

**DESEMPEÑO ELÉCTRICO DE AISLADORES CERÁMICOS Y POLIMÉRICOS
ANTE EL CRECIMIENTO DE MICROORGANISMOS EN SU SUPERFICIE: CASO
DE ESTUDIO**

ANDRÉS FELIPE LEÓN MORALES

CARLOS DANIEL PÉREZ CASTIBLANCO

LUIS FELIPE CANTOR BABATIVA

**UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROYECTO CURRICULAR DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
GRUPO DE COMPATIBILIDAD E INTERFERENCIA ELECTROMAGNÉTICA (GCEM)
BOGOTÁ D.C.
2015**

(Página intencionalmente dejada en blanco)

**DESEMPEÑO ELÉCTRICO DE AISLADORES CERÁMICOS Y POLIMÉRICOS
ANTE EL CRECIMIENTO DE MICROORGANISMOS EN SU SUPERFICIE: CASO
DE ESTUDIO**

Proyecto de Grado para optar al Título de

Ingeniero Eléctrico

ANDRÉS FELIPE LEÓN MORALES

Código: 20081007010

CARLOS DANIEL PÉREZ CASTIBLANCO

Código: 20081007062

LUIS FELIPE CANTOR BABATIVA

Código: 20081007035

DIRECTOR:

Prof. HERBERT ENRIQUE ROJAS CUBIDES I.E. MSc. PhD(c)

**UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROYECTO CURRICULAR DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
GRUPO DE COMPATIBILIDAD E INTERFERENCIA ELECTROMAGNETICA (GCEM)
BOGOTÁ
2015**

(Página intencionalmente dejada en blanco)

I.E. MSc. PhD(c). Herbert Enrique Rojas Cubides
Director proyecto de grado

Nota de aceptación:

Firma del jurado

Firma del jurado

Inicialmente dedico este trabajo de grado a quien me dio la serenidad, fortaleza y virtudes necesarias para culminar esta etapa de mi vida..... Dios.

A mis padres por darme la vida y por impulsarme día a día a superar mis propias expectativas y metas. Por querer darme siempre lo mejor y desear que siga creciendo personal y profesionalmente.

A todas las personas que siempre creyeron en mi capacidad, capacidad que tenemos todos. Es grato saber la fuerza y determinación que poseemos cuando queremos alcanzar algo.

“Nunca consideres el estudio como una obligación, sino como una oportunidad para penetrar en el bello y maravilloso mundo del saber.”

Andrés Felipe León Morales

Dedico este trabajo de grado a mi familia y las personas que me acompañaron en este largo pero gratificante proceso, agradezco a Dios y a la vida los acontecimientos que me marcaron y me hacen ser quien soy en la actualidad, gracias a mis padres a quienes considero mis guías y el ejemplo que debo seguir como persona.

“...se requiere de muchos estudios para ser profesional, pero se requiere de toda una vida para aprender a ser persona”

Carlos Daniel Pérez Castiblanco

Dedico este trabajo de grado principalmente a Dios, por darme salud, voluntad y perseverancia necesarias para lograr culminarlo, entregando siempre lo mejor de mí.

De igual manera, les dedico a mis padres este proyecto y les agradezco todo lo que me brindaron durante cada uno de mis años de estudio en la universidad. Su apoyo sincero e incondicional siempre lo aproveche para dar lo mejor de mí y así cumplir este gran sueño que fije hace unos años.

Asimismo, deseo expresar mi gratitud a mis compañeros con los cuales desarrolle este proyecto de grado, a quienes considero amigos y de los cuales siempre me sentiré orgulloso.

Luis Felipe Cantor Babativa

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo no habría sido posible sin la influencia de muchas personas a las que agradecemos inmensamente por estar presentes en las distintas etapas de su elaboración.

Al profesor Alexander Rodríguez cuya supervisión y valiosos consejos, hicieron posible que este trabajo culminara de manera satisfactoria.

A la profesora Patricia Meléndez por su orientación en aquellos temas en los que no teníamos experticia. Su ayuda desinteresada y su colaboración alentaron el proceso de aprendizaje y entendimiento de temas ajenos a nuestra profesión.

A Johnny por su apoyo en múltiples y valiosas tareas. Su labor silenciosa influencio en gran medida el desarrollo de muchos procesos que se realizaron satisfactoriamente.

Por último a nuestras familias y seres más queridos, no hubo un día en que no alentaran nuestro espíritu, aún en los momentos más difíciles del proceso.

(Página intencionalmente dejada en blanco)

RESUMEN

El presente trabajo de grado desarrolla un caso de estudio cuyo objetivo es determinar los efectos producidos en el desempeño eléctrico de aisladores debido al desarrollo de microorganismos sobre su superficie. En primer lugar, se diseña un entorno controlado que permita exponer aisladores poliméricos tipo ANSI DS-15 y aisladores cerámicos tipo ANSI 52-1 y ANSI 55-2 al desarrollo y crecimiento de los microorganismos *Aspergillus Niger*, *Phanerochaete Chrysosporium* y *Chlorella Vulgaris*. Adicionalmente, a partir de pruebas normalizadas de laboratorio, se determinan las características eléctricas y físicas de referencia para aisladores nuevos.

Posteriormente, se realizan pruebas eléctricas normalizadas en los aisladores biológicamente contaminados y se realiza una comparación con los resultados obtenidos de las pruebas de referencia. Una vez culminado este proceso se realiza un análisis de los resultados obtenidos y se presentan las conclusiones del trabajo.

El desarrollo de este trabajo de grado permite realizar un acercamiento a los efectos que pudieran observarse en un entorno natural y establece con objetividad las afectaciones que el crecimiento biológico de microorganismos puede tener sobre aisladores eléctricos cerámicos y poliméricos. Este aspecto puede ser de gran interés para los diferentes actores que se involucran en el sector eléctrico (generación, transmisión, distribución, utilización).

(Página intencionalmente dejada en blanco)

ABSTRACT

The following graduation project develops a study case aimed at determining the effects on the electrical performance of insulators due to the development of microorganisms on its surface. Initially, a controlled environment chamber was designed to allow ANSI DS-15 polymeric insulators and ANSI 52-1 / ANSI 55-2 ceramic insulators to be exposed with the development of *Aspergillus Niger*, *Phanerochaete Chrysosporium* and *Chlorella Vulgaris* microorganisms. Additionally, starting from standard laboratory tests, the electrical and physical characteristics of reference for new insulators are determined.

Subsequently, standard electrical tests were conducted in insulators biologically contaminated to make a comparison with the results obtained in reference tests. Once this process was completed, an analysis of the results is performed and conclusions of the work are presented.

The development of this graduation project allows an approach to the effects that might be observed at a natural environment and establishes objectively the damages that biological growth can have on ceramic and polymeric electrical insulators. This aspect may be of great interest to the different actors involved in the electricity sector (generation, transmission, distribution, use).

Tabla de Contenido

1.	INTRODUCCIÓN	13
2.	MARCO DE REFERENCIAL Y ANTECEDENTES.....	15
2.1.	Microorganismos	15
2.1.1.	Nutrición y metabolismo microbiano.....	15
2.1.2.	<i>Chlorella Vulgaris</i>	16
2.1.3.	<i>Phanerochaete Chrysosporium</i>	16
2.1.4.	<i>Aspergillus Niger</i>	17
2.2.	Aisladores eléctricos	17
2.2.1.	Aisladores cerámicos	18
2.2.2.	Aisladores poliméricos.....	19
2.3.	Contaminación sobre aisladores eléctricos	19
2.4.	Contaminación biológica sobre aisladores eléctricos	20
2.5.	Conclusiones del capítulo	22
3.	CÁMARA DE AMBIENTE CONTROLADO.....	23
3.1.	Diseño y construcción de la cámara.....	23
3.2.	Control de temperatura.....	25
3.3.	Control de humedad.....	26
3.4.	Control de radiación de luz ultravioleta	26
3.5.	Diseño del controlador	27
3.7.	Sistema de monitoreo y control de variables ambientales en la CAC	29
3.7.1.	Control de temperatura.....	30
3.7.2.	Control de humedad	31
3.7.3.	Control de radiación ultravioleta.....	31
3.7.4.	Pruebas en la sensórica	31
3.8.	Adquisición de datos y variables ambientales sensadas	33
3.9.	Prototipo final de la CAC.....	34
3.10.	Conclusiones del capítulo	37
4.	MANIPULACION BIOLÓGICA.....	39
4.1.	Microorganismos para el estudio	39
4.2.	Medios de cultivo.....	40
4.2.1.	Agar papa dextrosa (PDA).....	40
4.2.2.	Agar de esporulación	40
4.3.	Control y codificación de muestras.....	41
4.4.	Inoculación de muestras.....	41
4.4.1.	Inoculación de <i>Aspergillus Niger</i>	42
4.4.2.	Inoculación de <i>Phanerochaete Chrysosporium</i>	43
4.4.3.	Inoculación de <i>Chlorella Vulgaris</i>	43
4.5.	Desarrollo biológico.....	44
4.5.1.	Muestras contaminadas con <i>Aspergillus Niger</i>	44
4.5.2.	Muestras contaminadas con <i>Phanerochaete Chrysosporium</i>	46
4.5.3.	Muestras contaminadas con <i>Chlorella Vulgaris</i>	48
4.6.	Pruebas biológicas	49
4.6.1.	Pruebas en <i>Aspergillus Niger</i> y <i>Phanerochaete Chrysosporium</i>	49
4.6.2.	Pruebas en <i>Chlorella Vulgaris</i>	50
4.6.3.	Resultados Biológicos <i>Aspergillus Niger</i> / <i>Penicillum Sp</i>	51
4.6.4.	Resultados Biológicos <i>Phanerochaete Chrysosporium</i>	52
4.6.5.	Resultados Biológicos <i>Chlorella Vulgaris</i>	52
4.7.	Conclusiones del Capítulo	53

5.	PRUEBAS ELÉCTRICAS DE REFERENCIA	55
5.1.	Aisladores bajo estudio.....	55
5.2.	Elementos e instrumentos de laboratorio.....	56
5.3.	Disposición de montajes para aisladores tipo suspensión	57
5.4.	Disposición de montajes para aisladores tipo Pin	58
5.5.	Ensayos eléctricos	59
5.5.1.	Ensayo de flameo en seco a baja frecuencia.....	59
5.5.2.	Ensayo de flameo en húmedo a baja frecuencia.....	60
5.5.3.	Ensayo de flameo al impulso tipo rayo	63
5.5.4.	Medición de corrientes de fuga	64
5.6.	Resultados de referencia.....	65
5.6.1.	Tensión de flameo en seco.....	65
5.6.2.	Tensión de flameo en húmedo.....	66
5.6.3.	Tensión de flameo al impulso tipo rayo	67
5.6.4.	Corrientes de fuga.....	68
5.7.	Conclusiones del capítulo.....	70
6.	EFFECTOS EN EL DESEMPEÑO ELÉCTRICO DE AISLADORES EXPUESTOS AL DESARROLLO BIOLÓGICO.....	73
6.1.	Ensayo de flameo en seco a baja frecuencia.....	73
6.1.1.	Aislador ANSI 52-1.....	73
6.1.2.	Aislador ANSI 55-2.....	74
6.1.3.	Aislador ANSI DS-15.....	75
6.1.4.	Tensiones promedio de flameo en seco en aisladores contaminados	75
6.2.	Ensayo de flameo en húmedo a baja frecuencia.....	76
6.2.1.	Aislador ANSI 52-1.....	76
6.2.2.	Aislador ANSI 55-2.....	77
6.2.3.	Aislador ANSI DS-15.....	77
6.2.4.	Tensiones promedio de flameo en húmedo en aisladores contaminados	78
6.3.	Ensayo de flameo al impulso tipo rayo polaridad positiva.....	79
6.3.1.	Aislador ANSI 52-1.....	79
6.3.2.	Aislador ANSI 55-2.....	79
6.3.3.	Tensiones promedio de flameo al impulso en aisladores contaminados	80
6.4.	Medición de corrientes de fuga	81
6.4.1.	Aislador ANSI 52-1.....	81
6.4.2.	Aislador ANSI 55-2.....	81
6.4.3.	Aislador ANSI DS-15.....	82
6.5.	Conclusiones del Capítulo	83
7.	EVALUACION DEL DESEMPEÑO ELÉCTRICO DE AISLADORES	85
7.1.	Prueba de flameo en seco a baja frecuencia	85
7.2.	Pruebas de flameo en húmedo en baja frecuencia	86
7.3.	Pruebas de flameo al impulso tipo rayo.....	88
7.4.	Prueba corrientes de fuga	89
7.4.1.	Pruebas en elementos expuestos al desarrollo de <i>Chlorella Vulgaris</i>	89
7.4.2.	Pruebas en elementos expuestos al desarrollo de <i>Aspergillus Niger</i>	91
7.4.3.	Pruebas en elementos expuestos al desarrollo de <i>Phanerochaete Chrysosporium</i>	92
7.5.	Conclusiones del Capítulo	94
8.	CONCLUSIONES GENERALES Y TRABAJOS A FUTURO	95
	REFERENCIAS	99
	ANEXOS.....	103
	ANEXO A. Certificados ATCC.....	103
	ANEXO B. Matrices de crecimiento de microorganismos en aisladores eléctricos	108

ANEXO C. características físicas aisladores eléctricos para el estudio.....	109
ANEXO D. Dimensiones y vistas de la cámara de ambiente controlado.	112
ANEXO E. Elementos para el control de variables físicas	113
ANEXO F. Sistemas de control	116
ANEXO G. Sensor EXTECH SD700	119
ANEXO H. Resultados biológicos.....	121
ANEXO I. Certificados CIDET aisladores para el estudio.....	138
ANEXO J. Elementos laboratorio alta tensión	141
ANEXO K. Elementos instrumentación laboratorio alta tensión	143
ANEXO L. Calculo resistividad del agua para la prueba de flameo en húmedo	148
ANEXO M. Circuito generador de impulsos tipo rayo.....	149
ANEXO N. Impulso normalizado y capacitancia crítica	150
ANEXO O. Tablas registro de datos.....	153
ANEXO P. Resultados de referencia de flameo en seco.	156
ANEXO Q. Resultados de referencia de flameo en húmedo.	158
ANEXO R. Resultados de referencia de flameo al impulso tipo rayo.....	160
ANEXO S. Tensiones de flameo promedio sobre aisladores contaminados	161
ANEXO T. Comparación grafica de los valores de tensión de flameo en seco.....	163
ANEXO U. Comparación grafica de los valores de tensión de flameo en húmedo	168
ANEXO V. Comparación grafica de los valores de tensión de flameo al impulso tipo rayo	173

Lista de Figuras

Figura 2.1 Micrografía de alga unicelular. Aumento 120x.	16
Figura 2.2 Micrografía de <i>Phanerochaete C.</i> 40 micrones.	16
Figura 2.3 Micrografía de <i>Aspergillus Niger</i> . Aumento 100x.....	17
Figura 2.4 Tipos de contaminantes hallados en aisladores.....	19
Figura 2.5 Aislador polimérico cubierto de hollín	20
Figura 2.6 Aisladores cerámicos con limo. Estación de Rurópolis Amazonas	20
Figura 2.7 Aislador polimérico cubierto de algas.....	21
Figura 3.1 Etapas de diseño y construcción de la cámara de ambiente controlado.....	23
Figura 3.2 Dimensionamiento cámara de ambiente controlado (vista lateral)	24
Figura 3.3 Etapas del proceso constructivo de la CAC	25
Figura 3.4 Disposición de sensores al interior de la CAC.....	29
Figura 3.5 Esquema accionamiento elementos de control	30
Figura 3.6 Divisor resistivo para el circuito de calefacción	30
Figura 3.7 Comparación de mediciones para el registro de temperatura	32
Figura 3.8 Comparación de mediciones para el registro de humedad.....	32
Figura 3.9 Temperatura promedio sensada en un periodo de 24 horas	33
Figura 3.10 Humedad promedio sensada en un periodo de 24 horas	34
Figura 3.11 Cámara de ambiente controlado CAC.....	36
Figura 4.1 Cámara de ambiente controlado con aisladores esterilizados en su interior	42
Figura 4.2 Cepa de <i>Aspergillus Niger</i> en una caja de Petri de 6 cm de diámetro.....	42
Figura 4.3 Cepa de <i>Phanerochaete C.</i> en una caja de Petri de 4 cm de diámetro	43
Figura 4.4 Muestras de <i>Chlorella Vulgaris</i> en medio liquido	44
Figura 4.5 Aisladores cerámicos de suspensión con crecimiento de <i>Aspergillus Niger</i>	45
Figura 4.6 Aisladores cerámicos tipo Pin con crecimiento de <i>Aspergillus Niger</i>	45
Figura 4.7 Aisladores poliméricos con crecimiento de <i>Aspergillus Niger</i>	46
Figura 4.8 Aisladores cerámicos de suspensión con crecimiento de <i>Phanerochaete Chrysosporium</i> .	46
Figura 4.9 Aisladores cerámicos tipo Pin con crecimiento de <i>Phanerochaete Chrysosporium</i>	47
Figura 4.10 Aisladores poliméricos con crecimiento de <i>Phanerochaete Chrysosporium</i>	47
Figura 4.11 Aisladores poliméricos con crecimiento de <i>Chlorella Vulgaris</i>	48
Figura 4.12 Aisladores cerámicos tipo Pin con crecimiento de <i>Chlorella Vulgaris</i>	48
Figura 4.13 Aisladores cerámicos tipo suspensión con crecimiento de <i>Chlorella Vulgaris</i>	49
Figura 4.14 Método de contacto con escobillón aplicado a aisladores contaminados	50
Figura 4.15 Toma de muestras sobre aisladores contaminados con <i>Chlorella Vulgaris</i>	51
Figura 5.1 Disposición de montaje para aisladores tipo suspensión	58
Figura 5.2 Disposición de montajes para aisladores tipo Pin	59
Figura 5.3 Circuito para el ensayo de flameo a baja frecuencia.....	60
Figura 5.4 Esquema general para la generación de rocío	61
Figura 5.5 Boquillas para el rocío artificial.....	61
Figura 5.6 Dispositivo para la medición de resistividad del agua	62
Figura 5.7 Circuito para el ensayo de flameo al impulso tipo rayo.....	63
Figura 5.8 Circuito para el ensayo de flameo al impulso tipo rayo.....	64
Figura 5.9 Circuito para la medición de corrientes de fuga.....	65

Figura 5.10 Flameos sobre aisladores cerámicos y poliméricos	66
Figura 5.11 Corrientes de fuga ANSI 55-2	68
Figura 5.12 Corrientes de fuga ANSI 52-1	69
Figura 5.13 Corrientes de fuga ANSI DS-15	70
Figura 6.1 Tensiones de flameo en seco aisladores ANSI 52-1 contaminados.....	73
Figura 6.2 Tensiones de flameo en seco aisladores ANSI 55-2 contaminados.....	74
Figura 6.3 Tensiones de flameo en seco aisladores ANSI DS-15 contaminados	75
Figura 6.4 Tensiones de flameo en húmedo aisladores ANSI 52-1 contaminados.....	76
Figura 6.5 Tensiones de flameo en húmedo aisladores ANSI 55-2 contaminados.....	77
Figura 6.6 Tensiones de flameo en húmedo aisladores ANSI DS-15 contaminados.....	78
Figura 6.7 Tensiones de flameo al impulso tipo rayo aisladores ANSI 52-1 contaminados	79
Figura 6.8 Tensiones de flameo al impulso tipo rayo aisladores ANSI 55-2 contaminados.	80
Figura 6.9 Corrientes de fuga aisladores ANSI 52-1 contaminados	81
Figura 6.10 Corrientes de fuga aisladores ANSI 55-2 contaminados	82
Figura 6.11 Corrientes de fuga aislador ANSI DS-15.	83
Figura 7.1 Corrientes de fuga ANSI 55-2 – Chlorella Vulgaris	90
Figura 7.2 Corrientes de fuga ANSI 52-1 – Chlorella Vulgaris	90
Figura 7.3 Corrientes de fuga ANSI DS-15 – Chlorella Vulgaris	91
Figura 7.4 Corrientes de fuga ANSI 55-2 – Aspergillus Niger.....	91
Figura 7.5 Corrientes de fuga ANSI 52-1 – Aspergillus Niger.....	92
Figura 7.6 Corrientes de fuga ANSI DS-15 – Aspergillus Niger	92
Figura 7.7 Corrientes de fuga ANSI 55-2 – Phanerochaete Chrysosporium	93
Figura 7.8 Corrientes de fuga ANSI 52-1 – Phanerochaete Chrysosporium	93
Figura 7.9 Corrientes de fuga ANSI DS-15 – Phanerochaete Chrysosporium	94
Figura A1 Certificado ATCC Chlorella Vulgaris	104
Figura A2 Certificado ATCC Phanerochaete Chrysosporium.....	105
Figura A3 Certificado ATCC Aspergillus Niger	106
Figura A4 Certificado ATCC Penicillium Sp.	107
Figura B1 Frecuencia de contaminación aisladores cerámicos.....	108
Figura B2 Frecuencia de contaminación aisladores poliméricos.....	108
Figura C1 Especificaciones técnicas aislador ANSI 52-1.....	109
Figura C2 Especificaciones técnicas aislador ANSI 55-2.....	110
Figura C3 Especificaciones técnicas aislador ANSI DS-15	111
Figura D1 Dimensiones cámara de ambiente controlado	112
Figura E1 Especificaciones técnicas bombillas cerámicas	113
Figura E2 Especificaciones técnicas aislador sistema de rocío artificial	114
Figura E3 Especificaciones técnicas aislador sistema de iluminación U.V.....	115
Figura F1 Especificaciones técnicas controlador Arduino.....	117
Figura F2 Especificaciones técnicas sensor DTH22.....	118
Figura G1 Especificaciones técnicas sensor SD7000	119
Figura G2 Certificado de calibración sensor SD7000.....	120
Figura H1 Resultados biológicos Chlorella Vulgaris.....	126
Figura H2 Resultados biológicos Aspergillus Niger/Penicillium Sp	133
Figura H3 Resultados biológicos Phanerochaete Chrysosporium	137

Figura I1 Certificado CIDET aislador ANSI 52-1	138
Figura I2 Certificado CIDET aislador ANSI 55-2	139
Figura I3 Certificado CIDET aislador ANSI DS-15	140
Figura J1 Especificaciones técnicas módulo HV 9103	141
Figura J2 Especificaciones técnicas transformador HV 9105	141
Figura J3 Especificaciones técnicas elementos pasivos	142
Figura K1 Especificaciones técnicas osciloscopio DS1102E.....	143
Figura K2 Especificaciones multímetro FLUKE 289	144
Figura K3 Especificaciones técnicas multímetro FLUKE 189.....	145
Figura K4 Especificaciones técnicas punta FLUKE80K-40	146
Figura L1 Calculo resistividad del agua para ensayos de flameo en húmedo	148
Figura M1 Circuito generador de impulsos tipo rayo.....	149
Figura N1 Impulso tipo rayo normalizado aislador ANSI 52-1	150
Figura N2 Impulso tipo rayo normalizado aislador ANSI 55-2	151
Figura O1 Tabla de registro flameo a frecuencia industrial	1553
Figura O2 Tabla de registro flameo al impulso tipo rayo.....	155
Figura O3 Tabla de registro corrientes de fuga	155
Figura P1 Tension de flameo en seco promedio aislador ANSI 52-1	156
Figura P2 Tension de flameo en seco promedio aislador ANSI 55-2	156
Figura P3 Tension de flameo en seco promedio aislador ANSI DS-15	157
Figura Q1 Tension de flameo en húmedo promedio aislador ANSI 52-1	158
Figura Q2 Tension de flameo en húmedo promedio aislador ANSI 55-2.....	158
Figura Q3 Tension de flameo en húmedo promedio aislador ANSI DS-15.....	159
Figura R1 Tension de flameo al impulso promedio aislador ANSI 52-1	160
Figura R2 Tension de flameo al impulso promedio aislador ANSI 55-2.....	160
Figura T1 Comparacion tensiones de flameo ANSI 52-1 contaminados con Chlorella Vulgaris.....	163
Figura T2 Comparacion tensiones de flameo ANSI 55-2 contaminados con Chlorella Vulgaris.....	163
Figura T3 Comparacion tensiones de flameo ANSI DS-15 contaminados con Chlorella Vulgaris...	164
Figura T4 Comparacion tensiones de flameo ANSI 52-1 contaminados con Aspergillus Niger.....	164
Figura T5 Comparacion tensiones de flameo ANSI 55-2 contaminados con Aspergillus Niger.....	165
Figura T6 Comparacion tensiones de flameo ANSI DS-15 contaminados con Aspergillus Niger....	165
Figura T7 Comparacion tensiones de flameo ANSI 52-1 contaminados con Phanerochaete Chrysoporium.....	166
Figura T8 Comparacion tensiones de flameo ANSI 55-2 contaminados con Phanerochaete Chrysoporium.....	166
Figura T9 Comparacion tensiones de flameo ANSI DS-15 contaminados con Phanerochaete Chrysoporium.....	167
Figura U1 Comparacion tensiones de flameo en húmedo ANSI 52-1 contaminados con Chlorella Vulgaris	168
Figura U2 Comparacion tensiones de flameo en húmedo ANSI 55-2 contaminados con Chlorella Vulgaris	168
Figura U3 Comparacion tensiones de flameo en húmedo ANSI DS-15 contaminados con Chlorella Vulgaris	169

Figura U4 Comparacion tensiones de flameo en húmedo ANSI 52-1 contaminados con Aspergillus Niger	169
Figura U5 Comparacion tensiones de flameo en húmedo ANSI 55-2 contaminados con Aspergillus Niger	170
Figura U6 Comparacion tensiones de flameo en húmedo ANSI DS-15 contaminados con Aspergillus Niger	170
Figura U7 Comparacion tensiones de flameo en húmedo ANSI 52-1 contaminados con Phanerochaete Chrysosporium.....	171
Figura U8 Comparacion tensiones de flameo en húmedo ANSI 55-2 contaminados con Phanerochaete Chryporium.....	171
Figura U9 Comparacion tensiones de flameo en húmedo ANSI DS-15 contaminados con Phanerochete Chrysosporium.....	172
Figura V1 Comparacion tensiones de flameo al impulso ANSI 52-1 contaminados con Chlorella Vulgaris.....	173
Figura V2 Comparacion tensiones de flameo al impulso ANSI 55-2 contaminados con Chlorella Vulgaris.....	174
Figura V3 Comparacion tensiones de flameo al impulso ANSI 52-1 contaminados con Aspergillus Niger	174
Figura V4 Comparacion tensiones de flameo al impulso ANSI 55-2 contaminados con Aspergillus Niger	174
Figura V5 Comparacion tensiones de flameo al impulso ANSI 52-1 contaminados con Phanerochaete Chrysosporium.....	175
Figura V6 Comparacion tensiones de flameo al impulso ANSI 55-2 contaminados con Phanerochaete Chrysosporium.....	175

Lista de Tablas

Tabla 2.1 Ventajas y desventajas de aisladores eléctricos según su material de composición.....	18
Tabla 2.2 Microorganismos que atacan los aisladores eléctricos	22
Tabla 3.1 Características de las bombillas para el control de temperatura.....	25
Tabla 3.2 Características del sistema para el control de humedad	26
Tabla 3.3 Características del sistema de radiación de luz ultravioleta	27
Tabla 3.4 Características del microcontrolador	27
Tabla 3.5 Características del sensor de temperatura y humedad	28
Tabla 3.6 Elementos para el control de variables físicas CAC.....	35
Tabla 4.1 Criterios de selección y características de microorganismos bajo estudio	39
Tabla 4.2 Numeración y codificación de muestras.....	41
Tabla 4.3 Conteo poblacional <i>Aspergillus</i>	51
Tabla 4.4 Conteo poblacional <i>Penicillium</i>	51
Tabla 4.5 Conteo Poblacional <i>Phanerochaete Chrysosporium</i>	52
Tabla 4.6 Conteo poblacional <i>Chlorella Vulgaris</i>	52
Tabla 5.1 Características de los aisladores bajo estudio.....	55
Tabla 5.2 Elementos de potencia.....	56
Tabla 5.3 Elementos de instrumentación y medida.....	57
Tabla 5.4 Condiciones de precipitación para el ensayo de flameo en húmedo	62
Tabla 5.5 Tensiones de flameo en seco	66
Tabla 5.6 Tensiones de flameo en húmedo	67
Tabla 5.7 Tensiones de flameo al impulso tipo rayo	67
Tabla 5.8 Corrientes de fuga promedio en aisladores tipo ANSI 55-2.....	68
Tabla 5.9 Corrientes de fuga promedio en aisladores tipo ANSI 52-1	69
Tabla 5.10 Corrientes de fuga promedio en aisladores tipo ANSI DS-15.....	70
Tabla 6.1 Tensiones promedio de flameo en seco en aisladores contaminados	75
Tabla 6.2 Tensiones promedio de flameo en húmedo en aisladores contaminados	78
Tabla 6.3 Tensiones promedio de flameo al impulso tipo rayo en aisladores contaminados	80
Tabla 7.1 Reducción porcentual individual de la tensión de flameo en seco	85
Tabla 7.2 Reducción porcentual promedio de la tensión de flameo en seco por tipo de aislador	86
Tabla 7.3 Reducción porcentual individual de la tensión de flameo en húmedo	87
Tabla 7.4 Reducción porcentual promedio de la tensión de flameo en húmedo por tipo de aislador ..	87
Tabla 7.5 Reducción porcentual individual de la tensión de flameo al impulso tipo rayo	88
Tabla 7.6 Reducción porcentual promedio de la tensión de flameo al impulso por tipo de aislador ..	89
Tabla K5 Caracterización rama resistiva.....	147
Tabla K6 Caracterización rama capacitiva.....	147
Tabla S1 Tensiones de flameo en seco aisladores contaminados.....	161
Tabla S2 Tensiones de flameo en húmedo aisladores contaminados	161
Tabla S3 Tensiones de flameo al impulso tipo rayo aisladores contaminados.....	162

(Página intencionalmente dejada en blanco)

1. INTRODUCCIÓN

La energía eléctrica ha impulsado el desarrollo del hombre casi como ningún otro descubrimiento. Son numerosos los elementos que se destacan por su importancia en la cadena eléctrica, necesarios para su aprovechamiento óptimo. Entre los elementos más importantes de los sistemas de potencia cabe destacar generadores, líneas de transporte y distribución, equipos de subestaciones y medidores que en conjunto permiten que la transferencia de energía se cumpla de forma satisfactoria. Dentro de estos elementos, los aisladores eléctricos cumplen una función primordial para el sistema pues garantizan su adecuado funcionamiento al proveer seguridad a los seres vivos y al sistema en sí, manteniendo condiciones de mínimo riesgo y de operación eficiente [1].

