA}$ alcanza $0,58528 \text{ mA}$ en 18 kV por lo cual el calzado supera el ensayo, se incrementa el voltaje hasta los 19 kV , la corriente supera a 1 mA lo cual nos da a entender que el aceite ayuda a que el zapato soporte sobrevoltajes en comparación con las condiciones normales.

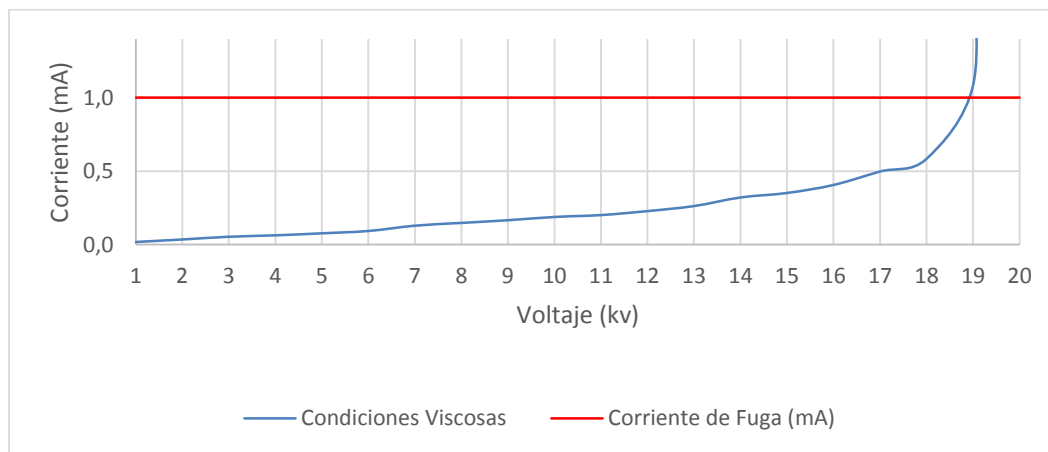


Figura 53. Variación de Voltaje frente a la Corriente calzado dado de baja izquierdo (C. Viscosas)

3.1.2.4 Análisis de Forma de Onda de Corriente Dado de Baja Izquierdo

El ensayo empieza en 1 kV , el pico de corriente máximo durante todo el ensayo tiene un valor de $-0,031370 \text{ mA}$ en 60 segundos, Figura 54 a), no presenta distorsiones producidas por descargas parciales, Figura 54 b). La Figura 54 c) representa la corriente de ensayo con un voltaje de 18 kV , en la Figura 54 d) se realiza una ampliación donde se puede apreciar que existe una forma de onda sinusoidal con distorsiones y supera la corriente de pico máximo de $1,08737 \text{ mA}$, obteniendo una corriente rms medida con la corriente de pico máximo de $0,58528 \text{ mA}$.

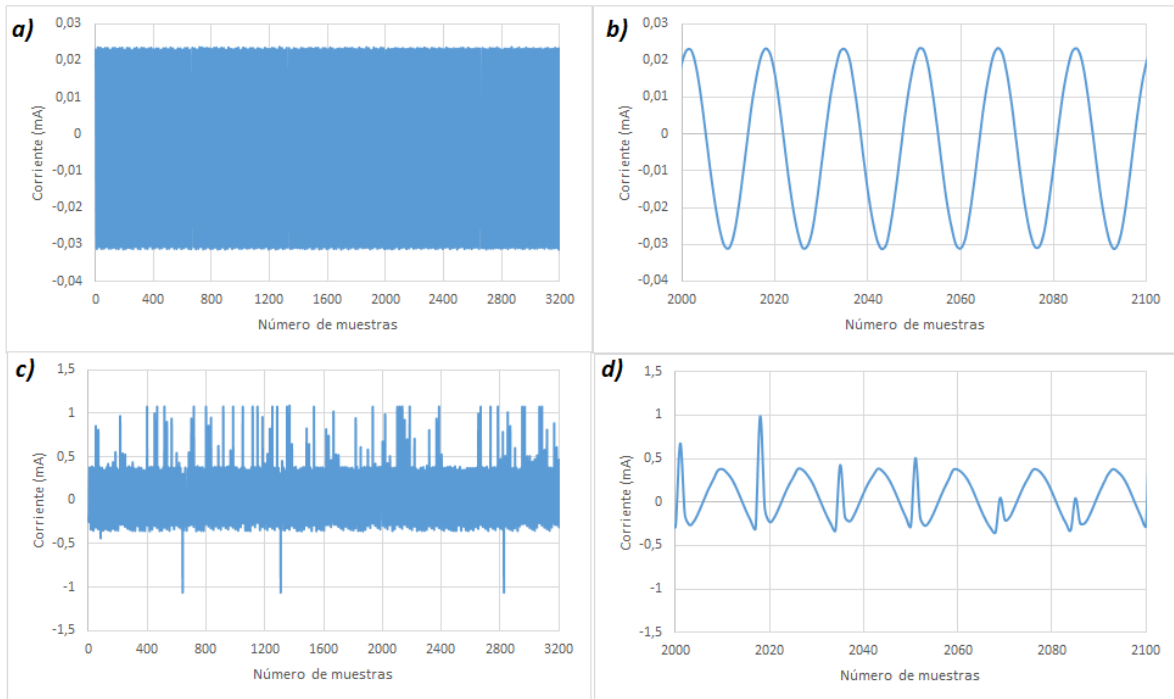


Figura 54. Onda de Corriente (datos de baja izquierdo) a) Inicio ensayo 1kV, b) Ampliación corriente ensayo inicial, c) Final ensayo 18kV y d) Ampliación de corriente ensayo final.

3.1.3 Calzado Dado de Baja Condiciones Húmedas

Para los ensayos en condiciones húmedas se utilizó agua natural la misma fue depositada en la placa metálica, para luego sumergir el calzado y que esta cubra su planta con una medida de 5mm, Figura 55.



Figura 55. Ensayo Condiciones Húmedas: a) Medida del agua b) Calzado dado de baja Derecho c) Calzado dado de baja Izquierdo.

3.1.3.1 Ensayo Calzado Dado de Baja Derecho

La TABLA 15 se registran los valores de las corrientes obtenidas en el ensayo, se realizaron 14 mediciones, empezando en 1kV hasta los 14kV. La corriente máxima pico alcanzada tiene un valor de un semiciclo positivo 1,07366 mA.

TABLA 15. Variación de voltaje y corriente calzado dado de baja derecho (C. Húmedas)

Voltajes rms (kV)	Corriente rms (mA)	Corriente Pico Máximo (mA)	Tiempo (s)
1	0,022626	-0,03603	60
2	0,039902	-0,06148	60
3	0,060442	-0,09167	60
4	0,080794	-0,12166	60
5	0,099034	-0,14929	60
6	0,118648	-0,17839	60
7	0,135168	-0,20355	60
8	0,154862	-0,23265	60
9	0,179115	-0,26866	60
10	0,202069	-0,30934	60
11	0,222110	-0,33707	60
12	0,251248	-0,36166	60
13	0,369435	1,04886	60
14	0,405208	1,07366	60

Con los valores de la TABLA 15 se genera una curva (Figura 56) donde la corriente se va incrementado de acuerdo al aumento del voltaje, la corriente mínima es de 0,022626 mA, a 14 kV la corriente alcanza 0,405208 mA por lo cual el calzado no supera el ensayo en condiciones húmedas, se incrementa el voltaje hasta los 15kV donde la corriente supera a 1mA lo cual nos da a entender que el agua hace que el zapato disminuya su resistencia al voltaje.

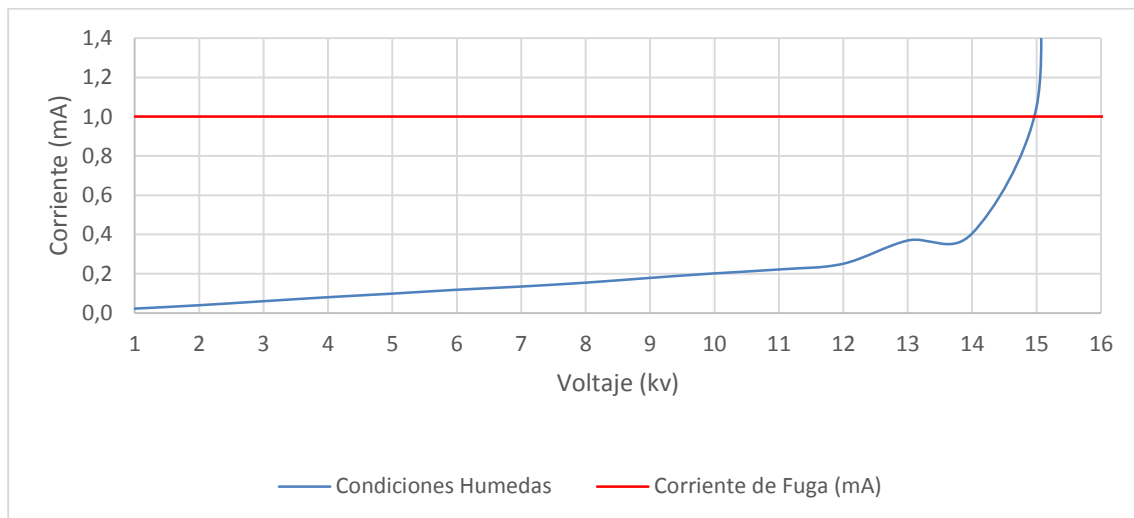


Figura 56. Variación de Voltaje frente a la Corriente calzado dado de baja derecho (C. Húmedas)

3.1.3.2 Análisis de Forma de Onda de Corriente Dado de Baja Derecho

Empieza en $1kV$, el pico de corriente máximo durante todo el ensayo tiene un valor de $-0,03603 mA$ en 60 segundos, Figura 57 a), no presenta distorsiones producidas por descargas parciales, Figura 57 b). La Figura 57 c) representa la corriente de ensayo con un voltaje de $14kV$, en la Figura 57 d) se realiza una ampliación donde se puede apreciar que existe una forma de onda sinusoidal con distorsiones y supera la corriente de pico máximo de $1,07366 mA$, obteniendo una corriente rms medida con la corriente de pico máximo de $0,405208 mA$.

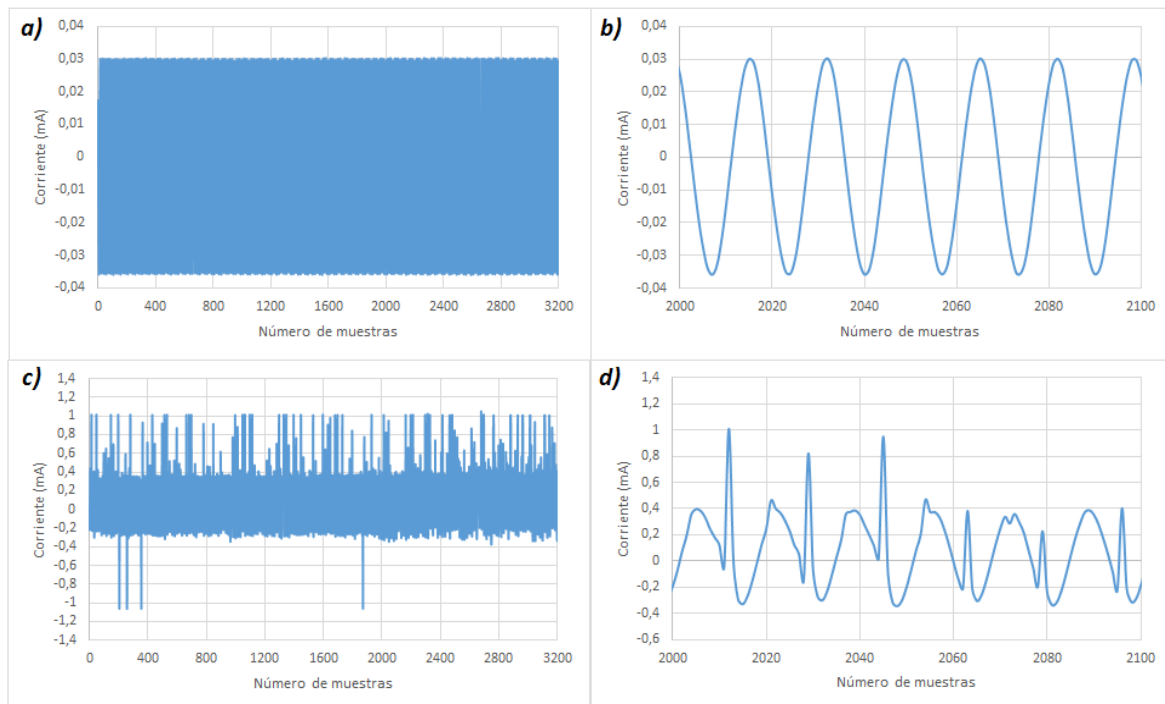


Figura 57. Onda de Corriente (datos de baja derecho) a) Inicio ensayo $1kV$, b) Ampliación corriente ensayo inicial, c) Final ensayo $14kV$ y d) Ampliación de corriente ensayo final

3.1.3.3 Ensayo Calzado Dado de Baja Izquierdo

La TABLA 16 se registran los valores de las corrientes obtenidas en el ensayo, se realizaron 8 mediciones, empezando en $1kV$ hasta los $8kV$. La corriente máxima pico alcanzada tiene un valor de un semiciclo positivo $1,07372 mA$.

TABLA 16. Variación de voltaje y corriente calzado dado de baja izquierdo (C. Húmedas)

Voltajes rms (kV)	Corriente rms (mA)	Corriente Pico Máximo (mA)	Tiempo (s)
1	0,019565	-0,03172	60
2	0,037590	-0,05816	60
3	0,056219	-0,08608	60
4	0,078960	-0,12025	60
5	0,100856	-0,15314	60
6	0,119202	-0,18079	60
7	0,142825	-0,21605	60
8	0,283567	1,07372	60

Los valores de la TABLA 16 generan una curva (Figura 58), donde la corriente se incrementa de acuerdo al aumento del voltaje, la corriente mínima es de 0,019565 mA en el voltaje de ensayo inicial y a 8kV la corriente alcanza 0,2835677 mA por lo cual el calzado no supera el ensayo en condiciones húmedas, se incrementa el voltaje hasta los 9kV con una corriente que supera a 1mA lo cual nos da a entender que el agua hace que el zapato disminuya su resistencia al voltaje.

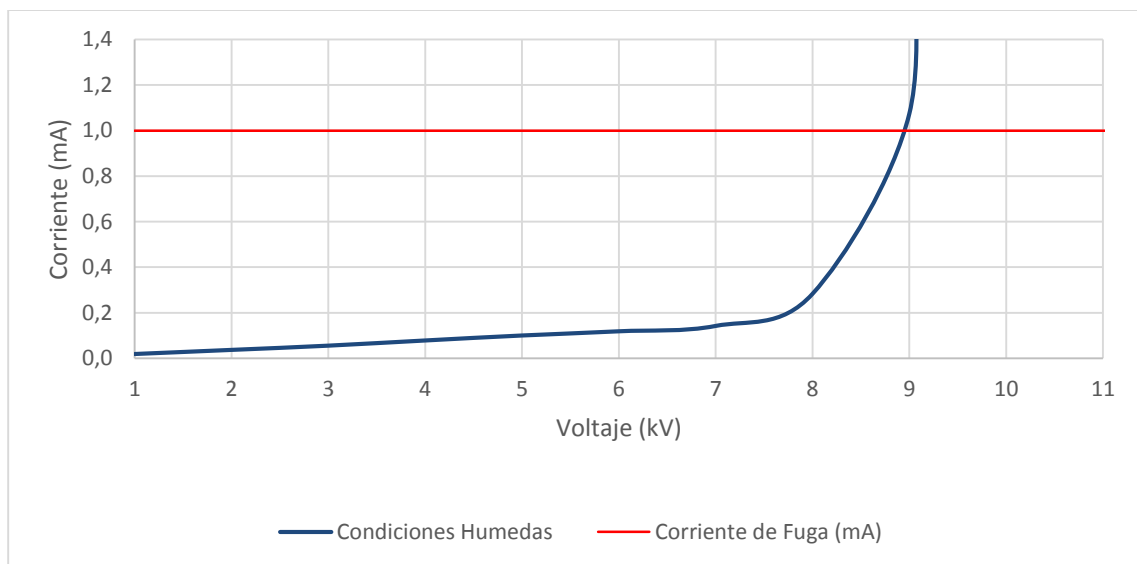


Figura 58. Variación de Voltaje frente a la Corriente calzado dado de baja izquierdo (C. Húmedas)

3.1.3.4 Análisis de Forma de Onda de Corriente Dado de Baja Izquierdo

El ensayo empieza en $1kV$, el pico de corriente máximo presentado tiene un valor de $-0,03172 mA$ en 60 segundos, Figura 59 a), no presenta distorsiones producidas por descargas parciales, Figura 59 b). La Figura 59 c) representa la corriente de ensayo con un voltaje de $8kV$, en la Figura 59 d) se realiza una ampliación, existe una forma de onda sinusoidal con distorsiones y supera la corriente de pico máximo de $1,07372 mA$, obteniendo una corriente rms medida con la corriente de pico máximo de $0,283567 mA$.

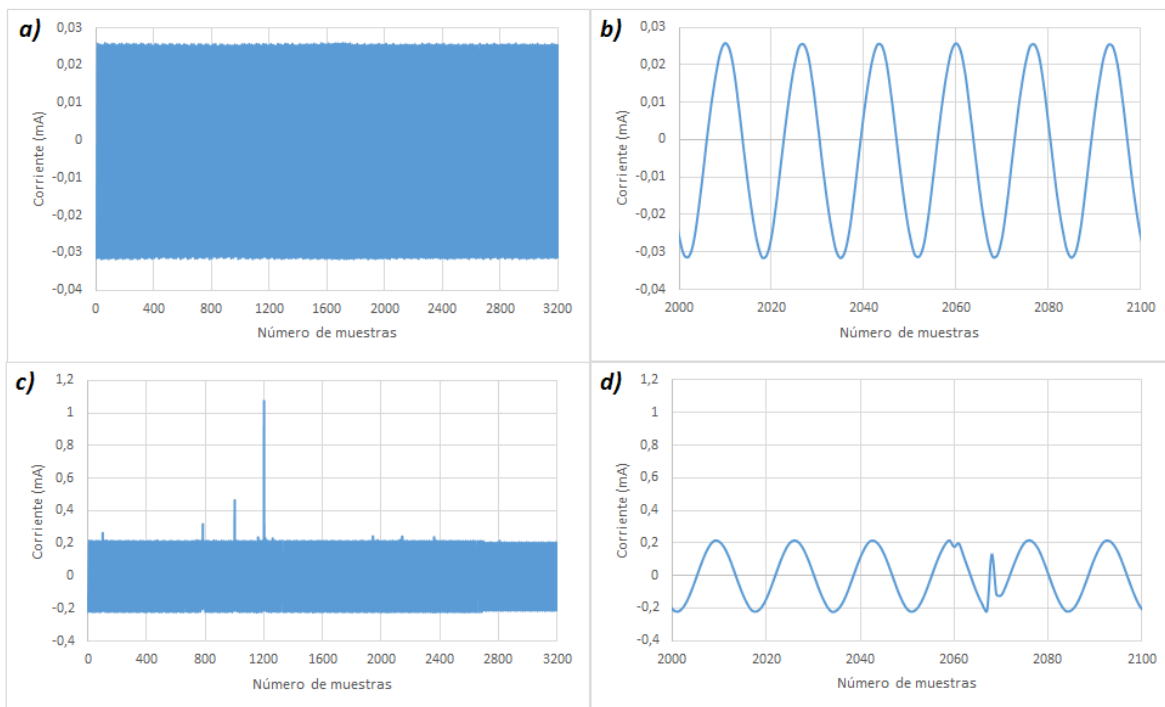


Figura 59. Onda de Corriente (datos de baja izquierdo) a) Inicio ensayo $1kV$, b) Ampliación corriente ensayo inicial, c) Final ensayo $8kV$ y d) Ampliación de corriente ensayo final

3.1.4 Calzado Medio Uso (1) Condiciones Normales

Este ensayo aplica el mismo circuito que en los datos de baja (ver Figura 45), La modificación que presenta este ensayo es el cambio de calzado dado de baja (Figura 27) por el de medio uso (1) (Figura 25).

3.1.4.1 Ensayo Calzado Medio Uso Derecho

La TABLA 17 se registran los valores de las corrientes obtenidas en el ensayo, se realizaron 21 mediciones, empezando en 1kV hasta los 21kV. La corriente máxima pico alcanzada tiene un valor de un semiciclo positivo 1,091197 mA.

TABLA 17. Variación de voltaje y corriente calzado medio uso derecho (C. Normales)

Voltaje rms (kV)	Corriente rms (mA)	Corriente Pico Máximo (mA)	Tiempo (s)
1	0,0182573	-0,03006	60
2	0,0374568	-0,05831	60
3	0,0533606	-0,08179	60
4	0,0679035	-0,10303	60
5	0,0889055	-0,13427	60
6	0,1072639	-0,16055	60
7	0,1215772	-0,18156	60
8	0,1443372	-0,21546	60
9	0,1595267	-0,23783	60
10	0,1751293	-0,26012	60
11	0,1890836	-0,28239	60
12	0,2275588	-0,31336	60
13	0,2658970	0,68345	60
14	0,3271197	0,69585	60
15	0,3504814	0,71885	60
16	0,3839332	0,75335	60
17	0,4292503	0,82685	60
18	0,4956556	0,88355	60
19	0,5100254	0,92915	60
20	0,5620206	1,06415	60
21	0,6283581	1,09197	60

Los valores de la TABLA 17 se genera una curva (Figura 60), la cual permite visualizar el comportamiento directamente proporcional entre la corriente y el voltaje. La corriente rms

mínima es de $0,0182573 \text{ mA}$, a 21 kV la corriente alcanza $0,6283581 \text{ mA}$, hasta este voltaje se puede apreciar que la corriente no supera lo establecido por las normas ASTM.

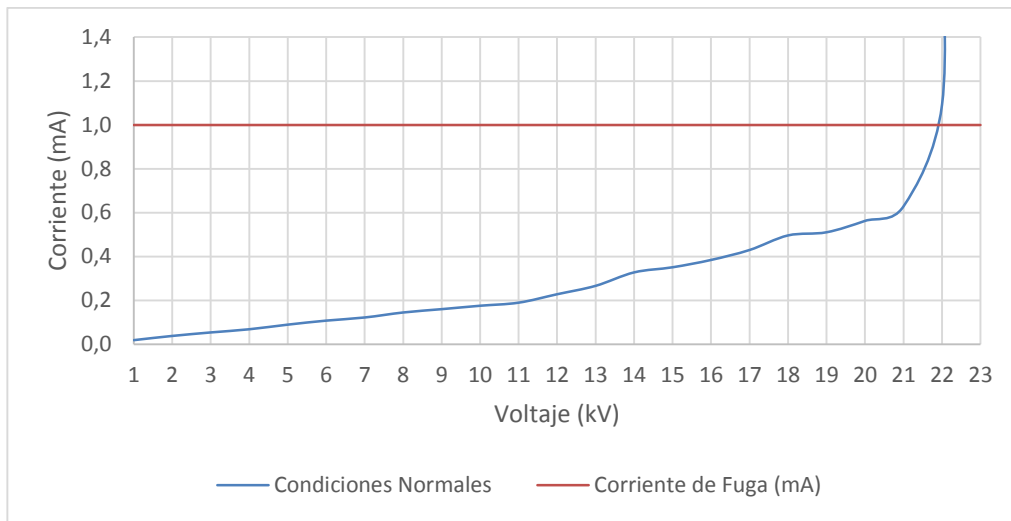


Figura 60. Variación de Voltaje frente a la Corriente (medio uso derecho C. Normales)

3.1.4.2 Análisis de Forma de Onda de Corriente Medio Uso Derecho

El ensayo empieza en 1 kV , el pico de corriente máximo tiene un valor de $-0,03006 \text{ mA}$ en 60 segundos como se observa en la Figura 61 a), no presenta distorsiones producidas por descargas parciales, Figura 61 b). La Figura 61 c) representa la corriente de ensayo con un voltaje de 21 kV , en la Figura 61 d) se realiza una ampliación donde se puede apreciar que existe una forma de onda sinusoidal con distorsiones y supera la corriente de pico máximo de $1,09197 \text{ mA}$, obteniendo una corriente rms medida con la corriente de pico máximo de $0,6283581 \text{ mA}$.