Los aisladores eléctricos son elementos cuyos materiales constituyentes poseen características que se oponen al paso de corriente eléctrica [2]. Su comportamiento típico se debe a la barrera de potencial existente a nivel atómico entre las bandas de valencia y de conducción de los materiales que los componen, lo que dificulta la existencia de electrones libres que puedan desplazarse a través del estos [1]–[3]. Es por esto que son usados para aislar elementos energizados entre sí o incluso de otros que no lo están.

Los aisladores eléctricos se diferencian de acuerdo a las características constructivas y los materiales que los componen. Esta división genera principalmente dos categorías en aisladores de tipo sólido, como los son los aisladores cerámicos y los aisladores poliméricos. Los aisladores cerámicos (CI) hacen referencia a aisladores hechos de porcelana o vidrio. Los aisladores poliméricos, también conocidos como aisladores no cerámicos (NCIs), se componen de varios elementos como fibra de vidrio con recubrimiento de goma, resinas epoxídicas, compuestos orgánicos, etc. [2].

La función que los aisladores eléctricos desempeñan, hace que su uso este asociado en su mayoría a condiciones de intemperie donde se ven expuestos a factores característicos del ambiente tales como polución, salinidad y humedad. Estos factores sumados a fenómenos meteorológicos como nieve, lluvia, granizo, rocío, etc., pueden afectar el correcto funcionamiento de los aisladores y perturbar su desempeño [4]–[6]. Aunque estos aspectos ya han sido estudiados, no se ha abarcado con suficiencia todos los tipos de contaminación por lo que sólo se tienen resultados parciales [7]. Debido a esto, resulta necesario analizar cómo los factores externos afectan el desempeño eléctrico de los aisladores en funcionamiento.

Teniendo en cuenta lo ya mencionado y como resultado de una profunda investigación, se encontró que los contaminantes biológicos también surgen como un factor de interés en cuanto a su incidencia en el desempeño eléctrico de los aisladores. Son limitados los estudios referentes al crecimiento de microorganismos sobre la superficie o algún otro lugar de estos elementos [8]–[11]. Sin embargo, se sabe que hongos, algas y bacterias tienen la capacidad de degradar polímeros y aumentar la captación de humedad en la superficie de los aisladores [12]–[16]. Esto supone cambios en sus propiedades eléctricas que deben ser estudiados en detalle.

A partir de lo anterior, estudios que establezcan los efectos producidos por el desarrollo microbiológico sobre aisladores eléctricos así como en otros elementos usados en la implementación de sistemas eléctricos, suponen un tema de particular interés para la comunidad científica. Adicionalmente, se establece un punto de partida para la creación de proyectos interdisciplinarios que

profundicen o continúen esta investigación. Por tal motivo, este trabajo de grado se fundamenta en dar respuesta a los siguientes objetivos:

Objetivo general

Evaluar el comportamiento eléctrico de aisladores cerámicos tipo pin clase ANSI 55-2, tipo clevis clase ANSI 52-1 y polimérico tipo suspensión clase ANSI DS-15, ante el crecimiento biológico en su superficie de los microorganismos *Chlorella Vulgaris*, *Phanerochaete Chrysosporium* y *Aspergillus Niger*.

Objetivos específicos

- Examinar y describir el comportamiento de los microorganismos *Chlorella Vulgaris*, *Phanerochaete Chrysosporium* y *Aspergillus Niger*, identificando los factores que afectan su supervivencia y desarrollo.
- Diseñar y construir una cámara de almacenamiento de muestras que simule condiciones ambientales específicas y facilite el crecimiento de los microorganismos seleccionados sobre la superficie de los aisladores.
- Determinar los efectos que provoca el crecimiento biológico de *Chlorella Vulgaris*, *Phanerochaete Chrysosporium* y *Aspergillus Niger*, sobre las tensiones de flameo y las corrientes de fuga en los aisladores seleccionados, a partir de pruebas experimentales realizadas según la norma colombiana NTC 1285 (Método de Ensayo Para Aisladores de Potencia Eléctrica) y la norma internacional ANSI C29.1 (Test Methods for Electrical Power Insulators).
- Comparar, para los aisladores seleccionados, el desempeño eléctrico de las tensiones de flameo y las corrientes de fuga antes y después de someterlos a condiciones de crecimiento biológico en su superficie, teniendo en cuenta las reducciones porcentuales del desempeño eléctrico de cada aislador y por grupo de aisladores versus el microorganismo contaminante.

Para cumplir con los objetivos planteados, el presente trabajo de grado se estructura en siete capítulos y 22 anexos que presentan y evidencian todo el proceso metodológico desarrollado. Cada capítulo está compuesto por una breve introducción, una descripción de las actividades desarrolladas en cada etapa de trabajo y finaliza con algunas conclusiones que permiten establecer el cumplimiento de los objetivos específicos propuestos.

El documento continúa de la siguiente manera: En el capítulo dos presenta el marco de referencia del trabajo de grado donde se incluyen conceptos inherentes a los aisladores eléctricos y se describen las características más relevantes de los microorganismos seleccionados. En el capítulo tres se describen las etapas de diseño y construcción de una cámara de ambiente controlado, cuya finalidad es la manipulación de variables físicas para el control del desarrollo microbiano. Los métodos de cultivo e implantación de microorganismos así como su manipulación y pruebas de laboratorio se describen en el capítulo cuatro. A lo largo del capítulo cinco se detallan las pruebas de referencia realizadas sobre los aisladores eléctricos de prueba y se analizan los resultados obtenidos. En el capítulo seis se presentan los resultados de las pruebas eléctricas sobre aisladores contaminados biológicamente. Los resultados obtenidos de las pruebas de referencia y las pruebas de aisladores bajo contaminación biológica son comparados y analizados en el capítulo siete. Finalmente, se presentan las conclusiones obtenidas como resultado del trabajo de grado y se establecen los trabajos futuros que pueden ser desarrollados a partir de los resultados del presente trabajo.

2. MARCO DE REFERENCIAL Y ANTECEDENTES

En este capítulo se presenta el marco referencial y las definiciones más relevantes a tener en cuenta para el desarrollo del proyecto de investigación. En la primera sección, se presentan y describen las características, proceso de crecimiento y requerimientos necesarios para el desarrollo de los microorganismos seleccionados como caso estudio. En la segunda sección, se exponen conceptos inherentes a los aisladores eléctricos, especialmente lo relacionado con su clasificación y características respecto a los tipos de materiales que los componen. Finalmente, se exponen algunos casos reportados (antecedentes) sobre el desarrollo microbiano en aisladores eléctricos.

2.1. Microorganismos

Se define como microorganismos a un grupo amplio y diverso de organismos microscópicos que existen como células aisladas o asociadas. Las células microbianas a diferencia de las células animales o vegetales que solo existen formando parte de organismos multicelulares, tienen la capacidad de vivir aisladas en la naturaleza [17]. En general, a diferencia de los macroorganismos, los microorganismos tienen la capacidad de desarrollar sus procesos vitales de crecimiento, generación de energía y reproducción, de una manera independiente a otros.

En la naturaleza, los microorganismos viven asociados a otros en conjuntos llamados poblaciones. Tales poblaciones se componen de grupos de células relacionadas, que generalmente proceden de una célula única parental por divisiones celulares sucesivas [17]. El lugar donde vive dicho grupo de microorganismos, se denomina hábitat y muy rara vez un grupo existe de manera independiente. Por el contrario, en la naturaleza se encuentran grupos de microorganismos asociados a otros de distinta procedencia, formando así comunidades microbianas. Aunque estas comunidades pueden estar integradas por células libres en medio acuáticos, a menudo forman colonias sobre superficies vivas o inertes, conocidas como biofilms (biopelículas) [17], [18].

2.1.1. Nutrición y metabolismo microbiano

Toda célula existente está formada por cuatro tipos de componentes químicos: proteínas, ácidos nucleicos, lípidos y polisacáridos. El desarrollo y la vida de los microorganismos está ligado a la obtención de nutrientes del medio para así realizar sus procesos vitales. Así, la nutrición microbiana consiste en suministrar a las células los elementos químicos o nutrientes necesarios para formar monómeros, los cuales son moléculas esenciales en la formación de macromoléculas [17].

La cantidad de nutrientes óptima para el desarrollo biológico difiere de acuerdo a la clase de microorganismos al cual se le suministran. Los macronutrientes como el carbono, el hidrogeno y el oxígeno se necesitan en grandes cantidades mientras que los micronutrientes como el manganeso, el níquel y el zinc se requieren en proporciones mínimas [17], [18]. Al igual que los micronutrientes, los factores de crecimiento como las vitaminas, aminoácidos, purinas y primidinas son necesarios en los cultivos de microorganismos en pequeñas proporciones [17].

2.1.2. *Chlorella Vulgaris*

Chlorella Vulgaris es un alga unicelular de forma esférica y pigmentación verdosa ampliamente hallada a nivel mundial [4], [8], [19]. Tiene la capacidad de llevar a cabo procesos fotosintéticos que le permiten multiplicarse y realizar sus procesos vitales mediante la obtención de dióxido de carbono, agua, luz solar y pequeñas cantidades de minerales. *Chlorella Vulgaris* crece fácilmente en entornos con altos niveles de nitratos y fosfatos o con incidencia directa de radiación solar. La Figura 2.1 muestra un ejemplo de alga unicelular tomado bajo la lente de un microscopio electrónico.

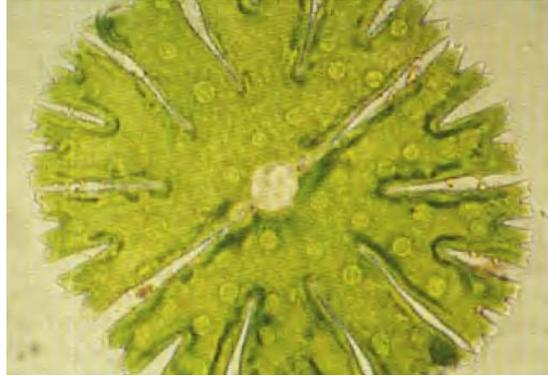


Figura 2.1 Micrografía de alga unicelular. Aumento 120x.
Tomado de: [17]

Además del medio de crecimiento, *Chlorella Vulgaris* requiere rangos de temperatura que oscilan entre 24 y 27 °C. De igual manera, altos porcentajes de humedad relativa y periodos de luz y oscuridad favorecen el desarrollo de este microorganismo. El Anexo A1 muestra la descripción técnica del centro de recursos biológicos ATCC (American Type Culture Collection) donde se presentan las condiciones y medios de cultivo recomendados para el desarrollo de *Chlorella Vulgaris*.

2.1.3. *Phanerochaete Chrysosporium*

Phanerochaete Chrysosporium es un hongo filamentoso comúnmente conocido como el hongo de la podredumbre blanca. Debido a que produce enzimas capaces de degradar lignina (componente fundamental de las paredes celulares de los vegetales), se considera como una enfermedad de las plantas. Sin embargo, se han encontrado múltiples aplicaciones en la industria para este microorganismo tales como la degradación del nylon, el polietileno y el PVC [20]–[22]. La Figura 2.2 muestra una micrografía de una colonia de *Phanerochaete Chrysosporium* bajo un microscopio.

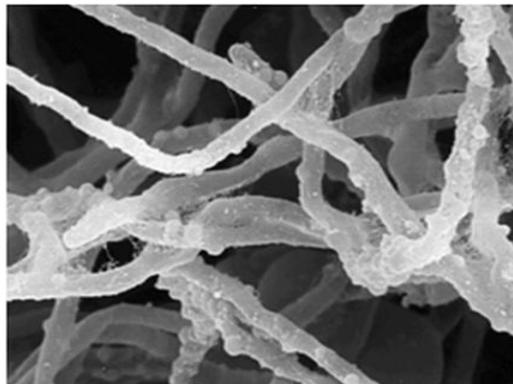


Figura 2.2 Micrografía de *Phanerochaete C.* 40 micrones.
Tomado de: [23]

El Anexo A2 muestra la descripción técnica del centro de recursos biológicos ATCC donde establece el medio de cultivo Agar Papa Dextrosa (PDA) y una temperatura de 25 °C como recomendación para el desarrollo de *Phanerochaete Chrysosporium*. Adicionalmente cataloga dicho microorganismo con nivel de bioseguridad 1 (representa un peligro mínimo para el personal de laboratorio y el ambiente).

2.1.4. *Aspergillus Niger*

Aspergillus Niger, más conocido como moho común, es un hongo filamentoso encontrado ampliamente alrededor del planeta. Su crecimiento y desarrollo se ve ampliamente favorecido por ambientes cálidos, húmedos y que no se encuentran expuestos a radiación solar directa. *Aspergillus Niger* está catalogado como un hongo oportunista debido a que las condiciones necesarias para su desarrollo son mínimas y puede coexistir con otros microorganismos, valiéndose de los componentes que estos producen así como de las condiciones propias de su hábitat [24]. La Figura 2.3 muestra una micrografía en campo claro de *Aspergillus Niger*.



Figura 2.3 Micrografía de *Aspergillus Niger*. Aumento 100x.
Tomado de: [25]

El Anexo A3 muestra la descripción técnica del centro de recursos biológicos ATCC donde establece el medio de cultivo Agar Papa Dextrosa (PDA) y una temperatura de 24 °C como recomendación para el desarrollo y cultivo de *Aspergillus Niger*. Adicionalmente, cataloga dicho microorganismo con nivel de bioseguridad 1.

2.2. Aisladores eléctricos

Son aquellos materiales cuyas características constitutivas a nivel atómico, no permiten que sus electrones se desprendan con facilidad [26]. Es por esto que aun aplicando una diferencia de potencial sobre el material, el desplazamiento de cargas a través de este se dificulta, convirtiéndolos en elementos que se oponen al paso de corriente eléctrica.

Materiales como plásticos, barnices, micas, fibras de vidrio, papel y porcelana suelen usarse como aislantes eléctricos dependiendo del tipo de aplicación y el nivel de tensión en el cual se trabaje. Por ejemplo, el polietileno y poliestireno se emplean en instalaciones de alta frecuencia y el mylar se emplea en condensadores eléctricos [3], [26].

Los aisladores cerámicos son ampliamente usados a nivel mundial debido a la confiabilidad que aportan al sistema eléctrico, son duraderos y poseen gran resistencia a las adversidades del clima y el medio de trabajo. Por otro lado, los aisladores compuestos y de materiales sintéticos ofrecen ventajas

en cuanto a la multiplicidad de sus aplicaciones, son significativamente más ligeros y se pueden fabricar de muchos materiales.

La Tabla 2.1 muestra las ventajas y desventajas que poseen cada uno de los tipos de aislador según el material con el cual son fabricados. De esta manera, es posible determinar el tipo de aislador necesario para la aplicación contemplada, considerando prestaciones, limitantes y costo - beneficio de cada uno de los aisladores existentes en el mercado.

Tabla 2.1 Ventajas y desventajas de aisladores eléctricos según su material de composición

	Ventajas	Desventajas
Aisladores de Porcelana	<ul style="list-style-type: none"> • Confiables y duraderos • Gran resistencia superficial • Muy resistentes a la compresión • Gran resistencia a cambios ambientales • Mantenimiento sencillo • Químicamente estables 	<ul style="list-style-type: none"> • Peso significativamente mayor • Manipulación más difícil • Propensos al vandalismo • Requieren supervisión estricta de manufactura
Aisladores de Vidrio	<ul style="list-style-type: none"> • Visualización simple de fallas mecánicas • Confiables y duraderos • Mantenimiento sencillo • Gran resistencia a cambios ambientales • Tamaño reducido 	<ul style="list-style-type: none"> • Peso significativamente mayor • Manipulación más difícil • Propensos al vandalismo • Requieren supervisión estricta de manufactura
Aisladores Poliméricos	<ul style="list-style-type: none"> • Gran resistencia mecánica • Muy ligeros • Resistencia a golpes y manipulación • Resistencia al vandalismo • Mejora estética • Mayor facilidad de instalación, un solo cuerpo 	<ul style="list-style-type: none"> • Problemas degradación, radiación U.V, erosión, desgastamiento. • Penetración de humedad • Separación de sus partes • Mantenimiento difícil, replazo completo • Vida útil reducida (hasta 5 años)
Aisladores de Resina Epóxica	<ul style="list-style-type: none"> • Mayor resistencia a impactos • Gran resistencia mecánica • Mayor resistencia química • Cuerpo de un solo material • Mejora estética 	<ul style="list-style-type: none"> • Costos muy elevados • Sensibles a cambios de temperatura • Absorción de humedad • Vida útil reducida (hasta 5 años)

Fuente: Los Autores

2.2.1. Aisladores cerámicos

Los aisladores cerámicos están hechos de materiales inorgánicos que incluyen la porcelana y el vidrio templado [2]. Son usados para múltiples aplicaciones en todos los niveles de tensión del sistema eléctrico de potencia. Entre estos pueden destacarse aisladores tipo pin, suspensión, de núcleo sólido y hueco, entre otros. Características como durabilidad, eficiencia y confiabilidad, hacen de los aisladores cerámicos una opción atractiva para cualquier diseño eléctrico. Ofrecen además, grandes prestaciones a nivel mecánico, tales como rigidez y gran resistencia a la compresión [1], [2].

2.2.2. Aisladores poliméricos

Los aisladores poliméricos se introdujeron en 1959, inicialmente fabricados a partir de materiales epoxídicos que presentaban diversos problemas al ser usados al aire libre. Dichos inconvenientes fueron asociados a los efectos de degradación por radiación ultravioleta y erosión [2], [3]. Los aisladores poliméricos se constituyen a partir de un núcleo de fibra de vidrio recubierto en goma, lo que garantiza su dureza y un alto desempeño mecánico.

Los componentes comúnmente usados para la elaboración de aisladores poliméricos son los hidrocarburos y elastómeros de silicona. Entre estos se incluyen cauchos de etileno-propileno tales como el monómero de etileno propileno (EPM), el monómero de etileno-propileno dieno (EPDM) y un copolímero de etileno-propileno dieno y silicona (ESP) [2]. Sus múltiples aplicaciones van desde suspensión de conductores hasta elementos de entrada y salida de equipos cuando se usan como cuerpos de paso hueco [2].

2.3. Contaminación sobre aisladores eléctricos

Las investigaciones existentes sobre contaminación en aisladores se han centrado en su mayoría en factores tales como la acción ambiental (salinidad, humedad, cambios climáticos) y la contaminación industrial (polución, acidez, agentes químicos) [1], [7], factores adversos que originan fallas y perturban el correcto funcionamiento de los aisladores eléctricos. La Figura 2.4 muestra algunos de los contaminantes asociados a fallas en el desempeño de aisladores eléctricos.



Figura 2.4 Tipos de contaminantes hallados en aisladores
Adaptado de: [7]

Los contaminantes de origen natural tales como depósitos de sal provenientes de ambientes costeros y contaminantes como la polución causada por las emisiones industriales, han sido ampliamente estudiados y analizados. La problemática y las afectaciones que se tienen en los aisladores eléctricos debido a estos factores, han originado discusiones y una búsqueda prolongada de soluciones que permitan mitigar el efecto indeseado sobre el desempeño eléctrico de estos elementos. La Figura 2.5 muestra un aislador cubierto de hollín proveniente de una zona urbana. La polución sobre este

elemento es notoria y se observa en mayor proporción en los discos del aislador que en los herrajes del mismo.



Figura 2.5 Aislador polimérico cubierto de hollín
Tomado de: [27]

Las fallas reportadas en aisladores eléctricos por factores externos, incluyen degradación de los materiales (corrosión, perforación y ruptura), disminución de la resistencia eléctrica y de las tensiones soportadas, así como aumento en la conducción superficial y en las corrientes de fuga sobre los equipos [1], [5], [28].

2.4. Contaminación biológica sobre aisladores eléctricos

La simplicidad del desarrollo biológico permite a los microorganismos reproducirse y proliferar sobre casi cualquier lugar del planeta. Por esto, no es de extrañarse que microorganismos como bacterias, algas y hongos, sean hallados en la superficie de los aisladores. Evidencia de su desarrollo y crecimiento sobre estos elementos ha sido reportada en sitios con características ambientales de tipo tropical y subtropical [4], [6], [11], [29]. La Figura 2.6 muestra crecimiento de limo en equipos cerámicos de la subestación de Rurópolis Amazonas, ubicada en Brasil [30].

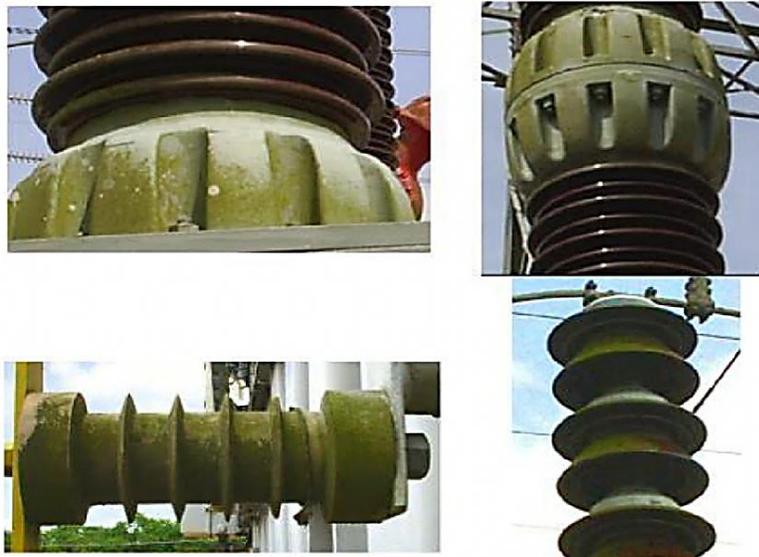


Figura 2.6 Aisladores cerámicos con limo. Estación de Rurópolis Amazonas
Tomado de: [30]

En aisladores cerámicos del sistema eléctrico de transmisión de Papua, Nueva Guinea se hallaron puntos verdes catalogados como algas granulares y filamentosas provenientes de un bosque cercano a las líneas de transmisión. Se realizaron pruebas eléctricas a los aisladores, dando como resultado una reducción de la tensión de flameo de hasta el 40% al realizar la prueba en húmedo y variaciones casi nulas al aplicar la prueba en seco [31].

Naito et al [7] reportó crecimiento de liquen en aisladores cerámicos extraídos de las líneas de transmisión de México, Paraguay y Nueva Zelanda. El análisis biológico determinó que el liquen contenía dos clases de algas microscópicas (algas verdes y algas verdes-azules). Las pruebas realizadas a los aisladores revelaron variaciones leves de las tensiones de flameo soportadas por dichos elementos. Sin embargo, cuando los depósitos de sal son muy grandes, al igual que el espesor de la bio-película [16], el riesgo de flameo en los aisladores aumenta considerablemente.

Aisladores de porcelana de 33 kV instalados en seis sitios diferentes en Sri Lanka y Tanzania fueron expuestos a ambientes industriales y salinos propios de dichas regiones. Se evidenció crecimiento de algas sobre la mayoría de los aisladores bajo estudio ocasionando reducciones de entre el 25% y el 70% en las tensiones de flameo soportadas por dichos elementos [32]. Factores como la temperatura y la humedad, característicos de ambientes tropicales, influyen de igual forma en el desempeño eléctrico de los aisladores. La radiación UV en altos porcentajes acelera el envejecimiento de los materiales y junto con la humedad, favorece el desarrollo de contaminantes biológicos. La Figura 2.7 muestra un aislador polimérico con presencia de algas en la parte superior y central de los discos.



Figura 2.7 Aislador polimérico cubierto de algas
Tomado de: [27]

El crecimiento biológico sobre aisladores poliméricos se ha reportado con mayor frecuencia en la literatura [33], [32], [34]–[36] y supone un reto más grande al compararse con los aisladores cerámicos debido a las características de los materiales que los componen. Los materiales que componen los aisladores poliméricos se basan tanto en compuestos inorgánicos como orgánicos. Estos últimos pueden ser digeridos por microorganismos y usados para crear colonias dado su aporte nutricional [21], [34].

Rackliffe et al [37] estudió los aisladores poliméricos del sistema de distribución de Pensilvania, encontrando crecimiento de hongos como principal contaminante biológico. Estos aisladores fueron extraídos del sistema de distribución de 15 kV. Se concluyó que los elementos cuyos componentes corresponden a formulaciones epóxicas modificadas con hidrato de aluminio y epóxicas cicloalifáticas con relleno de hidrato de aluminio, son los más afectados por el crecimiento fúngico y dicha colonización se observa de manera severa sobre la superficie de los aisladores.

Entre los microorganismos más comunes hallados en los aisladores eléctricos se encuentran las algas, los líquenes y los hongos filamentosos. En la Tabla 2.2 se presentan los microorganismos hallados a partir de la recolección bibliográfica. Por otro lado, el Anexo B muestra dos matrices derivadas del marco teórico donde se presentan casos reportados de crecimiento biológico sobre aisladores, haciendo énfasis en los niveles de tensión, año y tipo de pruebas realizadas sobre estos elementos.

Tabla 2.2 Microorganismos que atacan los aisladores eléctricos

HONGOS	ALGAS
Aspergillus Niger SP	Chlorella Vulgaris Var
Phanerochaete Chrysosporium	Chlorella Saccharophila
Penicillium SP	Chlorella Zonfingesis
Penicillium Funicolosum	Chlorella Pyrenoidosa
Epicoccum Nigrum	
Cladosporium Cladosporides	
Cladosporium Tenuissimum	
Curvularia Lunata	
Pestalitiopsis Guepinii	
Polyscytalum Fecundissimum	
Fusarium Semitecum	
Stagonospora	
Pleorotus Ostreatus	
Asperguillus Terreus	
Microsphaeropsis Pseudaspera	

Fuente: Los Autores

2.5. Conclusiones del capítulo

- Se da cumplimiento al primer objetivo específico: examinar y describir el comportamiento de los microorganismos *Chlorella Vulgaris*, *Phanerochaete Chrysosporium* y *Aspergillus Niger*, identificando los factores que afectan su supervivencia y desarrollo.
- El desarrollo microbiano sobre aisladores eléctricos es un problema que se relaciona directamente con las condiciones climáticas a las que se hallan expuestos estos elementos. La humedad, la radiación solar y las temperaturas elevadas son factores que inciden ampliamente sobre el desarrollo de microorganismos en aisladores eléctricos.
- La contaminación biológica sobre aisladores eléctricos es un tipo de contaminación que no ha sido estudiado con suficiencia. Los efectos de este proceso sobre el desempeño eléctrico de aisladores deben ser determinados para establecer las afectaciones que puedan existir sobre estos elementos y así formular y explorar soluciones que permitan mitigarlos.