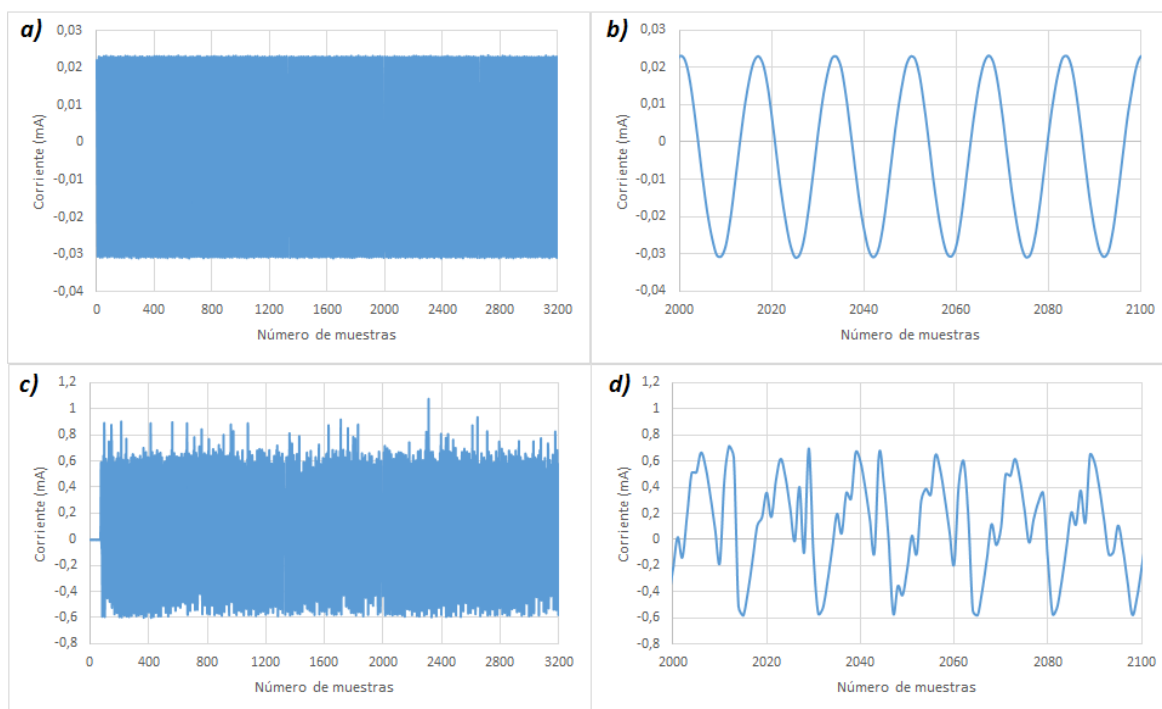


Figura 61. Onda de Corriente (medio uso derecho) a) Inicio ensayo 1kV, b) Ampliación corriente ensayo inicial, c) Final ensayo 21kV y d) Ampliación de corriente ensayo final

3.1.4.3 Ensayo Calzado Medio Uso Izquierdo

La TABLA 18 muestra los valores registrados de las corrientes obtenidas en el ensayo, se realizaron 20 mediciones, empezando en 1kV hasta los 20kV. La corriente máxima pico alcanzada tiene un valor de un semiciclo positivo 1,09299 mA.

TABLA 18. Variación de voltaje y corriente calzado medio uso izquierdo (C. Normales)

Voltaje rms (kV)	Corriente rms (mA)	Corriente Pico Máximo (mA)	Tiempo (s)
1	0,017790565	-0,029202	60
2	0,037175079	-0,057944	60
3	0,052308102	-0,080240	60
4	0,067876046	-0,103358	60
5	0,087923222	-0,132889	60
6	0,106293204	-0,159329	60
7	0,120486957	-0,180145	60
8	0,142360471	-0,213523	60
9	0,156768307	-0,234438	60
10	0,204441756	-0,260615	60

11	0,264441756	-0,283470	60
12	0,3044417558	-0,330726	60
13	0,319678240	0,688940	60
14	0,344250436	0,701340	60
15	0,382612968	0,724340	60
16	0,421618956	0,769340	60
17	0,465195202	0,887940	60
18	0,525851227	0,933540	60
19	0,557749453	1,066540	60
20	0,644033594	1,092990	60

Los valores de la TABLA 18, se genera una curva de corriente (Figura 62), la corriente rms mínima de 0,017790565 mA, a 20 kV la corriente alcanza 0,644033594 mA, hasta este voltaje se puede apreciar que la corriente no supera lo establecido por las normas ASTM.

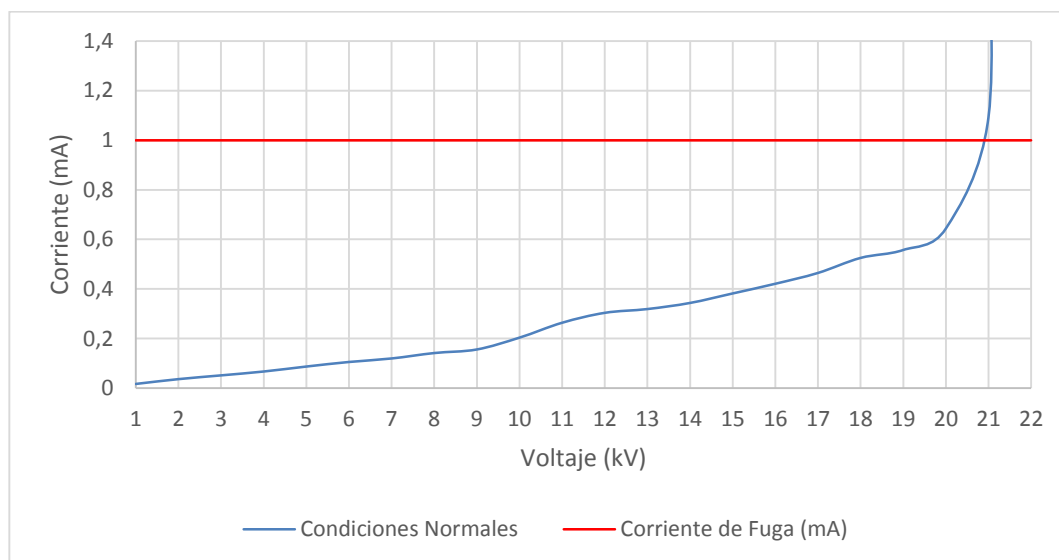


Figura 62. Variación de Voltaje frente a la Corriente medio uso izquierdo (C. Normales)

3.1.4.4 Análisis de Forma de Onda de Corriente Medio Uso Izquierdo

El ensayo empieza en 1kV, el pico de corriente máximo presentado durante el ensayo tiene un valor de $-0,029202$ mA en 60 segundos, Figura 63 a), no presenta distorsiones producidas por descargas parciales, Figura 63 b). La Figura 63 c) representa la corriente de ensayo con un voltaje de 20kV, en la Figura 63 d) se aprecia que existe una forma de onda sinusoidal con distorsiones y supera la corriente de pico máximo de 1,09299 mA, obteniendo una corriente rms medida con la corriente de pico máximo de 0,64033594 mA.

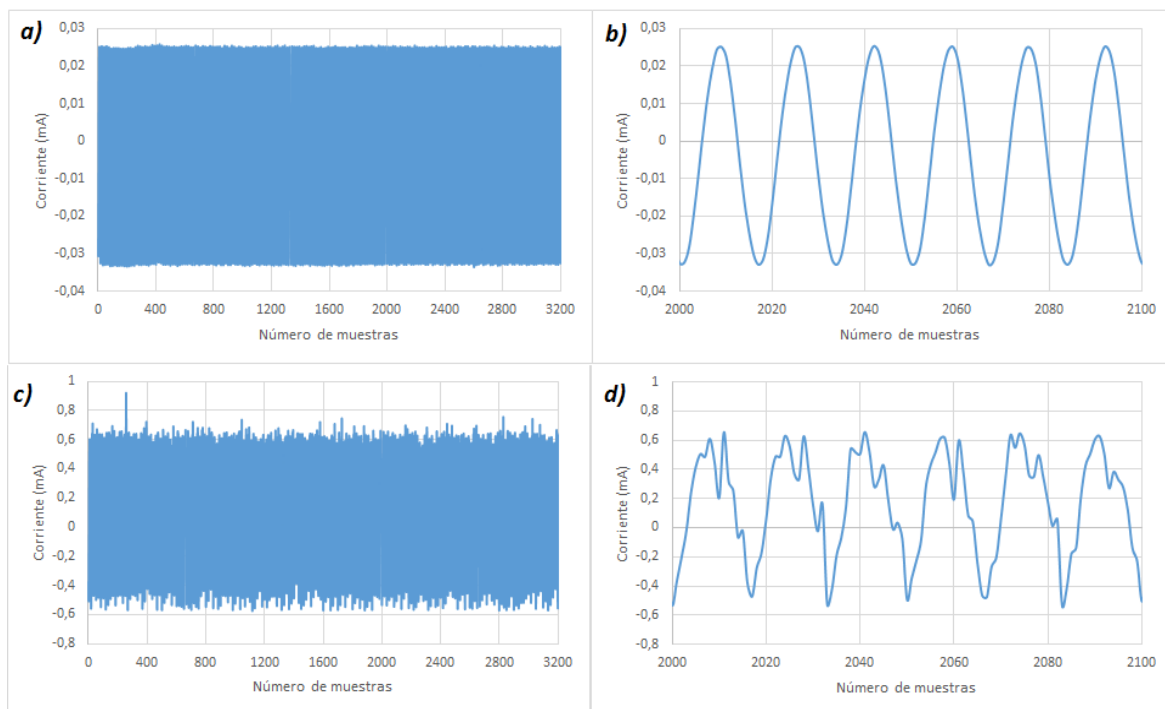


Figura 63. Onda de Corriente (medio uso izquierdo) a) Inicio ensayo 1kV, b) Ampliación corriente ensayo inicial, c) Final ensayo 20kV y d) Ampliación de corriente ensayo final

3.1.5 Calzado Medio Uso (1) Condiciones Viscosas

Para los ensayos en condiciones viscosas se utilizó aceite dieléctrico de transformador el mismo que fue depositado en la placa metálica, para luego sumergir el calzado medio uso (1) (Figura 25) aplicando el mismo mecanismo y circuito del calzado dado de baja (Figura 50).

3.1.5.1 Ensayo Calzado Medio Uso Derecho

En la TABLA 19 se registran los valores de las corrientes obtenidas, se realizaron 24 mediciones, empezando en 1kV hasta los 24kV. La corriente máxima pico alcanzada tiene un valor de un semiciclo positivo 1,08820 mA.

TABLA 19. Variación de voltaje y corriente calzado medio uso derecho (C. Viscosas)

Voltaje rms (kV)	Corriente rms (mA)	Corriente Pico Máximo (mA)	Tiempo (s)
1	0,01784188	-0,029893	60
2	0,03645685	-0,056825	60
3	0,05140472	-0,078924	60
4	0,06619963	-0,101155	60
5	0,08770007	-0,132396	60
6	0,10453744	-0,157158	60

7	0,11987649	-0,179750	60
8	0,14066868	-0,210629	60
9	0,15224515	-0,235918	60
10	0,17151039	-0,259102	60
11	0,18892730	-0,282286	60
12	0,21031426	-0,314481	60
13	0,22835625	-0,342006	60
14	0,27290367	-0,363414	60
15	0,307458227	0,425671	60
16	0,32829811	0,470250	60
17	0,35928722	0,527132	60
18	0,3787220	0,601695	60
19	0,40169533	0,665149	60
20	0,44564095	0,719705	60
21	0,47381396	0,783155	60
22	0,52130870	0,881833	60
23	0,56808298	1,076550	60
24	0,64015700	1,088220	60

Los valores de la TABLA 19 se genera una curva (Figura 64) donde la corriente mínima es 0,01784188 mA , a 24 kV la corriente alcanza 0,64015700 mA. Hasta este voltaje se puede apreciar que la corriente no supera lo establecido en la normativa ASTM especifica.

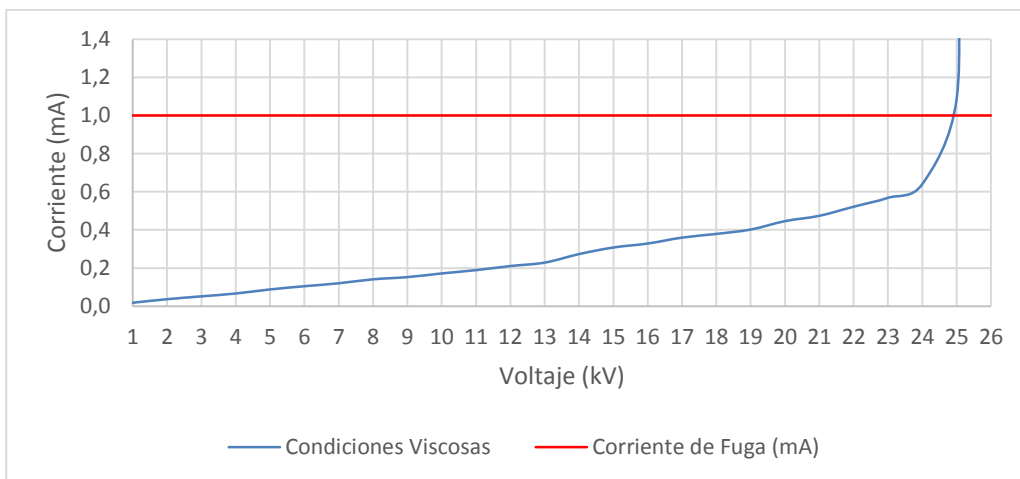


Figura 64. Variación de Voltaje frente a la Corriente medio uso derecho (C. Viscosas)

3.1.5.2 Análisis de Forma de Onda de Corriente Medio Uso Derecho

El ensayo empieza en 1kV, el pico de corriente máximo tiene un valor de $-0,029893mA$ en 60 segundos, Figura 65 a), no presenta distorsiones producidas por descargas parciales. La Figura 65 c) representa la corriente de ensayo con un voltaje de 24kV, la Figura 65 d) muestra

una ampliación con una forma de onda sinusoidal con distorsiones, corriente pico máxima de 1,088220 mA, y una corriente rms de 0,64015700 mA.

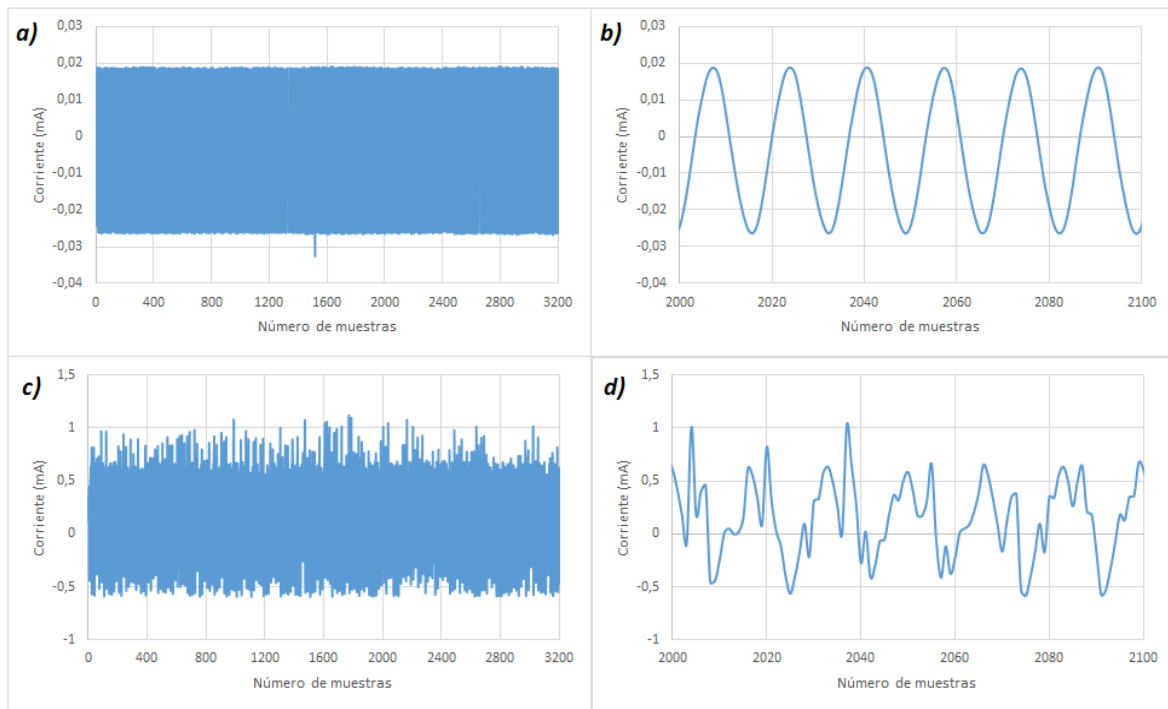


Figura 65. Onda de Corriente (medio uso derecho) a) Inicio ensayo 1kV, b) Ampliación corriente ensayo inicial, c) Final ensayo 24kV y d) Ampliación de corriente ensayo final

3.1.5.3 Ensayo Calzado Medio Uso Izquierdo

En la TABLA 20 se registran los valores de las corrientes obtenidas en el ensayo, se realizaron 24 mediciones, empezando en 1kV hasta los 24kV. La corriente máxima pico alcanzada tiene un valor de un semiciclo positivo 1,09135mA.

TABLA 20. Variación de voltaje y corriente calzado medio uso izquierdo (C. Viscosas)

Voltaje rms (kV)	Corriente rms (mA)	Corriente Pico Máximo (mA)	Tiempo (s)
1	0,017288	-0,03006	60
2	0,036957	-0,05758	60
3	0,052169	-0,08011	60
4	0,067329	-0,10290	60
5	0,087348	-0,13348	60
6	0,105947	-0,15913	60

7	0,119807	-0,18166	60
8	0,141019	-0,21372	60
9	0,152210	-0,23924	60
10	0,190828	-0,26969	60
11	0,211430	-0,28535	60
12	0,238689	-0,31593	60
13	0,278827	-0,34635	60
14	0,304966	-0,36980	60
15	0,329401	0,44785	60
16	0,356980	0,49568	60
17	0,385583	0,56024	60
18	0,402728	0,62657	60
19	0,445233	0,68441	60
20	0,472241	0,71897	60
21	0,523904	0,79243	60
22	0,557025	0,85368	60
23	0,597342	1,07665	60
24	0,647909	1,09135	60

La curva de corriente rms de la Figura 66, permite visualizar que la corriente rms mínima es de 0,017288 mA y su corriente rms máxima es de 0,647909 mA.

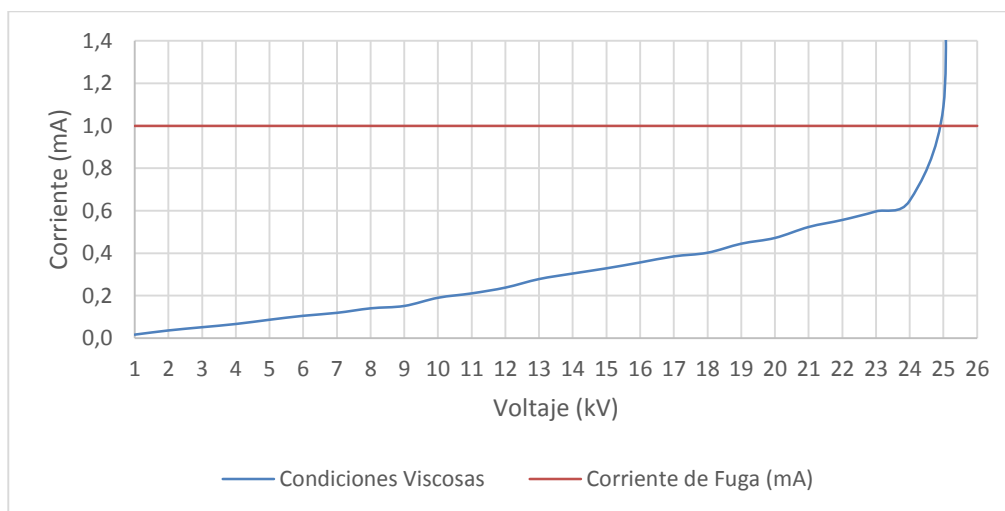


Figura 66. Variación de Voltaje frente a la Corriente medio uso izquierdo (C. Viscosas)

La corriente pico máxima del ensayo tiene un valor de $-0,03006 \text{ mA}$ en 60 segundos Figura 67 a). La forma de onda ampliada Figura 67 b) permite visualizar una forma de onda sinusoidal, no presenta distorsiones producidas por descargas parciales. La figura 67 c) representa la corriente de ensayo con un voltaje de 24 kV y la 67 d) una ampliación donde se

puede apreciar que existe una forma de onda sinusoidal con distorsiones con un corriente pico máxima de $1,09135 \text{ mA}$, obteniendo una corriente rms de $0,647909 \text{ mA}$.

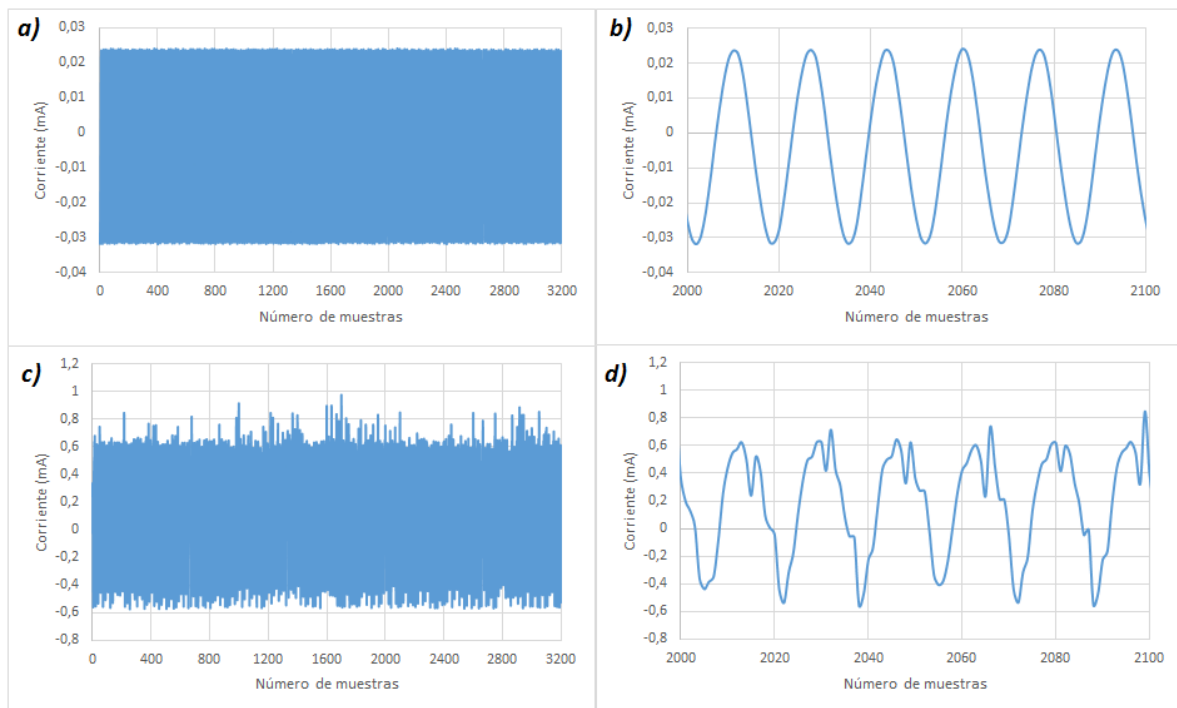


Figura 67. Onda de Corriente (medio uso izquierdo) a) Inicio ensayo 1kV , b) Ampliación corriente ensayo inicial, c) Final ensayo 24kV y d) Ampliación de corriente ensayo final

3.1.6 Calzado Medio Uso (1) Condiciones Húmedas

Este ensayo aplica el mismo circuito que en los datos de baja (ver Figura 55), La modificación que presenta es el cambio de calzado dado de baja (Figura 27) por el de medio uso (1) (Figura 25).

3.1.6.1 Ensayo Calzado Dado De Baja Derecho

Los valores registrados de las corrientes obtenidas en el ensayo se presentan en la TABLA 21. Se realizaron 16 mediciones, empezando en 1kV hasta los 16kV . La corriente máxima pico alcanzada tiene un valor de un semiciclo positivo $1,08905 \text{ mA}$.