3. CÁMARA DE AMBIENTE CONTROLADO

Para la manipulación de las variables ambientales que facilitan el crecimiento microbiano sobre la superficie de los aisladores fue necesario establecer un entorno controlado. El presente capítulo describe las etapas de diseño y fabricación de una cámara que permite controlar la temperatura, humedad y radiación solar. Adicionalmente, se describen las especificaciones técnicas de cada uno de los elementos que conforman la cámara y las pruebas realizadas para validar su funcionamiento.

3.1. Diseño y construcción de la cámara

Controlar las variables físicas de un entorno es de vital importancia si se desean establecer parámetros propicios para el desarrollo óptimo de microorganismos. Estas variables incluyen la temperatura, la radiación de luz ultravioleta, la humedad y el aislamiento de condiciones externas que desequilibren dicho ambiente. A partir de la recolección bibliográfica, los objetivos planteados y los recursos disponibles, se elaboró una cámara de ambiente controlado (CAC) cuyo proceso metodológico de construcción se muestra en la Figura 3.1.

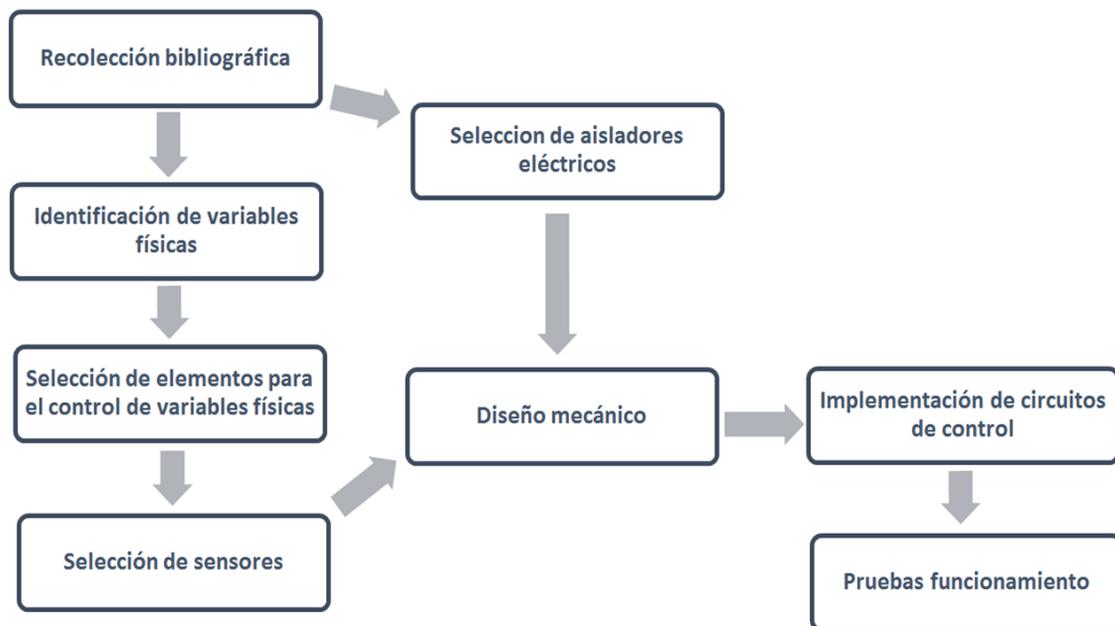


Figura 3.1 Etapas de diseño y construcción de la cámara de ambiente controlado

Fuente: Los Autores

La CAC se diseñó teniendo en cuenta tres tipos de aisladores que fueron seleccionados para el desarrollo del presente trabajo de grado. Dos de estos de material cerámico (ANSI 55-2 y ANSI 52-1) y uno de material polimérico (ANSI DS-15), siendo este último el elemento crítico dadas sus dimensiones. Este tipo de aislador cuenta con una distancia entre ejes de 320 mm y un diámetro de 88 mm en sus discos. Las características físicas de los aisladores eléctricos presentados en este trabajo de grado se pueden observar en el Anexo C.

Partiendo del diseño mecánico, se establecieron las dimensiones adecuadas para albergar tres aisladores de cada tipo, diseñándose así un espacio cerrado en acrílico transparente cuyo objetivo era el observar cada uno de los procesos que se desarrollaron al interior de la CAC. Esta cámara integra elementos que permiten modificar condiciones ambientales en su interior, tales como calentadores, aspersores y lámparas, junto con circuitos de control automáticos capaces de establecer los rangos de temperatura, humedad e iluminación deseados durante el periodo de tiempo que se requiera.

El diseño inicial de la CAC contempló un cuerpo isométrico (prisma rectangular) cuyas medidas generales fueron 700 mm de ancho, 500 mm de alto y 700 mm de profundidad (ejes x, y, z). Estas medidas fueron seleccionadas de acuerdo a la cantidad de aisladores que se debían exponer a cada uno de los microorganismos presentados en este trabajo de grado. La Figura 3.2 presenta el diseño inicial de la CAC, indicando algunas dimensiones así como la disposición de los aisladores en su interior. Adicionalmente, el Anexo D muestra a manera de complemento, algunas imágenes en diferentes vistas de la CAC en su etapa de diseño.

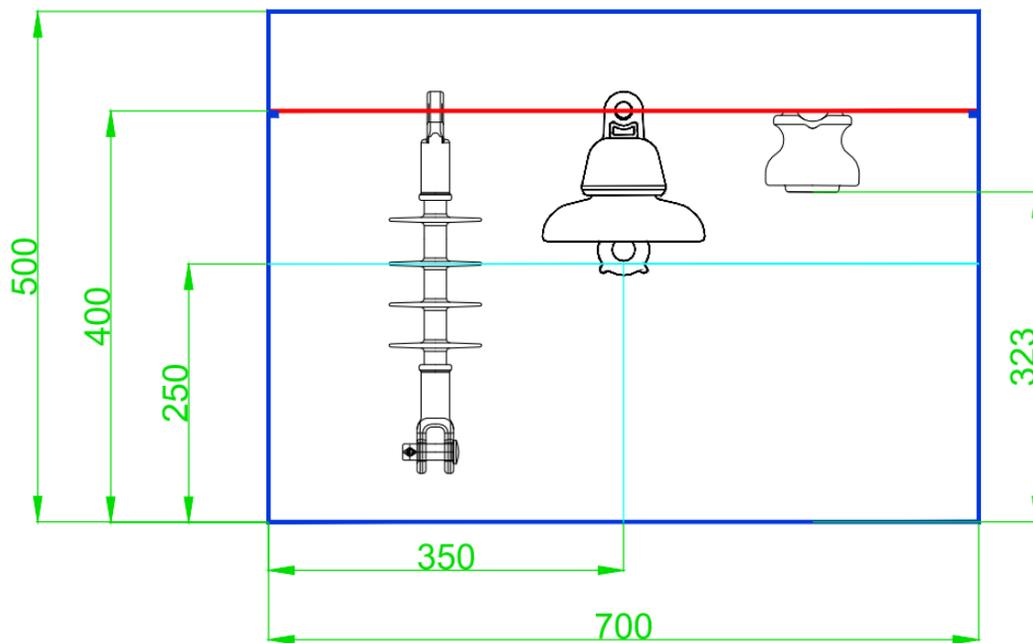


Figura 3.2 Dimensionamiento cámara de ambiente controlado (vista lateral)

Fuente: Los Autores

Para garantizar que la contaminación biológica fuera lo más parecida a un entorno de trabajo normal, los aisladores fueron dispuestos dentro de la CAC en posición similar a la cual se encontrarían en condiciones de operación. Para tal fin, se hizo uso de perforaciones en las paredes de acrílico y de algunos soportes que garantizaran su estabilidad. La altura de instalación de dichos soportes corresponde a la longitud necesaria para que los aisladores poliméricos (aisladores más largos) no toquen el suelo de la cámara. Adicionalmente, la CAC cuenta con perforaciones para la instalación de sensores y elementos de control de variables físicas. La Figura 3.3 muestra algunas imágenes del proceso constructivo de la CAC.



Figura 3.3 Etapas del proceso constructivo de la CAC: (a) CAC sin cubierta, (b) CAC con cubierta
Fuente: Los Autores

La CAC no solo integra los elementos que permiten modificar las condiciones ambientales, sino que también facilita el monitoreo de las variables ambientales necesarias para el crecimiento de los microorganismos sobre la superficie de los aisladores, permite la operación de múltiples procesos lógicos (encendido y apagado de elementos) y protege mecánicamente los aisladores. Para la selección de cada uno de los elementos integrados en la CAC, se realizó por etapas, una comparación de las alternativas disponibles en el mercado, teniendo en cuenta sus características, prestaciones y costos.

3.2. Control de temperatura

Dadas las necesidades de controlar la temperatura al interior de la CAC, se buscaron elementos que permitieran variar la temperatura del entorno y así establecer condiciones adecuadas para incentivar el desarrollo de microorganismos sobre los elementos bajo estudio. Como se puede observar en la Tabla 3.1, se compararon varios tipos de bombillas calefactoras, teniendo en cuenta aquella cuyas características se adaptaban a las necesidades del proyecto.

Tabla 3.1 Características de las bombillas para el control de temperatura

Imagen / Elemento		Marca	Emite luz visible	Resistente a la Humedad	Alimentación AC variable	Potencia [W]	Costo [COP]
	Bombilla infrarroja	Fluker`s	X	X	✓	75	46.000
	Bombilla cerámica	Exoterra	X	✓	✓	60	36.000
	Bombilla blanca	Zoo Med	✓	X	✓	100	24.000

Fuente: Los Autores

De acuerdo a los elementos evaluados, se decidió usar dos bombillas cerámicas, cada una de ellas ubicada en una cara lateral de la cámara (cara y, z). Como ventaja principal, estas bombillas cuentan con la posibilidad de variar la temperatura irradiada de acuerdo a la tensión de alimentación. Además, presentan un funcionamiento óptimo en condiciones de alta humedad, no emiten luz visible y su costo no es elevado. En el Anexo E1 se presentan las características generales y específicas de las bombillas seleccionadas.

3.3. Control de humedad

Debido a que el sistema de control de humedad al interior de la CAC requiere de un funcionamiento continuo y sin supervisión, se compararon algunos sistemas que presentaran una buena autonomía y que además tuvieran cierta flexibilidad en su configuración. Para esto, se evaluaron las características de sistemas de rocío artificial de alta presión usados comúnmente en terrarios para anfibios y reptiles, una alternativa eficaz y de fácil acceso para suplir las necesidades del presente trabajo de grado. La Tabla 3.2 muestra las características más relevantes de dos sistemas de humedad que se pueden encontrar en el mercado.

Tabla 3.2 Características del sistema para el control de humedad

Imagen / Elemento	Marca	Sistema de boquillas	Boquillas direccionales	Control Interno	Costo [COP]
	Monsoon RS400 Exoterra	✓	✓	✓	408.000
	Reptile Fogger Zoo Med	X	X	X	144.000

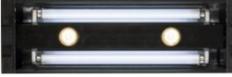
Fuente: Los Autores

Partiendo de esta comparación, se seleccionó el sistema Monsoon RS400 debido a que cuenta con algunas ventajas respecto al sistema Reptile Fogger. Entre estas ventajas cabe resaltar: lograr ajustar las boquillas de rocío, la posibilidad de modificar la dirección y presión del agua de salida, poseer un tanque de almacenamiento de 9,5 litros y tener un sistema de bombeo que se puede ajustar para diferentes periodos y ciclos de tiempo, el Anexo E2 presenta las características del sistema de humedad seleccionado.

3.4. Control de radiación de luz ultravioleta

De acuerdo a las necesidades de usar una fuente de radiación de luz ultravioleta y garantizar así el crecimiento de aquellos microorganismos que realizan procesos fotosintéticos (por ejemplo las algas) [38], se buscaron lámparas de luz ultravioleta con longitud de onda larga (400 – 315 nm) y bajo índice de radiación ultravioleta B (onda media 315 – 280 nm) o UVB. Este tipo de luz resulta benéfico para el desarrollo de algunos microorganismos y macroorganismos como algas unicelulares, animales y plantas [38], [39]. La Tabla 3.3 muestra las características y especificaciones técnicas de tres tipos de lámparas de radiación de luz ultravioleta.

Tabla 3.3 Características del sistema de radiación de luz ultravioleta

Imagen / Elemento	Marca	Potencia [W]	Emisión de calor	Balasto electrónico	Control horario	Costo [COP]	
	Repti-Glo 2.0 Compact	Exoterra	26	X	X	X	52.800
	Sun Glo Basking Lamp	Zoo Med	100	✓	X	X	21.600
	Repti-Glo 2.0	Exoterra	50	X	✓	✓	307.200

Fuente: Los Autores

Después de comparar las alternativas disponibles en el mercado y de acuerdo a las prestaciones de estas enfocadas al desarrollo del presente trabajo de grado, se seleccionó la lámpara Repti-Glo 2.0 debido a su gran tamaño, baja emisión de calor y posibilidad de controlar ciclos de luz automáticos para dar el efecto de día - noche a través de un balasto electrónico. En el Anexo E3 se presentan las características de la lámpara de emisión de luz ultravioleta seleccionada.

3.5. Diseño del controlador

Para realizar el control de radiación de luz ultravioleta, humedad y temperatura, se decidió diseñar e implementar un controlador de lazo cerrado con el fin de mantener las condiciones ambientales en el interior de la CAC dentro de rangos definidos para cada uno de los microorganismos seleccionados y así propiciar su crecimiento. La Tabla 3.4 muestra la comparación de especificaciones de tres microcontroladores disponibles en el mercado.

Tabla 3.4 Características del microcontrolador

Imagen / Microcontrolador	Librerías	EEPROM [B]	Canales A/D	I/O	Costo [COP]	
	PIC18F4550	✓	256	13	35	\$56.000
	ATmega32u4	✓	1.000	12	32	\$35.000
	P80C32	✓	128	8	24	\$48.120

Fuente: Los Autores

De los microcontroladores preseleccionados por sus prestaciones y características técnicas, se decidió trabajar con el ATmega32u4. Este microcontrolador se puede hallar en el mercado integrado en una placa Arduino, una plataforma de hardware libre que maneja un entorno de programación sencillo y que además ofrece múltiples entradas y salidas digitales que permiten controlar diferentes elementos. Como punto extra, Arduino no requiere de una fuente de alimentación compleja, por el contrario, se programa y alimenta a través de un puerto USB conectado a un computador. El Anexo F1 presenta las características de la placa seleccionada.

3.6. Sensor de temperatura y humedad

Para la medición de temperatura y humedad se buscó en el mercado un sensor integrado que de ser posible, pudiera medir estas variables ambientales simultáneamente (sensor TyH). Adicionalmente, se tuvo en cuenta los rangos de medición así como la precisión de cada uno ellos, esto con el fin de obtener información acorde y precisa para la evaluación de cada una de las variables. La Tabla 3.5 muestra una comparación entre los sensores contemplados durante la etapa de diseño de la CAC.

Tabla 3.5 Características del sensor de temperatura y humedad

Imagen / Sensor	Temperatura	Humedad	Rango / Precisión	Costo [COP]
	✓	X	-25 a 85 °C +/-0,5 °C	\$16.000
	X	✓	0 a 99% RH +/-3%	\$27.000
	X	✓	0 a 100% +/- 3,5%	\$33.000
	✓	✓	-40 a 80 °C +/-0,5 °C 0 a 100% RH +/- 2%	\$27.000
	✓	✓	0 a 50 °C +/-2 °C 20 a 95% RH +/- 5%	\$11.900
	✓	✓	-40 a 123,8 °C +/- 4°C 0 a 100% RH +/-3%	\$99.000

Fuente: Los Autores

Durante la etapa de diseño se abarcó una amplia búsqueda de información referente a los tipos de sensores que cumplieran con las características técnicas y disponibilidad necesarias, se evaluaron aspectos de precisión, resolución, sensibilidad, exactitud y error de los elementos que se iban a usar

en el estudio. El dispositivo seleccionado para el monitoreo de humedad y temperatura fue el sensor DTH22. Este dispositivo hace uso de un detector capacitivo de humedad y de un termistor, es un sensor simple, eficiente y de bajo costo que funciona a 5 VDC y puede operar de manera conjunta con la placa Arduino. Para asegurar una medición confiable dentro de la CAC, se usaron dos sensores DTH22 posicionados en sectores opuestos dentro de la CAC, como se puede observar en la Figura 3.4 (al interior de los círculos rojos). De esta manera, el valor medido de humedad o temperatura es el promedio de los valores individuales sensados. El Anexo F2 presenta las características del sensor seleccionado.



Figura 3.4 Disposición de sensores al interior de la CAC

Fuente: Los Autores

3.7. Sistema de monitoreo y control de variables ambientales en la CAC

Una vez las variables ambientales son medidas con ayuda de los sensores de humedad y temperatura, el microcontrolador de la placa Arduino emite señales digitales que permiten la apertura o cierre de relés electromecánicos que a su vez controlan la alimentación de elementos como las bombillas cerámicas y el sistema de humedad, tal y como se muestra en la Figura 3.5.

El controlador actúa de la siguiente manera: una vez el microcontrolador emite un conjunto de salidas digitales (1 o 0), estas se conectan a la base de un transistor BJT 2N2222 por medio de una resistencia de 1 k Ω . Cuando el microcontrolador emite un "1" digital (5V), satura el transistor y este se activa como un interruptor a fin de cerrar el circuito, lo que permite que se energice una bobina asociada a un relé electromecánico. Esta bobina a su vez acciona un contacto seco que puede emplearse para establecer diferentes niveles de tensión. Por otra parte, cuando en la salida del Arduino hay un "0" digital (0 V) no hay saturación en la base del transistor y el circuito permanecerá abierto. Es importante señalar que este esquema de control puede ser empleado en la CAC, bien sea para el accionamiento de los sistemas de calefacción, iluminación o rocío artificial (humedad). Adicionalmente, es posible manipular la tensión de alimentación de cualquier equipo empleado para alterar las condiciones ambientales dentro de la CAC.

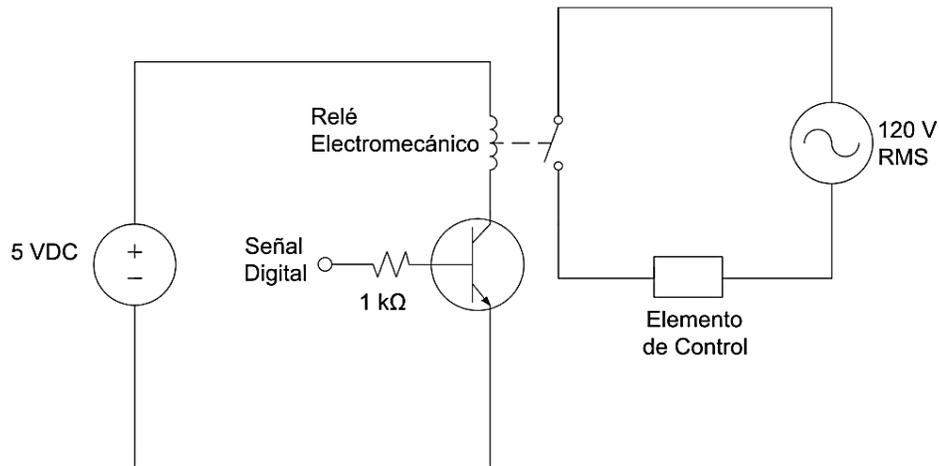


Figura 3.5 Esquema accionamiento elementos de control
Fuente: Los Autores

3.7.1. Control de temperatura

Como se mencionó anteriormente, para modificar la temperatura al interior de la CAC se hace uso de dos bombillas cerámicas. Estos elementos fueron ubicados en caras opuestas de la CAC (cara en direcciones y-z) a una altura de 25 cm con respecto a la base como se detalla en el Anexo D. Para su accionamiento, se diseñó un divisor de tensión compuesto por una resistencia de 20 Ohms dispuesta en serie con las dos bombillas cerámicas dispuestas en paralelo.

Este divisor es implementado por medio de dos relés electromecánicos que adicionan o retiran carga al sistema de calefacción, tal y como se muestra en la Figura 3.6. Esta conexión se hace con el fin de modificar la tensión de alimentación de las bombillas y así controlar la temperatura que es irradiada por estas. Las tensiones obtenidas sobre las bombillas cerámicas con y sin la resistencia en serie son 102,8 V y 120 V respectivamente.

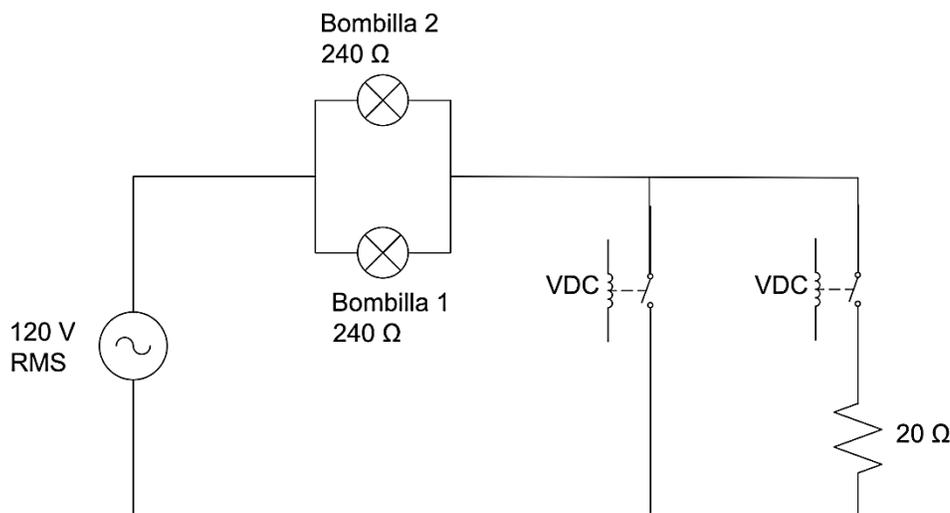


Figura 3.6 Divisor resistivo para el circuito de calefacción
Fuente: Los Autores

3.7.2. Control de humedad

El control de la humedad dentro de la CAC se realiza a través del accionamiento de un relé electromecánico que alimenta el equipo encargado de generar el rocío artificial (Monsoon RS400). Este accionamiento sólo entra en funcionamiento cuando el porcentaje de humedad se encuentra por debajo del umbral establecido en el código de programación del microcontrolador. Cabe aclarar que estos rangos serán descritos en detalle en el Capítulo 4 pues son definidos en función de cada microorganismo y sus necesidades.

Una de las ventajas del sistema de rocío artificial seleccionado es la posibilidad de programar tiempos de operación. Por lo cual, después de establecer un tiempo óptimo de ejecución del sistema, sólo resta controlar el encendido y el apagado del mismo. Lo anterior, realizado a través de la sensorica y lógica programada en el microcontrolador de la CAC.

3.7.3. Control de radiación ultravioleta

El sistema de radiación de luz ultravioleta descrito en el apartado 3.4 del presente capítulo, cuenta con un balasto electrónico que permite programar periodos de luz y oscuridad de 12 horas cada uno, de tal manera que se puedan simular las condiciones reales del ecosistema.

Este sistema de radiación sólo será usado para la bio-contaminación con algas debido a que estas requieren radiación solar para realizar sus procesos fotosintéticos [38]. Por otro lado, las contaminaciones biológicas asociadas al crecimiento de hongos sobre la superficie de los aisladores, no requieren de exposición a luz ultravioleta, dado que estos microorganismos presentan un desarrollo favorable en condiciones de oscuridad [39].

3.7.4. Pruebas en la sensorica

Con el fin de establecer el buen funcionamiento de los sensores de humedad y temperatura y tener un adecuado nivel de confianza en sus mediciones, se realizaron una serie de pruebas de laboratorio en las que se compararan los registros obtenidos con los sensores DTH22 y un sensor de comparación (patrón). Para este caso, el sensor usado como referencia fue el EXTECH SD7000 disponible en el Laboratorio de Alta Tensión de la Universidad Distrital (LAT-UD), el cual cuenta con un sensor que mide humedad y temperatura de manera simultánea. La calibración del sensor patrón se realizó el 26 de Febrero del año 2010 con número de reporte 100226-0. El Anexo G presenta las características y certificado de dicho sensor.

Inicialmente, se realizó la prueba de temperatura comparando los registros obtenidos de cada sensor. Las pruebas se realizaron a temperatura ambiente tomando 15 mediciones (muestras) con intervalos de 30 segundos y ubicando los sensores uno al lado del otro con el fin de establecer las mismas características de medición. La Figura 3.7 muestra el comportamiento de la temperatura monitoreada con el sensor patrón y el promedio de los dos sensores DTH22. Los resultados presentan una diferencia promedio de 1.09% entre el elemento patrón y los sensores seleccionados para la CAC.

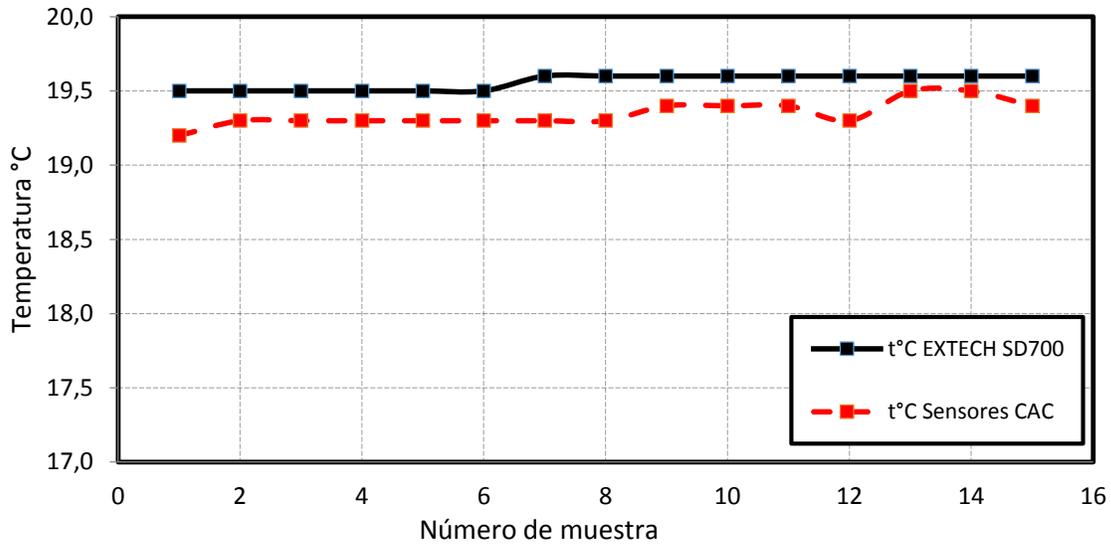


Figura 3.7 Comparación de mediciones para el registro de temperatura

Fuente: Los Autores

Posteriormente a la prueba de medición de temperatura, se realizó la prueba de medición de humedad del ambiente, comparando nuevamente los sensores DTH22 y EXTECH SD700. La prueba se realizó para condiciones ambientales siguiendo el mismo procedimiento usado para la medición de temperatura y se ubicaron los sensores uno al lado del otro con el fin de minimizar las diferencias en los valores medidos.

La Figura 3.8 muestra el registro de humedad relativa entre los sensores de prueba y el elemento patrón de medida. Al igual que en la medición de temperatura, el sensor DTH22 registra valores inferiores a los registros presentados por el sensor SD7000. Sin embargo, la diferencia porcentual promedio entre los sensores, es de apenas 1.29%, garantizando valores muy cercanos a las condiciones reales del medio.

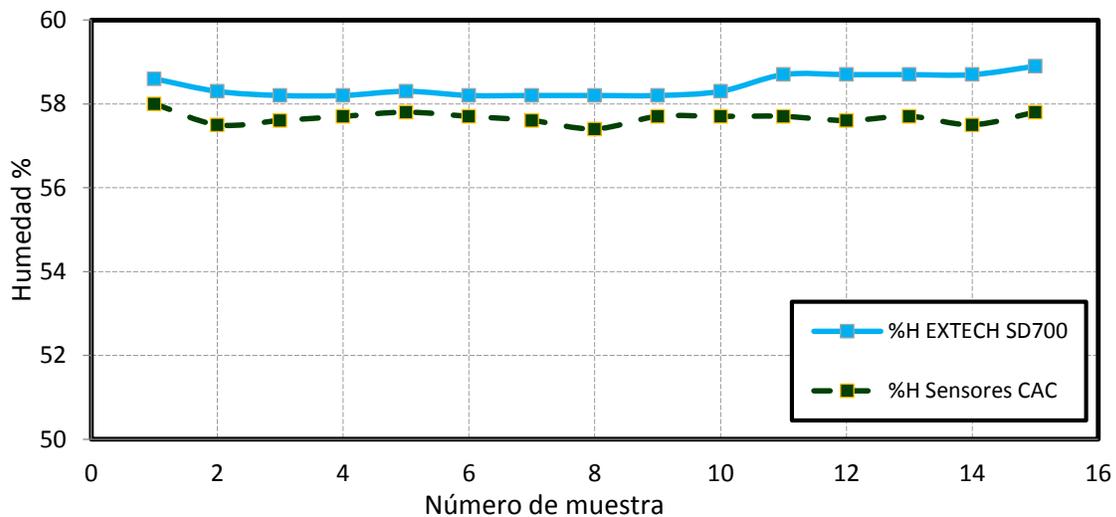


Figura 3.8 Comparación de mediciones para el registro de humedad

Fuente: Los Autores

3.8. Adquisición de datos y variables ambientales sensadas

En el código de programación del microcontrolador empleado, se estableció que la adquisición de datos de temperatura y humedad se realizará cada cinco minutos con el fin de lograr que las condiciones ambientales dentro de la cámara fueran estables, y de esta manera, fomentar el crecimiento de los microorganismos. Puesto que la placa con microcontrolador Arduino no almacena grandes volúmenes de información, se vio la necesidad de enlazar el sistema de monitoreo a un ordenador (PC) para establecer una base de datos. De esta manera, y a través de una hoja en Excel®, es posible observar el comportamiento de las variables ambientales en tiempo real y validar el buen funcionamiento del sistema de control de la CAC.

Para lograr el enlace entre el microcontrolador del Arduino y Excel®, fue necesario usar el software Realterm como intermediario en el proceso de comunicación. Este software permite capturar los datos que llegan a los puertos del ordenador y exportarlos a la plataforma que se desee (block de notas, Excel®, Matlab, etc.). Con el sistema de comunicación PC-Arduino establecido y los datos de las mediciones siendo almacenados de manera sistemática, se realizaron algunas pruebas con todo el sistema de control y monitoreo de la CAC.

La Figura 3.9 muestra el comportamiento promedio de la temperatura en la CAC durante 24 horas continuas. En esta figura se observa un periodo de establecimiento (primeros 120 minutos) en el cual la temperatura pasa de un estado inicial (temperatura ambiente del entorno de la CAC) a un valor de temperatura fijado como el deseado (24 °C para esta prueba). Luego de que la temperatura se estabiliza, se puede observar el funcionamiento del controlador y como este al conectar y desconectar la resistencia serie conectada a las bombillas cerámicas mantiene la temperatura entre 23 y 25 °C. Este rango se mantiene constante a lo largo del periodo de medición, ratificando el correcto funcionamiento del controlador de temperatura.

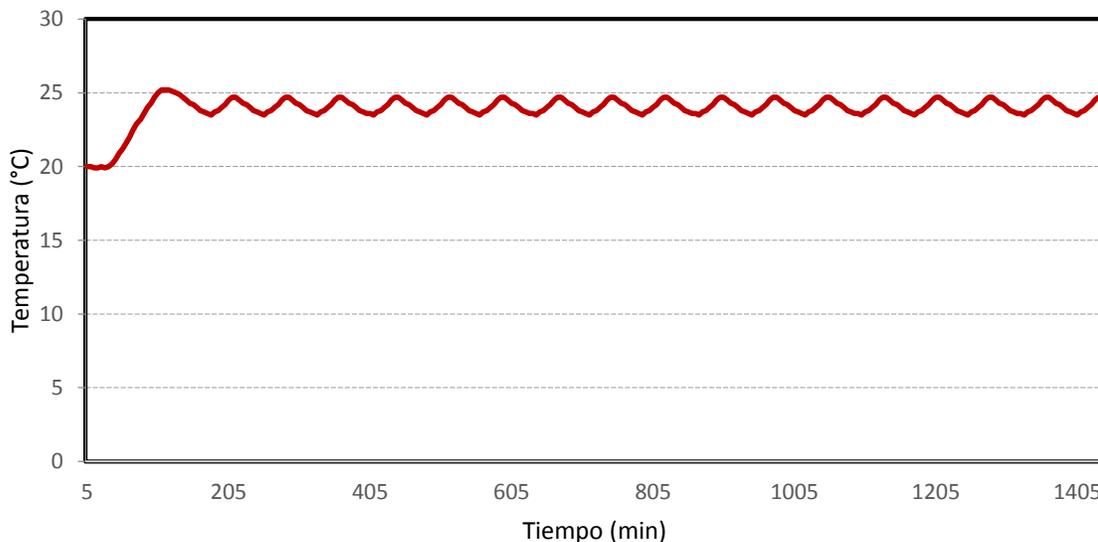


Figura 3.9 Temperatura promedio sensada en un periodo de 24 horas

Fuente: Los Autores

De manera similar a las pruebas de temperatura, se llevaron a cabo las pruebas sobre el control de humedad. En este caso, se fijó como valor óptimo un rango de humedad relativa entre 87 y 89%. La Figura 3.10 presenta el comportamiento promedio de la humedad relativa medida a intervalos de 5 min durante 24 horas continuas. Partiendo de un estado inicial que corresponde a las condiciones

ambientales del entorno de la CAC (58% humedad relativa), el controlador modifica las condiciones de humedad al interior de la cámara hasta el valor máximo fijado y posteriormente, regula dicha variable manteniendo un comportamiento constante durante el tiempo deseado.

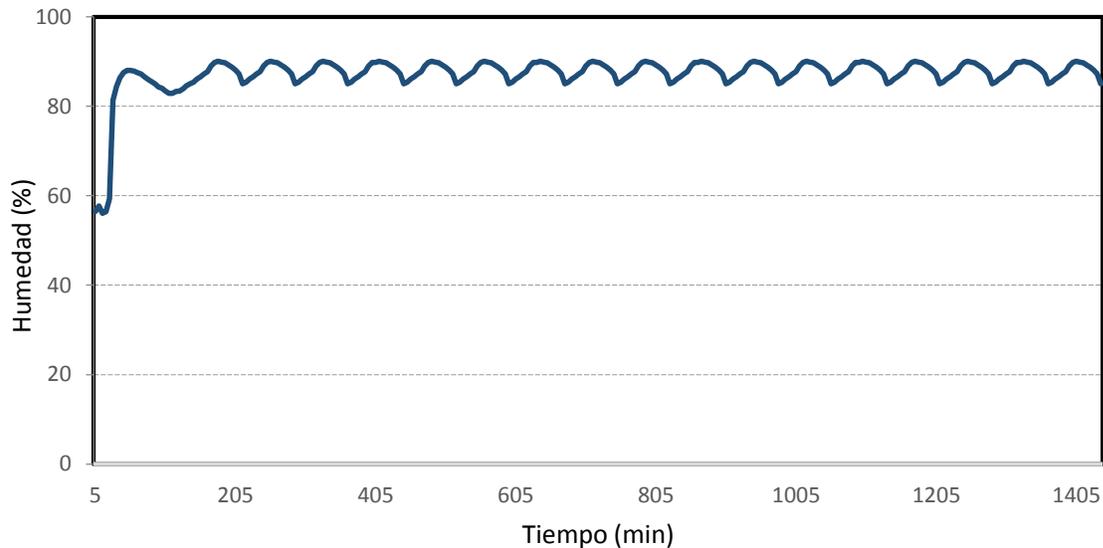


Figura 3.10 Humedad promedio sensada en un periodo de 24 horas

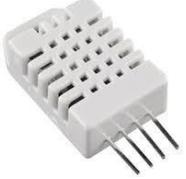
Fuente: Los Autores

3.9. Prototipo final de la CAC

Después de establecer los parámetros de operación y de realizar las pruebas que evidencian el correcto funcionamiento de cada uno de los elementos y dispositivos que integran la CAC, se obtiene un entorno controlado propicio para las pruebas de desarrollo biológico sobre la superficie de aisladores eléctricos.

La Tabla 3.6 presenta la lista de elementos y dispositivos definitivos que fueron seleccionados para la construcción de la CAC. Gran parte de los elementos empleados fueron seleccionados por sus prestaciones y su simplicidad de manejo e instalación. Sin embargo, se debe tener presente que muchos de estos dispositivos fueron adquiridos en el comercio internacional debido a la variedad limitada y costos elevados que estos tienen en el mercado nacional.

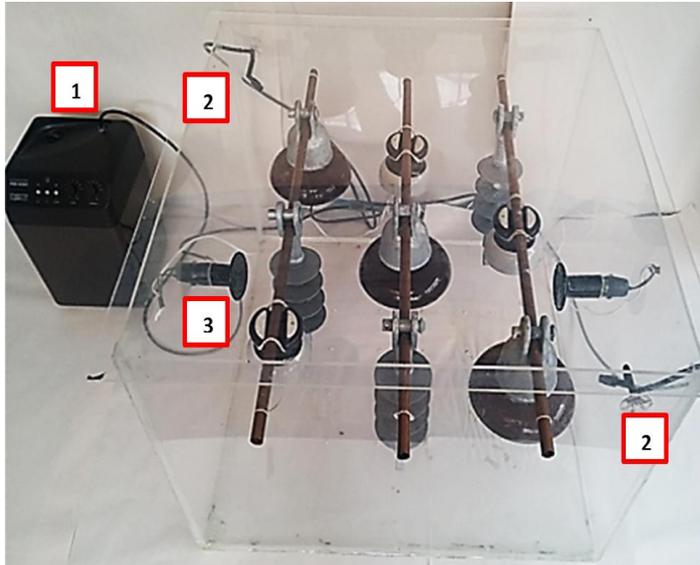
Tabla 3.6 Elementos para el control de variables físicas CAC

Elemento	Descripción
<p>Repti Glo 2.0 / Lámpara de luz diurna + controlador de ciclo de luz</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Temporizador incorporado • Alta eficiencia energética • Estimula el crecimiento de las plantas • Alta producción de luz visible • Alto Índice de Emisión de Color 98 • Temperatura de Color a 6700 °K • Baja radiación UVB
<p>PT2044 - 40W / Emisor térmico de cerámica</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Muy alta eficiencia de calor • Emisión de calor infrarrojo natural • No emite luz, no perturba los foto períodos normales (día/noche) • Elemento de cerámica sólido, apto para ambientes húmedos
<p>MONSOON RS400 / Sistema de alta presión</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Unidad de lluvia programable para terrarios y viveros • Múltiples boquillas para aplicaciones (hasta 6) • Gran reservorio de agua de 9,5 litros (2,5 galones) • Boquillas de pulverización flexibles en cualquier dirección.
<p>Arduino Leonardo / Placa con microcontrolador</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Placa de software libre. • Bajo costo y varias prestaciones. • Entradas/salidas programables. • Posee circuitos de alimentación a 5V integrado. • Se programa por la misma placa.
<p>DTH22 / Sensor de temperatura y humedad</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Bajo costo. • Censa temperatura y humedad simultáneamente. • Buena precisión • Calibración de fabrica • Posee una librería para recolectar la información con facilidad.

Fuente: Los Autores

Finalmente, se procedió a realizar el montaje final de todos los dispositivos de la CAC dando como resultado el prototipo de una cámara en acrílico que permite el control de la humedad, temperatura, radiación ultravioleta y el montaje de hasta nueve aisladores sobre los cuales se propiciará el crecimiento y desarrollo de colonias de microorganismos.

En la Figura 3.11 se muestra en detalle la CAC en su estado de construcción final, identificando cada uno de sus componentes. Adicionalmente, se muestra un ejemplo de la disposición final de los nueve aisladores bajo estudio al interior de la CAC. Por otro lado, se presentan los dos escenarios de control (con y sin presencia de lámparas de radiación ultravioleta), debido a las necesidades de aplicación para cada uno de los microorganismos expuestos en este trabajo.



CÁMARA DE AMBIENTE CONTROLADO

1. Sistema de humedad
2. Boquillas de rocío
3. Bombillas cerámicas
4. Lámparas radiación U.V.
5. Controlador iluminación

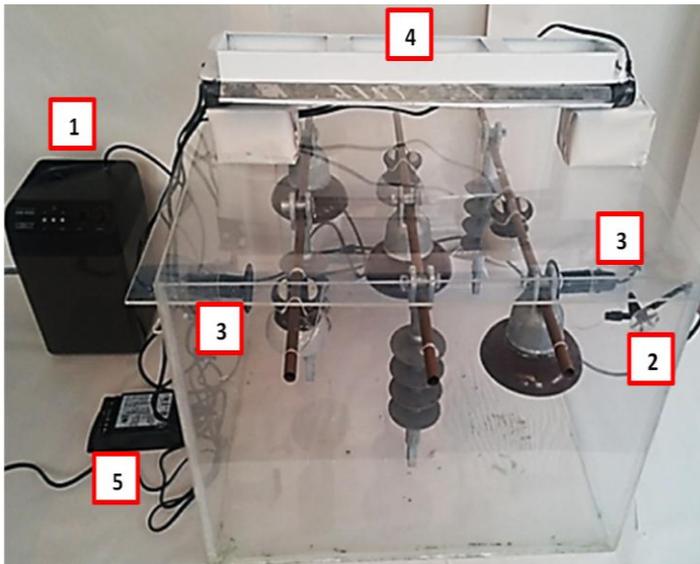


Figura 3.11 Cámara de ambiente controlado CAC: (a) Sin lámparas U.V, (b) con lámparas U.V.
Fuente: Los Autores

3.10. Conclusiones del capítulo

- El presente capítulo da cumplimiento al segundo objetivo específico: *diseñar y construir una cámara de almacenamiento de muestras que simule condiciones ambientales específicas y facilite el crecimiento de los microorganismos seleccionados sobre la superficie de los aisladores.*
- El proceso de diseño y construcción de la cámara de ambiente controlado dio como resultado un dispositivo compuesto de acrílico transparente cuyas dimensiones son: 700 mm de ancho, 500 mm de alto y 700 mm de profundidad. La cámara tiene capacidad de albergar 9 aisladores en su interior (3 tipo ANSI 52-1, 3 tipo ANSI 55-2 y 2 tipo ANSI DS-15), controlando la temperatura en rangos de 20 °C a 28 °C, la humedad relativa en rangos de 60% a 100% y ciclos de radiación ultravioleta de forma automática a través de programación en una placa Arduino.
- La selección y evaluación de los elementos necesarios para el diseño y construcción de la cámara de ambiente controlado, permitió durante el proceso definir y seleccionar aquellos elementos cuyas prestaciones y características se adaptaban de mejor manera a los objetivos propuestos en este trabajo.

(Página intencionalmente dejada en blanco)

4. MANIPULACIÓN BIOLÓGICA

Este capítulo presenta en detalle las características y criterios necesarios para la selección de los microorganismos expuestos en el Capítulo 2, mostrando el proceso de preparación de medios de cultivo, inoculación de muestras y manipulación de microorganismos en general. También se describe el proceso de exposición de aisladores tipo ANSI 55-2, ANSI 52-1 y ANSI DS-15 al desarrollo de cada microorganismo de acuerdo la disposición física de estos elementos en la CAC. Finalmente, se describe el proceso de toma de muestras realizado a los aisladores con presencia de material biológico sobre su superficie, así como los métodos de laboratorio empleados para su conteo e identificación.

4.1. Microorganismos para el estudio

La selección de los microorganismos bajo estudio se basa en los siguientes criterios: (a) búsqueda de información y casos reportados de desarrollo microbiano sobre la superficie de aisladores eléctricos; (b) selección de microorganismos cuyo hábitat se ajuste a las condiciones climáticas del territorio colombiano; (c) evidencia de afectaciones físicas y eléctricas sobre aisladores; y (d) selección de organismos microscópicos que no supongan afectaciones en la salud del personal involucrado en su manipulación.

Una vez se evaluaron cada uno de los aspectos considerados para trabajar con microorganismos, se seleccionaron los hongos *Aspergillus Niger* y *Phanerochaete Chrysosporium* y el alga *Chlorella Vulgaris*. La Tabla 4.1 muestra un resumen de los criterios de selección y características para el desarrollo de los microorganismos bajo estudio.

Tabla 4.1 Criterios de selección y características de microorganismos bajo estudio

Microorganismo	Número de reportes	Afectación aislador	Condiciones de hábitat necesarias para su desarrollo			Nivel de bioseguridad
			Temp.	% Hum	Radiación U.V.	
<i>Aspergillus Niger</i>	7	<ul style="list-style-type: none"> - Visual - Penetración humedad - Reducción tensión de flameo - Aumento corrientes de fuga 	23 °C - 27 °C	>60%	No	1
<i>Phanerochaete Chrysosporium</i>	3	<ul style="list-style-type: none"> - Visual - Penetración humedad - Reducción tensión de flameo - Degradación polímeros 	24 °C - 28 °C	>60%	No	1
<i>Chlorella Vulgaris</i>	6	<ul style="list-style-type: none"> - Visual - Captación de humedad - Reducción tensión de flameo - Aumento corrientes de fuga 	24 °C - 27 °C	>60%	Si	1

Fuente: Los Autores

Tal y como se puede observar en la Tabla 4.1, los hongos y el alga seleccionada presentan características similares en cuanto a las condiciones ambientales de su hábitat, con rangos de temperatura entre 23°C y 28°C y porcentajes de humedad relativa superiores al 60%. Por otro lado, presentan un peligro mínimo para el personal del laboratorio y para el ambiente al estar catalogados bajo el nivel de bioseguridad 1 [24].

También, se puede destacar que estos organismos microscópicos suponen afectaciones a los aisladores eléctricos como lo son: aumento de humedad sobre la superficie de los elementos, aumento en la magnitud de las corrientes de fuga y reducciones en las tensiones de flameo soportadas. Para el caso de los aisladores de tipo polimérico, además de presentar los problemas ya mencionados, cuando son atacados por hongos como el *Phanerochaete Chrysosporium* pueden presentar degradación de sus componentes.

4.2. Medios de cultivo

Los medios de cultivo son las soluciones nutritivas que se usan para incentivar el desarrollo de los microorganismos bajo una composición química controlada [17], [18]. Sin embargo, no todos los microorganismos reaccionan de igual manera ante el contacto con dichas soluciones y es por esto que se debe seleccionar adecuadamente el medio de cultivo dependiendo del organismo microscópico objetivo.

La preparación de las soluciones nutritivas determina en gran medida el éxito del desarrollo de los microorganismos, es por esto que se deben tener ciertas precauciones y consideraciones al preparar los medios de cultivo así como al manipular las muestras biológicas. A continuación, se describen las características de las soluciones empleadas durante la manipulación de los organismos microscópicos seleccionados.

4.2.1. Agar papa dextrosa (PDA)

El agar papa dextrosa (PDA) es un medio nutritivo preparado a partir de una infusión de papa y dextrosa que es un azúcar muy abundante en la naturaleza, en plantas y tejidos animales. Este medio de cultivo es recomendado para realizar recuento colonial y es el medio más empleado para el desarrollo de hongos y levaduras [40]. Según el Centro de Recursos Biológicos (ATCC) es la solución nutritiva recomendada para realizar inoculaciones de hongos filamentosos como el *Aspergillus Niger* y el *Phanerochaete Chrysosporium*, tal y como puede observarse en el Anexo A2 y el Anexo A3.

Para preparar el PDA se agregan 200 g de papa en rodajas sin pelar a 1000 ml de agua destilada hirviendo durante 30 min aproximadamente. Una vez cumplido este tiempo se decanta o filtra la infusión a través de una gasa y se añaden 20 g de dextrosa y 20 g de agar en polvo para solidificar la muestra. El producto resultante se debe esterilizar por 15 minutos en autoclave, una cámara hermética usada para esterilizar y cuyo interior puede resistir elevadas presiones y temperaturas. Este proceso de esterilización se realizó en las instalaciones del laboratorio biológico Bioquilab Ltda.

4.2.2. Agar de esporulación

El agar de esporulación es un medio de cultivo químicamente definido que resulta óptimo para el desarrollo de algas microscópicas. Como se muestra en el Anexo A1, esta solución nutritiva es recomendada por el ATCC para incentivar el crecimiento del *Chlorella Vulgaris*.

La preparación del agar de esporulación consiste en hervir 1000 ml de agua destilada a la cual se añade 1.0 g de extracto de levadura, 1.0 g de extracto de carne, 2.0 g de triptosa y 0.002 g de sulfato

de hierro, mezclando hasta que la solución sea homogénea. Una vez que la mezcla sea uniforme, se agregan 10 g de dextrosa y 15 g de agar en polvo para solidificar la muestra. Al igual que con el PDA y con cualquier otro medio de cultivo, la solución resultante debe esterilizarse en autoclave para eliminar contaminantes. Este proceso fue posible con el apoyo técnico del laboratorio biológico Bioquilab Ltda.

4.3. Control y codificación de muestras

De acuerdo a lo expuesto en el Capítulo 3, la CAC se diseñó con el objetivo de exponer un grupo de nueve aisladores al desarrollo de un microorganismo objetivo. Para este trabajo se adquirieron nueve aisladores tipo ANSI DS-15, nueve aisladores tipo ANSI 52-1 y nueve aisladores tipo ANSI 55-2, esto con el fin de exponer tres aisladores de cada tipo al desarrollo de cada uno de los microorganismos bajo estudio. Para llevar un control sobre cada uno de los elementos a lo largo de las diferentes etapas de prueba, estos aisladores fueron numerados de 1 a 9 y divididos en tres grupos al azar en función del microorganismo con el cual se contaminaron, tal y como se muestra en la Tabla 4.2.

Tabla 4.2 Numeración y codificación de muestras

Microorganismo	Código de referencia grupal	Número del aislador de referencia		
		ANSI 52-1	ANSI DS-15	ANSI 55-2
<i>Chlorella Vulgaris</i>	A1	7	1	7
	A2	8	3	8
	A3	9	7	9
<i>Aspergillus Niger</i>	A1	1	2	4
	A2	3	4	5
	A3	6	6	6
<i>Phanerochaete Chrysosporium</i>	A1	2	5	1
	A2	4	8	2
	A3	5	9	3

Fuente: Los Autores

El número correspondiente a cada tipo de aislador se mantiene a lo largo de todas las etapas de prueba y servirá como un parámetro para el análisis del elemento a través de los diferentes procesos a los cuales se somete (pruebas eléctricas y biológicas). Así, se garantiza que los aisladores expuestos al desarrollo de un microorganismo no se empleen nuevamente en otra bio-contaminación.

4.4. Inoculación de muestras

Uno de los mayores inconvenientes al realizar la inoculación de microorganismos es la contaminación ambiental ya que el aire contiene partículas de polvo en suspensión que arrastran grandes comunidades de organismos microscópicos. Para minimizar la contaminación de las muestras se debe hacer uso de la técnica aséptica de inoculación, un método básico que reúne procedimientos de manipulación de microorganismos [17]. Esta técnica busca minimizar el contacto de las muestras con el medio ambiente, aislándolas de este en tanto sea posible y trabajando cerca de un mechero o una llama que elimine los contaminantes próximos a las soluciones y muestras biológicas.

Para reducir las posibilidades de contaminación, además de emplear la técnica aséptica, los aisladores y la CAC fueron tratados con una solución de hipoclorito antes de iniciar al proceso de inoculación de las muestras. La CAC se mantuvo completamente cerrada en tanto fuese posible y solo se abrió para

realizar la inoculación de microorganismos sobre los aisladores. La Figura 4.1 muestra un grupo de aisladores esterilizados dispuestos a interior de la CAC.



Figura 4.1 Cámara de ambiente controlado con aisladores esterilizados en su interior
Fuente: Los Autores

4.4.1. Inoculación de *Aspergillus Niger*

La cepa de *Aspergillus Niger* empleada para la inoculación de muestras se obtuvo con el apoyo del Departamento de Farmacia de la Universidad Nacional de Colombia. La muestra original estaba contenida en una caja de Petri de vidrio y fue almacenada en congelador hasta que se hizo uso de esta en el proceso de bio-contaminación.

Una vez realizado el medio de cultivo (PDA), este se distribuyó en una capa fina y uniforme sobre la superficie de los aisladores y posteriormente se realizó la implantación de las muestras de *Aspergillus Niger*. Para ello, se hizo uso de asas metálicas, instrumentos que entran en contacto directo con la muestra y recolectan cierta cantidad de microorganismos para transportarlos a la superficie de los aisladores. Las asas metálicas fueron pasadas por fuego entre cada implantación para esterilizarlas y eliminar los contaminantes presentes en estas. La Figura 4.2 muestra la cepa de *Aspergillus Niger* usada para la bio-contaminación y contenida en una caja de Petri de vidrio para su aislamiento del medio y conservación.



Figura 4.2 Cepa de *Aspergillus Niger* en una caja de Petri de 6 cm de diámetro
Fuente: Los Autores

Conforme a los casos experimentales expuestos en la literatura, el proceso de desarrollo biológico de algas y hongos bajo condiciones controladas debe tener una duración no menor a cuatro semanas para que sea perceptible y considerable [4], [41], [42]. Dado lo anterior, los aisladores expuestos a biocontaminación se almacenaron al interior de la CAC por un periodo de seis semanas y culminado este proceso se procedió a realizar la toma de muestras biológicas y pruebas eléctricas para determinar su funcionamiento.

4.4.2. Inoculación de *Phanerochaete Chrysosporium*

La cepa de *Phanerochaete Chrysosporium* empleada para la inoculación de muestras fue adquirida a través del Laboratorio de Biotecnología Vegetal de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Antioquia. La muestra original fue enviada en una caja de Petri de vidrio y posteriormente fue almacenada en congelador hasta que se hizo uso de esta en el proceso de biocontaminación.

Al igual que con el *Aspergillus Niger*, el medio de cultivo para el *Phanerochaete Chrysosporium* es el agar papa dextrosa (PDA) y la técnica usada para la implantación de los microorganismos sobre los aisladores, es en esencia la misma. Los microorganismos se llevaron por contacto a la superficie de los aisladores usando asas metálicas previamente esterilizadas y haciendo uso de la técnica aséptica descrita para implantar el *Aspergillus Niger*. La cepa original de *Phanerochaete Chrysosporium* se presenta en la Figura 4.3.



Figura 4.3 Cepa de *Phanerochaete C.* en una caja de Petri de 4 cm de diámetro
Fuente: Los Autores

De acuerdo a reportes y experiencias descritas en la literatura [42][43], el tiempo de exposición de los aisladores al desarrollo de *Phanerochaete Chrysosporium* tuvo una duración de seis semanas al interior de la CAC. Culminado este proceso se procedió a realizar una evaluación visual, tomas de muestras biológicas por parte de personal de laboratorio y pruebas eléctricas sobre los aisladores con presencia de material biológico.

4.4.3. Inoculación de *Chlorella Vulgaris*

La muestra original de *Chlorella Vulgaris* se obtuvo a través del programa de Ingeniería Química de la Universidad de América. Las muestras se encontraban en un medio líquido y contenidas en recipientes de vidrio tal y como se muestra en la Figura 4.4.



Figura 4.4 Muestras de *Chlorella Vulgaris* en medio líquido
Fuente: Los Autores

El alga microscópica *Chlorella Vulgaris* se inoculó usando como medio nutritivo el agar de esporulación. Debido a la naturaleza líquida de la muestra original fue más simple el proceso de inoculación sobre la superficie de los aisladores. Para esto, se emplearon aspersores que garantizaran la distribución y repartición uniforme del alga sobre cada uno de los aisladores.