TABLA 21. Variación de voltaje y corriente calzado medio uso derecho (C. Húmedas)

Voltaje rms (kV)	Corriente rms (mA)	Corriente Pico Máximo (mA)	Tiempo (s)
1	0,0185177	-0,03035	60
2	0,0362824	-0,05656	60
3	0,0508523	-0,07794	60

4	0,0664038	-0,10079	60
5	0,0883001	-0,13305	60
6	0,1031556	-0,15502	60
7	0,1200239	-0,17992	60
8	0,1349452	-0,20201	60
9	0,2076562	-0,29127	60
10	0,2507687	0,41786	60
11	0,3071277	0,60242	60
12	0,3546405	0,67763	60
13	0,4095036	0,78997	60
14	0,5015375	0,80353	60
15	0,5549846	1,05495	60
16	0,6220807	1,08905	60

Con los valores de la TABLA 21 se genera una curva (Figura 68) donde, la corriente rms mínima es 0,0185177 mA y su corriente a 16 kV alcanza 0,6220807 mA. Se puede apreciar que la corriente no supera lo establecido en la norma.

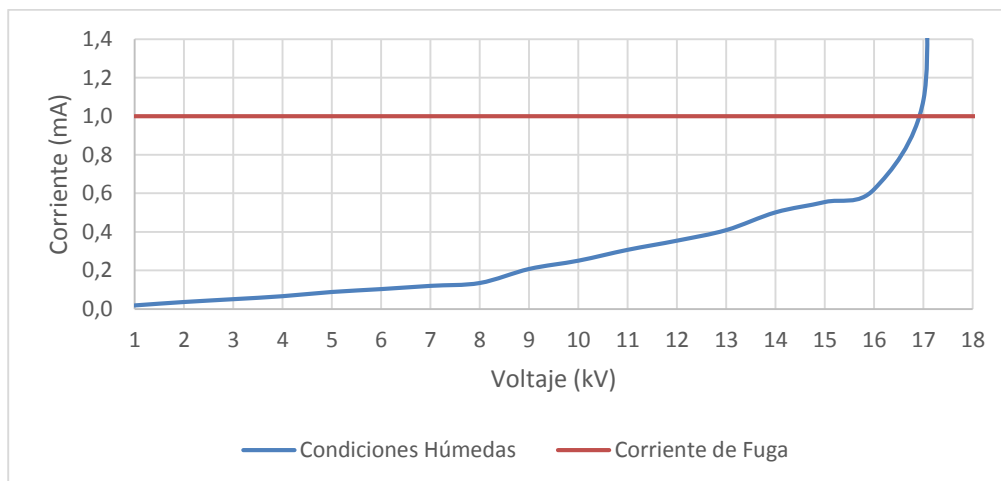


Figura 68. Variación de Voltaje frente a la Corriente medio uso derecho (C. Húmedas)

3.1.6.2 Análisis de Forma de Onda de Corriente Medio Uso Derecho

La corriente máxima tiene un valor de $-0,03035 \text{ mA}$ en 60 segundos Figura 69 a), la forma ampliada de onda Figura 69 b) permite visualizar que existe una onda sinusoidal pura, no presenta distorsiones producidas por descargas parciales. La Figura 69 c) representa la corriente de ensayo con un voltaje de 16kV y finalmente en la Figura 69 d) existe una forma de onda sinusoidal con distorsiones con una corriente de pico máximo de $1,08905 \text{ mA}$, y una corriente mínima de $0,6220807 \text{ mA}$.

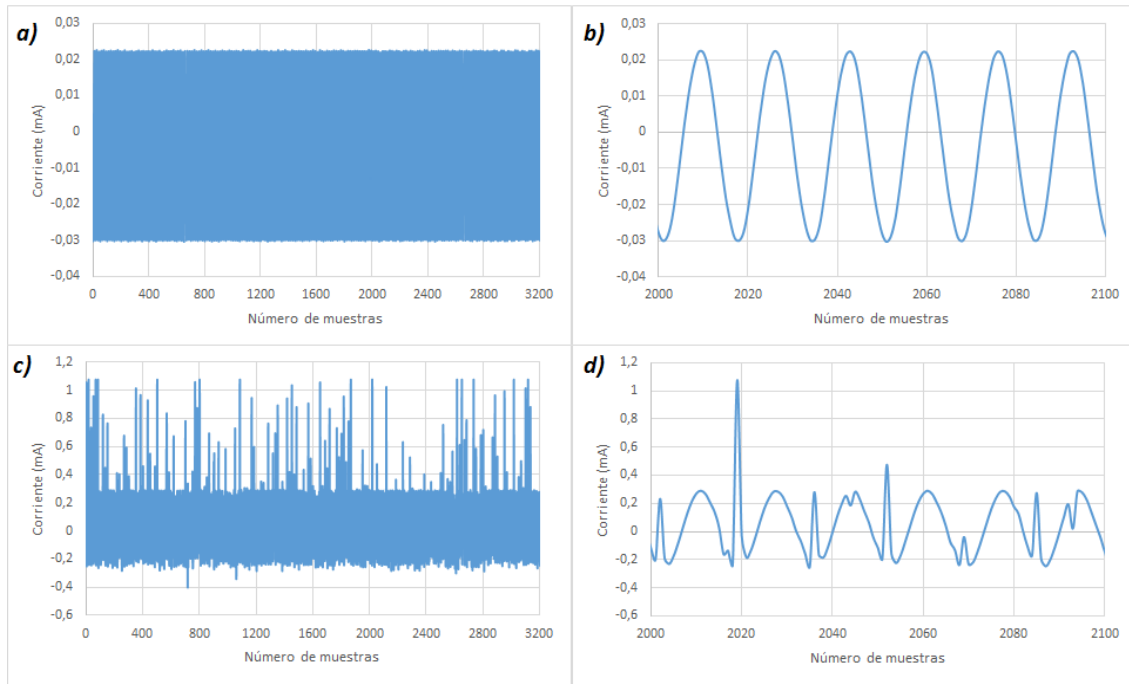


Figura 69. Onda de Corriente (medio uso derecho) a) Inicio ensayo 1kV, b) Ampliación corriente ensayo inicial, c) Final ensayo 16kV y d) Ampliación de corriente ensayo final

3.1.6.3 Ensayo Calzado Medio Uso Izquierdo

En la TABLA 22 se registran los valores de las corrientes obtenidas, se realizaron 15 mediciones, empezando en 1kV hasta los 15kV. La corriente máxima pico alcanzada tiene un valor de un semiciclo positivo 1,08776 mA.

TABLA 22. Variación de voltaje y corriente calzado medio uso izquierdo (C. Húmedas)

Voltaje rms (kV)	Corriente rms (mA)	Corriente Pico Máximo (mA)	Tiempo (s)
1	0,0182113	-0,03002	60
2	0,0365873	-0,05696	60
3	0,0518974	-0,07955	60
4	0,0662836	-0,10046	60
5	0,0886992	-0,13351	60
6	0,1029469	-0,18179	60
7	0,1211776	-0,21635	60
8	0,1335232	-0,28192	60
9	0,1968854	0,36146	60
10	0,2596447	0,42541	60
11	0,3594618	0,66787	60
12	0,4040002	0,78133	60
13	0,5083558	0,82808	30
14	0,5568759	1,06253	60
15	0,6226061	1,08776	60

Los valores de la TABLA 22, generan una curva (Figura 70) donde, la corriente rms mínima es de $0,0182113 \text{ mA}$, a 15 kV la corriente alcanza $0,62266061 \text{ mA}$.

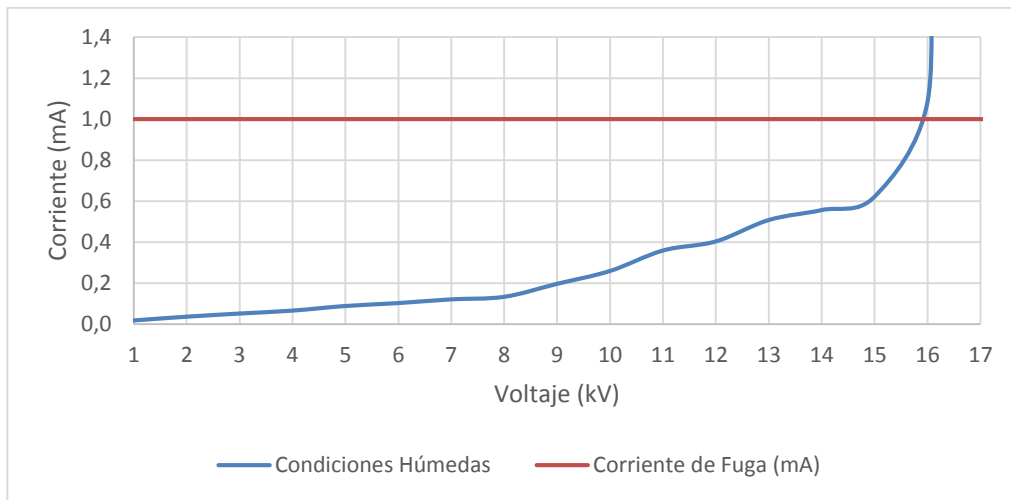


Figura 70. Variación de Voltaje frente a la Corriente medio uso izquierdo (C. Húmedas)

3.1.6.4 Análisis de Forma de Onda de Corriente Medio Uso Izquierdo

La corriente máxima tiene un valor de $-0,03002 \text{ mA}$ en 60 segundos, Figura 71 a), no presenta distorsiones producidas por descargas parciales (Figura 71 b). La corriente de ensayo con un voltaje de 15 kV tiene una forma de onda sinusoidal con distorsiones y valor de corriente pico máximo de $1,08776 \text{ mA}$, obteniendo una corriente rms de $0,62266061 \text{ mA}$ (Ver Figuras 71 c y d).

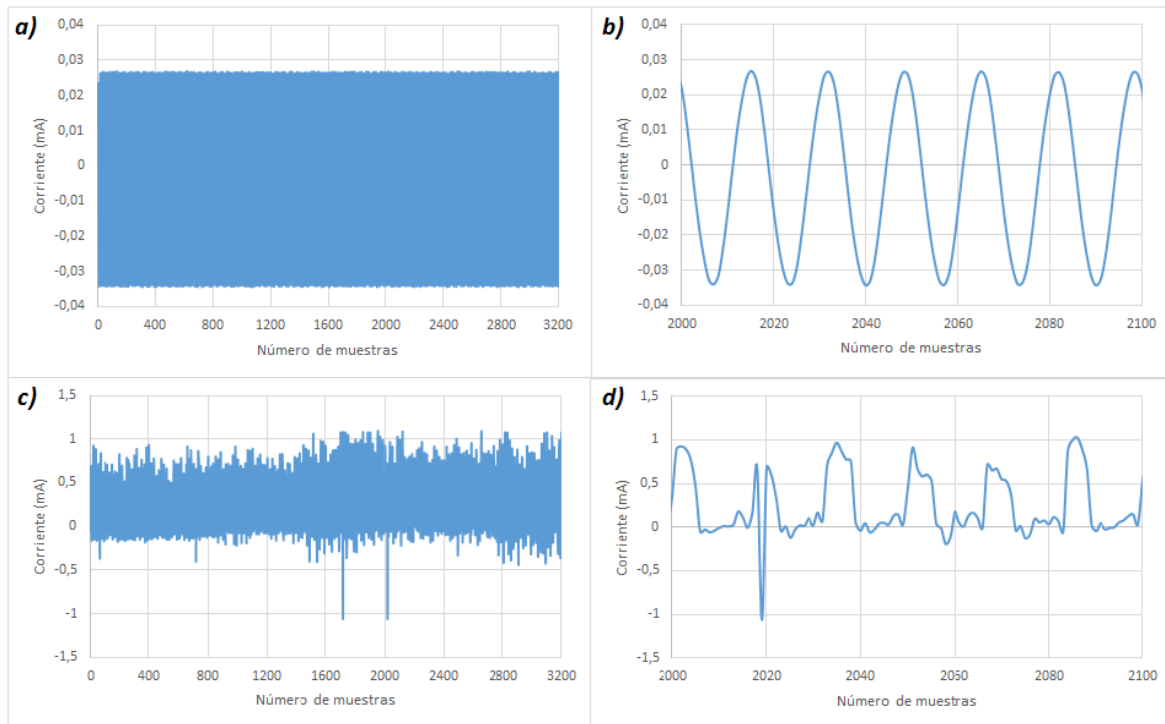


Figura 71. Onda de Corriente (medio uso izquierdo) a) Inicio ensayo 1kV, b) Ampliación corriente ensayo inicial, c) Final ensayo 15kV y d) Ampliación de corriente ensayo final

3.1.7 Calzado Medio Uso (2) Condiciones Normales

Este ensayo aplica el mismo circuito que en los datos de baja (ver Figura 45), La modificación que presenta este ensayo es el cambio de calzado dado de baja (Figura 27) por el de medio uso (2) (Figura 26).

3.1.7.1 Ensayo Calzado Medio Uso (2) Derecho

La tabla 23 registra los valores de las corrientes obtenidas, se realizaron 19 mediciones, empezando en 1kV hasta los 19kV. La corriente máxima pico alcanzada tiene un valor de un semiciclo positivo 1,09299 mA.

TABLA 23. Variación de voltaje y corriente calzado medio uso (2) derecho (C. Normales)

Voltaje rms (kV)	Corriente rms (mA)	Corriente Pico Máximo (mA)	Tiempo (s)
1	0,01877449	-0,03104	60
2	0,03684769	-0,05768	60
3	0,05388016	-0,08284	60
4	0,07477214	-0,11290	60
5	0,09407287	-0,14239	60
6	0,11090720	-0,16683	60

7	0,12656226	-0,18965	60
8	0,14535723	-0,21786	60
9	0,16490041	-0,24670	60
10	0,18460633	-0,27640	60
11	0,20202265	-0,30218	60
12	0,22542821	-0,33158	60
13	0,23964835	-0,35927	60
14	0,28081486	0,69530	60
15	0,30845141	0,69865	60
16	0,35380195	0,82865	60
17	0,45547321	0,90865	60
18	0,52412662	1,06169	60
19	0,57655077	1,09299	60

Los valores de la TABLA 23 generan una curva (Figura 72) donde la corriente se incrementa de acuerdo con el aumento del voltaje, la corriente mínima de 0,01877449 mA, a 19 kV la corriente alcanza 0,57655077 mA, hasta este voltaje se puede apreciar que la corriente no supera lo establecido por las normas ASTM.

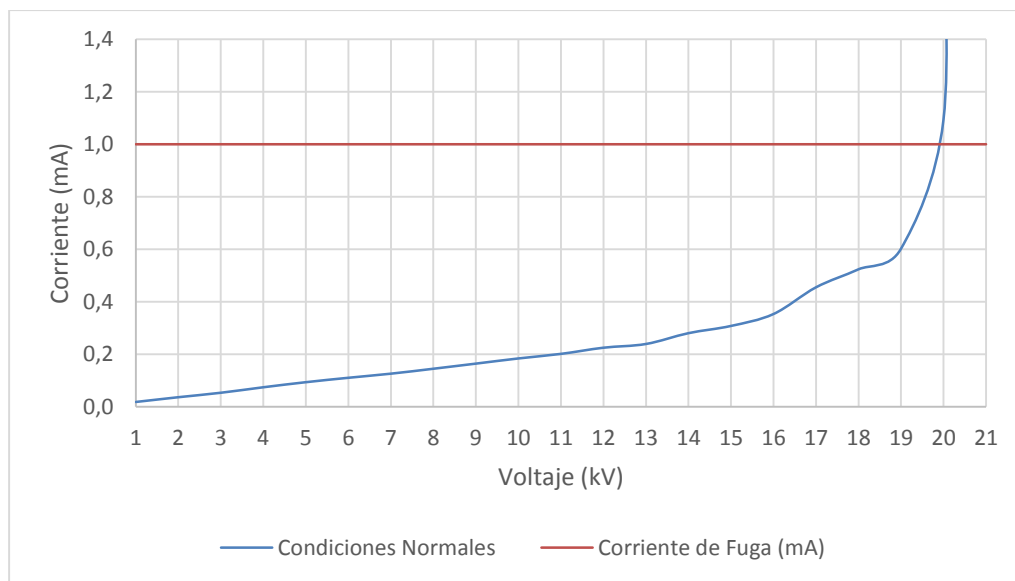


Figura 72. Variación de Voltaje frente a la Corriente medio uso (2) derecho (C. Normales)

3.1.7.2 Análisis de Forma de Onda de Corriente Medio Uso (2) Derecho

El ensayo empieza en 1kV el pico de corriente máximo tiene un valor de $-0,03104$ mA en 60 segundos, Figura 73 a), no presenta distorsiones producidas por descargas parciales, Figura 73 b). La Figura 73 c) representa la corriente de ensayo con un voltaje de 19kV, en la Figura 73 d) se realiza una ampliación donde se puede apreciar que existe una forma de onda

sinusoidal con distorsiones y supera la corriente de pico máximo de $1,09299 \text{ mA}$, obteniendo una corriente rms medida con la corriente de pico máximo de $0,5765507 \text{ mA}$.

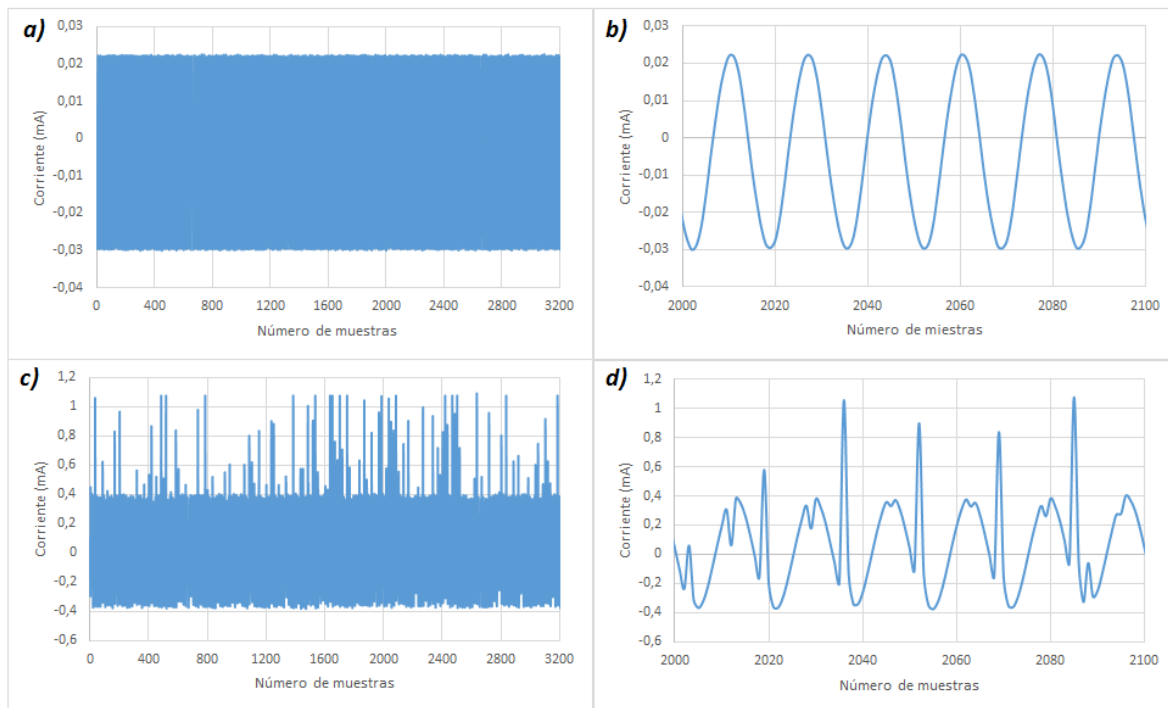


Figura 73. Onda de Corriente (medio uso (2) derecho) a) Inicio ensayo 1kV , b) Ampliación corriente ensayo inicial, c) Final ensayo 19kV y d) Ampliación de corriente ensayo final.

3.1.7.3 Ensayo Calzado Medio Uso (2) Izquierdo

La TABLA 24 se registran los valores de las corrientes obtenidas en el ensayo, se realizaron 20 mediciones, empezando en 1kV hasta los 20kV . La corriente máxima pico alcanzada tiene un valor de un semiciclo positivo $1,09299 \text{ mA}$.

TABLA 24. Variación de voltaje y corriente calzado medio uso (2) izquierdo (C. Normales)

Voltaje rms (kV)	Corriente rms (mA)	Corriente Pico Máximo (mA)	Tiempo (s)
1	0,0206663	-0,03354	60
2	0,0360159	-0,05640	60
3	0,0544576	-0,08369	60
4	0,0735033	-0,11142	60
5	0,0907099	-0,13420	60

6	0,1109066	-0,16594	60
7	0,1227830	-0,18472	60
8	0,1454110	-0,21839	60
9	0,1630140	-0,24417	60
10	0,1792562	-0,35079	60
11	0,1992718	0,44612	60
12	0,2341221	0,65077	60
13	0,2438987	0,67938	60
14	0,2780021	0,69112	60
15	0,3059834	0,80474	60
16	0,3405448	-0,82049	60
17	0,4183109	0,92073	60
18	0,5229270	1,06119	60
19	0,5846501	1,07459	60
20	0,6592370	1,09299	60

Los valores de la TABLA 24 generan una curva (Figura 74) la corriente se incrementa de acuerdo con el voltaje, la corriente mínima de 0,020663 mA, a 20 kV la corriente alcanza 0,6592370 mA, hasta este voltaje se puede apreciar que la corriente no supera lo establecido por las normas ASTM.

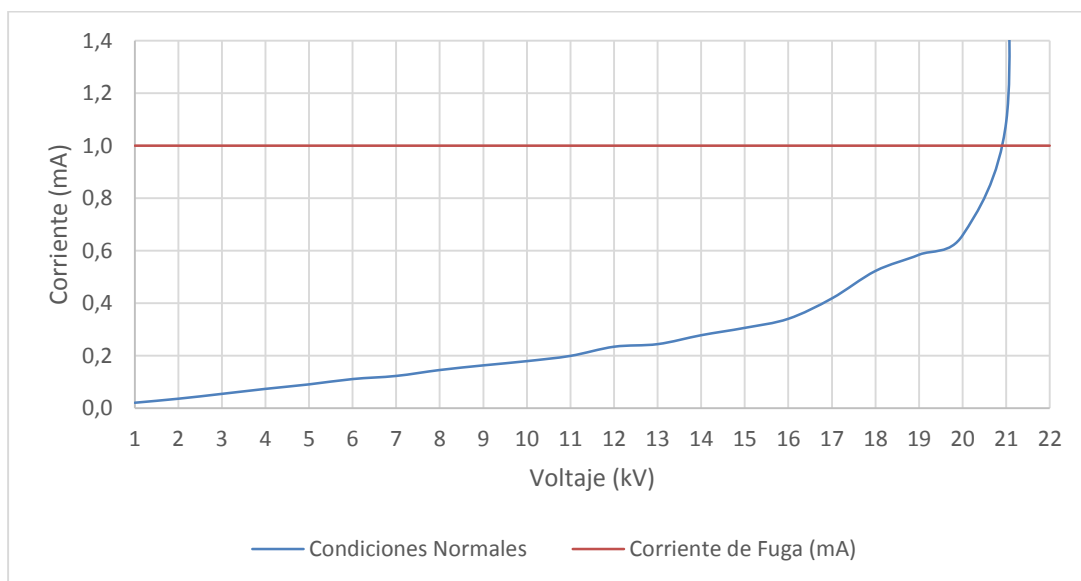


Figura 74. Variación de Voltaje frente a la Corriente medio uso (2) izquierdo (C. Normales)

3.1.7.4 Análisis De Forma De Onda De Corriente Medio Uso (2) Izquierdo

El ensayo empieza en 1kV el pico de corriente máximo presentado tiene un valor de $-0,03354$ mA en 60 segundos, Figura 75 a), no presenta distorsiones producidas por descargas parciales, Figura 75 b). La Figura 75 c) representa la corriente de ensayo con un voltaje de 20kV, en la Figura 75 d) se aprecia que existe una forma de onda sinusoidal con

distorsiones y supera la corriente de pico máximo de $1,09299 \text{ mA}$, obteniendo una corriente rms medida con la corriente de pico máximo de $0,6542370 \text{ mA}$.