Culminado el proceso de implantación biológica, se procede a sellar la cámara de ambiente controlado. Al igual que en las implantaciones anteriores, se trató de minimizar el contacto de las muestras con el ambiente. El periodo de tiempo de desarrollo microbiológico sobre la superficie de los aisladores fue de seis semanas, tiempo en el cual la *Chlorella Vulgaris* fue visible sobre la superficie de los aisladores contaminados.

4.5. Desarrollo biológico

El desarrollo de microorganismos sobre la superficie de los aisladores eléctricos se evaluó una vez culminado el periodo de seis semanas para cada uno de los grupos de aisladores contaminados. Una vez culminado este proceso, los aisladores fueron extraídos de la CAC para realizar una inspección visual, registros fotográficos, toma de muestras por parte de laboratorios certificados y pruebas en el LAT-UD para determinar sus características eléctricas bajo la influencia del desarrollo microbiano.

4.5.1. Muestras contaminadas con *Aspergillus Niger*

El desarrollo de *Aspergillus Niger* sobre aisladores cerámicos tipo ANSI 52-1 no se observó sobre los herrajes del elemento. Sin embargo, se encontraron colonias sobre las superficies cerámicas cuyo aspecto corresponde a formaciones oscuras de tonalidad negra y gris, tal y como se observa en la Figura 4.5. Estas colonias se originan de un punto central y se extienden hacia el exterior, encontrándose en ocasiones con otras formaciones oscuras y generando así comunidades microbianas de mayor tamaño.

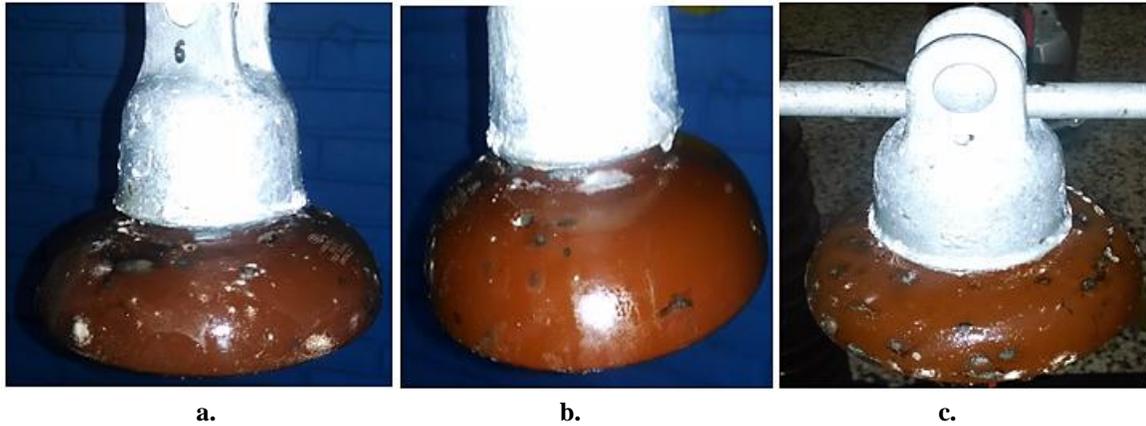


Figura 4.5 Aisladores cerámicos de suspensión con crecimiento de *Aspergillus Niger*: (a) Aislador 6, (b) Aislador 1, (c) Aislador 3

Fuente: Los Autores

En aisladores cerámicos tipo ANSI 55-2 el desarrollo biológico se observa con mayor proporción sobre la parte clara del aislador, tal y como se observa en la Figura 4.6. Por otro lado, en los sectores oscuros del aislador no se aprecia desarrollo significativo de *Aspergillus Niger*, esto puede deberse a la geometría de los elementos y a su limitada capacidad de retener humedad.

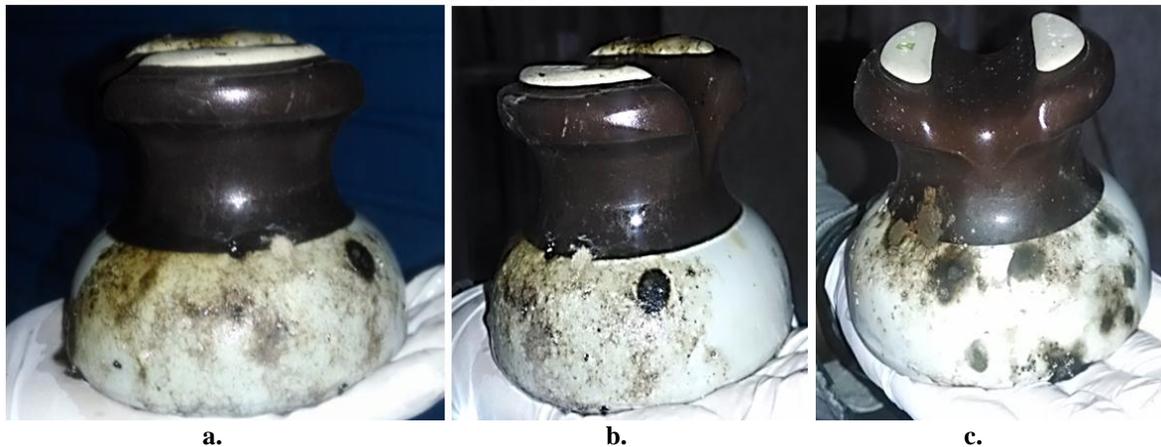


Figura 4.6 Aisladores cerámicos tipo Pin con crecimiento de *Aspergillus Niger*: (a) Aislador 4, (b) Aislador 5, (c) Aislador 6

Fuente: Los Autores

Los aisladores poliméricos tipo ANSI DS-15 presentaron gran cantidad de colonias microbianas sobre la superficie de sus discos y el núcleo cubierto de polímero pero no se evidenció desarrollo biológico sobre sus herrajes. Las colonias presentaban tonalidades oscuras, tal y como se observa en la Figura 4.7. En contraste con aisladores de tipo cerámico, los aisladores poliméricos exhiben mayor presencia de colonias microbianas y en estas se percibe una captación de humedad mayor sobre la superficie de los aisladores.

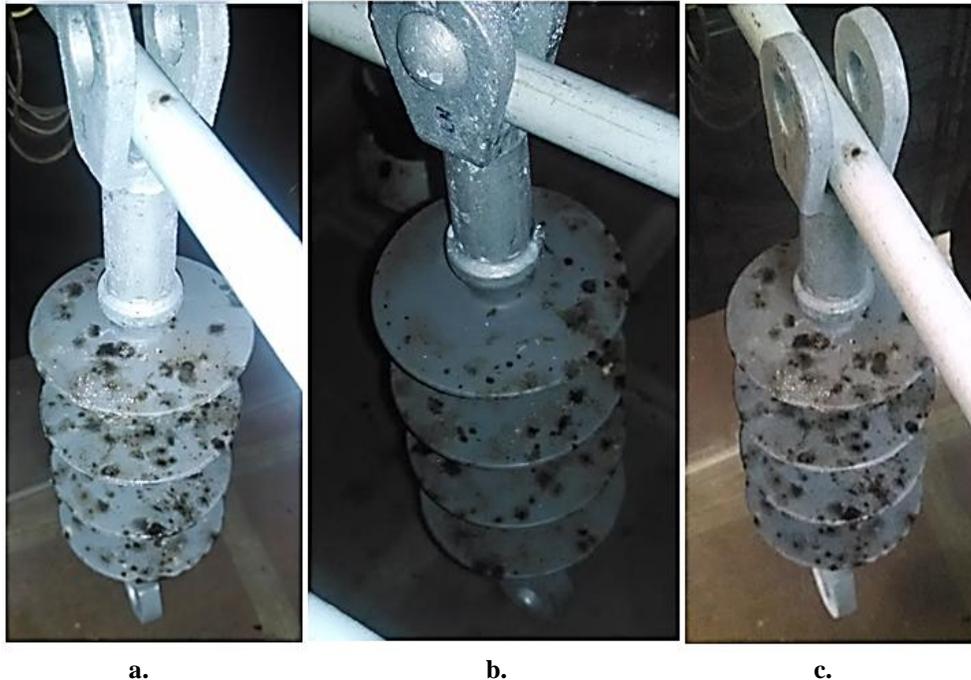


Figura 4.7 Aisladores poliméricos con crecimiento de *Aspergillus Niger*: (a) Aislador 2, (b) Aislador 4, (c) Aislador 6

Fuente: Los Autores

4.5.2. Muestras contaminadas con *Phanerochaete Chrysosporium*

Como puede observarse en la Figura 4.8, el desarrollo de *Phanerochaete Chrysosporium* sobre aisladores cerámicos tipo ANSI 52-1 no se aprecia sobre los herrajes del elemento. No obstante, colonias con tonalidades grisáceas y de geometría circular se pueden observar sobre las secciones cerámicas del aislador y no se detecta una captación significativa de humedad sobre la superficie de los mismos.

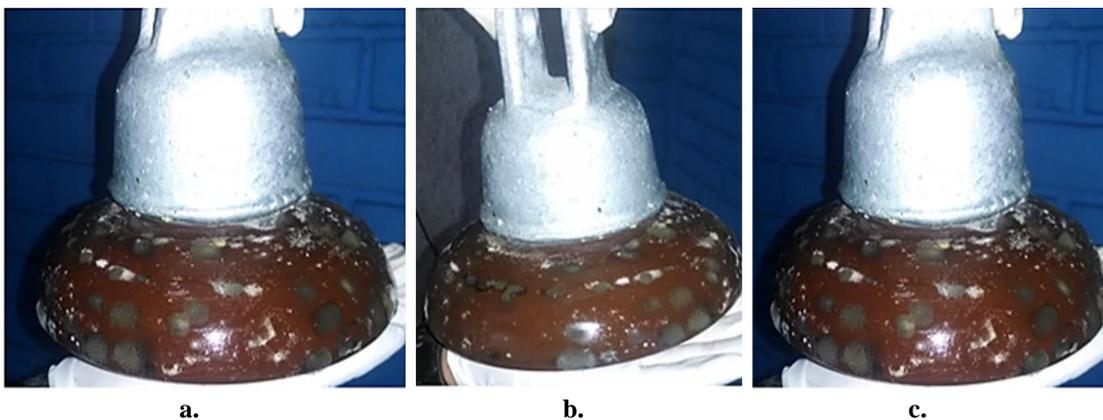


Figura 4.8 Aisladores cerámicos de suspensión con crecimiento de *Phanerochaete Chrysosporium*: (a) Aislador 2, (b) Aislador 4, (c) Aislador 5

Fuente: Los Autores

En aisladores cerámicos tipo ANSI 55-2, el desarrollo biológico de *Phanerochaete Chrysosporium* se aprecia en menor proporción que en los aisladores cerámicos tipo ANSI 52-1. Tal y como se muestra

en la Figura 4.9, colonias microbianas con tonalidades grises y negras se pueden observar la superficie de los aisladores.



Figura 4.9 Aisladores cerámicos tipo Pin con crecimiento de *Phanerochaete Chrysosporium*: (a) Aislador 1, (b) Aislador 2, (c) Aislador 3

Fuente: Los Autores

La Figura 4.10 muestra el desarrollo biológico de *Phanerochaete Chrysosporium* en aisladores poliméricos tipo ANSI DS-15. El crecimiento microbiano se evidencio tanto en los discos como en el núcleo recubierto de polímero. Las colonias microbianas se originan en puntos específicos y se expanden hacia el exterior del aislador, uniéndose con otras y formando así colonias de mayor tamaño. Por otro lado, en los herrajes del aislador no se aprecia un desarrollo significativo de *Phanerochaete Chrysosporium*.

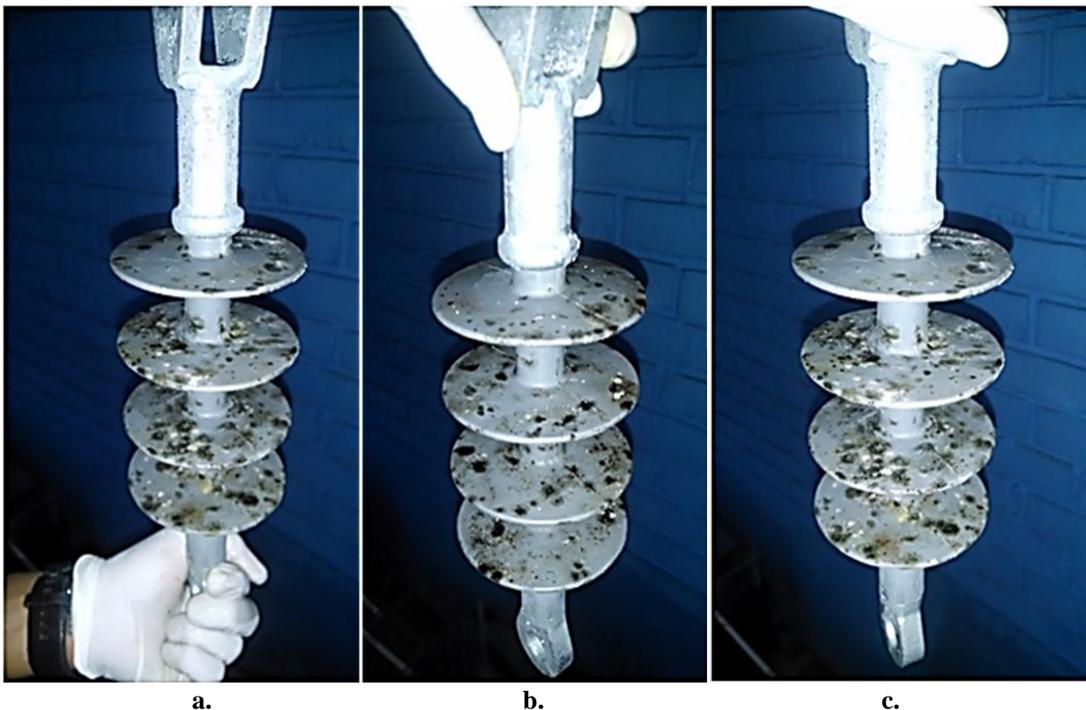


Figura 4.10 Aisladores poliméricos con crecimiento de *Phanerochaete Chrysosporium*: (a) Aislador 5, (b) Aislador 8, (c) Aislador 9

Fuente: Los Autores

4.5.3. Muestras contaminadas con *Chlorella Vulgaris*

En aisladores poliméricos tipo ANSI DS-15 expuestos al desarrollo biológico de *Chlorella Vulgaris*, se observaron colonias extensas de tonalidad verdosa que se aprecian con mayor proporción en los bordes de los discos. Las zonas cercanas al núcleo del aislador no presentaron desarrollo significativo. En la Figura 4.11 se observa un grupo de aisladores poliméricos con crecimiento de algas microscópicas sobre sus discos.

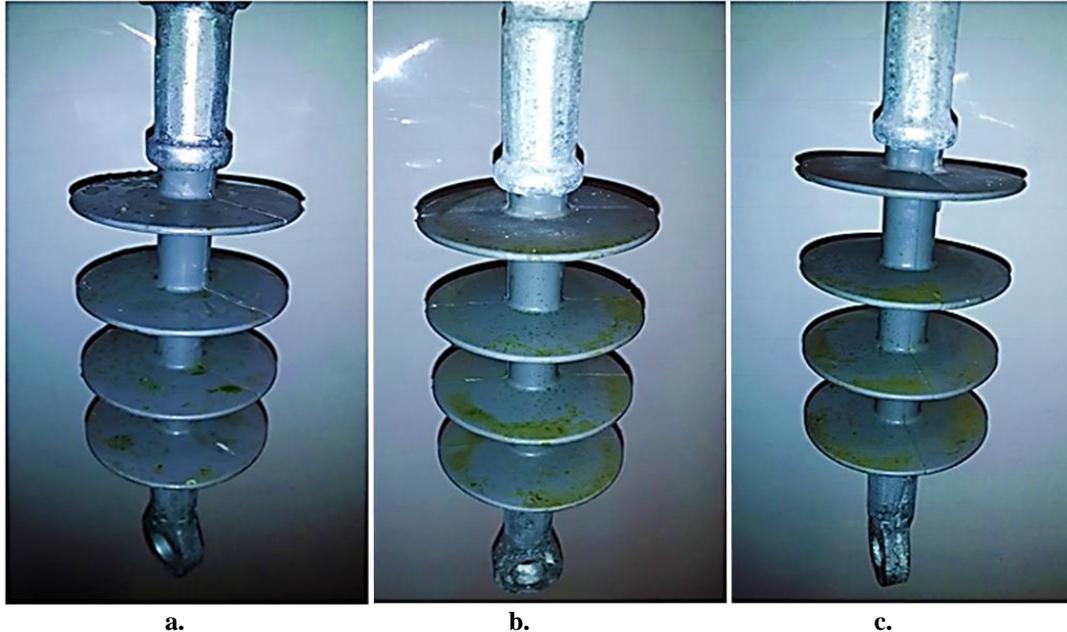


Figura 4.11 Aisladores poliméricos con crecimiento de *Chlorella Vulgaris*: (a) Aislador 1, (b) Aislador 3, (c) Aislador 7

Fuente: Los Autores

En aisladores cerámicos tipo ANSI 55-2 se observan colonias microbianas de tonalidad verde sobre su superficie. Sin embargo, es difícil apreciar el desarrollo biológico sobre los sectores más oscuros del material y a diferencia de los aisladores poliméricos, el alfa *Chlorella Vulgaris* no parece haber crecido en proporciones significativas, tal y como se observa en la Figura 4.12.

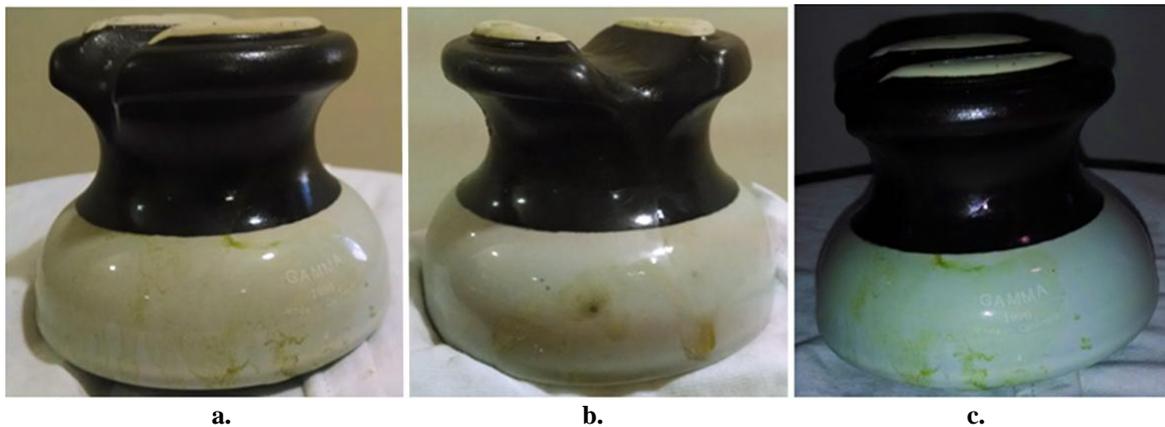


Figura 4.12 Aisladores cerámicos tipo Pin con crecimiento de *Chlorella Vulgaris*: (a) Aislador 7, (b) Aislador 8, (c) Aislador 9

Fuente: Los Autores

En aisladores cerámicos tipo ANSI 52-1 es muy difícil de observar el crecimiento de *Chlorella Vulgaris* debido a la tonalidad de los elementos y el contraste de *Chlorella Vulgaris* sobre el aislador. Al igual que en aisladores tipo pin, el crecimiento biológico no es tan severo como en aisladores poliméricos dadas las características geométricas de los aisladores. Esto se debe en parte a que estos aisladores no tienen zonas que puedan retener grandes cantidades de humedad lo cual reduce la presencia del alga. La Figura 4.13 muestra un grupo de aisladores cerámicos tipo suspensión con crecimiento de *Chlorella Vulgaris* en su superficie.



Figura 4.13 Aisladores cerámicos tipo suspensión con crecimiento de *Chlorella Vulgaris*: (a) Aislador 8, (b) Aislador 7, (c) Aislador 9

Fuente: Los Autores

4.6. Pruebas biológicas

Culminada la etapa de exposición de cada uno de los grupos de aisladores a los diferentes microorganismos, se procedió a realizar en el lugar donde esta ubicada la CAC la recolección de muestras biológicas para efectuar los análisis de laboratorio de identificación y conteo poblacional. Para los microorganismos *Aspergillus Niger* y *Phanerochaete Chrysosporium* se contó con los servicios del Laboratorio Bioquilab Ltda, con certificación ISO 9001:2008. En el caso de *Chlorella Vulgaris*, el servicio de toma de muestras y análisis estuvo a cargo del Laboratorio Dr. Calderon con certificación ISO 9001:2008. La selección de los laboratorios se realizó de acuerdo a una búsqueda donde se indagó acerca de la especialidad, costos y servicios prestados por la entidad. A continuación, se describen los métodos empleados durante la recolección y almacenamiento de las muestras así como los resultados producto de cada una de ellas.

4.6.1. Pruebas en *Aspergillus Niger* y *Phanerochaete Chrysosporium*

Debido a las características físicas, procedencia y similitudes de las condiciones de hábitat en los que se desarrollan *Aspergillus Niger* y *Phanerochaete Chrysosporium*, el método de toma de muestras y análisis empleado para el conteo e identificación en los aisladores expuestos al desarrollo biológico de estos hongos es el mismo.

El procedimiento empleado se basa en la Norma Técnica Colombiana NTC 5320 [44], en la cual se especifican los lineamientos para la recolección y manipulación de muestras. El conteo y determinación del número de microorganismos presentes sobre una superficie se efectúa mediante un análisis bajo microscopio del número de células viables presentes en un área determinada, realizando aproximaciones de la cantidad de microorganismos presentes en la muestra original.

Para la recolección de microorganismos en las muestras contaminadas con *Aspergillus Niger* y *Phanerochaete Chrysosporium* se usó el método de contacto con escobillón, el cual es un elemento similar a un hisopo previamente esterilizado y manipulado asépticamente para evitar la contaminación del elemento. Este método puede aplicarse sobre cualquier superficie y no está limitado a geometrías planas.

La toma de muestras consiste en realizar un frotis de manera aleatoria con un hisopo estéril sobre las superficies que se desean analizar. Inmediatamente, el elemento de contacto se inserta en un recipiente con agua peptonada para garantizar que el desarrollo biológico no se vea afectado y a su vez no esté expuesto a contaminantes del ambiente durante su transporte al laboratorio. La Figura 4.14 muestra una etapa del proceso de toma de muestras con escobillón (hisopo en el círculo rojo) sobre aisladores expuestos a bio-contaminación.



Figura 4.14 Método de contacto con escobillón aplicado a aisladores contaminados
Fuente: Los Autores

4.6.2. Pruebas en *Chlorella Vulgaris*

El método empleado para la toma de muestras biológicas, conteo e identificación sobre el grupo de aisladores expuestos al desarrollo de *Chlorella Vulgaris*, es un procedimiento denominado “Método de Análisis LBC 370” por el laboratorio Dr. Calderón. Para este método, al igual que con los hongos, usan elementos similares a hisopos con los cuales realizan contactos de manera aleatoria en la superficie de los aisladores. Posteriormente, las muestras son almacenadas en neveras para ser llevadas al laboratorio.

El conteo de algas microscópicas sobre la superficie de los aisladores se efectúa por conteo directo de células bajo microscopio usando una cámara de Neubauer. En este método se usa un portaobjetos que contiene divisiones de dimensiones definidas y visibles bajo la lente de un microscopio de campo claro, lo que permite realizar un recuento de microorganismos en un área determinada. La Figura 4.15 muestra una etapa del proceso de toma de muestras sobre aisladores expuestos a bio-contaminación.

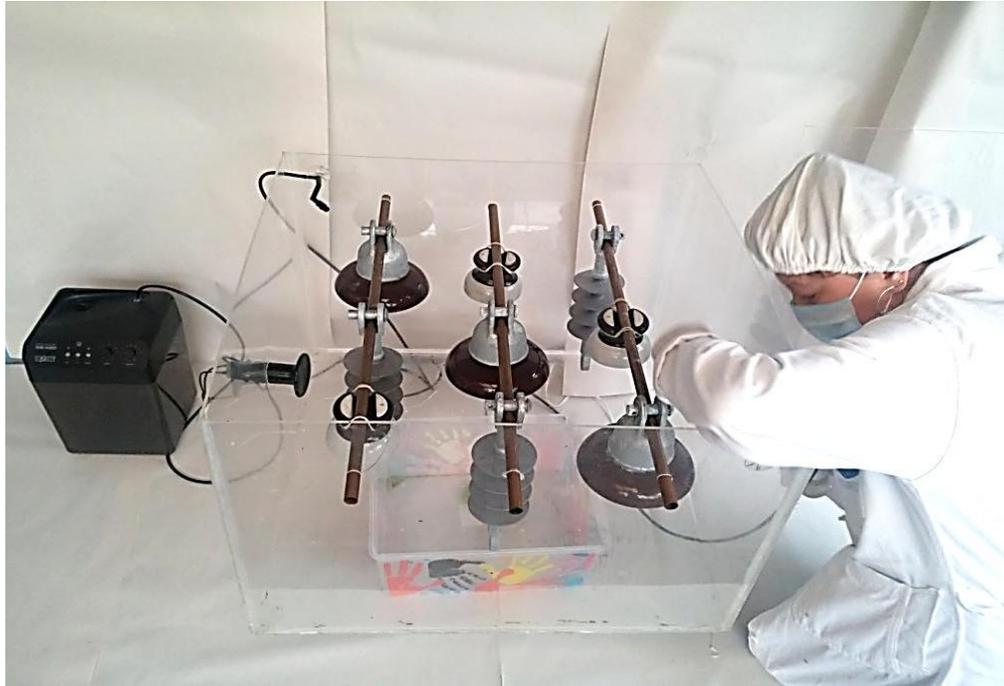


Figura 4.15 Toma de muestras sobre aisladores contaminados con *Chlorella Vulgaris*
 Fuente: Los Autores

4.6.3. Resultados Biológicos *Aspergillus Niger* / *Penicillium Sp*

Las muestras contaminadas con *Aspergillus Niger* fueron analizadas en dos ocasiones, estableciéndose en la primera de ellas una identificación positiva de *Aspergillus Niger* con características macroscópicas y microscópicas del microorganismo objetivo pero con imposibilidad de conteo debido a la alta densidad poblacional. Este resultado se muestra en la Tabla 4.3 y en el Anexo H1.

Tabla 4.3 Conteo poblacional *Aspergillus*

Microorganismo	Identificación Positiva	Tipo de aislador		
		ANSI 55-2	ANSI 52-1	ANSI DS-15
<i>Aspergillus Niger</i>	SI	Incontable	Incontable	Incontable

Fuente: Los Autores

Para el segundo análisis, se emplearon métodos de aislamiento más estrictos sobre una muestra contaminada con una cepa de *Aspergillus Niger*, dando como resultado la identificación microscópica de *Penicillium Sp*, y cuyo resultado se muestra en detalle en el Anexo H1. La Tabla 4.4 presenta un estimado del número de microorganismos viables sobre un área determinada para cada tipo de aislador. En todos los casos los resultados del conteo poblacional son expresados en unidades formadoras de colonia (UFC).

Tabla 4.4 Conteo poblacional *Penicillium*

Microorganismo	Identificación Positiva	Tipo de aislador		
		ANSI 55-2	ANSI 52-1	ANSI DS-15
<i>Penicillium sp.</i>	SI	200000 UFC	92000 UFC	150000 UFC

Fuente: Los Autores

Para obtener este conteo se produjeron cultivos aislados provenientes de la muestra original y posteriormente se realizó una aproximación por medio de conteo bajo microscopio de la cantidad de células viables sobre el área bajo análisis.

La presencia de los microorganismos *Aspergillus Niger* y *Penicillium sp* en medios con características similares, se debe no solo a la facilidad que tienen estos de ser transportados por el aire suspendidos en partículas de polvo, sino a la tipología propia de su género [45]–[48]. Además de pertenecer al mismo reino, filo, orden, clase y familia [49], son comúnmente hallados en el ambiente y en múltiples productos alimenticios [50], [51], razón por la cual se pueden encontrar en el mismo entorno o medio de cultivo y su aislamiento puede resultar arduo si no se cuenta con medios de laboratorio especializados. El Anexo A3 y el Anexo A4 muestran los certificados ATCC donde se exponen el medio de cultivo y nivel de bioseguridad para los microorganismos *Aspergillus Niger* y *Penicillium sp*.