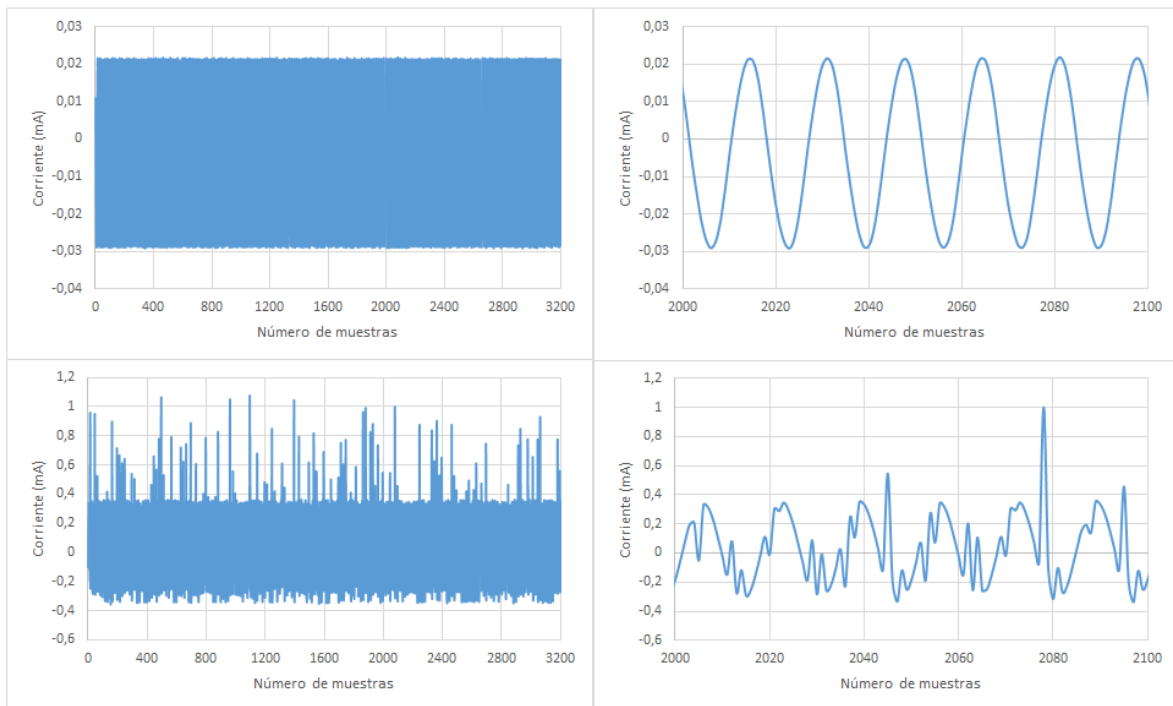


Figura 75. Onda de Corriente (medio uso (2) izquierdo) a) Inicio ensayo 1kV , b) Ampliación corriente ensayo inicial, c) Final ensayo 20kV y d) Ampliación de corriente ensayo final

3.1.8 Calzado Medio Uso (2) Condiciones Viscosas

Para los ensayos en condiciones viscosas se utilizó aceite dieléctrico de transformador el mismo que fue depositado en la placa metálica, para luego sumergir el calzado medio uso (2) (Figura 26) aplicando el mismo mecanismo y circuito del calzado dado de baja (Figura 50).

3.1.8.1 Ensayo Calzado Medio Uso (2) Derecho

La TABLA 25 se registran los valores de las corrientes obtenida, se realizaron 21 mediciones, empezando en 1kV hasta los 21kV . La corriente máxima pico alcanzada tiene un valor de un semiciclo positivo $1,09299 \text{ mA}$.

TABLA 25. Variación de voltaje y corriente calzado medio uso (2) derecho (C. Viscosas)

Voltaje rms (kV)	Corriente rms (mA)	Corriente Pico Máximo (mA)	Tiempo (s)
1	0,016636197	-0,03239	60
2	0,037074383	-0,06205	60
3	0,055568151	-0,08514	60
4	0,073520208	-0,11168	60
5	0,092195613	-0,13927	60
6	0,111266922	-0,16719	60
7	0,126903005	-0,19070	60
8	0,147126633	-0,22017	60
9	0,163819482	-0,24542	60
10	0,183014185	-0,27374	60
11	0,202108975	-0,30195	60
12	0,213619678	-0,33207	60
13	0,235748105	-0,35930	60
14	0,265083317	0,67705	60
15	0,29324811	0,69443	60
16	0,336335666	0,80157	60
17	0,424371933	0,88607	60
18	0,471146396	0,93482	60
19	0,522689997	1,06152	60
20	0,568221234	1,08712	60
21	0,601223933	1,09299	60

Los valores de la TABLA 25 generan una curva (Figura 76) donde la corriente mínima es de 0,016636197 mA , a los 21 kV alcanza 0,601223933 mA, hasta este voltaje se puede apreciar que la corriente no supera lo establecido por las normas ASTM.

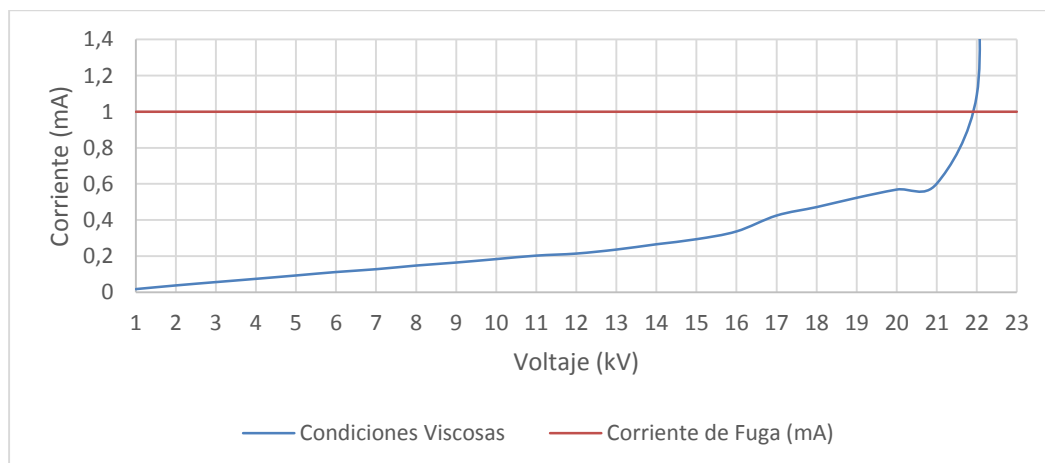


Figura 76. Variación de Voltaje frente a la Corriente medio uso (2) derecho (C. Viscosas)

3.1.8.2 Análisis de Forma de Onda de Corriente Medio Uso (2) Derecho

El ensayo empieza en $1kV$ el pico de corriente máximo tiene un valor de $-0,03239 mA$ en 60 segundos, Figura 77 a), no presenta distorsiones producidas por descargas parciales, Figura 77 b). La Figura 77 c) representa la corriente de ensayo con un voltaje de $21kV$, en la Figura 77 d) se puede apreciar que existe una forma de onda sinusoidal con distorsiones y supera la corriente de pico máximo de $1,09299 mA$, obteniendo una corriente rms medida con la corriente de pico máximo de $0,601223933 mA$.

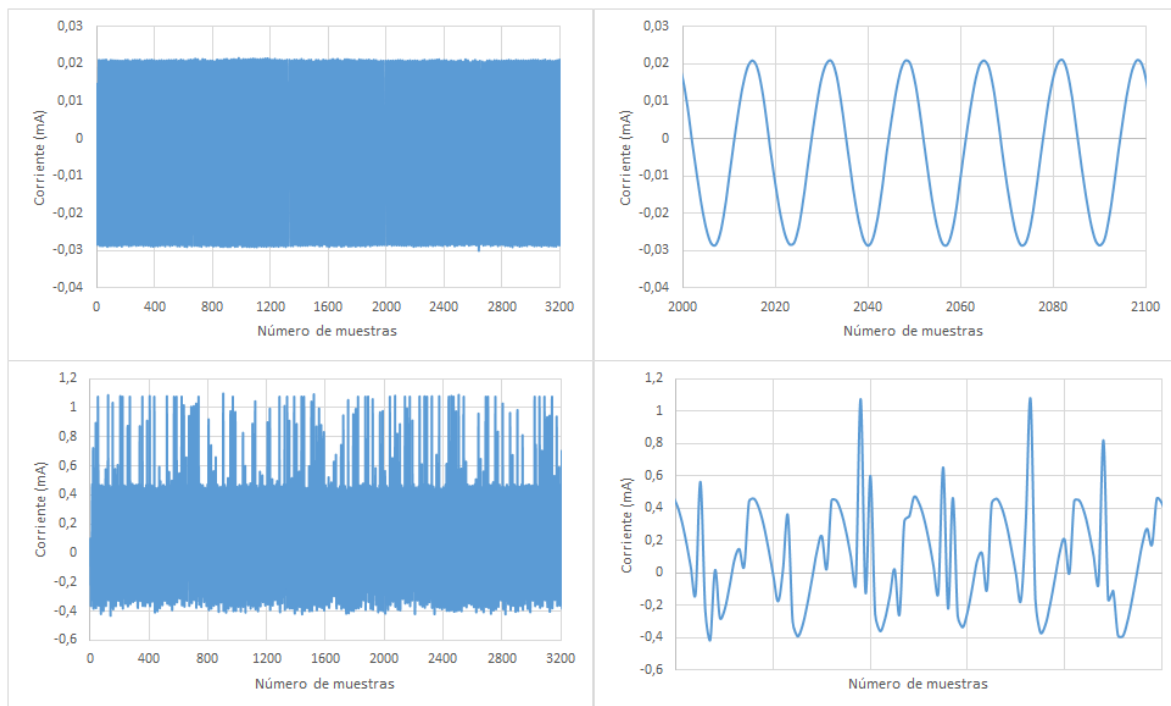


Figura 77. Onda de Corriente (medio uso (2) derecho) a) Inicio ensayo $1kV$, b) Ampliación corriente ensayo inicial, c) Final ensayo $21kV$ y d) Ampliación de corriente ensayo final.

3.1.8.2 Ensayo Calzado Medio Uso (2) Izquierdo

La TABLA 26 se registran los valores de las corrientes obtenidas, se realizaron 22 mediciones, empezando en $1kV$ hasta los $22kV$. La corriente máxima pico alcanzada tiene un valor de un semiciclo positivo $1,09299 mA$.

TABLA 26. Variación de voltaje y corriente calzado medio uso (2) izquierdo (C. Viscosas)

Voltaje rms (kV)	Corriente rms (mA)	Corriente Pico Máximo (mA)	Tiempo (s)
1	0,0193555	-0,03196	60
2	0,0348492	-0,05492	60
3	0,0543270	-0,08563	60
4	0,0732065	-0,11092	60
5	0,0890139	-0,13401	60
6	0,1074303	-0,16157	60
7	0,1189885	-0,18791	60
8	0,1323490	-0,21793	60
9	0,1564018	-0,22622	60
10	0,1707435	-0,45000	60
11	0,1945181	0,58079	60
12	0,2143895	0,60013	60
13	0,2250176	0,61884	60
14	0,2536587	0,66268	60
15	0,2820490	0,68303	60
16	0,3228538	0,68984	60
17	0,3612632	0,72026	60
18	0,4123436	0,75864	60
19	0,4824445	0,92073	60
20	0,5284914	0,97391	60
21	0,5676908	1,06119	60
22	0,6472672	1,09299	60

Los valores de la TABLA 26 la corriente rms mínima es de 0,0193555 mA ,a los 22 kV alcanza 0,6472672 mA, hasta este voltaje se puede apreciar que la corriente no supera lo establecido por las normas ASTM. Generando una curva característica de corriente VS voltaje tal como se aprecia en la Figura 78.

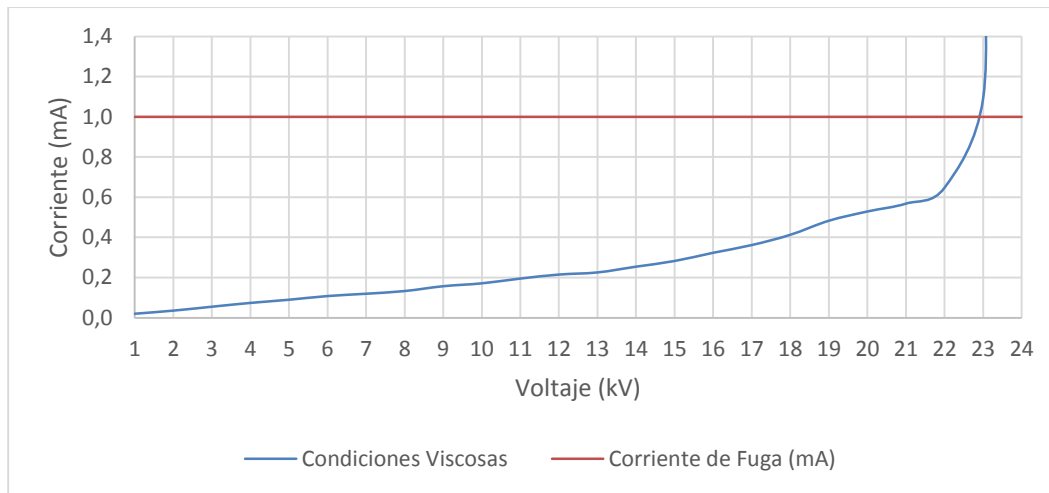


Figura 78. Variación de Voltaje frente a la Corriente medio uso (2) izquierdo (C. Viscosas)

3.1.8.3 Análisis De Forma De Onda De Corriente Medio Uso (2) Izquierdo

El ensayo empieza en 1 kV el pico de corriente máximo con un valor de $-0,03196\text{ mA}$ en 60 segundos, Figura 79 a), no presenta distorsiones producidas por descargas parciales, Figura 79 b). La Figura 79 c) representa la corriente de ensayo con un voltaje de 22 kV , en la Figura 79 d) la corriente de pico máximo de $1,09299\text{ mA}$, obteniendo una corriente rms medida con la corriente de pico máximo de $0,6472672\text{ mA}$.

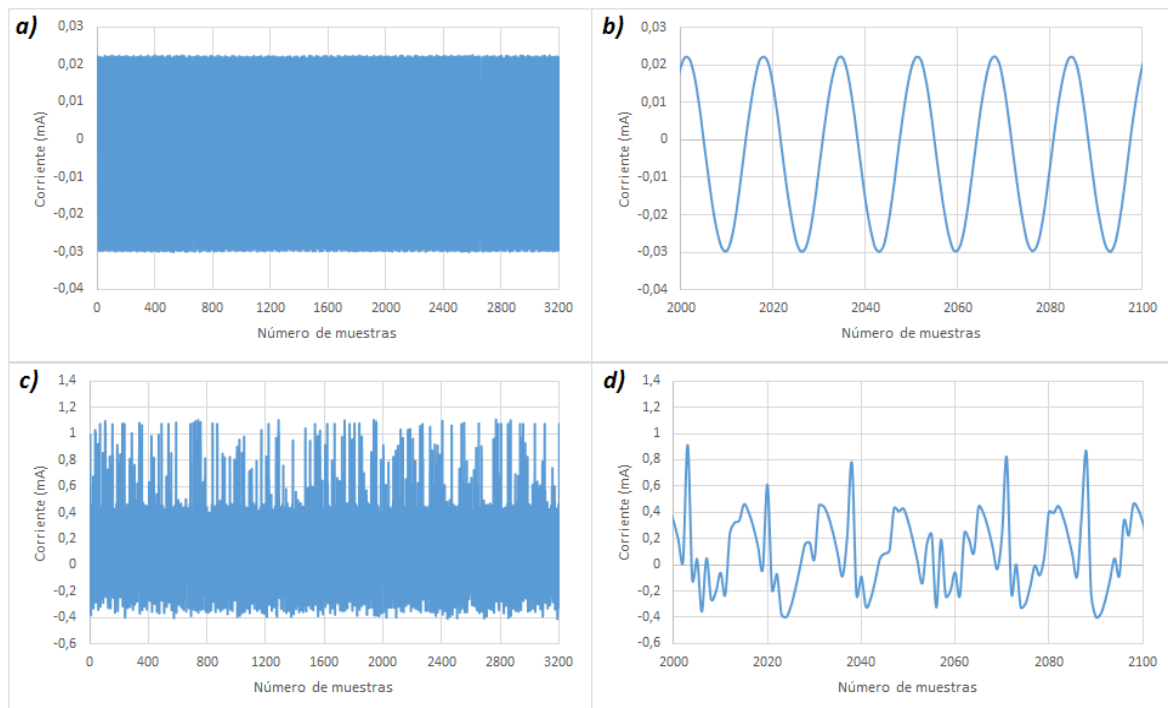


Figura 79. Onda de Corriente (medio uso (2) izquierdo) a) Inicio ensayo 1 kV , b) Ampliación corriente ensayo inicial, c) Final ensayo 22 kV y d) Ampliación de corriente ensayo final

3.1.9 Calzado Medio Uso (2) Condiciones Húmedas

Este ensayo aplica el mismo circuito que en los ensayos en los dados de baja (ver Figura 55), La modificación que presenta este ensayo es el cambio de calzado dado de baja (Figura 27) por el de medio uso (2) (Figura 25).

3.1.9.1 Ensayo Calzado Medio Uso (2) Derecho

La TABLA 27 se registran los valores de las corrientes obtenidas en el ensayo, se realizaron 12 mediciones, empezando en 1kV hasta los 12kV. La corriente máxima pico alcanzada tiene un valor de un semiciclo positivo 1,07632 mA.

TABLA 27. Variación de voltaje y corriente calzado medio uso (2) derecho (C. Húmedas)

Voltaje rms (kV)	Corriente rms (mA)	Corriente Pico Máximo (mA)	Tiempo (s)
1	0,018401	-0,03039	60
2	0,035243	-0,05508	60
3	0,054765	-0,08389	60
4	0,072115	-0,10915	60
5	0,090689	-0,13634	60
6	0,109106	-0,16334	60
7	0,143606	-0,24023	60
8	0,189276	-0,30023	60
9	0,245976	0,67136	60
10	0,284992	0,87345	60
11	0,359127	1,02120	60
12	0,453693	1,07632	60

Los valores de la TABLA 27 la corriente mínima de 0,018401 mA a los 12 kV alcanza 0,453693 mA. Hasta este voltaje se puede apreciar que la corriente no supera lo establecido en la norma. La Figura 80 muestra la curva característica de este suceso.

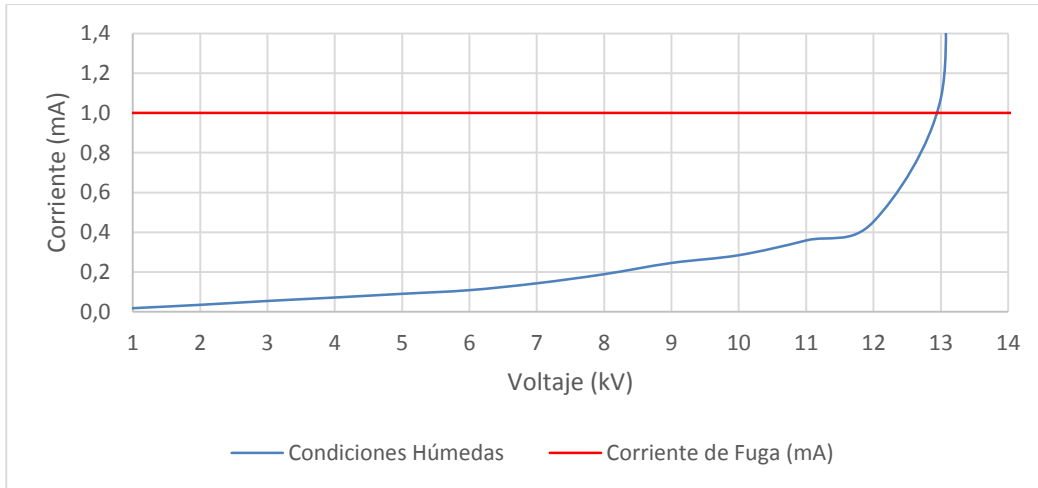


Figura 80. Variación de Voltaje frente a la Corriente medio uso (2) derecho (C. Húmedas)

3.1.9.2 Análisis de Forma de Onda de Corriente Medio Uso (2) Derecho

El ensayo empieza en 1 kV el pico de corriente máximo con un valor de $-0,03039\text{ mA}$ en 60 segundos, Figura 81 a), no presenta distorsiones producidas por descargas parciales, Figura 81 b). La Figura 81 c) representa la corriente de ensayo con un voltaje de 12 kV , en la Figura 81 d) la corriente de pico máximo de $1,07632\text{ mA}$, obteniendo una corriente rms medida con la corriente de pico máximo de $0,453693\text{ mA}$.

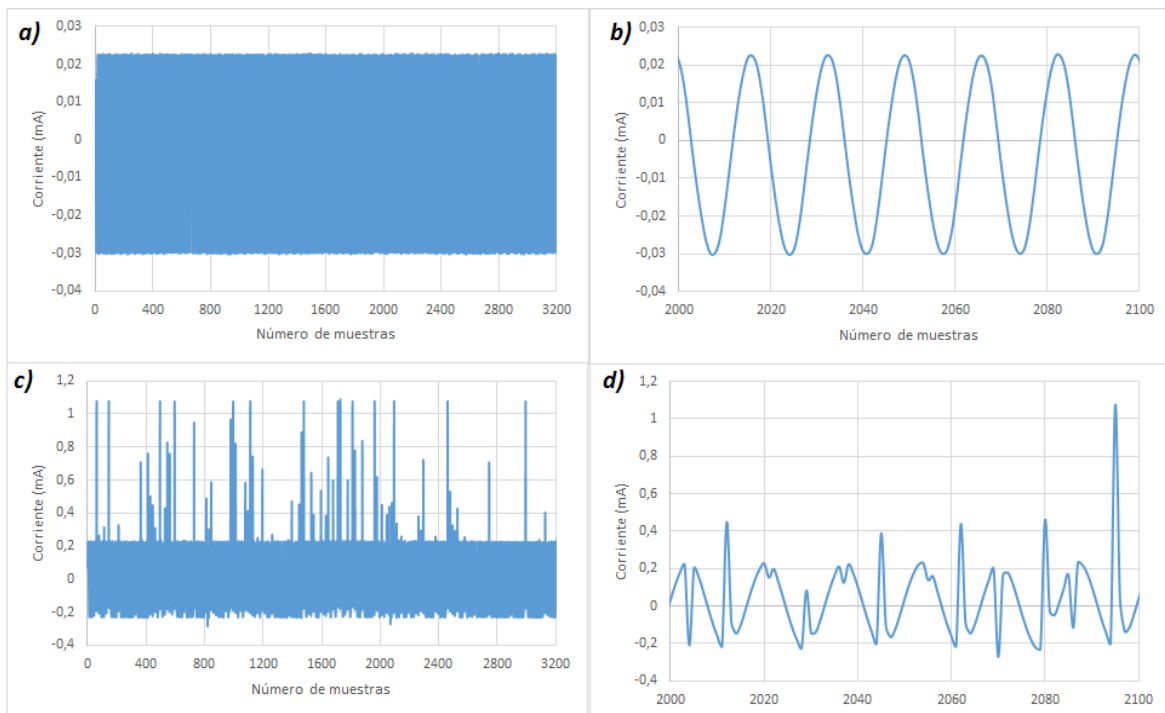


Figura 81. Onda de Corriente (medio uso (2) derecho) a) Inicio ensayo 1 kV , b) Ampliación corriente ensayo inicial, c) Final ensayo 12 kV y d) Ampliación de corriente ensayo final

3.1.9.3 Ensayo Calzado Medio Uso (2) Izquierdo

La TABLA 28 se registran los valores de las corrientes obtenidas en el ensayo, se realizaron 14 mediciones, empezando en 1kV hasta los 14kV. La corriente máxima pico alcanzada tiene un valor de un semiciclo positivo 1,08990 mA.

TABLA 28. Variación de voltaje y corriente calzado medio uso (2) izquierdo (C. Húmedas)

Voltaje rms (kV)	Corriente rms (mA)	Corriente Pico Máximo (mA)	Tiempo (s)
1	0,02118672	-0,03443	60
2	0,03887643	-0,06048	60
3	0,05480328	-0,08399	60
4	0,07471637	-0,11319	60
5	0,10783743	-0,13759	60
6	0,13633063	-0,15440	60
7	0,17538467	-0,19800	60
8	0,21501891	0,69135	60
9	0,25800714	0,84733	60
10	0,30982168	0,87140	60
11	0,33541057	0,87121	60
12	0,35322255	0,87565	60
13	0,40463498	0,90426	60
14	0,50420947	1,08990	60

De los valores de la TABLA 28, la corriente mínima es de 0,02118672 mA y su corriente en los 14 kV es de 0,50420947 mA, Ver Figura 82.