4.6.4. Resultados Biológicos *Phanerochaete Chrysosporium*

Los resultados de las muestras contaminadas con *Phanerochaete Chrysosporium* emitidos por el laboratorio Bioquilab Ltda., establecieron características microscópicas y macroscópicas propias del microorganismo objetivo. La Tabla 4.5 presenta los resultados en UFC del conteo poblacional para las muestras contaminadas con este microorganismo. Adicionalmente, en el Anexo H2 se presentan los resultados biológicos detallados emitidos por el laboratorio.

Tabla 4.5 Conteo Poblacional *Phanerochaete Chrysosporium*

Microorganismo	Identificación Positiva	Tipo de aislador		
		ANSI 55-2	ANSI 52-1	ANSI DS-15
<i>Phanerochaete Chrysosporium</i>	SI	120000 UFC	8000 UFC	730000 UFC

Fuente: Los Autores

4.6.5. Resultados Biológicos *Chlorella Vulgaris*

De acuerdo a los resultados emitidos por el laboratorio Dr. Calderón, la identificación de *Chlorella Vulgaris* sobre la superficie de los aisladores cerámicos y poliméricos fue positiva. Así pues, las condiciones simuladas en la cámara de ambiente controlado y la elaboración del medio de cultivo, fueron ideales para su desarrollo.

La Tabla 4.6 presenta los resultados del conteo poblacional para las muestras contaminadas con *Chlorella Vulgaris*. Los resultados obtenidos están presentados como cantidad de células viables sobre mililitro (células/ml), esta expresión determina la cantidad de células vivas en el cultivo en función de un volumen determinado. Los resultados detallados del laboratorio pueden observarse en el Anexo H3.

Tabla 4.6 Conteo poblacional *Chlorella Vulgaris*

Microorganismo	Identificación Positiva	Tipo de aislador		
		ANSI 55-2	ANSI 52-1	ANSI DS-15
<i>Chlorella Vulgaris</i>	SI	480000 células/ml	534000 células/ml	572000 células/ml

Fuente: Los Autores

4.7. Conclusiones del Capítulo

- Se proporcionó para cada microorganismo (*Aspergillus Niger*, *Phanerochaete Chrysosporium* y *Chlorella Vulgaris*) las condiciones necesarias para su desarrollo sobre la superficie de aisladores cerámicos y poliméricos, presentando la elaboración de medios de cultivo e implementación de técnicas de inoculación de muestras de acuerdo a la información recolectada en la bibliografía y a la asesoría de personal calificado del área biológica.
- Se estableció un protocolo para la manipulación e identificación de las muestras biológicas con la asesoría de personal calificado (laboratorio Bioquilab Ltda. NTC 5230 y laboratorio Dr. Calderón LCB 370) y la información bibliográfica encontrada. Se describió el procedimiento para inocular los microorganismos teniendo en cuenta los nutrientes necesarios para su desarrollo y se obtuvo identificaciones positivas en todas las muestras examinadas.
- El riesgo de contaminación de muestras producto del contacto con agentes externos (partículas de polvo en suspensión, comunidades microbianas, toxinas de fuentes biológicas, entre otras) se incrementa si no se garantizan condiciones de trabajo completamente estériles y el uso de herramientas especializadas que permitan el aislamiento de contaminantes y microorganismos no deseados como el *Penicillum Sp.*
- Posterior al proceso de bio-contaminación, se identificó el hongo filamentoso *Penicillum sp* sobre las muestras expuestas al desarrollo de *Aspergillus Niger*. Su presencia fue producto de las similitudes metabólicas y constitutivas existentes entre los dos hongos, dado que pertenecen al mismo reino, filo, orden, clase y familia y son comúnmente hallados en el mismo ambiente.

(Página intencionalmente dejada en blanco)

5. PRUEBAS ELÉCTRICAS DE REFERENCIA

En este capítulo se presenta el desarrollo de pruebas eléctricas normalizadas sobre aisladores nuevos que fueron realizadas en el Laboratorio de Alta Tensión de la Universidad Distrital (LAT-UD). Además, se muestra la metodología usada para llevar a cabo dichas pruebas aplicando protocolos según la normatividad existente y se describen los elementos empleados en cada uno de los ensayos. Finalmente, se muestran los resultados de referencia obtenidos.

5.1. Aisladores bajo estudio

Haciendo uso de los elementos disponibles en el LAT-UD y tomando como referencia la Norma Técnica Colombiana NTC 1285 [52] (Método de ensayo para aisladores de potencia eléctrica), se realizaron ensayos de tensión y corriente a los aisladores cerámicos y poliméricos nuevos. Las pruebas realizadas sobre los aisladores incluyen ensayos de: flameo de tensión tipo impulso, tensión de flameo en seco y húmedo, y mediciones de corrientes de fuga. La Tabla 5.1 muestra las características de aisladores cerámicos y poliméricos seleccionados y sus certificados CIDET se muestran en el Anexo I.

Tabla 5.1 Características de los aisladores bajo estudio

Aislador	Figura	Características eléctricas	
Aislador tipo PIN ANSI 55-2		Tensión típica de aplicación [kV]	7,2
		Tensión de flameo en seco [kV]	50
		Tensión de flameo en húmedo [kV]	25
		Tensión de flameo crítico al impulso positivo [kV]	75
		Material	Cerámico
Aislador tipo suspensión ANSI 52-1		Tensión típica de aplicación [kV]	15
		Tensión de flameo en seco [kV]	60
		Tensión de flameo en húmedo [kV]	30
		Tensión de flameo crítico al impulso positivo [kV]	100
		Material	Cerámico
Aislador tipo suspensión ANSI DS-15		Tensión típica de aplicación [kV]	15
		Tensión de flameo en seco [kV]	95
		Tensión de flameo en húmedo [kV]	75
		Tensión de flameo crítico al impulso positivo [kV]	145
		Material	Polimerico

Fuente: Los Autores

Los tres tipos de aisladores fueron seleccionados considerando las limitantes en los niveles de tensión máximos permitidos en el LAT-UD (100kV RMS) para el desarrollo de los diferentes ensayos eléctricos. Sin embargo, los aisladores tipo ANSI 52-1, ANSI 55-2 y ANSI DS-15 representan de buena manera los tipos de aisladores empleados frecuentemente en los sistemas eléctricos de media tensión de Colombia.

5.2. Elementos e instrumentos de laboratorio

Para desarrollar cada una de las pruebas de referencia y de acuerdo a las necesidades propias de cada uno de los ensayos eléctricos, se hizo uso de múltiples elementos e instrumentos disponibles en el LAT de la Universidad Distrital. La Tabla 5.2 presenta los elementos empleados en las etapas de potencia (generación y medida), así como sus características principales, aplicación y relaciones de transformación teóricas (Mt). En el Anexo J se presenta cada elemento de manera más detallada.

Tabla 5.2 Elementos de potencia

	Elemento	Características	Aplicación
Generación	Resistencia de frente	1320 Ω - 100 kV	Resistencia de frente para la generación de impulsos tipo rayo normalizado
	Resistencia de cola	350 Ω - 140 kV	Resistencia de cola para la generación de impulsos tipo rayo normalizado
	Resistencia limitadora	3,6 M Ω - 29mA-100 kV	Limitación de corriente al circuito a fin de proteger los elementos usados
	Condensador de descarga	25000 pF – 140 kV	Condensador de descarga para el generador de impulsos tipo rayo y condensador de rizado para el etapa de rectificación DC.
	Diodo de potencia	140 kV -20mA-100K Ω	Diodos para la etapa de rectificación del generador de impulso tipo rayo
	Transformador	5 kVA, 100 kV RMS	Transformador para la generación de altas tensiones
	Módulo de control	Tensión de regulación 0 – 220 VAC	Módulo de control para la generación de altas tensiones
	Espinterómetro	Diámetro de las esferas 12 cm	Variación nivel pico de tensión de impulso
Medida	Divisor Resistivo	RAT= 280 M Ω - 140 kV	Medición de altas tensiones en corriente alterna y directa
		RBT= 40 K Ω / 60 VAC/ 80 VDC	
		Mt=7001	
	Divisor capacitivo amortiguado	CAT= 1227 pF RAT= 58,25 Ω	Medición de impulsos tipo rayo y condensador de carga para el circuito generador de impulsos
		RBT= 0,03952 Ω / CBT= 1,68 μ F 160 VAC/ 240 VDC	
		Mt=1375	
	Divisor capacitivo	CAT= 100 pF – 100 kV	Medición de altas tensiones en corriente alterna
		C= 330 nF/ 60 VAC/ 80 VDC	
		Mt=3001	

Fuente: Los Autores

Debido a la importancia de realizar mediciones de tensión y corriente, así como tener un buen sistema de adquisición de datos para cada uno de los ensayos eléctricos, se hizo uso de elementos de instrumentación que en conjunto con los divisores de tensión (ramas de alta y baja tensión), permiten obtener señales confiables para su posterior análisis.

Entre estos elementos se encuentran osciloscopios digitales, multímetros, puntas de prueba de alta tensión y sensores de condiciones ambientales. En la Tabla 5.3 se presentan brevemente las características de los elementos de instrumentación empleados y la relación de transformación práctica (M_p) de los divisores y otros equipos usados para la medición. Además, se muestra el error porcentual de los divisores de tensión respecto a la punta de prueba de tensión FLUKE 80K-40 usado como equipo patrón en el LAT-UD. El Anexo K presenta en detalle las características y caracterización de cada uno de los equipos mencionados.

Tabla 5.3 Elementos de instrumentación y medida

Elemento	Datos técnicos
Divisor capacitivo	$M_p = 3364$ % Error: 1.88%
Divisor resistivo	$M_p = 7029$ % Error: 0.40%
Divisor capacitivo amortiguado	$M_p = 1375$
Osciloscopio RIGOL DS1002E	Ancho de banda: 100 MHz Vin Max: 300V RMS Tiempo de muestreo: 1GSa/s
Multímetro FLUKE 289 True RMS	Ancho de banda: 100 kHz, Vin Max: 1000V RMS I Max: 10 A Resistencia: 500M Ω
Multímetro FLUKE 189	Ancho de banda: 100 kHz, Vin Max: 1000V RMS I Max: 10 A Resistencia: 500M Ω
Registrador de condiciones Ambientales EXTECH SD700	Presión: 7.5-825 mmHg Temperatura: 0-50°C Humedad: 10-90%
Punta de prueba de alta tensión FLUKE 80K-40	Vin Max: 28kV RMS Resistencia: 1000M Ω $M_p = 1000$

Fuente: Los Autores

5.3. Disposición de montajes para aisladores tipo suspensión

Cada uno de los montajes realizados para los ensayos eléctricos tienen como fundamento los lineamientos descritos en la Norma Técnica Colombiana NTC 1285 [52], la cual describe los métodos de ensayo para aisladores eléctricos de potencia. En el caso de los aisladores de suspensión ANSI 52-1 y DS-015, la normatividad establece una distancia mínima de 1.5 veces la distancia de arco en seco entre elementos ajenos al montaje y los elementos dispuestos para el ensayo, siendo la menor distancia admisible 914 mm.

Haciendo uso de los elementos disponibles en el LAT-UD, se emplearon aisladores rígidos de 1.4 m de altura que sirvieron como apoyo para garantizar las distancias de seguridad establecidas en la norma. En estos aisladores rígidos se suspendieron los aisladores bajo estudio con un conductor rígido y conforme a la norma NTC 1285 se conectó la tierra del sistema (regleta del LAT-UD) al conductor ubicado en la parte superior de los aisladores.

Por otro lado, la energización del montaje se efectuó por la parte inferior de los objetos de prueba, utilizando conectores con pinzas para así asegurar una conexión firme y segura. La Figura 5.1 muestra la disposición física de aisladores tipo suspensión durante la realización de los ensayos eléctricos.

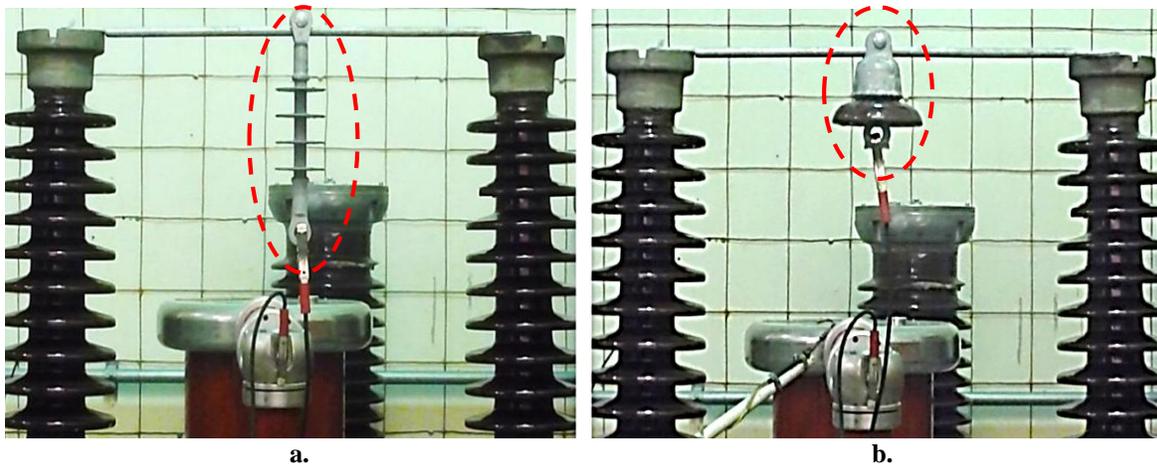


Figura 5.1 Disposición de montaje para aisladores tipo suspensión: (a) ANSI DS-15, (b) ANSI 52-1
Fuente. Los Autores

5.4. Disposición de montajes para aisladores tipo Pin

El montaje para los aisladores ANSI 55-2 se realizó según los lineamientos de la norma NTC 1285 [52]. En esta norma se establece la disposición y ubicación de cada uno de los elementos y se especifica las distancias de seguridad como 1.5 veces la distancia de arco en seco entre elementos ajenos al montaje y los elementos dispuestos para el ensayo, siendo la menor distancia admisible de 914 mm. Para dar cumplimiento a la norma se dispuso de elementos disponibles en el LAT-UD y se adquirieron conductores rígidos y conectores con pinzas para garantizar conexiones seguras.

Para el montaje del aislador tipo Pin se dispuso de un conductor rígido en posición horizontal que debe ser energizado y ubicado sobre la ranura superior del aislador por medio de un amarre realizado con alambre de cobre calibre 8 AWG. Este alambre debe dar dos vueltas alrededor del aislador y a su vez asegurarse al conductor energizado. Además, un espigo de 6 pulgadas de longitud debe roscarse en la parte inferior del aislador y en el extremo libre debe conectarse a la tierra del sistema (regleta LAT-UD). La Figura 5.2 muestra la disposición física de aisladores tipo Pin para la realización de los diferentes ensayos eléctricos.

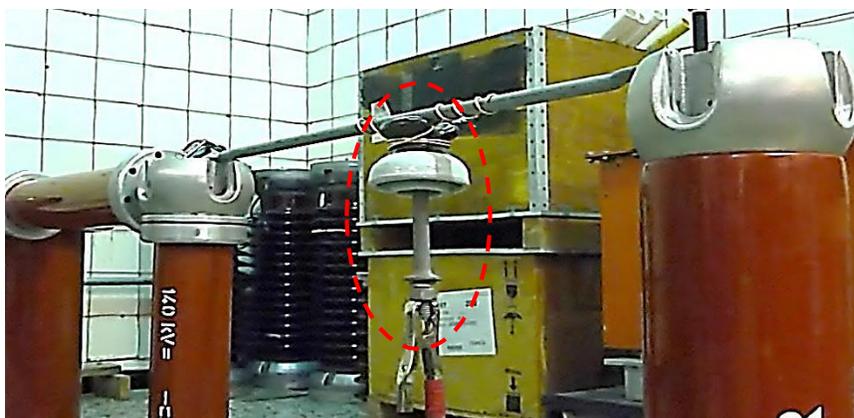


Figura 5.2 Disposición de montajes para aisladores tipo Pin

Fuente: Los Autores

5.5. Ensayos eléctricos

Debido a la ubicación geográfica de Bogotá y con el objetivo de tener valores normalizados y acordes a los lineamientos de las normas NTC 1285 e IEEE 4 [52], [53], es necesario realizar correcciones por condiciones atmosféricas para establecer las tensiones de flameo reales según el lugar donde se realizan los ensayos. La normatividad establece una presión barométrica estándar de 760 mm de Hg y una temperatura de 25 °C. Tendiendo esto, el cálculo del factor de densidad relativa (δ) se calcula así:

$$\delta = \frac{p}{760} * \frac{(273 + Ts)}{(273 + Ta)} \quad (1)$$

Donde p es la presión barométrica medida al momento de realizar el ensayo, Ts es la temperatura estándar según la normatividad y Ta es la temperatura medida durante la prueba. Así, una vez obtenido el factor de densidad relativa, es posible calcular la tensión de disrupción esperada para un elemento de prueba aplicando la ecuación (2).

$$Vd = \delta * V \quad (2)$$

Donde V es la tensión de flameo estipulada por el fabricante del aislador bajo ensayo. Aplicar estas correcciones es primordial para obtener valores experimentales llevados a condiciones normalizadas. Debido a las condiciones variables del entorno, este proceso debe ser replicado para cada ensayo eléctrico, eliminando así errores entre las diferentes medidas tomadas durante dicho proceso.

5.5.1. Ensayo de flameo en seco a baja frecuencia

Para el ensayo de flameo en seco a baja frecuencia fue necesaria la inclusión de una resistencia de 3.6 M Ω conectada en serie a la salida del transformador, esta resistencia limita la corriente que circula por el sistema actuando como una protección. Para la medición de tensión en el montaje se empleó el divisor resistivo de 280 M Ω en la rama de AT y la rama de BT de 40 k Ω . La energización de los electrodos y la conexión a tierra del objeto bajo prueba se realizan según lo descrito en el numeral 5.3 y 5.4 del presente capítulo. La Figura 5.3 muestra el circuito implementado en el LAT-UD para el ensayo de flameo en seco a baja frecuencia con los elementos disponibles.

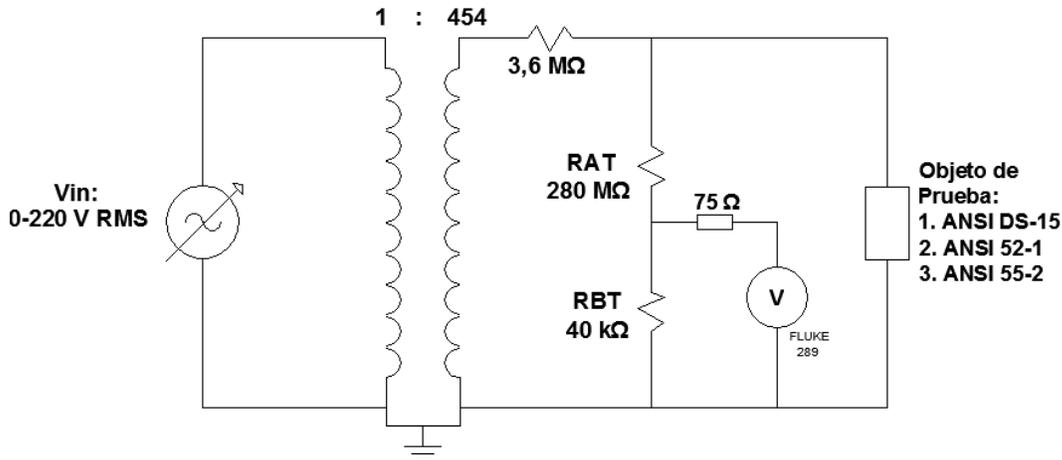


Figura 5.3 Circuito para el ensayo de flameo a baja frecuencia

Fuente: Los Autores

Una vez verificadas todas las condiciones de seguridad y lineamientos referentes a la prueba, se debe ajustar la pendiente del módulo para la alimentación del circuito. Para este caso, la pendiente se ajusta en 2 kV/s siguiendo las recomendaciones del fabricante de aisladores eléctricos Gamma y la norma NTC 1285 [52], [54]. Para realizar el ensayo, se aplicó tensión sobre el objeto de prueba hasta alcanzar el 75% de la tensión de flameo en seco corregida usando la ecuación (2). Una vez superado este valor, el incremento se realiza de manera escalonada evitando que el tiempo entre el 75% de la tensión de flameo esperada y la tensión de flameo experimental sea menor a 5 segundos o mayor a 30 segundos.

El valor de la tensión de flameo en seco del objeto bajo prueba se definió como la media aritmética de 5 valores medidos tomados de manera consecutiva, tal y como se muestra en la ecuación 3 [52]. Adicionalmente, se debe garantizar que el tiempo entre pruebas consecutivas debe ser mayor a 15 segundos y menor a 5 min y que la variación de valores medidos entre pruebas no debe ser mayor a +/- 5% [52]. Durante este trabajo se realizaron pruebas con intervalos de 1 minuto.

$$Vf = \frac{1}{5} * \sum_{i=1}^5 Vi = \frac{V1 + V2 + \dots + V5}{5} \quad (3)$$

Donde Vf es la tensión promedio de flameo, n el número de pruebas realizadas y V es la tensión de flameo correspondiente a cada una de las pruebas aplicadas sobre los aisladores eléctricos.

5.5.2. Ensayo de flameo en húmedo a baja frecuencia

Para aplicar el ensayo de flameo en húmedo se deben seguir todos los lineamientos anteriormente descritos para la pruebas en condiciones secas. La norma NTC 1285 establece la variación de esta prueba en la inclusión de un rocío artificial uniforme sobre la superficie de los aisladores [52]. La Figura 5.4 presenta el esquema general para la generación de rocío artificial, en el cual se muestran los elementos necesarios para generar dicho rocío de acuerdo a la normatividad existente [54]. Este esquema, aplicado por el fabricante de aisladores Gamma, fue usado como referente para la realización de las pruebas en húmedo.

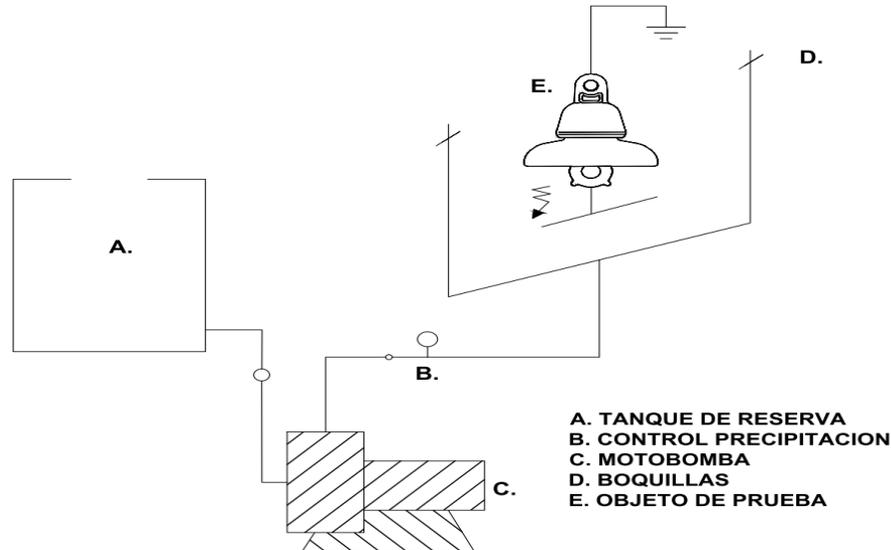


Figura 5.4 Esquema general para la generación de rocío
Adaptado de:[46]

Para el ensayo de flameo en húmedo en el LAT-UD se hizo uso de un sistema de rocío artificial Monsoon RS400 (similar al empleado en la CAC) y adaptado a los requerimientos descritos en la normatividad existente [52], [54]. Este sistema de rocío se compone por una motobomba y un tanque de almacenamiento de agua con capacidad de 9.5 litros al cual se acoplaron dos boquillas cuya presión de salida es variable y su dirección es ajustable.

Antes de iniciar la prueba se debe humedecer el aislador durante 10 segundos y luego, en un tiempo no mayor a 1 minuto, se debe energizar el circuito aplicando tensión de la misma manera que se realizó en el ensayo de flameo en seco [52]. La Figura 5.5 muestra la disposición de las boquillas de rocío (resaltadas en círculos) en el montaje para el ensayo de flameo en húmedo a baja frecuencia.

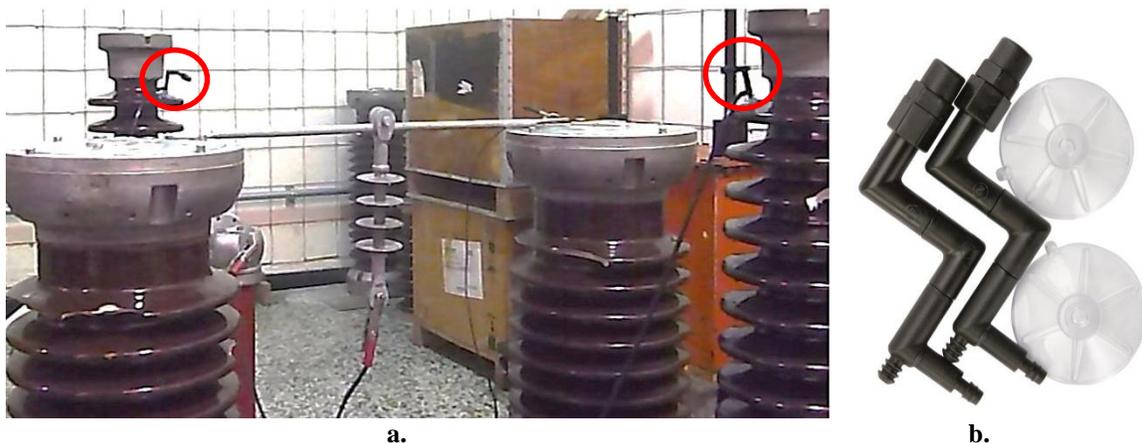


Figura 5.5 Boquillas para el rocío artificial: (a) Disposición en el montaje, (b) Detalle de boquillas
Fuente: Los Autores

De acuerdo a la norma NTC 1285 y el Boletín Técnico N.18 de Gamma [52], [54] las condiciones de generación de precipitación deben tener contempladas las siguientes condiciones:

- (a) El rocío artificial debe efectuarse por medio de boquillas que cumplan con las condiciones descritas en la Tabla 5.4
- (b) La precipitación artificial debe ser producida por un número conveniente de boquillas de tal modo que se tenga una precipitación uniforme sobre el objeto de prueba
- (c) El rocío debe dirigirse en forma descendente de tal manera que al momento de golpear la superficie del aislador forme un ángulo de 45°.

Tabla 5.4 Condiciones de precipitación para el ensayo de flameo en húmedo

Características	Valores típicos
Tasa promedio de precipitación de la componente vertical	5 mm/min +/- 0,5 mm/min
Límite para cualquier medida individual	5 mm/min +/- 1,25 mm/min
Temperatura de agua recogida	T ambiente +/- 15°C
Resistividad del agua recogida	178 Ω-m +/- 27 Ω-m

Tomado de: [44]

Puesto que para el desarrollo de la prueba, y conforme lo indica la norma, es necesario ajustar el valor de resistividad del agua usada para el rocío, se construyó un elemento cilíndrico capaz de albergar agua de diferentes características. De esta manera, al conectar un circuito de generación DC sobre el volumen de agua es posible calcular la resistencia del elemento a partir de mediciones de tensión y corriente y aplicando la ley de Ohm.

Para este trabajo se diseñó un recipiente de polímero elástico con alta resistencia con una longitud de 100 cm y un radio de 0.635 cm capaz de almacenar 127 cm³ de líquido. Este elemento posee además tapas roscables y electrodos en sus extremos a los cuales se puede conectar la fuente DC, tal y como se muestra en la Figura 5.6.



Figura 5.6 Dispositivo para la medición de resistividad del agua

Fuente: Los Autores

Tres fuentes de agua fueron evaluadas para establecer el valor de resistividad deseado: agua de grifo, agua embotellada (de una marca comercial) y agua con sal. A partir de la prueba DC y una vez conocida la resistencia del líquido bajo prueba fue posible calcular su resistividad aplicando la ecuación (4).

$$\rho = R * \frac{S}{L} \quad (4)$$

Donde R es la resistencia calculada del líquido, S es el área de la sección transversal en m^2 y L es la longitud en m . Luego de comparar los resultados de los tres tipos de agua seleccionados se decidió usar agua embotellada cuyo valor de resistividad promedio fue $155,57 \Omega\cdot m$, estableciéndose como estándar para todos los ensayos en húmedo. El Anexo L muestra los cálculos y las pruebas de resistividad llevadas a cabo sobre las diferentes fuentes de agua.

Para este trabajo el valor de la tensión de flameo en húmedo del objeto de prueba se determinará haciendo uso de la ecuación (3). Además, se deben tener en cuenta las mismas consideraciones de tiempo ya mencionadas en el protocolo para el ensayo bajo condiciones secas, contemplando una variación máxima entre pruebas de $\pm 8\%$ de los valores de flameo medidos [52].

5.5.3. Ensayo de flameo al impulso tipo rayo

El ensayo de flameo al impulso tipo rayo se aplicó únicamente sobre aisladores cerámicos tipo ANSI 52-1 y ANSI 55-2 debido a las limitantes en tensión máxima que se pueden obtener en el LAT-UD de y acuerdo a los descrito en el apartado 5.1. Esta consideración fue tenida en cuenta dentro de los alcances de este trabajo e incluida en el anteproyecto como una limitación del trabajo experimental.

La Figura 5.7 muestra el circuito implementado en el LAT-UD para el ensayo de flameo de tensión al impulso tipo rayo polaridad positiva. El divisor usado para la medición del impulso tipo rayo fue el capacitivo amortiguado que de manera simultánea funciona como el condensador de carga para el circuito de generación. El Anexo M presenta en detalle el circuito usado para la generación de impulsos tipo rayo normalizado y ajustado de acuerdo a la literatura.

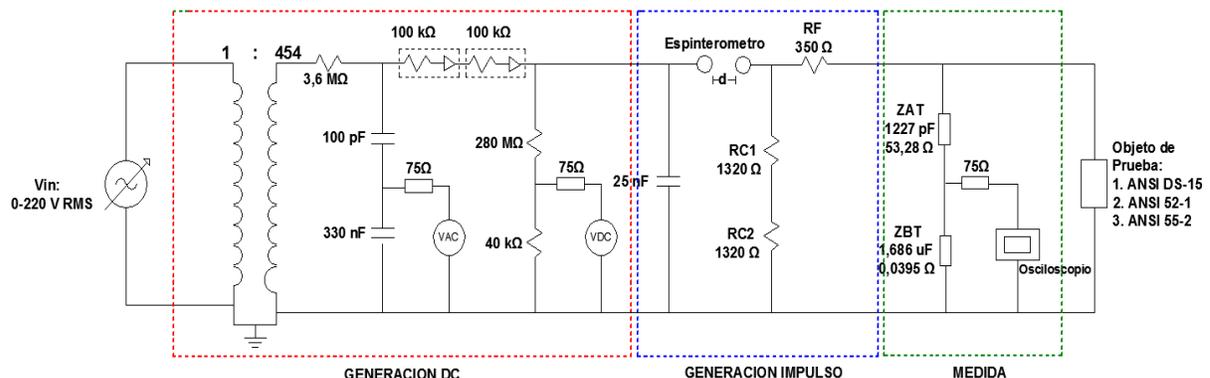


Figura 5.7 Circuito para el ensayo de flameo al impulso tipo rayo

Fuente: Los Autores

En general, el ensayo de flameo a tensión tipo impulso se realiza únicamente en condiciones secas según la NTC 1285 [52], y para este caso se analizó el impulso normalizado con polaridad positiva. En el Anexo N se presentan los cálculos teóricos y prácticos del impulso normalizado empleando como objeto de prueba aisladores cerámicos tipo PIN y tipo suspensión.

Estos cálculos se realizaron teniendo en cuenta que los aisladores se comportan como una capacitancia durante el ensayo y pueden afectar las formas de onda del circuito de generación. De igual manera, se muestra el cálculo de la capacitancia máxima permitida del objeto de prueba para que el impulso sea normalizado. La Figura 5.8 muestra la disposición del montaje para el ensayo de flameo al impulso tipo rayo con los elementos disponibles en el LAT-UD.



Figura 5.8 Circuito para el ensayo de flameo al impulso tipo rayo

Fuente: Los Autores

Para la adquisición de datos en el ensayo de flameo al impulso tipo rayo, se usaron los siguientes divisores: divisor capacitivo para la medición de tensión alterna antes de la etapa de rectificación, divisor resistivo para la medición de tensión directa culminada la etapa de rectificación y el divisor capacitivo amortiguado para la medición del impulso debido a su buena respuesta para la medición de altas tensiones a altas frecuencias.

La disposición del montaje se realizó de acuerdo a los apartados 5.3 y 5.4 del presente capítulo y conforme a los lineamientos establecidos en la norma NTC 1285 [52]. Al iniciar el ensayo, se procede a incrementar la tensión hasta el 80% de la tensión disruptiva la cual es calculada teniendo en cuenta las condiciones atmosféricas y la distancia entre los electrodos del espinterómetro. Posterior a esto, y de manera controlada, se incrementa el 20% restante hasta llegar a condición de flameo.

Al igual que en las pruebas de flameo a baja frecuencia, el valor del flameo al impulso tipo rayo con polaridad positiva se calcula como se describe en la ecuación (3). El tiempo entre pruebas de flameo no debe ser menor a 15 segundos ni mayor a 5 min en concordancia con los protocolos establecidos para la medición de dichas tensiones [52]. Teniendo en cuenta que por disipación de energía se tiene una limitante de máximo 4 disparos por minuto para no afectar la integridad de las resistencias de frente y de cola disponibles en el LAT-UD fue necesaria la inclusión de un trigger device que permitió realizar un disparo controlado.

5.5.4. Medición de corrientes de fuga

El ensayo para la medición de corrientes de fuga se realizó tomando como referencia el montaje de la prueba de flameo en seco [52]. Para la medición de dichas corrientes sobre la superficie de los aisladores es necesaria la inclusión de una resistencia Shunt dispuesta en serie entre el objeto de prueba y la tierra del sistema. La tensión aplicada sobre el objeto de prueba se incrementa constantemente hasta un valor inferior a la tensión esperada de flameo, evitando así la circulación de altas corrientes por el elemento de medida. La Figura 5.9 presenta el circuito implementado en el LAT-UD para la medición de corrientes de fuga.

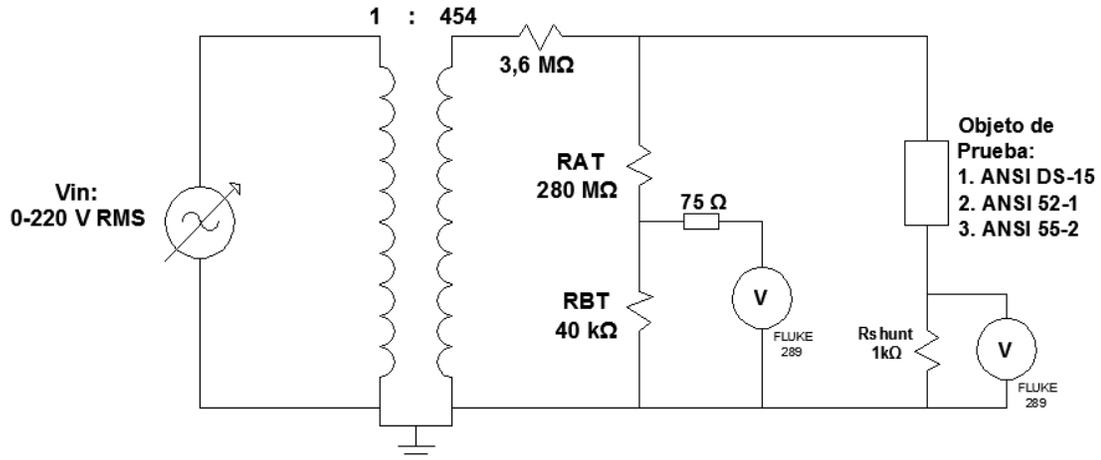


Figura 5.9 Circuito para la medición de corrientes de fuga

Fuente: Los Autores

Dado que el valor en ohmios de la resistencia Shunt es conocido y lo que se realiza sobre esta es en realidad una medición de tensión, se debe aplicar la ley de Ohm para obtener el valor correspondiente de corriente de fuga según se describe en la ecuación (5).

$$I_f = \frac{V_s}{R_s} \quad (5)$$

Donde I_f es la corriente de fuga circulante a tierra sobre la superficie del objeto de prueba, V_s es la tensión medida sobre la resistencia Shunt y R_s es el valor de la resistencia empelada durante el ensayo. Para este ensayo se hizo uso de una resistencia de 1 kΩ no inductiva teniendo en cuenta que el sistema de generación de alta tensión AC cuenta con la resistencia de 3.6MΩ la cual limita la corriente que entrega el transformador.

El valor de la resistencia Shunt fue tomado como referencia para todas las pruebas y se seleccionó para garantizar que la magnitud de la tensión medida en el osciloscopio no excediera su escala máxima y que a su vez no estuviera en rangos demasiado bajos para ser evaluados.

5.6. Resultados de referencia

Los resultados obtenidos durante cada una de las pruebas de referencia fueron consignados en hojas programadas en Excel, tal y como se muestra en el Anexo O. Estas hojas programadas se desarrollaron con el fin de automatizar cálculos y optimizar el tiempo en la recolección de información para cada uno de los ensayos eléctricos citados. Conforme a lo descrito en el apartado 4.3 los aisladores fueron designados con un número para llevar un control sobre cada elemento.

5.6.1. Tensión de flameo en seco

La Tabla 5.5 muestra los valores de la tensión promedio de flameo en seco una vez realizadas las pruebas eléctricas (conforme a los protocolos expuestos en este capítulo) sobre aisladores cerámicos tipo ANSI 52-1, ANSI 55-2 y sobre aisladores poliméricos tipo ANSI DS-15. Las pruebas fueron realizadas sobre 10 aisladores de cada tipo y el valor de flameo promedio corresponde a la media aritmética de 5 fláneos consecutivos según lo expuesto en la ecuación (3).

Tabla 5.5 Tensiones de flameo en seco

Número de aislador	Tensión de flameo en seco [kV]		
	ANSI 52-1	ANSI 55-2	ANSI DS-15
1	54,41	43,23	65,24
2	53,76	42,32	62,82
3	52,51	44,29	62,82
4	52,04	43,13	63,08
5	52,75	42,55	63,59
6	51,92	42,86	63,78
7	53,3	43,42	63,42
8	52,93	43,64	62,42
9	52,27	43,29	63,48
10	53,98	42,11	63,62
Tensión promedio por tipo de aislador	52.99	43.08	63.43

Fuente: Los Autores

Para los resultados obtenidos se analizaron las tensiones promedio teniendo como resultado una tensión de flameo de 52.99 kV para aisladores cerámicos tipo ANSI 52-1, una tensión de flameo de 43.08 kV para aisladores cerámicos tipo ANSI 55-2, mientras para el aislador polimérico tipo ANSI DS-15 la tensión de flameo fue de 63.43 kV.

La Figura 5.10 muestra el instante en que se produce el flameo sobre la superficie de cada uno de los aisladores bajo estudio. Vale la pena resaltar que en todos los casos el flameo se produjo siempre sobre la superficie del aislador. El Anexo P presenta el comportamiento de la tensión de flameo en seco por tipo de aislador y para cada uno de los 10 elementos sometidos a dichas pruebas.

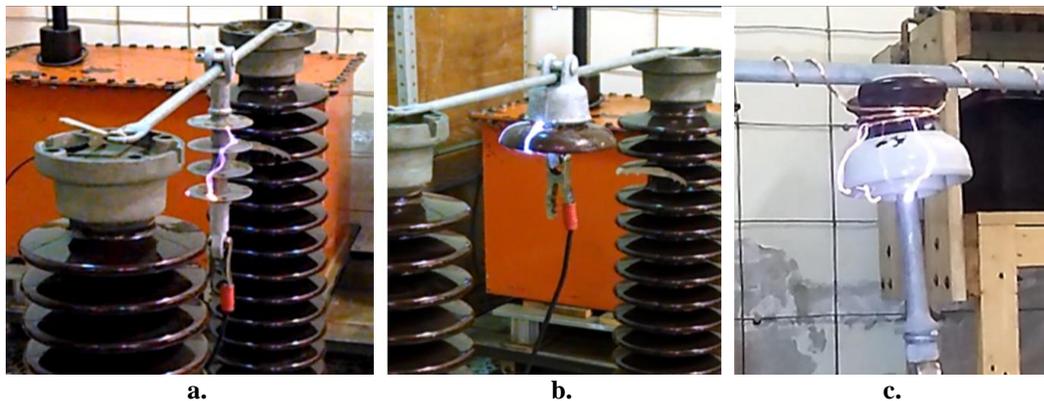


Figura 5.10 Flameos sobre aisladores cerámicos y poliméricos: (a) ANSI DS-15, (b) ANSI 52-1, (c) ANSI 55-2

Fuente: Los Autores

5.6.2. Tensión de flameo en húmedo

Los valores de las tensiones promedio de flameo en húmedo obtenidos durante la etapa de pruebas de referencia se exponen en la Tabla 5.6. Las pruebas fueron realizadas sobre los 10 aisladores disponibles y el valor de flameo promedio fue calculado usando la ecuación 3. El Anexo Q presenta el comportamiento de la tensión de flameo en húmedo a baja frecuencia por tipo de aislador y para cada uno de los elementos sometidos a dichas pruebas.

Tabla 5.6 Tensiones de flameo en húmedo

Número de aislador	Tensión de flameo en húmedo [kV]		
	ANSI 52-1	ANSI 55-2	ANSI DS-15
1	32,45	20,86	58,34
2	34,23	21,76	57,75
3	31,66	21,41	58,14
4	32,01	21,38	58,56
5	32,34	21,66	57,97
6	32,02	21,87	57,70
7	31,94	21,53	57,94
8	32,71	21,82	57,90
9	33,58	21,95	58,74
10	32,33	21,75	57,81
Tensión promedio por tipo de aislador	32.53	21.6	58.08

Fuente: Los Autores

Para los resultados obtenidos se obtuvo que una tensión de flameo de 32.53 kV para aisladores cerámicos tipo ANSI 52-1, de 21.6 kV para aisladores cerámicos tipo ANSI 55-2 y de 58.08 kV para el aislador polimérico tipo ANSI DS-15.

5.6.3. Tensión de flameo al impulso tipo rayo

Los valores de tensión de flameo al impulso tipo rayo que se obtuvieron durante la etapa de pruebas de referencia se muestran en la Tabla 5.7. Para este ensayo eléctrico, y según el alcance previsto, se realizaron pruebas únicamente a los aisladores cerámicos ANSI 52-1 y ANSI 55-2. El Anexo R presenta el comportamiento de la tensión de flameo al impulso tipo rayo polaridad positiva por tipo de aislador y para los elementos de prueba.

Tabla 5.7 Tensiones de flameo al impulso tipo rayo

Número de aislador	Tensión de flameo al impulso [kVpico]	
	ANSI 52-1	ANSI 55-2
1	62,73	47,51
2	64,13	47,65
3	62,21	49,40
4	62,51	49,07
5	65,06	47,65
6	65,13	47,93
7	66,58	47,59
8	64,13	47,88
9	64,24	48,08
10	64,74	49,60
Tensión promedio por tipo de aislador	64.14	48.24

Fuente: Los Autores

De las pruebas realizadas se obtuvo una tensión de flameo promedio de 64.14 kV para aisladores tipo ANSI 52-1 y una tensión promedio de 48.24 kV para aisladores tipo ANSI 55-2.

5.6.4. Corrientes de fuga

Como se mencionó en el apartado 5.5.4, la medición de las corrientes de fuga se realizó haciendo uso de una resistencia Shunt de 1 kΩ en serie entre el objeto de prueba y la tierra del sistema. Así pues, la Figura 5.11 muestra el comportamiento de las corrientes de fuga para cada uno de los 10 aisladores tipo ANSI 55-2.

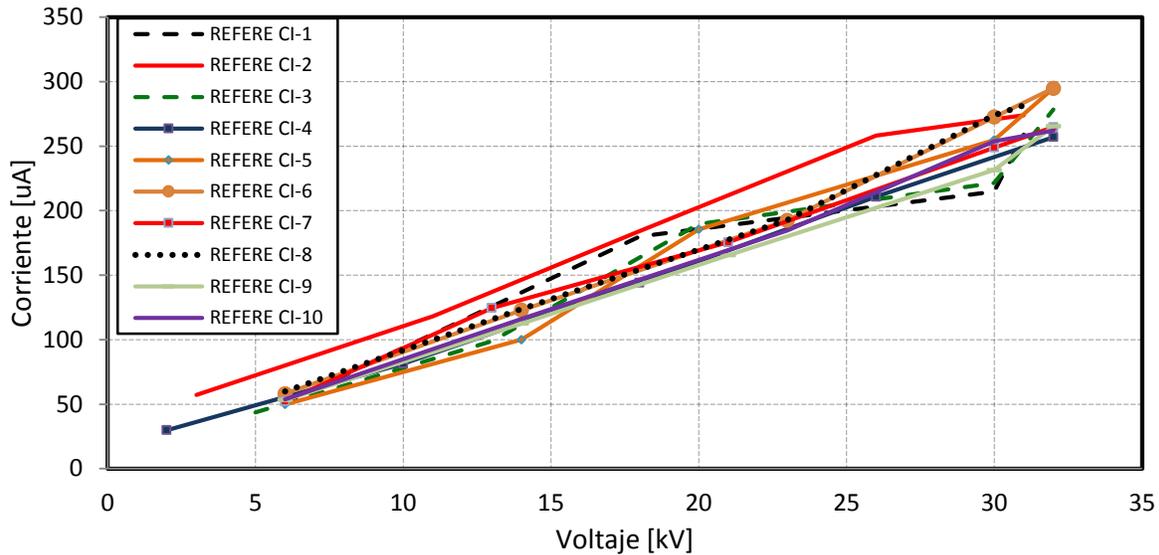


Figura 5.11 Corrientes de fuga ANSI 55-2

Fuente: Los Autores

El comportamiento de las corrientes de fuga en aisladores cerámicos ANSI 55-2 presenta una tendencia a crecer proporcionalmente con respecto a la tensión aplicada. La prueba fue realizada aplicando tensión con una pendiente de 2kV/s desde cero y hasta alcanzar un valor previo al inicio de la ocurrencia de descargas múltiples sobre los aisladores (aproximadamente 32kV). La Tabla 5.8 presenta los valores promedio de las corrientes de fuga en función de la tensión aplicada a los aisladores.

Tabla 5.8 Corrientes de fuga promedio en aisladores tipo ANSI 55-2

Tensión promedio aplicada [kV]	Corriente de fuga promedio [µA]
5,20	50,86
12,90	111,27
20,50	179,41
29,20	244,06

Fuente: Los Autores

Al igual que en aisladores ANSI 55-2, en los aisladores tipo ANSI 52-1 se presenta un comportamiento lineal en las corrientes de fuga de cada aislador a medida que se incrementa la tensión aplicada sobre cada uno de los aisladores. Este comportamiento se muestra en la Figura 5.12.

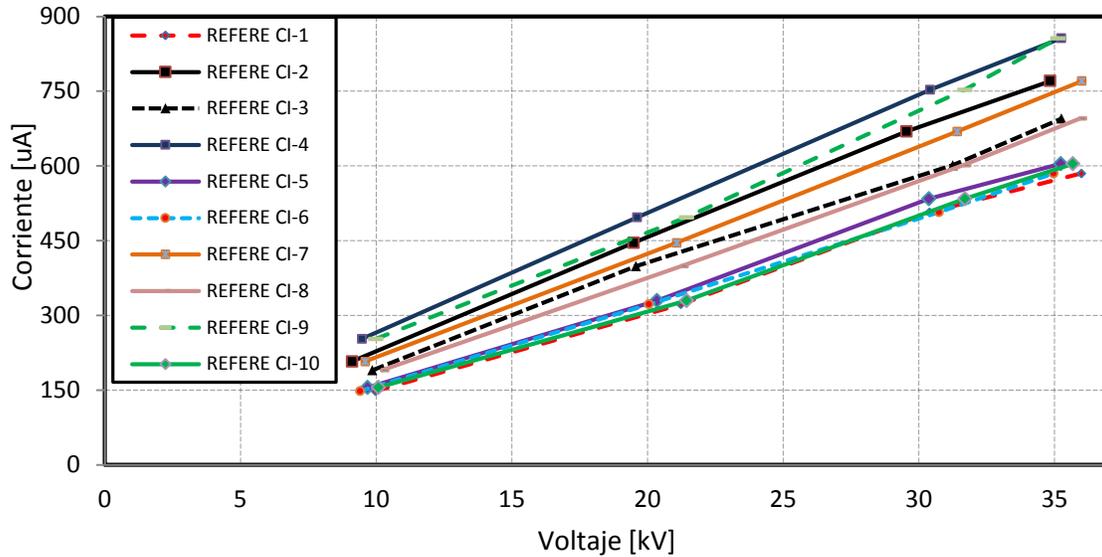


Figura 5.12 Corrientes de fuga ANSI 52-1

Fuente: Los Autores

Por otra parte, la Tabla 5.9 muestra el valor de las corrientes de fuga promedio obtenidas durante el ensayo realizado para el grupo de aisladores tipo ANSI 52-1. Para esta prueba la tensión aplicada se incrementó con una pendiente de 2kV/s y el valor de las corrientes de fuga se calculó a partir de la tensión medida sobre la resistencia Shunt.

Tabla 5.9 Corrientes de fuga promedio en aisladores tipo ANSI 52-1

Tensión promedio aplicada [kV]	Corriente de fuga promedio [µA]
9,74	190,92
20,55	398,76
30,92	613,02
35,43	702,28

Fuente: Los Autores

En aisladores poliméricos tipo ANSI DS-15, el valor de las corrientes de fuga es menor al compararse con aisladores cerámicos tipo ANSI 52-1 y ANSI 55-2. Como se muestra en la Figura 5.13, la magnitud de las corrientes de fuga aumenta conforme se incrementa la tensión aplicada sobre el objeto de prueba. El ensayo se realizó teniendo en cuenta las mismas consideraciones aplicadas para los aisladores cerámicos aplicando una tensión con una pendiente de 2kV/s.

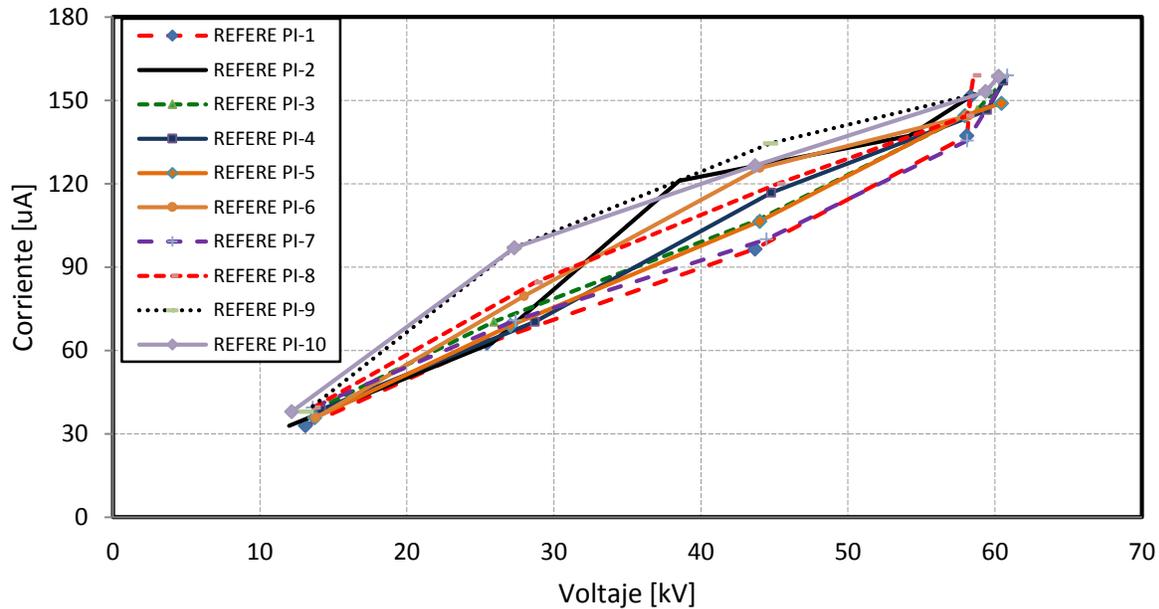


Figura 5.13 Corrientes de fuga ANSI DS-15

Fuente: Los Autores

La Tabla 5.10 presenta los valores promedio de las corrientes de fuga obtenidos durante el ensayo en función de la tensión aplicada a los aisladores. Como ya se mencionó, las magnitudes de dichas corrientes son menores en los aisladores poliméricos con respecto a los aisladores cerámicos, teniendo un valor promedio máximo de 145 μA para los aisladores ANSI DS-15, mientras que las corrientes de fuga en los aisladores ANSI 55-2 y ANSI 52-1 fueron 245 μA y 702 μA , respectivamente.

Tabla 5.10 Corrientes de fuga promedio en aisladores tipo ANSI DS-15

Tensión promedio aplicada [kV]	Corriente de fuga promedio [μA]
13,32	36,98
27,16	76,39
43,69	115,42
58,16	144,24

Fuente: Los Autores

5.7. Conclusiones del capítulo

- Se realizaron las pruebas eléctricas de referencia sobre los aisladores ANSI 52-1, ANSI 55-2 y ANSI DS-15 en concordancia con la normatividad NTC 1285 y ANSI C29.1. Las pruebas eléctricas incluyen ensayos de tensión de flameo a baja frecuencia en seco y húmedo, flameo ante el impulso tipo rayo y medición de corrientes de fuga.
- Se muestra para cada uno de los ensayos eléctricos que los valores promedio de flameo a baja frecuencia tanto en condiciones secas como húmedas, presentan claras tendencias con variaciones porcentuales mínimas (inferiores al 5% para ensayos en condiciones secas e

inferiores a 8% para ensayos en condiciones húmedas) en concordancia con la normatividad existente.

- La aplicación de los factores de corrección permite la repetitividad de las pruebas. Las tensiones de referencia promedio para los ensayos realizados sobre aisladores eléctricos fueron las siguientes: tensión de flameo en seco: 52.99 kV para aisladores ANSI 52-1, 43.08 kV para aisladores ANSI 55-2, y 63.43 kV para aisladores ANSI DS-15. Tensión de flameo en húmedo: 32.53 kV para aisladores ANSI 52-1, 21.6 kV para aisladores ANSI 55-2, y 52.08 kV para aisladores ANSI DS-15. Tensión de flameo impulso tipo rayo: 64.1 kV para aisladores ANSI 52-1 y 48.24 kV para aisladores ANSI 55-2.

(Página intencionalmente dejada en blanco)

6. EFECTOS EN EL DESEMPEÑO ELÉCTRICO DE AISLADORES EXPUESTOS AL DESARROLLO BIOLÓGICO

Como se mencionó en el Capítulo 4, la contaminación biológica se llevó a cabo con cada uno de los microorganismos sobre tres aisladores de cada tipo (ANSI 52-1, ANSI 55-2 y ANSI DS-15). Este capítulo presenta los resultados de las pruebas eléctricas a las que fueron expuestos los aisladores una vez culminada la etapa de exposición al desarrollo biológico, analizando únicamente valores de tensión de flameo y corrientes de fuga en aisladores contaminados. La comparación de resultados con los valores obtenidos en las pruebas de referencia se presentará en el Capítulo 7.

6.1. Ensayo de flameo en seco a baja frecuencia

Al extraer los aisladores de la cámara de ambiente controlado, se evidenció sobre dichos elementos una alta retención de humedad producto del desarrollo microbiano sobre su superficie [16], [55]. Debido a esto, se optó por suspender el accionamiento del sistema de humedad por 24 horas para realizar las pruebas en condiciones secas. Cabe aclarar que en la literatura no se encontró como solucionar esta problemática y es por esta razón que se propuso esta metodología al trabajar con las muestras.