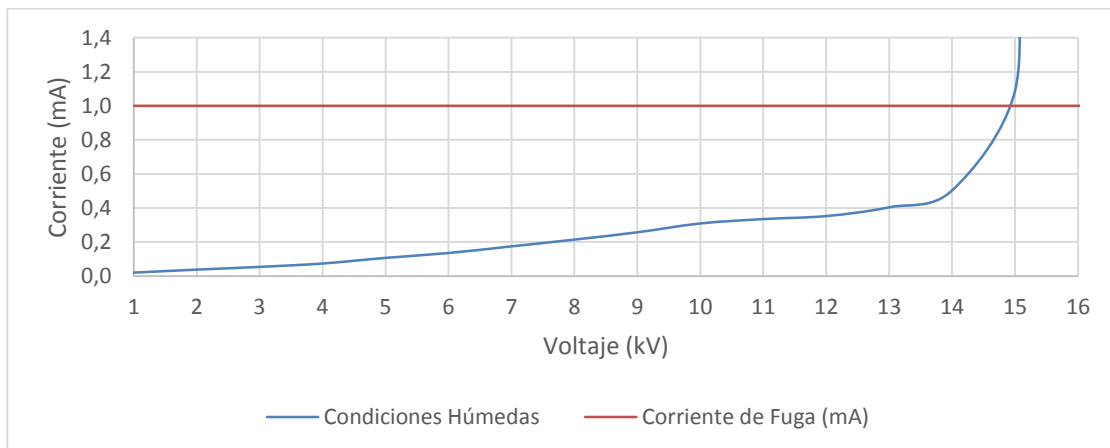


Figura 82. Variación de Voltaje frente a la Corriente medio uso (2) izquierdo (C. Húmedas)

3.1.9.3 Análisis de Forma de Onda de Corriente Medio Uso (2) Izquierdo

El ensayo empieza en $1kV$ con un valor de $-0,03443 mA$ en 60 segundos, Figura 83 a), no presenta distorsiones producidas por descargas parciales, Figura 83 b). La Figura 83 c) representa la corriente de ensayo con un voltaje de $14kV$, en la Figura 83 d) existe una forma de onda sinusoidal con distorsiones y supera la corriente de pico máximo de $1,08990 mA$, obteniendo una corriente rms medida con la corriente de pico máximo de $0,50420947 mA$.

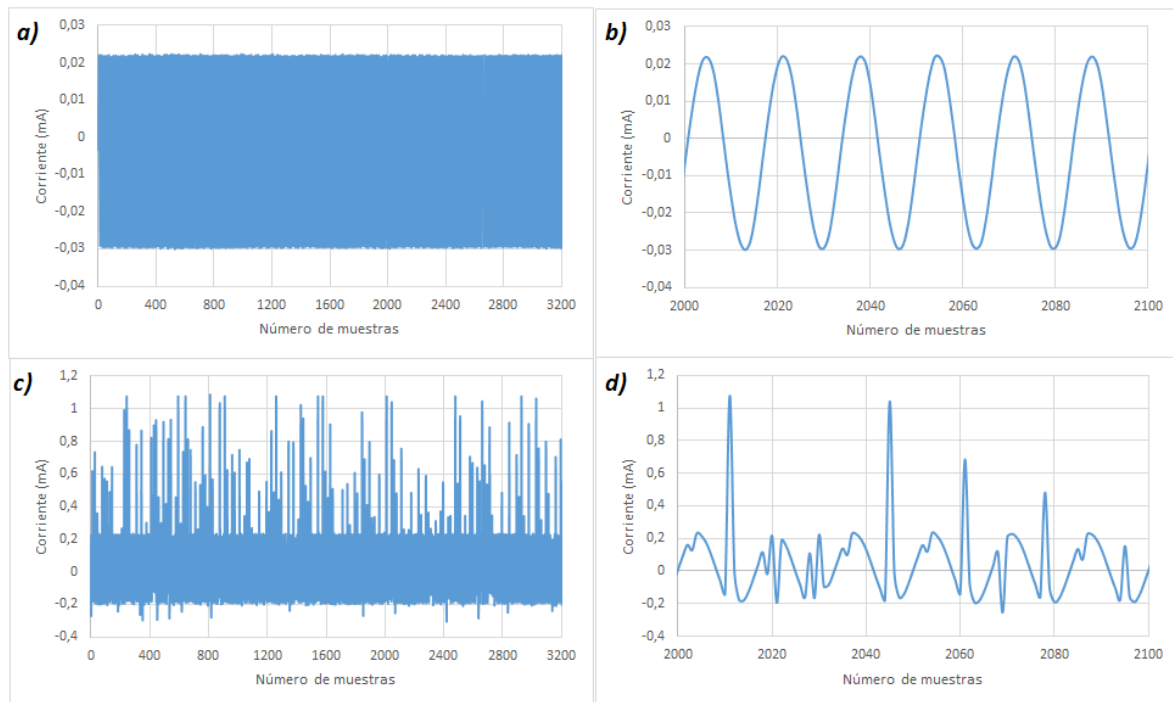


Figura 83. Onda de Corriente (medio uso (2) izquierdo) a) Inicio ensayo $1kV$, b) Ampliación corriente ensayo inicial, c) Final ensayo $14kV$ y d) Ampliación de corriente ensayo final

3.1.10 Calzado Nuevo Condiciones Normales

Este ensayo aplica el mismo circuito que en los datos de baja (ver Figura 45), La modificación que presenta este ensayo es el cambio de calzado dado de baja (Figura 27) por un nuevo (Figura 24).

3.1.10.1 Ensayo Calzado Nuevo Derecho

La TABLA 29 se registran los valores de las corrientes obtenidas en el ensayo, se realizaron 36 mediciones, empezando en $1kV$ hasta los $36kV$. La corriente máxima pico alcanzada tiene un valor de un semiciclo positivo $1,091304 mA$.

TABLA 29. Variación de voltaje y corriente calzado nuevo derecho (C. Normales)

Voltaje rms (kV)	Corriente rms (mA)	Corriente Pico Máximo (mA)	Tiempo (s)
1	0,0178294	-0,031964	60
2	0,0342156	-0,053899	60
3	0,0546114	-0,086948	60
4	0,0672469	-0,102174	60
5	0,0864402	-0,130488	60
6	0,1017186	-0,152390	60
7	0,1205421	-0,180441	60
8	0,1362012	-0,203230	60
9	0,1520107	-0,226480	60
10	0,1689635	-0,251571	60
11	0,1872821	-0,278603	60
12	0,2015731	-0,299452	60
13	0,2191590	-0,325991	60
14	0,2346931	-0,349405	60
15	0,2542986	-0,379067	60
16	0,2702196	-0,403139	60
17	0,2840725	-0,426521	60
18	0,3002303	-0,448850	60
19	0,3217972	-0,484892	60
20	0,3391158	-0,511200	60
21	0,3616828	-0,549807	60
22	0,3733612	-0,570426	60
23	0,4006859	-0,613605	60
24	0,4089054	-0,620445	60
25	0,4265581	0,640807	60
26	0,4403944	0,677606	60
27	0,4528069	0,705888	60
28	0,4658923	0,738807	60
29	0,4826496	0,741142	60
30	0,4995764	0,780276	60
31	0,5051497	0,814773	60
32	0,5129867	0,830855	60
33	0,5410178	0,900771	60
34	0,5605988	0,951679	60
35	0,6040556	1,054280	60
36	0,6418334	1,091034	60

Los datos de la TABLA 29 se tiene una corriente rms mínima de 0,0178294 mA a 36 kV con una corriente de 0,6418334 mA, hasta este voltaje se puede apreciar que la corriente rms no supera lo establecido por las normas ASTM (Ver Figura 84).

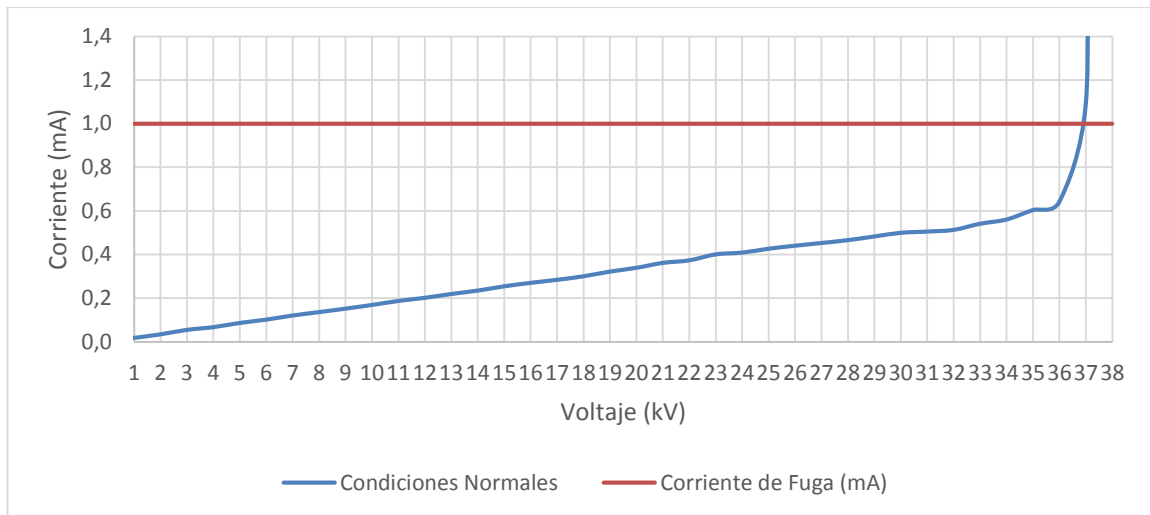


Figura 84. Variación de Voltaje frente a la Corriente calzado nuevo derecho (C. Normales)

3.1.10.2 Análisis de Forma de Onda de Corriente Calzado Nuevo Derecho

El pico de corriente máximo presentado tiene un valor de $-0,031964 \text{ mA}$ en 60 segundos, Figura 85 a), no presenta distorsiones producidas por descargas parciales, Figura 85 b). La Figura 85 c) representa la corriente de ensayo con un voltaje de 36 kV , en la Figura 85 d) se puede apreciar que existe una forma de onda sinusoidal con distorsiones y supera la corriente de pico máximo de $1,091034 \text{ mA}$, obteniendo una corriente rms de $0,6418334 \text{ mA}$.

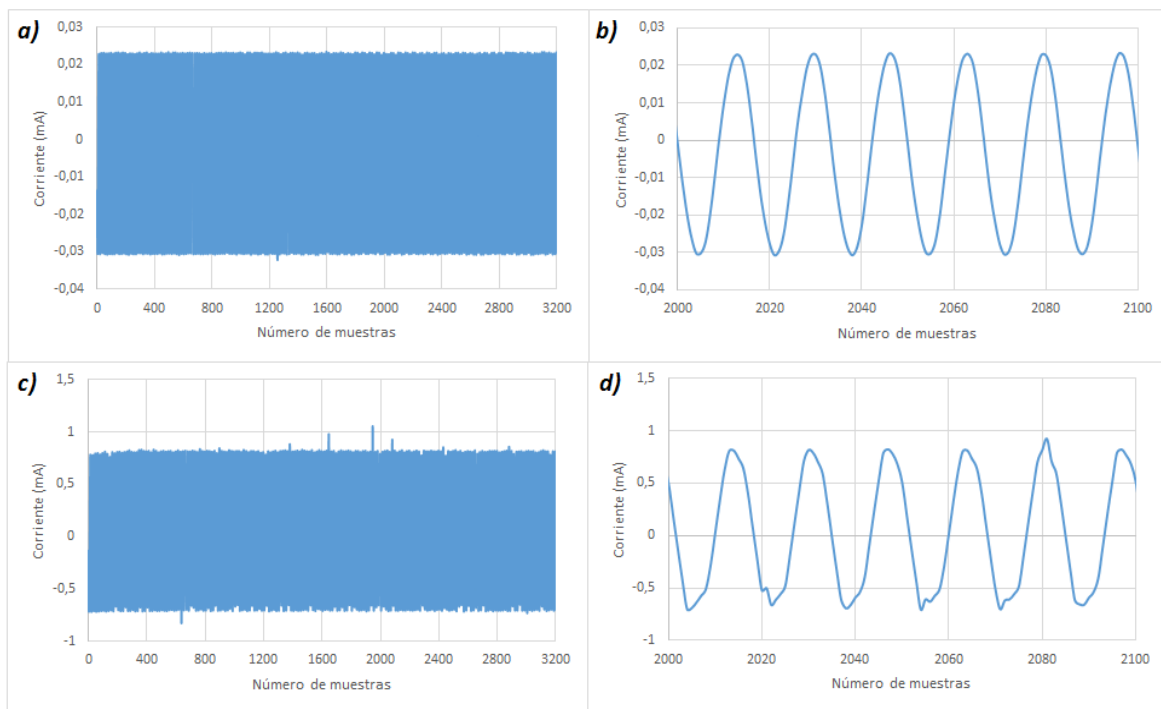


Figura 85. Onda de Corriente (calzado nuevo derecho) a) Inicio ensayo 1 kV , b) Ampliación corriente ensayo inicial, c) Final ensayo 36 kV y d) Ampliación de corriente ensayo final

3.1.10.3 Ensayo Calzado Nuevo Izquierdo

La TABLA 30 se registran los valores de las corrientes obtenidas en el ensayo, se realizaron 35 mediciones, empezando en 1kV hasta los 35kV. La corriente máxima pico alcanzada tiene un valor de un semiciclo positivo 1,09299 mA.

TABLA 30. Variación de voltaje y corriente calzado nuevo izquierdo (C. Normales)

Voltaje rms (kV)	Corriente rms (mA)	Corriente Pico Máximo (mA)	Tiempo (s)
1	0,017818439	-0,029301	60
2	0,033824478	-0,053044	60
3	0,051401558	-0,078661	60
4	0,066611052	-0,101253	60
5	0,084835573	-0,128055	60
6	0,101074411	-0,151699	60
7	0,118985989	-0,177843	60
8	0,13603718	-0,202901	60
9	0,152010705	-0,226480	60
10	0,168761847	-0,250947	60
11	0,186397503	-0,277321	60
12	0,199147312	-0,296131	60
13	0,218792798	-0,325234	60
14	0,234068429	-0,348221	60
15	0,253762695	-0,377982	60
16	0,283822198	-0,402679	60
17	0,287016827	-0,429382	60
18	0,302695745	-0,453552	60
19	0,321414714	-0,482064	60
20	0,340265194	-0,511660	60
21	0,363497237	-0,548459	60
22	0,374872668	-0,571676	60
23	0,402777864	-0,628995	60
24	0,408350092	-0,635572	60
25	0,427599056	0,644917	60
26	0,436611479	0,662906	60
27	0,458195881	0,697466	60
28	0,467086671	0,725882	60
29	0,48569322	0,750744	60
30	0,501020394	0,795312	60
31	0,521554121	0,829879	60
32	0,544745514	0,897679	60
33	0,571333915	0,929875	60
34	0,612568372	1,075920	60
35	0,64824736	1,099377	60

La corriente rms mínima conforme a la TABLA 30 es de $0,0178184439 \text{ mA}$ y su corriente máxima es de $0,64824736 \text{ mA}$, lo que implica que no supera el límite establecido por la normativa correspondiente. El comportamiento característico de la corriente frente a la variación de voltaje se visualiza en la Figura 86.

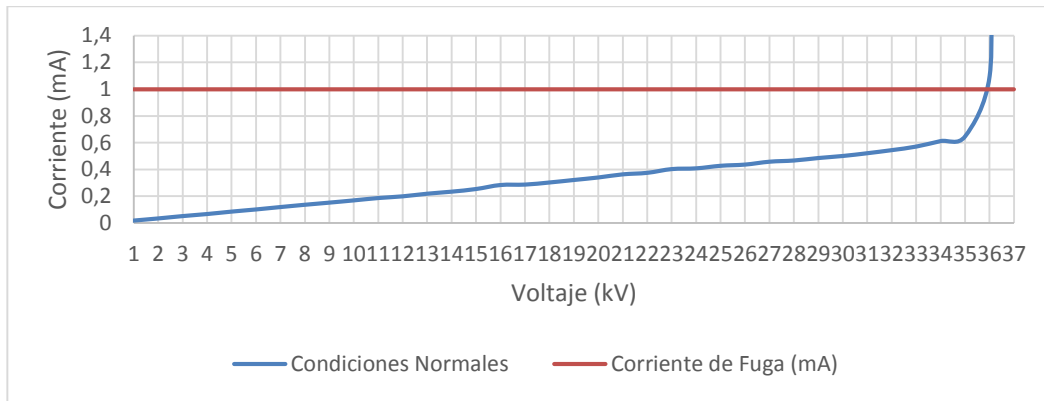


Figura 86. Variación de Voltaje frente a la Corriente calzado nuevo izquierdo (C. Normales)

3.1.10.4 Análisis de Forma de Onda de Corriente Calzado Nuevo Izquierdo

La corriente máxima presentada tiene un valor de $-0,029301 \text{ mA}$ en 60 segundos, Figura 87 a), no presenta distorsiones producidas por descargas parciales, Figura 87 b). La Figura 87 c) representa la corriente de ensayo con un voltaje de 35 kV , en la Figura 87 d) la corriente de pico máximo de $1,099337 \text{ mA}$, obteniendo una corriente rms medida con la corriente de pico máximo de $0,64824736 \text{ mA}$.

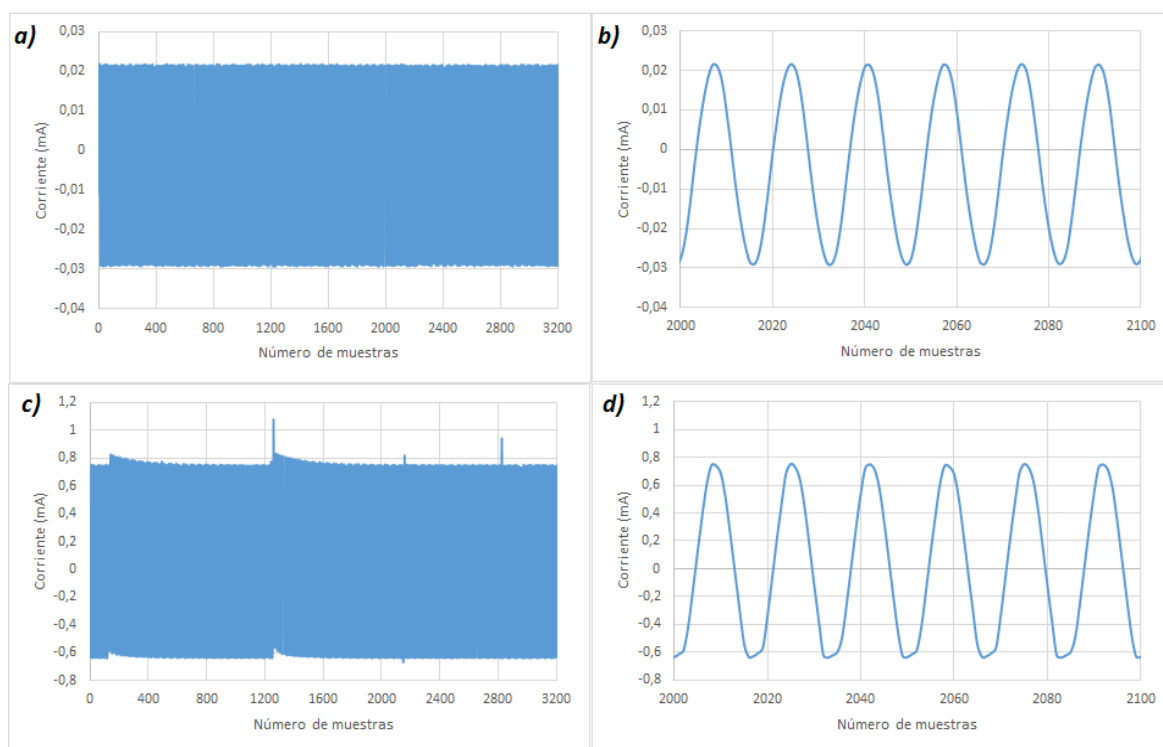


Figura 87. Onda de Corriente (calzado nuevo izquierdo) a) Inicio ensayo 1kV, b) Ampliación corriente ensayo inicial, c) Final ensayo 35kV y d) Ampliación de corriente ensayo final

3.1.11 Calzado Nuevo Condiciones Viscosas

Para los ensayos en condiciones viscosas se utilizó aceite dieléctrico de transformador el mismo que fue depositado en la placa metálica, para luego sumergir el calzado nuevo (Figura 24) aplicando el mismo mecanismo y circuito del calzado dado de baja (Figura 50).

3.1.11.1 Ensayo Calzado Nuevo Derecho

La TABLA 31 se registran los valores de las corrientes obtenidas en el ensayo, se realizaron 38 mediciones, empezando en 1kV hasta los 38kV. La corriente máxima pico alcanzada tiene un valor de un semiciclo positivo 1,081755 mA.

TABLA 31. Variación de voltaje y corriente calzado nuevo derecho (C. Viscosas)

Voltaje rms (kV)	Corriente rms (mA)	Corriente Pico Máximo (mA)	Tiempo (s)
1	0,01702	-0,029514	60
2	0,03304	-0,051449	60
3	0,05315	-0,084498	60
4	0,06545	-0,099724	60
5	0,08533	-0,128038	60
6	0,09901	-0,149940	60
7	0,11733	-0,177991	60

8	0,12921	-0,200780	60
9	0,14073	-0,224030	60
10	0,15460	-0,249121	60
11	0,17057	-0,276153	60
12	0,19123	-0,297002	60
13	0,20290	-0,323541	60
14	0,22843	-0,346955	60
15	0,24621	-0,376617	60
16	0,26885	-0,400689	60
17	0,27781	-0,424071	60
18	0,29938	-0,446400	60
19	0,31624	-0,482442	60
20	0,32003	-0,508750	60
21	0,35815	-0,547357	60
22	0,36924	-0,567976	60
23	0,39797	-0,611155	60
24	0,39117	-0,617995	60
25	0,41300	0,638357	60
26	0,43092	0,675156	60
27	0,44073	0,703438	60
28	0,45347	0,736357	60
29	0,46978	0,738692	60
30	0,48625	0,777826	60
31	0,49168	0,812323	60
32	0,50329	0,828405	60
33	0,52659	0,849090	60
34	0,54565	0,881208	60
35	0,57688	0,898321	60
36	0,60556	0,949229	60
37	0,62903	1,051830	60
38	0,64048	1,081755	60

La corriente mínima rms es de 0,01702 mA y su corriente máxima rms es de 0,64048 mA (Ver Figura 88). Hasta este voltaje se puede apreciar que la corriente no supera lo establecido en la norma.

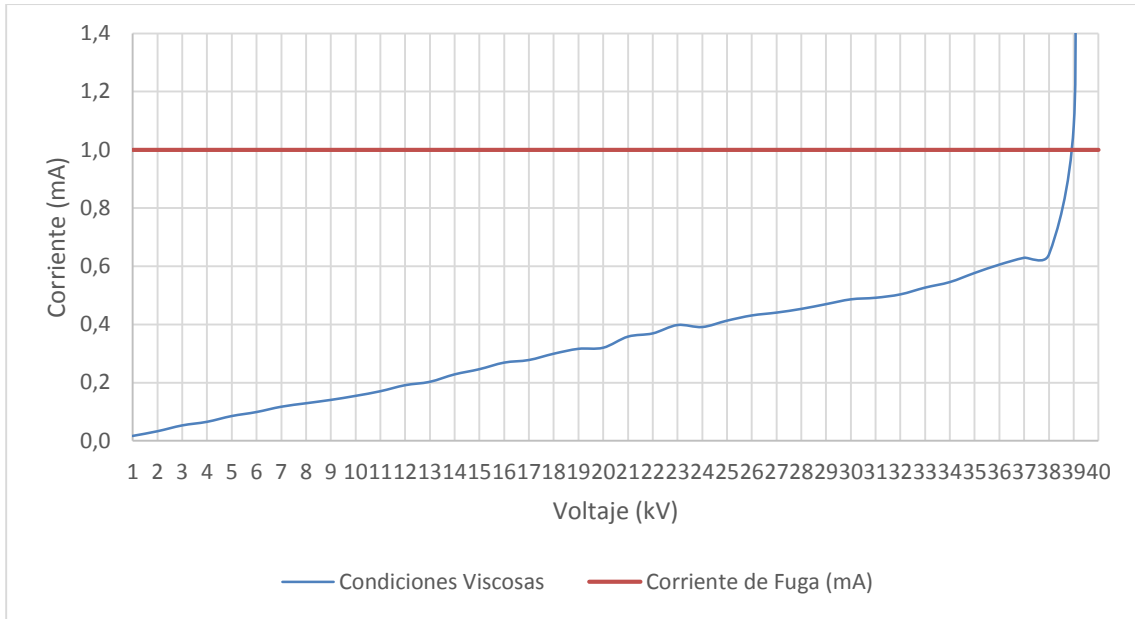


Figura 88. Variación de Voltaje frente a la Corriente (calzado nuevo derecho)

3.1.11.2 Análisis De Forma De Onda De Corriente Calzado Nuevo

La corriente máxima pico tiene un valor de $-0,029514 \text{ mA}$ en 60 segundos, Figura 89 a), no presenta distorsiones producidas por descargas parciales, Figura 89 b). La Figura 89 c) representa la corriente de ensayo con un voltaje de 38 kV , en la Figura 89 d) la corriente de pico máxima de $1,088220 \text{ mA}$ y una corriente de pico mínima de $0,64015700 \text{ mA}$.

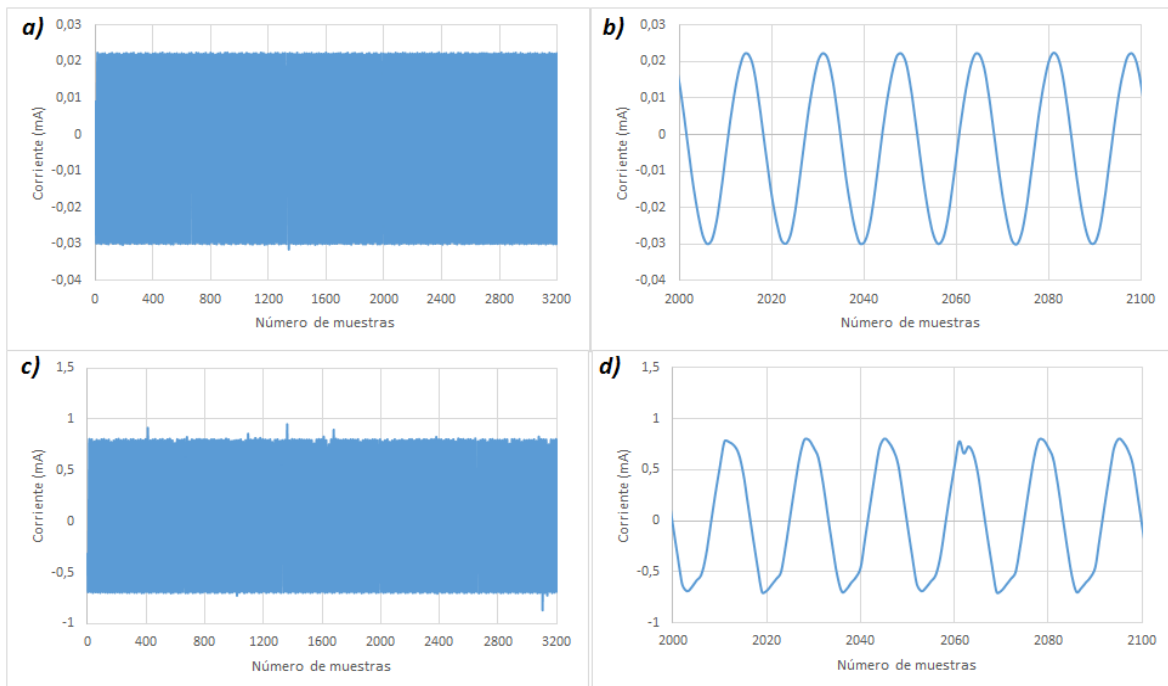


Figura 89. Onda de Corriente (calzado nuevo derecho) a) Inicio ensayo 1 kV , b) Ampliación corriente ensayo inicial, c) Final ensayo 38 kV y d) Ampliación de corriente ensayo final

3.1.11.3 Ensayo Calzado Nuevo Izquierdo

En la TABLA 32 se registran los valores de las corrientes obtenidas en el ensayo, se realizaron 37 mediciones, empezando en 1kV hasta los 37kV. La corriente máxima pico alcanzada tiene un valor de un semiciclo positivo 1,094477 mA.

TABLA 32. Variación de voltaje y corriente calzado nuevo izquierdo (C. Viscosas)

Voltaje rms (kV)	Corriente rms (mA)	Corriente Pico Máximo (mA)	Tiempo (s)
1	0,01701623	-0,026851	60
2	0,03292233	-0,050594	60
3	0,05003060	-0,076211	60
4	0,06483444	-0,098803	60
5	0,08229926	-0,125605	60
6	0,09837861	-0,149249	60
7	0,11015962	-0,175393	60
8	0,12905620	-0,200451	60
9	0,14421002	-0,224030	60
10	0,16052718	-0,248497	60
11	0,17683220	-0,274871	60
12	0,18892773	-0,293681	60
13	0,20756507	-0,322784	60
14	0,22205681	-0,345771	60
15	0,24934262	-0,375532	60
16	0,26966464	-0,400229	60
17	0,28041453	-0,426932	60
18	0,29033571	-0,451102	60
19	0,31446965	-0,479614	60
20	0,33780115	-0,509210	60
21	0,35644185	-0,546009	60
22	0,37048262	-0,569226	60
23	0,39505695	-0,626545	60
24	0,40131810	-0,633122	60
25	0,41030523	0,642467	60
26	0,42496641	0,660456	60
27	0,44135349	0,692566	60
28	0,45108156	0,723432	60
29	0,47339519	0,748294	60
30	0,48990739	0,790412	60
31	0,50764350	0,822529	60
32	0,52011137	0,837891	60
33	0,54147374	0,850009	60
34	0,57133391	0,871016	60
35	0,61371107	0,927425	60
36	0,63483626	1,073470	60
37	0,65861525	1,094477	60

La corriente rms mínima es de $0,01701623 \text{ mA}$ y la corriente rms máxima de $0,65861525 \text{ mA}$, tal como se observa en la Figura 90.

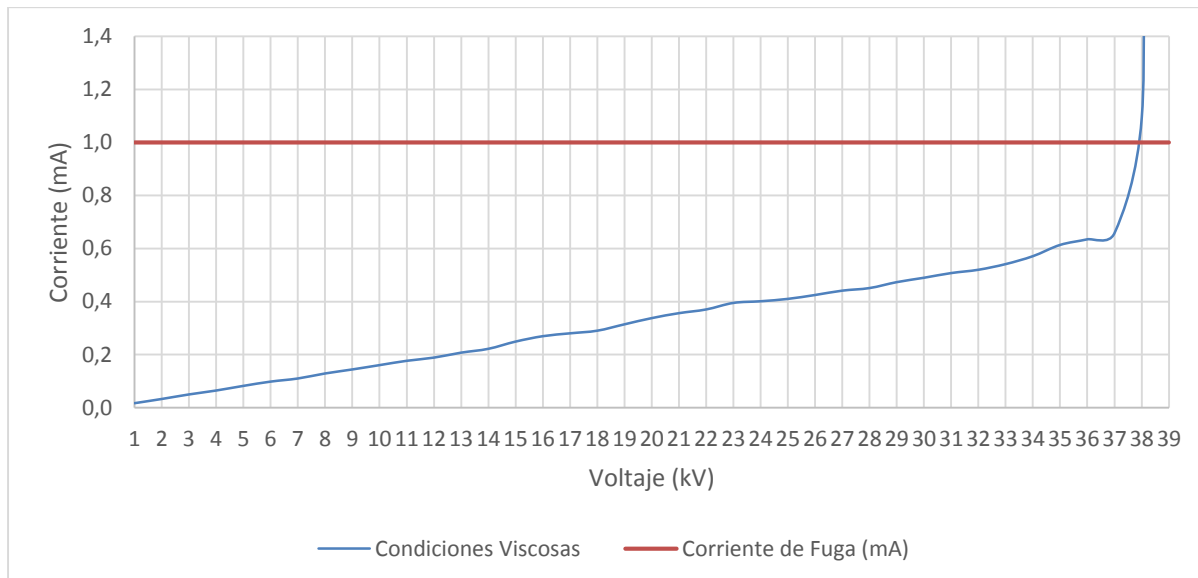


Figura 90. Variación de Voltaje frente a la Corriente calzado nuevo izquierdo (C. Viscosas)

3.1.11.4 Análisis de Forma de Onda de Corriente Calzado Nuevo Izquierdo

La corriente máxima presentado un valor de $-0,026851 \text{ mA}$ en 60 segundos, Figura 91 a), no presenta distorsiones producidas por descargas parciales, Figura 91 b). La Figura 91 c) representa la corriente de ensayo con un voltaje de 37 kV , en la Figura 91 d) la corriente de pico máximo de $1,094477 \text{ mA}$, obteniendo una corriente rms medida con la corriente de pico máximo de $0,65861525 \text{ mA}$.

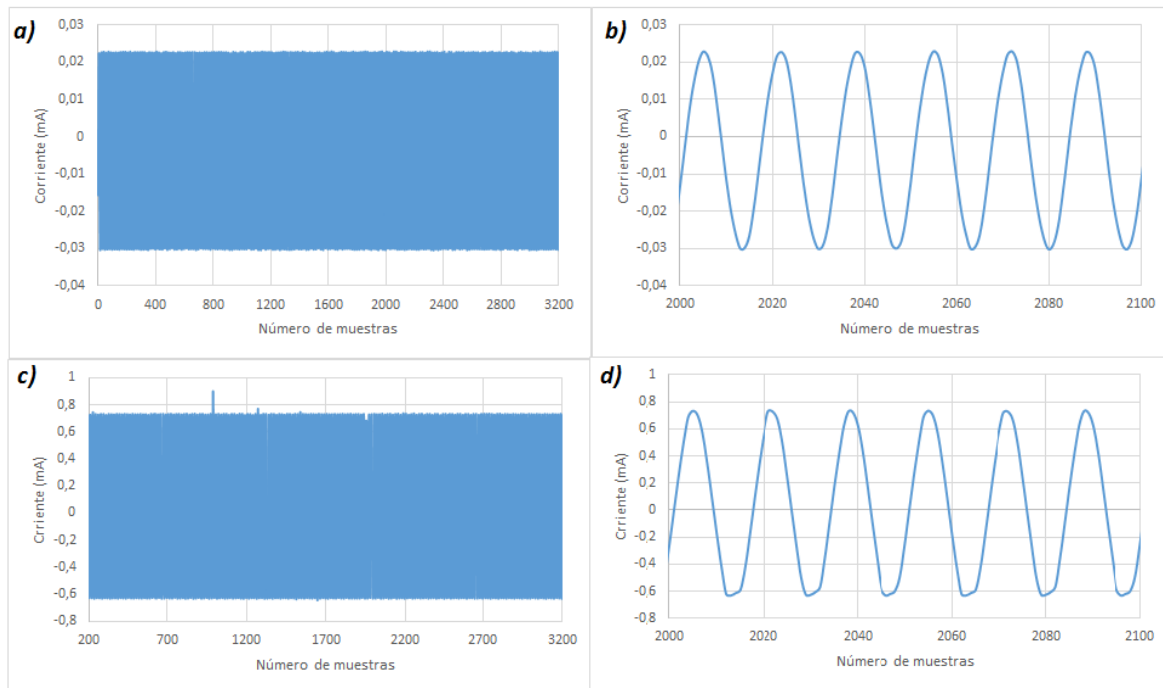


Figura 91. Onda de Corriente (calzado nuevo izquierdo) a) Inicio ensayo 1kV, b) Ampliación corriente ensayo inicial, c) Final ensayo 37kV y d) Ampliación de corriente ensayo final.

3.1.12 Calzado Nuevo Condiciones Húmedas

Este ensayo aplica el mismo circuito que en los datos de baja (ver Figura 55), La modificación que presenta este ensayo es el cambio de calzado dado de baja (Figura 27) por un calzado nuevo (Figura 24).

3.1.12.1 Ensayo Calzado Nuevo Derecho

La TABLA 33 se registran los valores de las corrientes obtenidas en el ensayo, se realizaron 29 mediciones, empezando en 1kV hasta los 29kV. La corriente máxima pico alcanzada tiene un valor de un semiciclo positivo 1,09943 mA.

TABLA 33. Variación de voltaje y corriente calzado nuevo derecho (C. Húmedas)

Voltaje rms (kV)	Corriente rms (mA)	Corriente Pico Máximo (mA)	Tiempo (s)
1	0,01843193	-0,028643	60
2	0,03555418	-0,055477	60
3	0,05642852	-0,076063	60
4	0,07104921	-0,101484	60
5	0,08752640	-0,127857	60
6	0,10773593	-0,156369	60
7	0,12107152	-0,181362	60

8	0,14039484	-0,210169	60
9	0,15766289	-0,235589	60
10	0,17180494	-0,256143	60
11	0,18858389	-0,281431	60
12	0,20750992	-0,310271	60
13	0,22418558	-0,335034	60
14	0,23817895	-0,356113	60
15	0,25650294	-0,384132	60
16	0,274998599	-0,413432	60
17	0,292970212	-0,440069	60
18	0,309706877	-0,466114	60
19	0,329987046	-0,501597	60
20	0,345515426	-0,521822	60
21	0,370036365	0,613281	60
22	0,389954959	0,636466	60
23	0,413609694	0,690923	60
24	0,442167362	0,726601	60
25	0,523179478	0,793144	60
26	0,542511847	0,837712	60
27	0,576701104	0,966167	60
28	0,615292401	1,07615	60
29	0,648924277	1,09943	60

La corriente rms mínima es de 0,01843193 mA y su corriente en los 29 kV es de 0,6489247 mA. Hasta este voltaje se puede apreciar que la corriente no supera lo establecido en la norma de estudio (Figura 92).

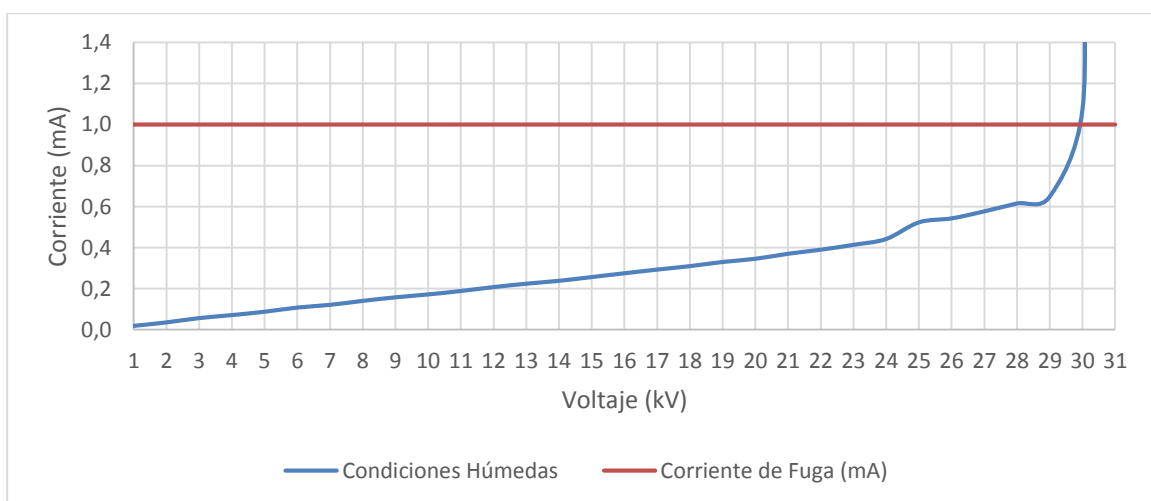


Figura 92. Variación de Voltaje frente a la Corriente (calzado nuevo derecho)

3.1.12.2 Análisis De Forma De Onda De Corriente Calzado Nuevo Derecho

La corriente pico mínima del ensayo es de $-0,028643 \text{ mA}$ en 60 segundos como se observa en la Figura 93 a), la forma de onda ampliada (Figura 93 b) muestra el comportamiento de la forma de onda de la corriente sin perturbaciones. La Figura 93 c) representa la corriente de ensayo con un voltaje de 29 kV y en la Figura 93 d) se realiza una ampliación donde se puede apreciar que existe una forma de onda sinusoidal con distorsiones y supera la corriente de pico máximo de $1,09943 \text{ mA}$, obteniendo una corriente rms de $0,648924277 \text{ mA}$.

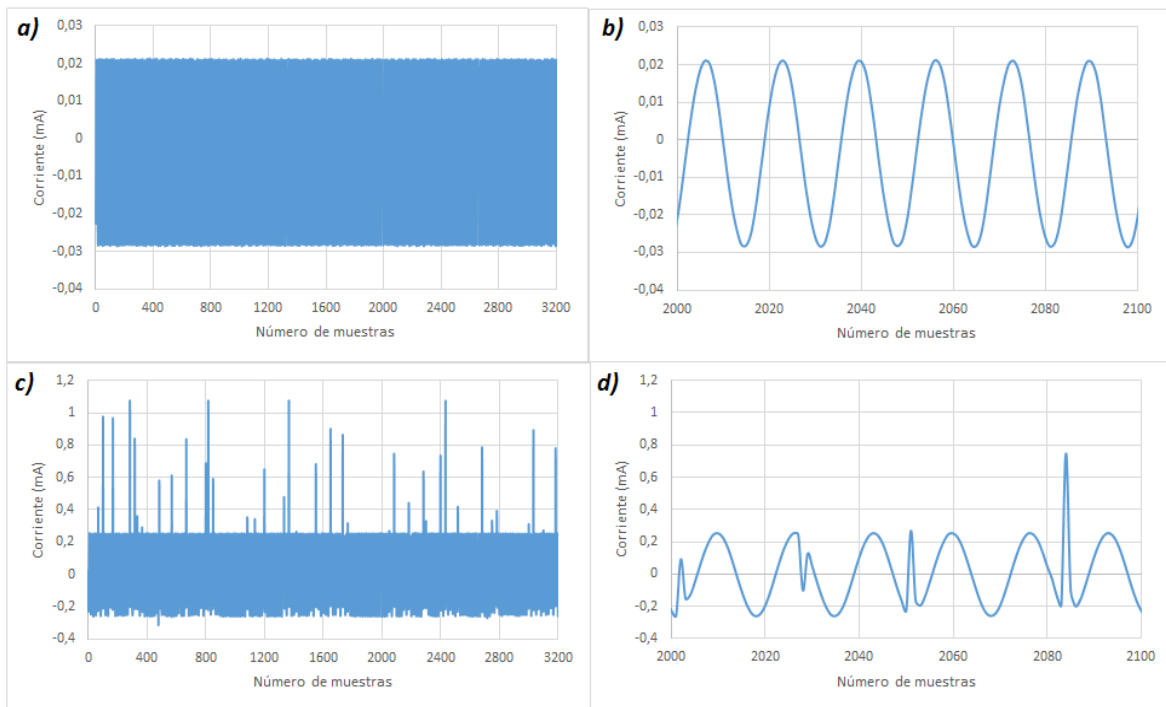


Figura 93. Onda de Corriente (calzado nuevo derecho) a) Inicio ensayo 1 kV , b) Ampliación corriente ensayo inicial, c) Final ensayo 29 kV y d) Ampliación de corriente ensayo final

3.1.12.3 Ensayo Calzado Nuevo Izquierdo

La TABLA 34 se registran los valores de las corrientes obtenidas en el ensayo, se realizaron 26 mediciones, empezando en 1 kV hasta los 26 kV . La corriente máxima pico alcanzada tiene un valor de un semiciclo positivo $1,09509 \text{ mA}$.

TABLA 34. Variación de voltaje y corriente (calzado nuevo izquierdo) (C. Húmedas)

Voltaje rms (kV)	Corriente rms (mA)	Corriente Pico Máximo (mA)	Tiempo (s)
1	0,018256236	-0,028840	60
2	0,03507112	-0,054655	60

3	0,049602191	-0,075932	60
4	0,067148771	-0,100234	60
5	0,085185708	-0,126147	60
6	0,105168831	-0,157355	60
7	0,121698927	-0,181954	60
8	0,139249893	-0,207505	60
9	0,156584856	-0,232991	60
10	0,173348793	-0,257688	60
11	0,187815522	-0,279951	60
12	0,206239450	-0,311061	60
13	0,222924625	-0,333456	60
14	0,239478936	-0,352463	60
15	0,260257092	-0,379330	60
16	0,289183354	-0,408894	60
17	0,299681898	-0,434873	60
18	0,309538895	-0,464569	60
19	0,334046683	-0,489496	60
20	0,351429500	0,570332	60
21	0,374118643	0,661327	60
22	0,481466000	0,769752	60
23	0,527419578	0,827587	60
24	0,572066852	0,922274	60
25	0,613112805	1,07681	60
26	0,645792995	1,09509	60

La corriente rms mínima es de 0,018256236 mA y su corriente en los 26 kV es de 0,645792995 mA, para corroborar este suceso ver la Figura 94.

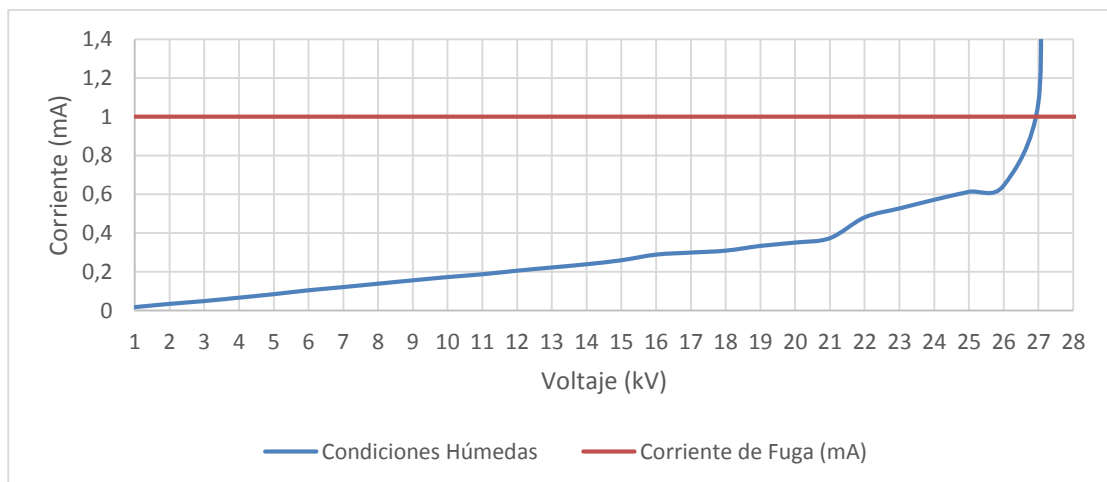


Figura 94. Variación de Voltaje frente a la Corriente calzado nuevo izquierdo (C. Húmedas)

3.1.12.4 Análisis de Forma de Onda de Corriente Calzado Nuevo Izquierdo

La corriente máxima durante tiene un valor de $-0,028840 \text{ mA}$ en 60 seg , Figura 95 a), no presenta distorsiones producidas por descargas parciales, Figura 95 b). La Figura 95 c) representa la corriente de ensayo con un voltaje de 26 kV y en la Figura 95 d) se realiza una ampliación donde se puede apreciar que existe una forma de onda sinusoidal con distorsiones y supera la corriente de pico máximo de $1,09509 \text{ mA}$, obteniendo una corriente rms medida con la corriente de pico máximo de $0,645792995 \text{ mA}$.

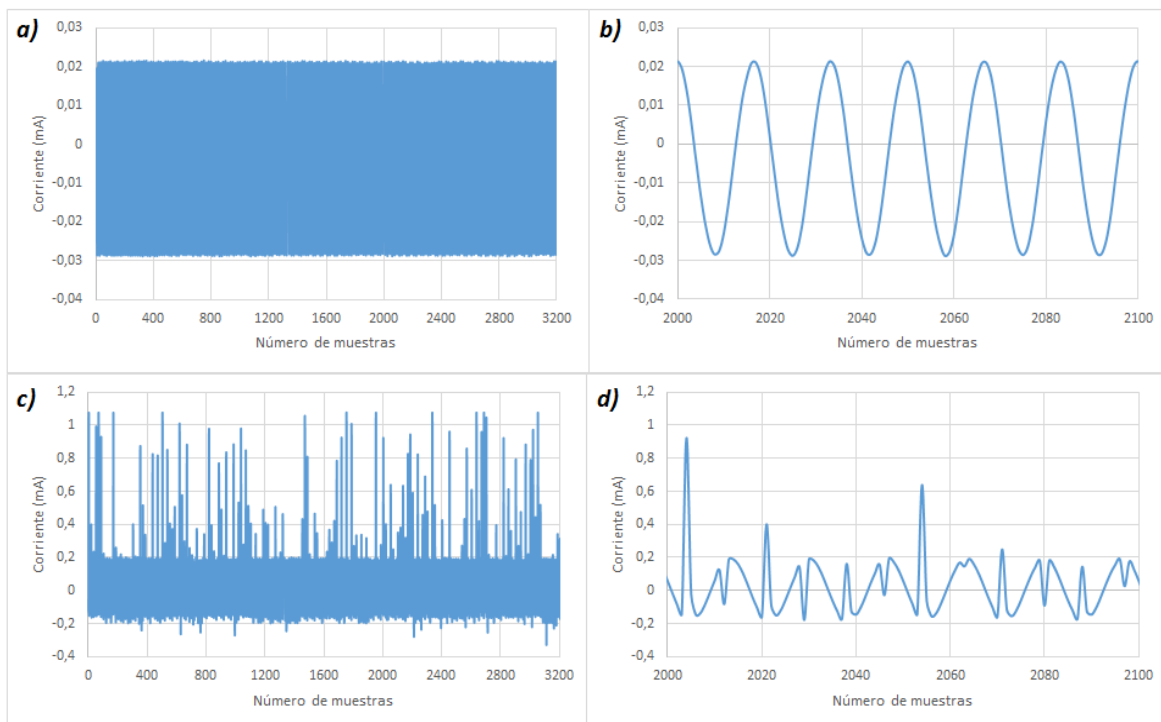


Figura 95. Onda de Corriente (calzado nuevo izquierdo) a) Inicio ensayo 1 kV , b) Ampliación corriente ensayo inicial, c) Final ensayo 26 kV y d) Ampliación de corriente ensayo final

3.2 ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO GENERAL DE LA CORRIENTE RMS DE ACUERDO CON EL ESTADO DEL CALZADO.

En esta sección se pretende dar a conocer cómo se comporta la corriente en los 3 escenarios de ensayo (Condiciones Normales, Húmedas y Viscosas), pudiendo visualizar el voltaje de ruptura de cada calzado y además se realiza una comparación de los ensayos realizados con el propósito de analizar el deterioro del material aislante.

3.2.1 Comportamiento de la Corriente RMS en los Calzados: Dado de Baja, Medio Usos y Nuevos Ensayo en Condiciones Normales.

De acuerdo a las normativas ASTM 2413-11 y 2412-11, establecen que las pruebas dieléctricas se realizan con calzados nuevos en condiciones normales, los mismos que soportan un voltaje $18kV_{RMS}$ durante 60 s, donde no exista una corriente de fuga superior a $1mA_{RMS}$, cumpliendo estas condiciones el calzado puede ser utilizado sin ningún problema.

Se escogerá las corrientes rms más significantes, en casos en los que la corriente eléctrica pico máxima se eleva hasta superar la corriente que establecen las normas ASTM.

La TABLA 35 visualiza todos los ensayos derechos, los valores de la corriente no superan $1mA$ con un voltaje de $18kV$ durante un tiempo de 60seg. Los zapatos de medio uso (1) y (2) llegan hasta un voltaje de $19kV$, Mientras que el calzado nuevo alcanza un voltaje de $36kV$.

TABLA 35. Variación de voltaje y corriente (Condiciones Normales Derecho)

Voltaje rms (kV)	Calzado Nuevo DERECHO	Calzado Medio Uso DERECHO (1)	Calzado Medio USO DERECHO (2)	Calzado Dado de Baja DERECHO
	Corriente rms (mA)	Corriente rms (mA)	Corriente rms (mA)	Corriente rms (mA)
1	0,017829	0,01826	0,01877	0,01909
5	0,086440	0,08891	0,09407	0,09340
10	0,168964	0,17513	0,18461	0,18895
15	0,254299	0,35048	0,30845	0,28312
18	0,300230	0,49566	0,52413	0,60646
19	0,321797	0,51003	0,60219	
20	0,339116	0,56202		
21	0,361683	0,62836		
25	0,426558			
30	0,499576			
36	0,641833			

La TABLA 36 registran las corrientes tomadas en los ensayos realizados a los calzados izquierdos, según estos datos se puede visualizar que el calzado izquierdo dado de baja no supera el ensayo, la corriente en los $16kV$ supera a la corriente que establece la normativa ASTM. Los zapatos de medio uso (1) y (2) llegan hasta un voltaje de $20kV$, mientras que el calzado nuevo alcanza un voltaje de $35kV$.

TABLA 36. Variación de voltaje y corriente (Condiciones Normales- Calzado Izquierdo)

VOLTAJE RMS (kV)	CALZADO NUEVO IZQUIERDO	CALZADO MEDIO USO IZQUIERDO (1)	CALZADO MEDIO Uso IZQUIERDO (2)	CALZADO DADO DE BAJA IZQUIERDO
	Corriente rms (mA)	Corriente rms (mA)	Corriente rms (mA)	Corriente rms (mA)

1	0,017818	0,01779	0,02067	0,01754
5	0,084836	0,08792	0,09071	0,09185
10	0,168762	0,20444	0,17926	0,19002
15	0,253763	0,38261	0,30598	0,59259
18	0,302696	0,52585	0,52293	
19	0,321415	0,55775	0,58465	
20	0,340265	0,64403	0,65924	
21	0,363497			
25	0,427599			
30	0,501020			
35	0,648247			

En la Figura 96, se visualiza el comportamiento de la corriente rms de acuerdo con el calzado. Se puede apreciar que los calzados en medio uso están entre rangos bajos casi similares al calzado dado de baja a comparación del calzado nuevo, este ensayo se realizó en el calzado derecho.

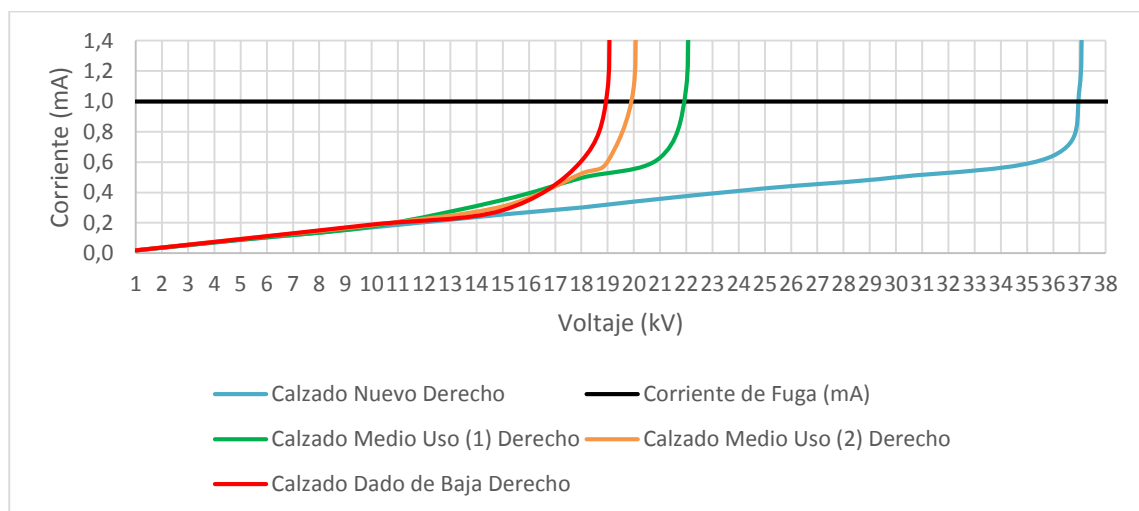


Figura 96. Ensayo final de todos los calzados (Derecho Condiciones Normales)

La Figura 97 muestra como el calzado izquierdo dado de baja no supera el ensayo y los de medio uso se encuentran en rangos bajos de resistencia a comparación del calzado nuevo en condiciones normales.

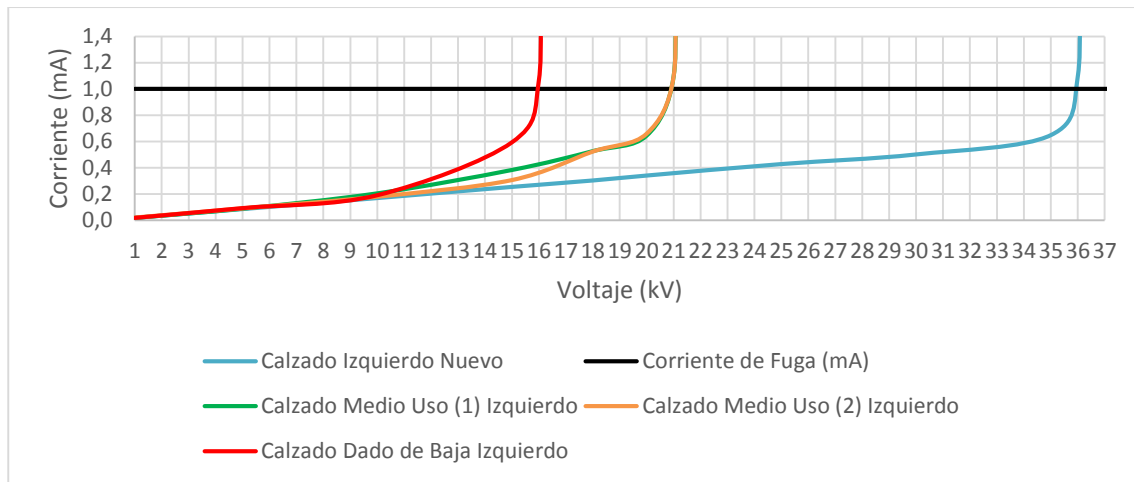


Figura 97. Ensayo final de todos los calzados (Izquierdo Condiciones Normales)

3.2.2 Comportamiento Final de la Corriente RMS en los Calzados: Dado de Baja, Medio Uso y Nuevos Ensayo en Condiciones Viscosas.

La TABLA 37 se puede obtener mejores resultados de las corrientes rms, ya que el aceite se comporta como aislante y ayuda a que el calzado pueda soportar 2 kV más de los que se obtuvieron los ensayos en el pie derecho en condiciones normales.

TABLA 37. Variación de voltaje y corriente (Condiciones Viscosas Derecho)

VOLTAJE RMS (kV)	CALZADO NUEVO DERECHO	CALZADO MEDIO USO DERECHO (1)	CALZADO MEDIO USO DERECHO (2)	CALZADO DADO DE BAJA USO DERECHO
	Corriente rms (mA)	Corriente rms (mA)	Corriente rms (mA)	Corriente rms (mA)
1	0,017016	0,01784	0,01664	0,01954
5	0,085333	0,08770	0,09220	0,09217
10	0,154600	0,17151	0,18301	0,19069
15	0,246210	0,30746	0,29325	0,28706
18	0,299381	0,37872	0,47115	0,37334
19	0,316242	0,40170	0,52269	0,417449
20	0,320025	0,44564	0,56822	0,485521
21	0,358149	0,47381	0,60122	0,594640
24	0,391175	0,64016		
29	0,486252			
35	0,576881			
38	0,640484			

Los valores registrados en la TABLA 38, demuestran que el objeto de ensayo cumple con los requisitos y especificaciones establecidas en la normativa ASTM. El aceite al ser un medio aislante incrementa la resistividad dieléctrica, lo cual implica que el calzado resista

mayores niveles de voltaje. En el ensayo en condiciones normales el calzado dado de baja no supera las especificaciones del estándar ASTM, pero en condiciones viscosas el calzado supera el ensayo debido a las propiedades del aceite como medio aislante.

TABLA 38. Variación de voltaje y corriente (Condiciones Viscosas Izquierdo)

VOLTAJE RMS (kV)	CALZADO NUEVO IZQUIERDO	CALZADO MEDIO USO IZQUIERDO (1)	CALZADO MEDIO USO IZQUIERDO (2)	CALZADO DADO DE BAJA Uso IZQUIERDO
	Corriente rms (mA)	Corriente rms (mA)	Corriente rms (mA)	Corriente rms (mA)
1	0,017016	0,01729	0,01936	0,01893
5	0,082299	0,08735	0,08901	0,07810
10	0,160527	0,19083	0,17074	0,18904
15	0,249343	0,32940	0,28205	0,35239
18	0,290336	0,40273	0,41234	0,58528
19	0,314470	0,44523	0,48244	
20	0,337801	0,47224	0,52849	
22	0,370483	0,55702	0,64727	
24	0,401318	0,64791		
29	0,473395			
35	0,613711			
37	0,658615			

En la figura 98 se visualiza el comportamiento de la corriente rms de acuerdo con el calzado, se aprecia que los calzados aumentan su resistencia al momento de realizar los ensayos correspondientes

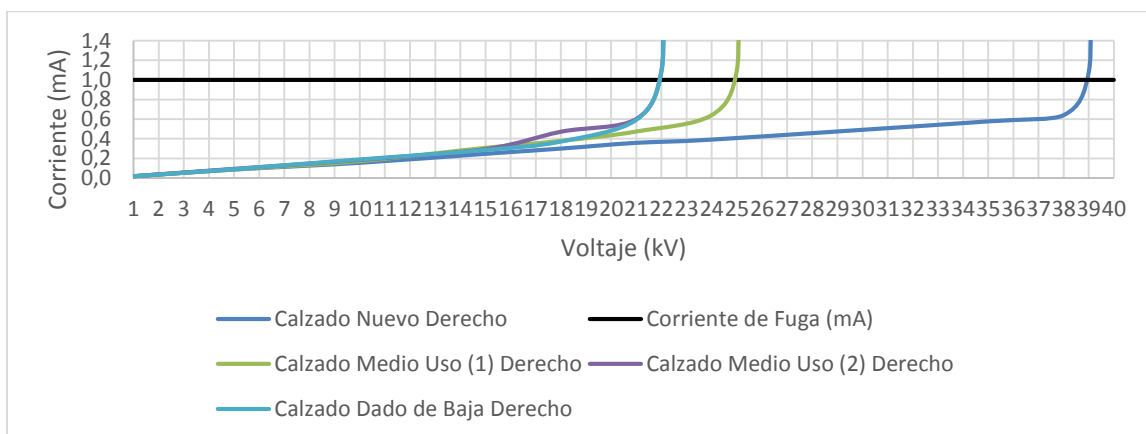


Figura 98. Ensayo final de todos los calzados (Derecho Condiciones Viscosas)

En la figura 99 se visualiza el comportamiento de la corriente rms de acuerdo con el calzado, se aprecia que los calzados aumentan su resistencia al momento de realizar los ensayos correspondientes

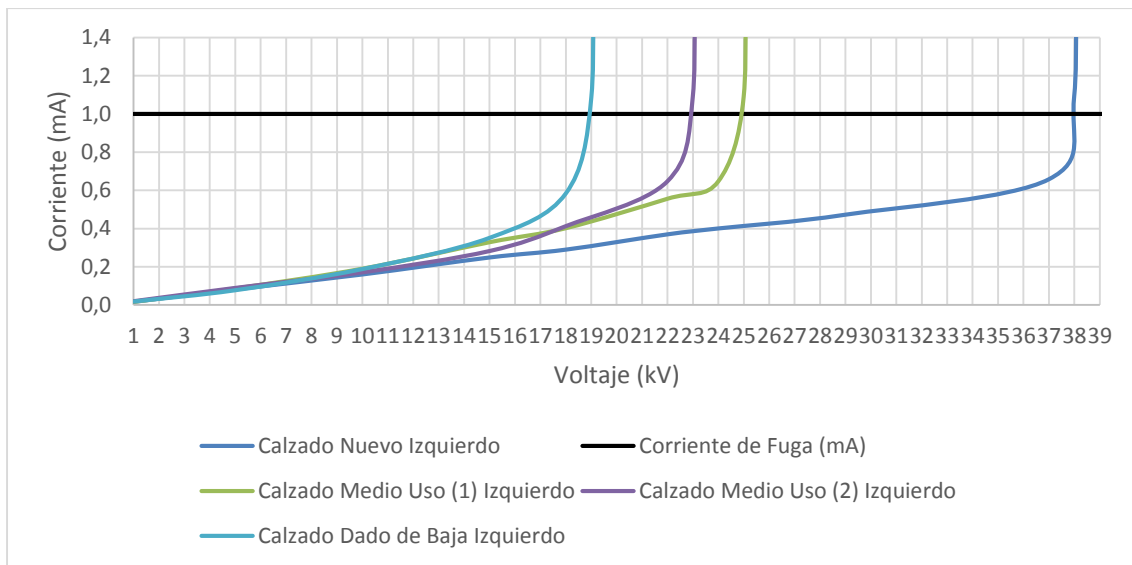


Figura 99. Ensayo final de todos los calzados (Izquierdo Condiciones Viscosas)

3.2.3 Comportamiento Final de la Corriente RMS en los Calzados: Dado de Baja, Medio Uso y Nuevos Ensayo en Condiciones Húmedas.

En condiciones húmedas los calzados de medio uso (1) (2) y los dados de baja tienden a bajar resistencia, el agua se comporta como conductor. Como se puede ver en la Tabla 39 y Tabla 40

TABLA 39. Variación de voltaje y corriente (Condiciones Húmedas Derecho)

VOLTAJE RMS (kV)	CALZADO NUEVO DERECHO	CALZADO MEDIO Uso DERECHO (1)	CALZADO MEDIO Uso DERECHO (2)	CALZADO DADO DE BAJA Uso DERECHO
	Corriente rms (mA)	Corriente rms (mA)	Corriente rms (mA)	Corriente rms (mA)
1	0,01843	0,01852	0,01840	0,02263
5	0,08753	0,08830	0,09069	0,09903
10	0,17180	0,25077	0,28499	0,20207
12	0,20751	0,35464	0,45369	0,25125
14	0,23818	0,50154		0,40521
16	0,27500	0,62208		
18	0,30971			
24	0,44217			
26	0,54251			
29	0,64892			

TABLA 40. Variación de voltaje y corriente (Condiciones Húmedas Izquierdo)

VOLTAJE RMS (kV)	CALZADO NUEVO DERECHO	CALZADO MEDIO USO DERECHO (1)	CALZADO MEDIO USO DERECHO (2)	CALZADO DADO DE BAJA USO DERECHO
	Corriente rms (mA)	Corriente rms (mA)	Corriente rms (mA)	Corriente rms (mA)
1	0,0183	0,0182	0,0212	0,0196
5	0,0852	0,0887	0,1078	0,1009
8	0,1392	0,1335	0,2150	0,2836
10	0,1733	0,2596	0,3098	
14	0,2395	0,5569	0,5042	
15	0,2603	0,6226		
18	0,3095			
22	0,4815			
26	0,6458			

En la Figura 100 y Figura 101 se visualiza el comportamiento de la corriente rms de acuerdo con el calzado, disminuyen su resistencia al momento de realizar los ensayos correspondientes, esto también sucede con el calzado nuevo el agua provoca que disminuya su resistencia.

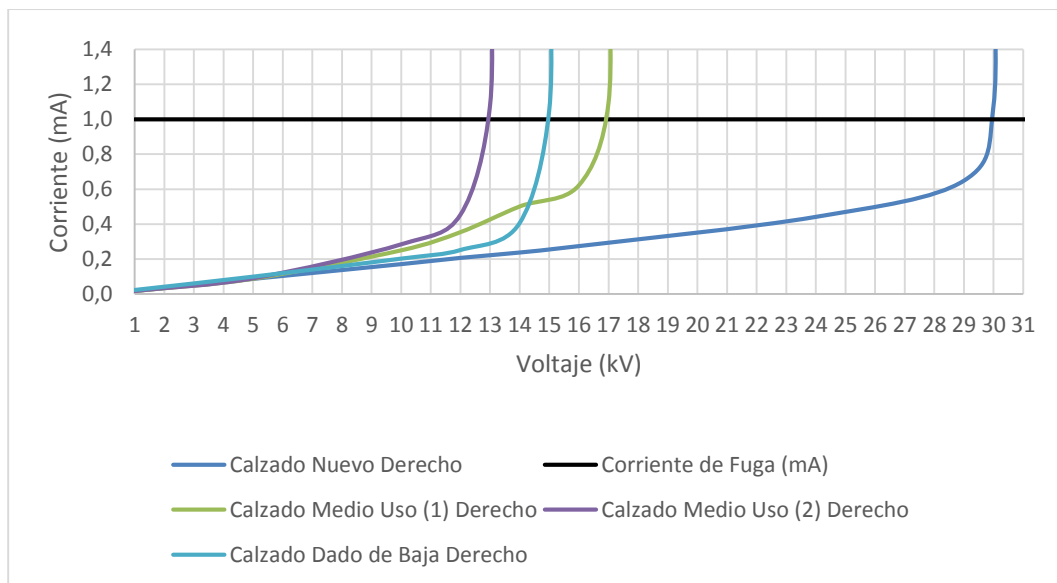


Figura 100. Ensayo final de todos los calzados (Derecho Condiciones Húmedas)

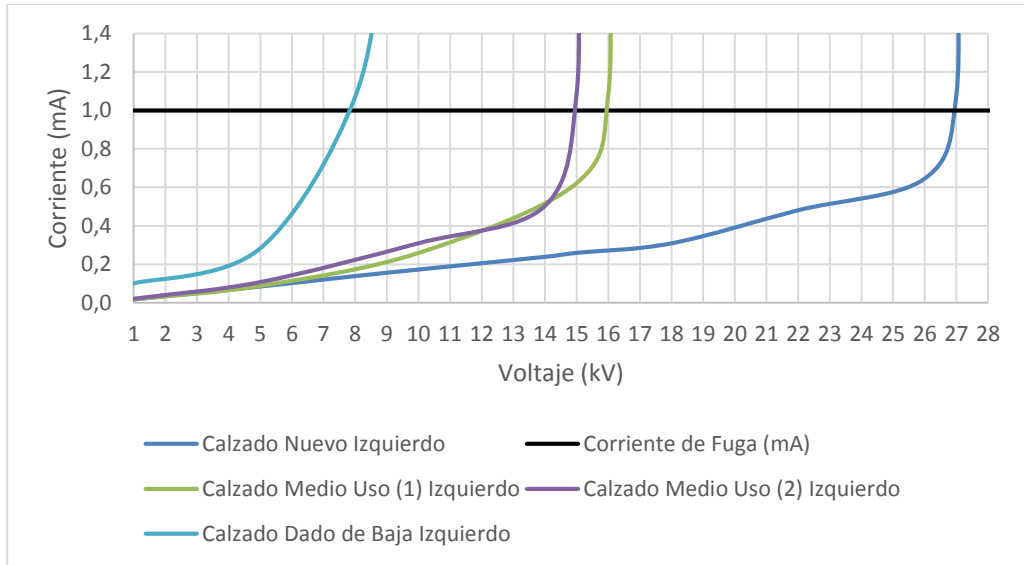


Figura 101. Ensayo final de todos los calzados (Izquierdo Condiciones Húmedas)

CAPÍTULO 4: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Para los ensayos en los calzados dieléctricos en la ciudad de Cuenca, es importante considerar los factores de corrección atmosféricos debido a que la altura sobre el nivel del mar supera los 1000 msnm. Para determinar el voltaje de prueba corregido es necesario multiplicar el voltaje de prueba asignado en la normativa ASTM F2412-11 por un factor de corrección igual a 0,7438 mA, obtenido como resultado un voltaje igual a 13,3888 kV.

Los factores que influyen en el comportamiento de la resistencia dieléctrica de la suela del calzado son principalmente el agua, su desgaste y el aceite. El agua al ser considerado como un conductor ocasiona la pérdida de las propiedades dieléctricas del material aislante. El desgaste ocasiona pérdidas de propiedades dieléctricas a causa de posibles fisuras o agotamiento del material dieléctrico de su suela. Finalmente, el aceite al ser considerado como un dieléctrico incrementa el grado de resistividad dieléctrica de un elemento.

De acuerdo con las normativas ASTM F2412-11 Y F2413-11, el calzado debe garantizar al usuario un alto grado de protección, con la capacidad de aislarlo de manera que el flujo de corrientes por el pie no supere el umbral de percepción, cuando este entre en contacto en zonas eléctricamente activas.

En el país los colaboradores del área eléctrica de las empresas de generación, transmisión y distribución dan un mal uso del equipo de protección personal (calzado dieléctrico), poniendo en riesgo su integridad física, debido a que prolongan el tiempo de uso hasta que este presente un alto grado de deterioro. Debido a que las entidades encargadas del área de seguridad no dan cumplimiento con las normativas establecidas aplicadas a calzado dieléctrico, realizando ensayos de prueba dieléctrica semestrales al calzado tal como lo estipulado en las normativas ASTM F2413-11 y F2412-11.

Al llevar a cabo los ensayos en condiciones normales, se visualizó que, en el calzado nuevo, medio uso (1) y (2) existe un arco eléctrico: en el primer caso entre los 36 – 40 kV y en el segundo en un rango de voltajes entre los 20 – 25 kV, debido a que la punta de estos calzados es de acero. Para el caso del calzado dado de baja (punta de policarbonato) este efecto no se presencia, aunque se escucho el zumbido de la ionización del aire en un rango de voltajes comprendido entre los 19 – 22 kV. La principal ventaja del calzado con punta de

policarbonato es que evita la formación de arcos eléctricos, razón por la cual es recomendable para laborar en áreas de mayor riesgo eléctrico.

En el caso de los ensayos desarrollados en condiciones húmedas en todos los tipos de calzados, la resistividad dieléctrica de la suela disminuye ya que el agua es considerada como un conductor. Esto implica que el trabajador eléctrico debe tomar mayor precaución cuando realiza labores en zonas con alto nivel de energización, ya que el voltaje soportado en estas condiciones por el calzado disminuye aproximadamente en un rango de 19 a 27 % del voltaje de ensayo en condiciones normales.

El aceite al ser considerado como un aislante regenerativo y de alta constante dieléctrica, eleva el grado de aislamiento aproximadamente de un 6 a 8 % al objeto de ensayo, acorde con los resultados obtenidos en el desarrollo de este documento. Razón por la cual no significa una amenaza para el operario cuando este realice operaciones de mantenimiento u labores en áreas con riesgo eléctrico.

Conforme con la normativa de seguridad industrial vigente en el país, se sugiere que exista la vinculación de empresas privadas y públicas del sector eléctrico con la Universidad Politécnica Salesiana (Sede Cuenca), con el propósito de que esta institución pueda validar el cumplimiento establecido por la normativa vigente en calzado dieléctrico, ya que esta posee un laboratorio con equipo e instrumentación adecuado.

Se sugiere continuar con el análisis de equipos de protección restantes tales como: cascos, mangas y pértigas

LISTA DE REFERENCIAS

- [1] I. Corporación Eléctrica del Ecuador (CELEC EP), “Glorario de Terminos Sistema Eléctrico Ecuatoriano,” *Zhurnal Eksp. i Teor. Fiz.*, pp. 1–7, 2010.
- [2] 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, 2018.
- [3] F. M. Quizhpi Cuesta and F. X. Gómez Juca, “Determinación de las condiciones de fuga, descargas parciales y superficiales en aisladores mediante el análisis de corrientes,” Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca, 2017.
- [4] ASTM-ANSI, “ASTM F2413-11 Especificación de la Norma para los Requisitos de Rendimiento para Calzado con Puntera Protectora (Protección).,” vol. 2, pp. 1–8, 2009.
- [5] F. Custom, “CustomFit,” 2009. [Online]. Available: http://www.customfit.me/safetyresourcecenter/HOW_TO_TELL_WHATS_IN_YOUR_BOOTS/.
- [6] W. Morton, “Standard test methods for Foot protection,” vol. i, pp. 1–17, 2008.
- [7] I. ASTM International, “Standard Test Method for Determining Dielectric Strength of Overshoe Footwear 1,” *Current*, vol. 88, no. Reapproved, pp. 1–4, 1995.
- [8] I. The Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), *IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding Std 80-2000*, vol. 2000, no. February. 2013.
- [9] B. G. Salvatierra, D. H. Dominguez, and J. A. Morales, “Analysis of electric shock human safety to residential, industrial and medium voltage levels,” *2015 IEEE Int. Autumn Meet. Power, Electron. Comput. ROPEC 2015*, pp. 1–6, 2016.
- [10] International Electrotechnical Commission, “IEC 60071.1 Insulation Coordination: part 1 definitions, principles and rules,” vol. Part 1, pp. 1–47, 2012.
- [11] M. Kisan, S. Sangathan, J. Nehru, and S. G. Pitroda, “Coordinación de aislamiento parte 1: definiciones, principios y normas,” p. 1.43, 2006.
- [12] B. M. Cabrera Rodriguez and V. M. Humala Avila, “Universidad Politécnica Salesiana Sede – Cuenca,” 2012.
- [13] N. NORMA TÉCNICA COLOMBIANA and D. G. Y. R. De, “Técnicas de ensayo a alta tensión, definiciones generales y requisitos de ensayo,” pp. 1–66, 1999.
- [14] I. International Electrotechnical Commission (IEC), “International Standard International Standard Norme Internationale,” vol. 3.0, pp. 1–19, 2010.

- [15] S. Wali and M. Areeb, “Development of Low-Cost DAQ for Power System Signals using Arduino Syed,” *2018 IEEE 21st Int. Multi-Topic Conf.*, pp. 1–5, 2018.
- [16] A. Aguirre Alonso and J. Villavicencio Vera, “DISEÑO DEL MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS PARA EL LABORATORIO DE ALTA TENSIÓN DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE GUAYAQUIL,” pp. 1–178, 2015.
- [17] T. TERCO, “HV 9000 High Voltage Modular Training Set,” pp. 2–28.

APÉNDICES

APÉNDICE A: ADQUISICIÓN DE DATOS EN LABVIEW CORRIENTE DE RUPTURA RMS

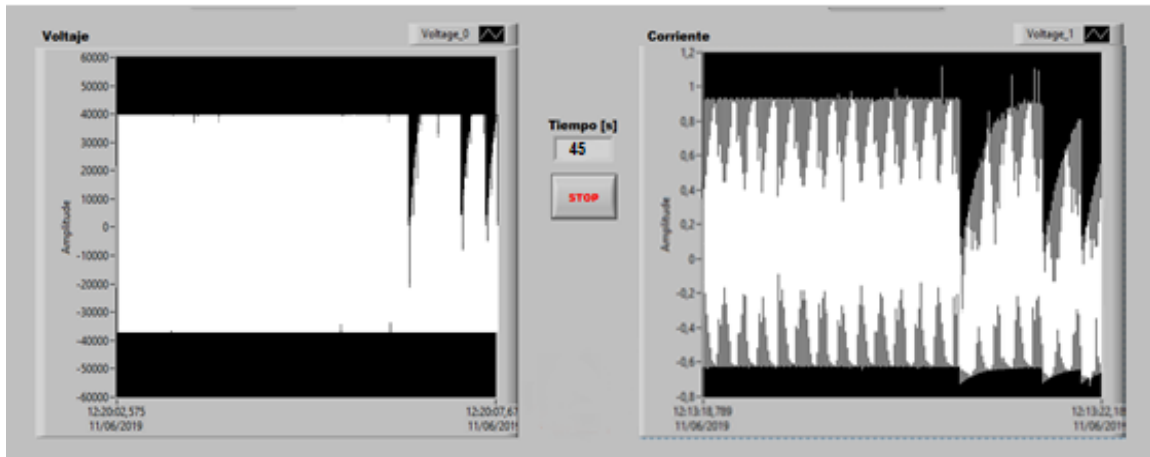


Figura 102. a) Interfaz gráfica labview: voltaje 40kV y corriente de ruptura de 1,0907714mA calzado nuevo derecho

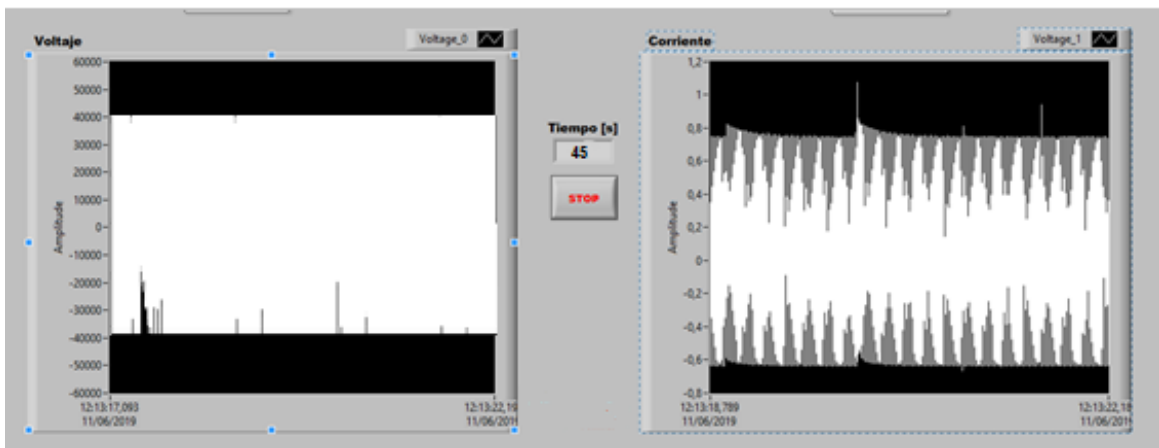


Figura 103. a) Interfaz gráfica labview: voltaje 40kV y corriente de ruptura de 1,07583 mA calzado nuevo izquierdo

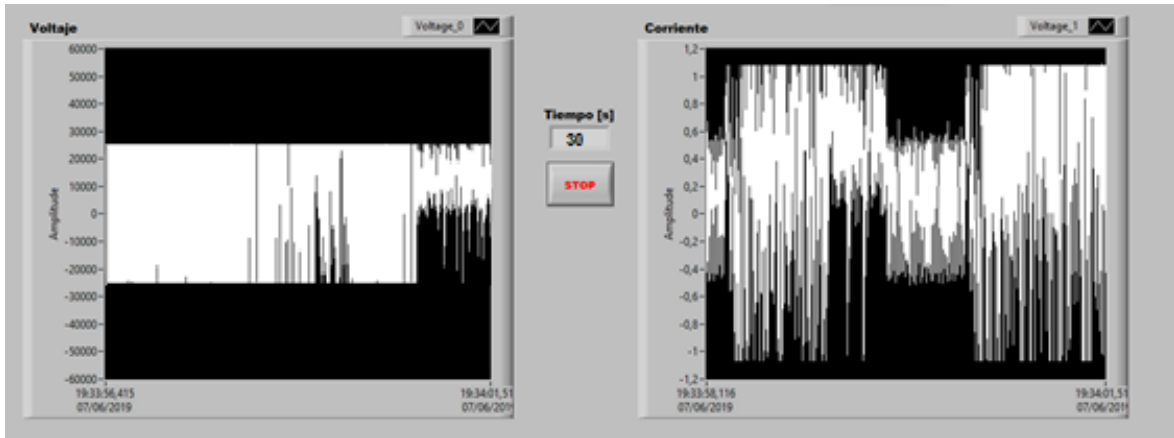


Figura 104. a) Interfaz gráfica labview: voltaje 24kV y corriente de ruptura de 1,09299 mA calzado medio uso (2) derecho

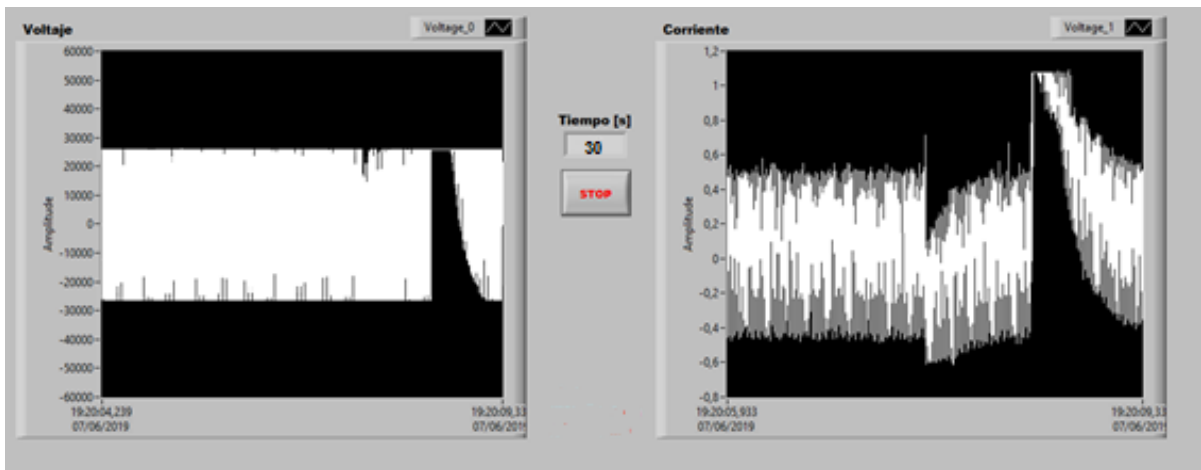


Figura 105. a) Interfaz gráfica labview: voltaje 24kV y corriente de ruptura de 1,09299 mA calzado medio uso (2) izquierdo

APÉNDICE B: CORRIENTE RMS DE RUPTURA SEÑALES PROCESADAS EN EXCEL

Calzado Derecho.

TABLA 41. Voltaje y Corriente rms de ruptura del calzado (condiciones normales)

VOLTAJE RMS (kV)	CALZADO NUEVO DERECHO	CALZADO MEDIO USO DERECHO (1)	CALZADO MEDIO USO DERECHO (2)	CALZADO DADO DE BAJA USO DERECHO	TIEMPO (s)
	Corriente rms (mA)	Corriente rms (mA)	Corriente rms (mA)	Corriente rms (mA)	
22				1,07714	10
25		1,09299	1,07619		15 30
40	1,090771				45

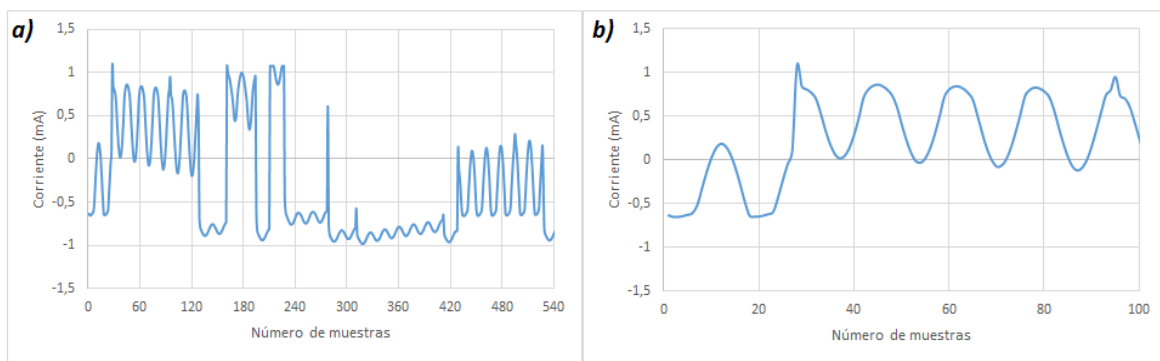


Figura 106. a) Onda de Corriente de ruptura calzado dado de baja derecho 22kV b) Ampliación de la corriente de ruptura.

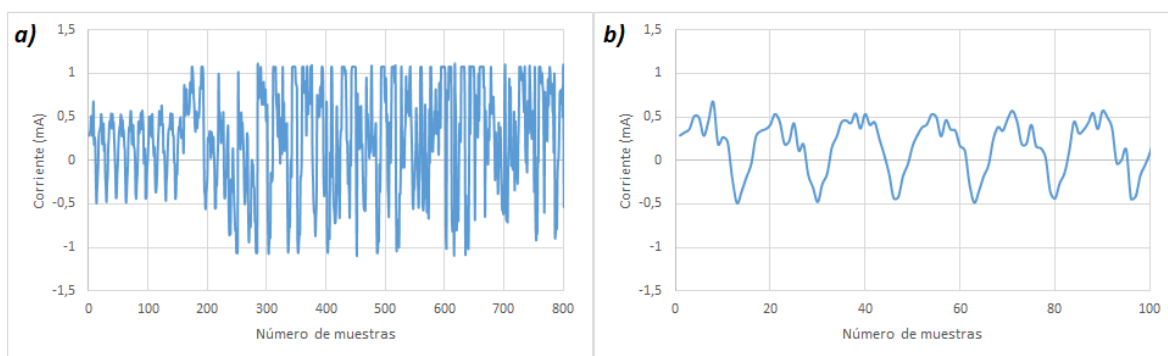


Figura 107. a) Onda de Corriente de ruptura calzado medio uso (1) derecho 25kV b) Ampliación de la corriente de ruptura.

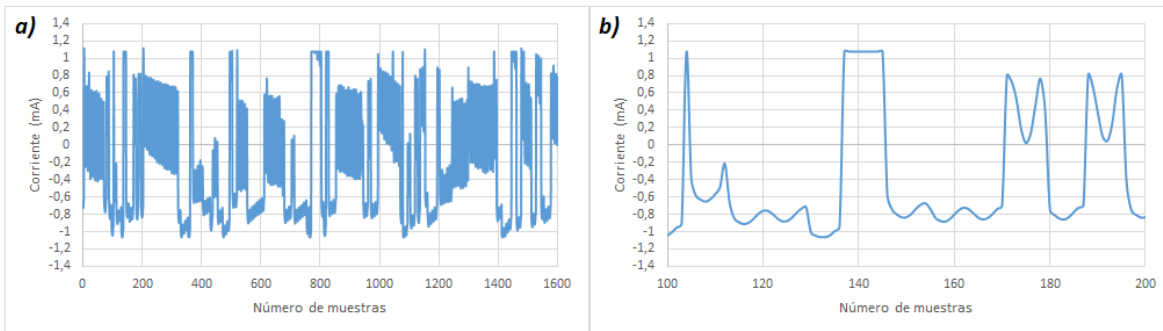


Figura 108. a) Onda de Corriente de ruptura calzado medio uso (2) derecho 25kV b) Ampliación de la corriente de ruptura.

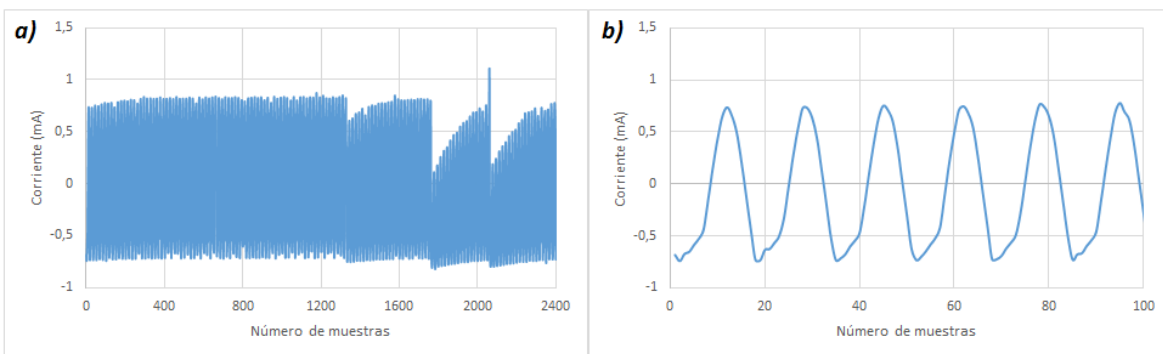


Figura 109. a) Onda de Corriente de ruptura calzado nuevo derecho 40 kV b) Ampliación de la corriente de ruptura.

Calzado Izquierdo

TABLA 42. Voltaje y Corriente rms de ruptura del calzado (condiciones normales)

VOLTAJE RMS (kV)	CALZADO NUEVO IZQUIERDO	CALZADO MEDIO Uso IZQUIERDO (1)	CALZADO MEDIO Uso IZQUIERDO (2)	CALZADO DADO DE BAJA USO IZQUIERDO	TIEMPO (s)
	Corriente rms (mA)	Corriente rms (mA)	Corriente rms (mA)	Corriente rms (mA)	
20				1,07750	10
24		1,07629			15
			1,09299		30
40	1,07583				45

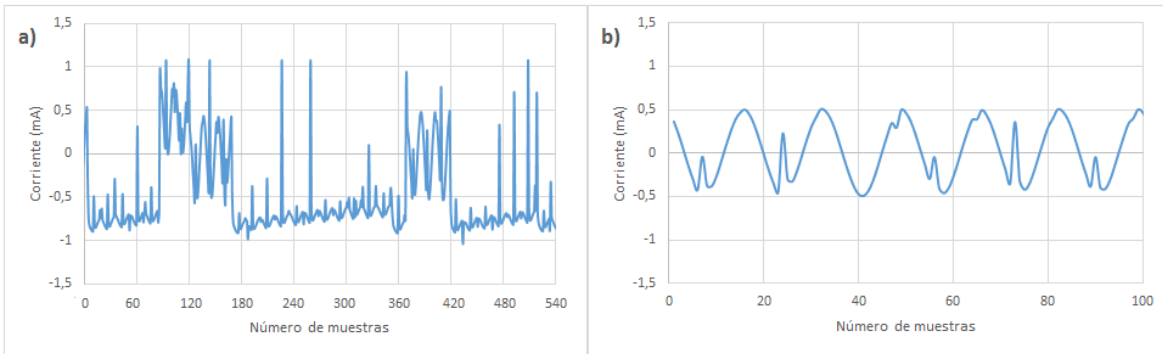


Figura 110. a) Onda de Corriente de ruptura calzado dado de baja izquierdo 20kV b) Ampliación de la corriente de ruptura.

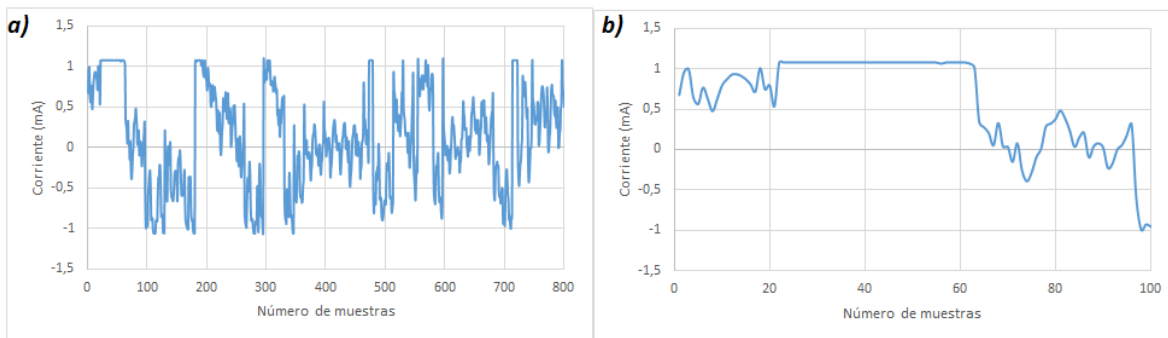


Figura 111. a) Onda de Corriente de ruptura calzado medio uso (1) izquierdo 24kV b) Ampliación de la corriente de ruptura.

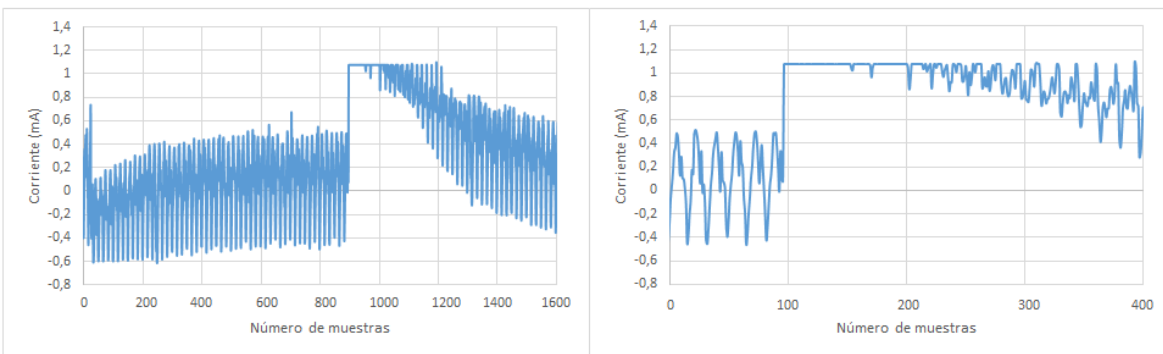


Figura 112. a) Onda de Corriente de ruptura calzado medio uso (2) izquierdo 24kV b) Ampliación de la corriente de ruptura.

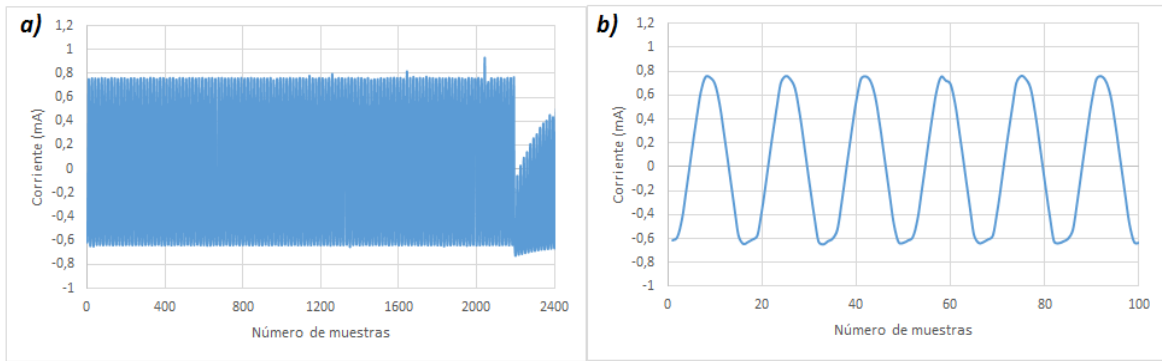


Figura 113. a) Onda de Corriente de ruptura calzado nuevo izquierdo 40kV b) Ampliación de la corriente de ruptura.

APÉNDICE C: GENERACIÓN DE EFECTO CORONA Y DESCARGA POR ARCO ELÉCTRICO

Durante los ensayos realizados se observaron efectos producidos al incrementar el voltaje como se puede observar en la Figura 113 se muestra el efecto corona y la descarga por arco eléctrico generado en 40kV en calzado nuevos y 25kV en calzados dado de baja.



a)

b)

Figura 114. a) Calzado nuevo derecho descarga por arco eléctrico b) Calzado nuevo izquierdo descarga por arco eléctrico.



a)

b)

Figura 115. a) Calzado medio uso derecho descarga por arco eléctrico b) Calzado medio uso izquierdo descarga por arco eléctrico.