6.1.1. Aislador ANSI 52-1

En la Figura 6.1 se presenta el comportamiento de las tensiones de flameo para cada uno de los grupos de aisladores ANSI 52-1 expuestos a los diferentes microorganismos. Se realizaron pruebas en tres aisladores por grupo y se designa cada muestra como A1, A2 y A3 para su posterior análisis.

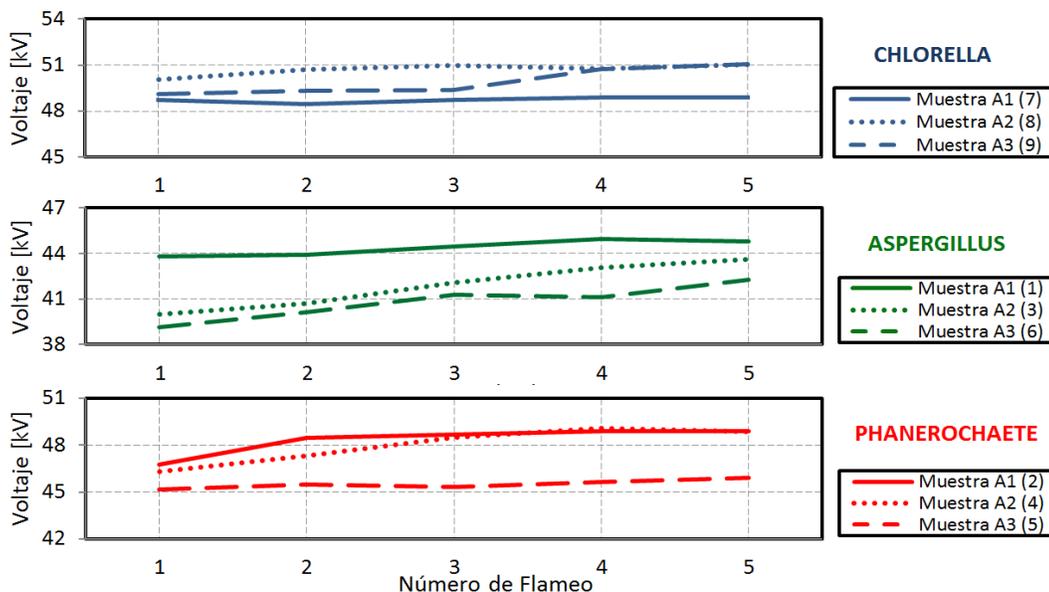


Figura 6.1 Tensiones de flameo en seco aisladores ANSI 52-1 contaminados

Fuente: Los Autores

Una vez comparadas las tensiones de flameo en seco que se obtuvieron al realizar los respectivos ensayos a cada grupo de aisladores tipo ANSI 52-1, resulta evidente que los elementos expuestos al desarrollo de *Aspergillus Niger* presentaron menores niveles de tensión al compararse con los demás microorganismos, con valores de tensión que oscilan entre 39 y 45 kV. Por otro lado, los aisladores contaminados con *Chlorella Vulgaris* mostraron el caso menos crítico, donde los valores de tensión comprenden un rango de entre 49 y 51 kV. En aisladores contaminados con *Phanerochaete Chrysosporium* se presentan valores de tensión de entre 45 y 49 kV, siendo un caso intermedio respecto a las tensiones obtenidas con *Aspergillus Niger* y *Chlorella Vulgaris*.

6.1.2. Aislador ANSI 55-2

El comportamiento de las tensiones de flameo obtenidas sobre aisladores cerámicos tipo ANSI 55-2 se presentan en la Figura 6.2. Al igual que en aisladores tipo ANSI 52-1, se analiza el comportamiento de dichas tensiones al ser expuestos al desarrollo de *Aspergillus Niger*, *Phanerochaete Chrysosporium* y *Chlorella Vulgaris*. Las pruebas fueron realizadas sobre tres aisladores de cada grupo y las muestras se designaron como A1, A2 y A3 según lo descrito en la Tabla 4.2.

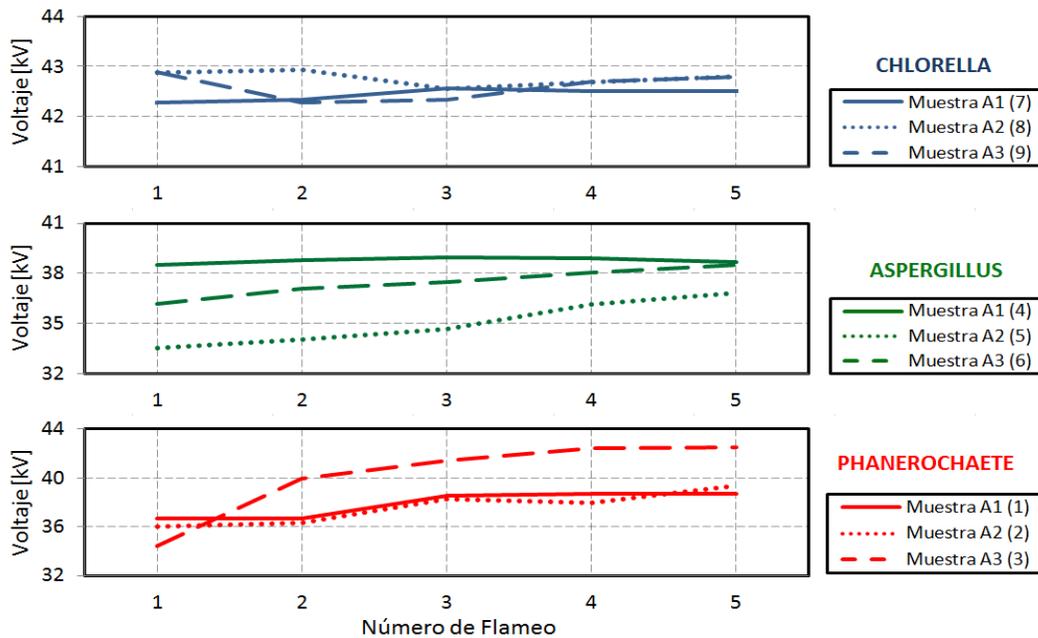


Figura 6.2 Tensiones de flameo en seco aisladores ANSI 55-2 contaminados

Fuente: Los Autores

Para aisladores tipo ANSI 55-2 contaminados con *Phanerochaete Chrysosporium*, se evidenció una tendencia en las tensiones de flameo obtenidas en las muestras A1 y A2, con valores de tensión cercanos a los 38 kV y un comportamiento muy peculiar en la muestra A3. Al iniciar la prueba, este aislador presentó un nivel de tensión de alrededor de 34 kV que fue aumentando conforme se desarrolló el ensayo hasta llegar a 43 kV. Por otro lado, los aisladores contaminados con *Chlorella Vulgaris* presentaron las magnitudes más altas en las tensiones de flameo, con valores que comprenden un rango de entre 42 a 43 kV. En elementos expuestos al desarrollo de *Aspergillus Niger* se presentaron tensiones de flameo similares a las obtenidas con *Phanerochaete Chrysosporium* en las muestras A1 y A2. Sin embargo, la muestra A3 presentó las tensiones de flameo más bajas respecto a los demás elementos con valores que oscilan entre 33 y 36kV.

6.1.3. Aislador ANSI DS-15

El comportamiento de las tensiones de flameo para aisladores poliméricos ANSI DS-15 expuestos a los diferentes microorganismos, se presenta en la Figura 6.3. Para cada grupo de aisladores, se analizaron tres elementos y conforme a lo descrito en la Tabla 4.2, cada muestra fue designada como A1, A2 y A3 para analizar posteriormente. Los ensayos se efectuaron de acuerdo a los protocolos descritos durante las pruebas de referencia, teniendo las consideraciones adecuadas al trabajar con elementos expuestos al desarrollo de microorganismos.

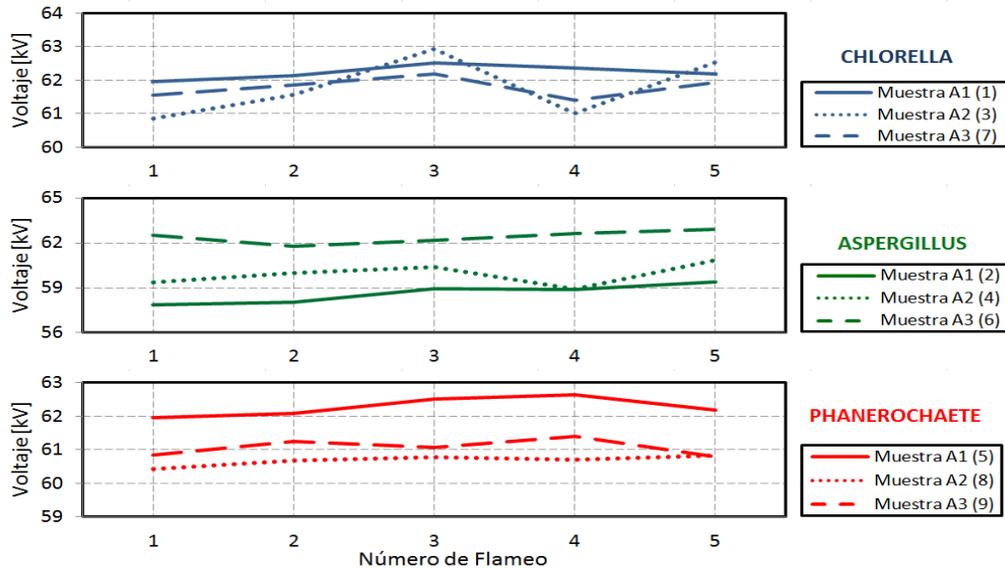


Figura 6.3 Tensiones de flameo en seco aisladores ANSI DS-15 contaminados

Fuente: Los Autores

Las tensiones de flameo en seco de aisladores expuestos al desarrollo de *Phanerochaete Chrysosporium*, presentaron magnitudes mayores a 60 kV para todas las muestras. Caso contrario de los elementos expuestos al crecimiento de *Aspergillus Niger*, donde las muestras A1 y A2 presentaron niveles de tensión cercanos a 58 kV, siendo estos los elementos donde se obtuvo la menor tensión de flameo respecto a las demás muestras. Para el caso de los aisladores contaminados con *Chlorella Vulgaris*, se obtuvieron valores de tensión que van desde 61 a 63 kV.

6.1.4. Tensiones promedio de flameo en seco en aisladores contaminados

La Tabla 6.1 presenta las tensiones de flameo en seco promedio por tipo de aislador en función del microorganismo con el cual fueron contaminados. Por otro lado, en el Anexo S1 se presenta detalladamente los valores obtenidos por cada uno de los aisladores.

Tabla 6.1 Tensiones promedio de flameo en seco en aisladores contaminados

Microorganismo	Tipo de aislador		
	ANSI 52-1	ANSI 55-2	ANSI DS-15
<i>Chlorella Vulgaris</i>	49,75	42,60	61,93
<i>Aspergillus Niger</i>	42,36	37,09	60,31
<i>Phanerochaete Chrysosporium</i>	47,25	38,54	61,34

Fuente: Los Autores

Al comparar las tensiones de flameo promedio para aisladores tipo ANSI 52-1, ANSI 55-2 y ANSI DS-15, se puede destacar que en los elementos expuestos al desarrollo de *Aspergillus Niger* se obtienen las menores magnitudes de tensión promedio respecto a los elementos expuestos al desarrollo de los demás organismos microscópicos. Por otro lado, las muestras contaminadas con *Chlorella Vulgaris* exhiben las tensiones de flameo más elevadas, con valores apenas superiores a las muestras expuestas al desarrollo de *Phanerochaete Chrysosporium*.

6.2. Ensayo de flameo en húmedo a baja frecuencia

Al igual que en los ensayos de tensión de flameo en seco, para este ensayo se replican los procedimientos y protocolos descritos en las pruebas de referencia del Capítulo 5, obviando las tolerancias entre cada uno de los fláneos, debido al comportamiento inusual de la tensión durante el desarrollo de la prueba y documentando los valores reales obtenidos en el proceso. De acuerdo a lo descrito en el apartado 4.3, se lleva un control sobre cada aislador mediante asignación de numeración para cada elemento y un código de grupo correspondiente al microorganismo con el cual se contaminó.

6.2.1. Aislador ANSI 52-1

Las tensiones de flameo en húmedo obtenidas durante los ensayos eléctricos en aisladores tipo ANSI 52-1, son presentadas en la Figura 6.4 en función del microorganismo con el cual se contaminó cada grupo de elementos. Con la finalidad de realizar análisis comparativos de las tensiones obtenidas durante cada una de las pruebas, las muestras fueron codificadas de acuerdo a lo descrito en el apartado 4.3 del presente documento.

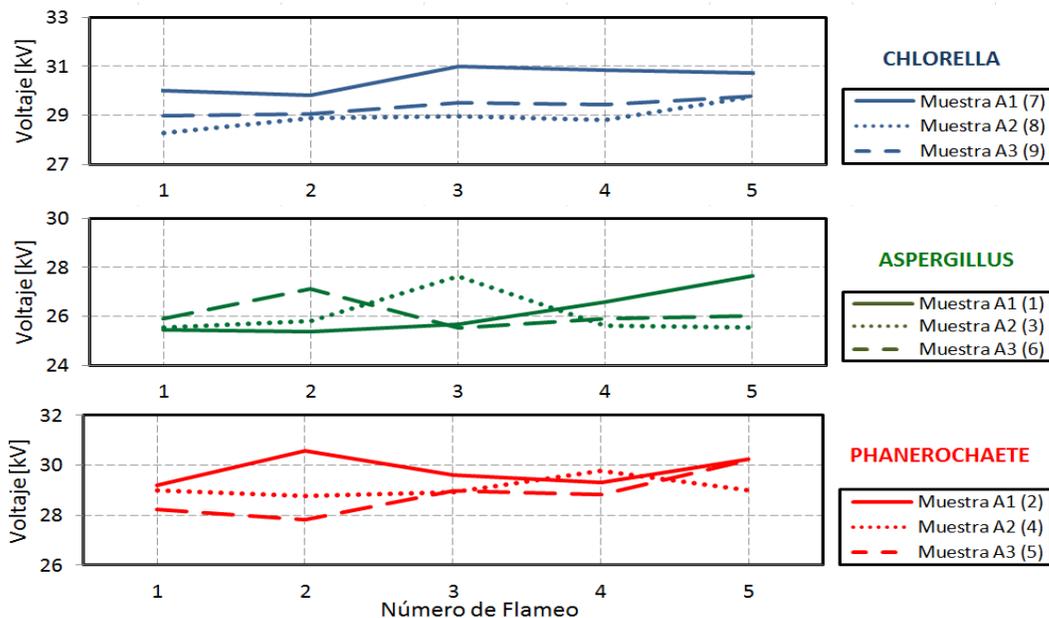


Figura 6.4 Tensiones de flameo en húmedo aisladores ANSI 52-1 contaminados

Fuente: Los Autores

Según los resultados obtenidos, en las muestras expuestas al desarrollo del hongo *Aspergillus Niger* se obtuvieron tensiones de flameo de alrededor de 26 kV, siendo estos los valores con menor magnitud al comparar con las tensiones de flameo obtenidas en aisladores contaminados con los demás microorganismos. En aisladores expuestos al desarrollo de *Chlorella Vulgaris*, las tensiones

oscilan entre 28 y 31 kV, asemejándose al comportamiento que se obtuvo en las muestras contaminadas con *Phanerochaete Chrysosporium*.

6.2.2. Aislador ANSI 55-2

En la Figura 6.5 se presenta el comportamiento de las tensiones de flameo en húmedo para cada uno de los grupos de aisladores cerámicos tipo ANSI 55-2 contaminados con *Aspergillus Niger*, *Phanerochaete Chrysosporium* y *Chlorella Vulgaris*. Las pruebas se aplicaron de acuerdo a los lineamientos y procedimientos descritos para las pruebas referenciales en las instalaciones del LAT-UD.

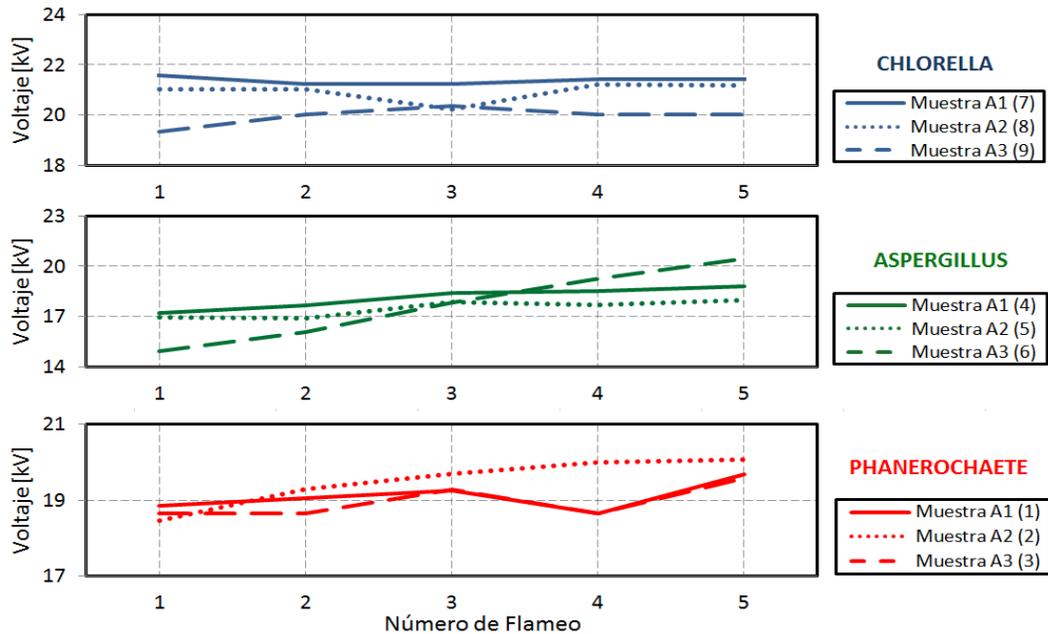


Figura 6.5 Tensiones de flameo en húmedo aisladores ANSI 55-2 contaminados

Fuente: Los Autores

En aisladores cerámicos tipo ANSI 55-2, los elementos expuestos al desarrollo de *Aspergillus Niger* presentaron las tensiones de flameo más bajas respecto a las muestras contaminadas con los demás microorganismos, alcanzando valores que comprenden el rango de 15 a 20 kV. Vale la pena resaltar el comportamiento inusual en las tensiones de flameo de la muestra A3, donde la tensión alcanzada aumentó considerablemente conforme se repite el ensayo. Por otro lado, los aisladores contaminados con *Chlorella Vulgaris* presentaron los valores de tensión más elevados, llegando a magnitudes máximas cercanas a los 22 kV y mínimas de 19 kV. Las tensiones obtenidas en muestras expuestas al desarrollo de *Phanerochaete Chrysosporium* alcanzaron valores de entre 18 y 20 kV.

6.2.3. Aislador ANSI DS-15

Las tensiones de flameo para cada uno de los grupos de aisladores poliméricos tipo ANSI DS-15 expuestos al desarrollo de *Aspergillus Niger*, *Phanerochaete Chrysosporium* y *Chlorella Vulgaris*, se presentan en la Figura 6.6. Las pruebas fueron aplicadas a tres aisladores por grupo y se designa cada muestra como A1, A2 y A3 para su posterior análisis, conforme a lo establecido en el apartado 4.3 (Control y codificación de muestras).

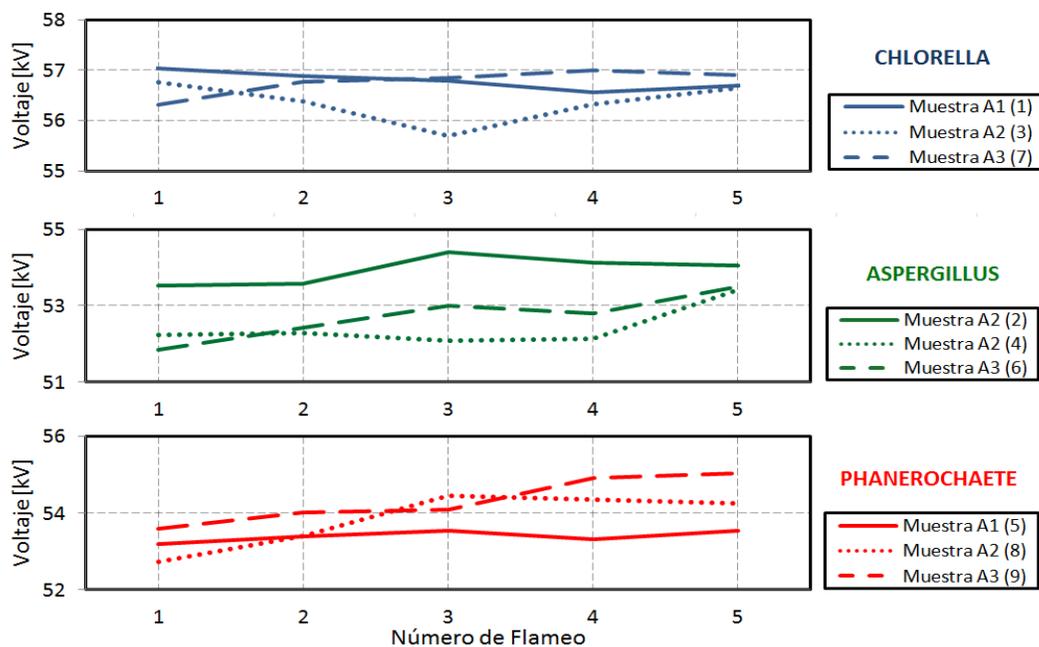


Figura 6.6 Tensiones de flameo en húmedo aisladores ANSI DS-15 contaminados

Fuente: Los Autores

Las tensiones de flameo en húmedo obtenidas en los elementos expuestos al desarrollo de los hongos *Aspergillus Niger* y *Phanerochaete Chrysosporium*, presentan valores que comprenden el rango de 52 a 55 kV. Valores de tensión significativamente más bajos que los obtenidos con el alga *Chlorella Vulgaris*, cuyas tensiones de flameo se encuentran alrededor de 57 kV para las muestras A1 y A3. Los valores de flameo de la muestra A2 oscilan entre 55 y 57 kV.

6.2.4. Tensiones promedio de flameo en húmedo en aisladores contaminados

Una vez analizado el comportamiento de las tensiones de flameo en húmedo para los diferentes grupos de aisladores expuestos al desarrollo microbiano, se calculan las tensiones de flameo promedio y los resultados se consignan en la Tabla 6.2. Por otro lado, en el Anexo S2 se presenta detalladamente los valores obtenidos para cada uno de los aisladores.

Tabla 6.2 Tensiones promedio de flameo en húmedo en aisladores contaminados

Microorganismo	Aislador		
	ANSI 52-1	ANSI 55-2	ANSI DS-15
<i>Chlorella Vulgaris</i>	29,60	20,75	56,64
<i>Aspergillus Niger</i>	26,10	17,77	53,03
<i>Phanerochaete Chrysosporium</i>	29,23	19,15	53,86

Fuente: Los Autores

Para aisladores tipo ANSI 52-1, ANSI 55-2 y ANSI DS-15, las tensiones de flameo en húmedo más bajas corresponden a los elementos expuestos al desarrollo de *Aspergillus Niger*. Los aisladores tipo ANSI 52-1 y ANSI 55-2 contaminados con *Chlorella Vulgaris* y *Phanerochaete Chrysosporium* presentan tensiones de flameo similares. Sin embargo, para aisladores poliméricos tipo ANSI DS-15 las tensiones de flameo obtenidas en los elementos expuestos al desarrollo de *Chlorella Vulgaris*, son significativamente mayores que las obtenidas con los hongos.

6.3. Ensayo de flameo al impulso tipo rayo polaridad positiva

El ensayo de tensión de flameo al impulso tipo rayo con polaridad positiva se realizó de acuerdo a los lineamientos y procesos descritos en las pruebas de referencia (Capítulo 4). Al igual que en las pruebas de flameo a baja frecuencia, para esta prueba no se consideraron las tolerancias porcentuales descritas en la normatividad entre cada ensayo con el fin de documentar los valores reales de cada prueba.

6.3.1. Aislador ANSI 52-1

Las tensiones de flameo al impulso tipo rayo obtenidas durante los ensayos eléctricos en aisladores tipo ANSI 52-1, son presentadas en la Figura 6.7 en función del microorganismo con el cual se contaminó cada grupo de elementos. Cada una de las muestras se codificó de acuerdo a lo establecido en el apartado 4.3 con la finalidad de simplificar los análisis de comportamiento de las tensiones obtenidas durante cada uno de los ensayos.

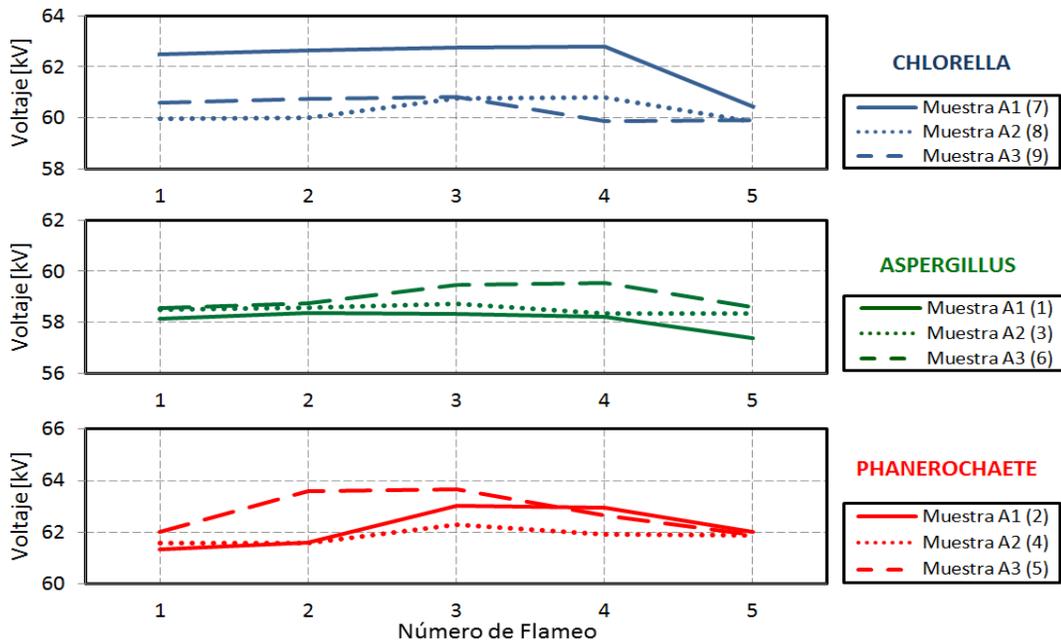


Figura 6.7 Tensiones de flameo al impulso tipo rayo aisladores ANSI 52-1 contaminados

Fuente: Los Autores

Los aisladores expuestos al desarrollo de *Aspergillus Niger* presentan menores tensiones de flameo con respecto a los aisladores contaminados con los otros dos microorganismos, con valores de tensión que se encuentran entre 57 y 60 kV. Aunque la tensión de flameo más elevada se presentó en la muestra A3 de los aisladores expuestos al desarrollo de *Phanerochaete Chrysosporium* (cerca de 64 kV), las tensiones de flameo obtenidas en aisladores contaminados con este hongo y el alga *Chlorella Vulgaris*, no presentan variaciones significativas entre sí. Mientras que los valores de tensión obtenidos con el alga oscilan entre 60 y 63 kV, las tensiones de flameo obtenidas con *Phanerochaete Chrysosporium* se encuentran en un rango comprendido entre 61 y 64 kV.

6.3.2. Aislador ANSI 55-2

En la Figura 6.8 se presenta el comportamiento de las tensiones de flameo a tensión tipo impulso para cada uno de los grupos de aisladores cerámicos tipo ANSI 55-2 contaminados con *Aspergillus Niger*,

Phanerochaete Chrysosporium y *Chlorella Vulgaris*. Las pruebas se aplicaron de acuerdo a los lineamientos y procedimientos descritos para las pruebas referenciales en las instalaciones del LAT-UD.

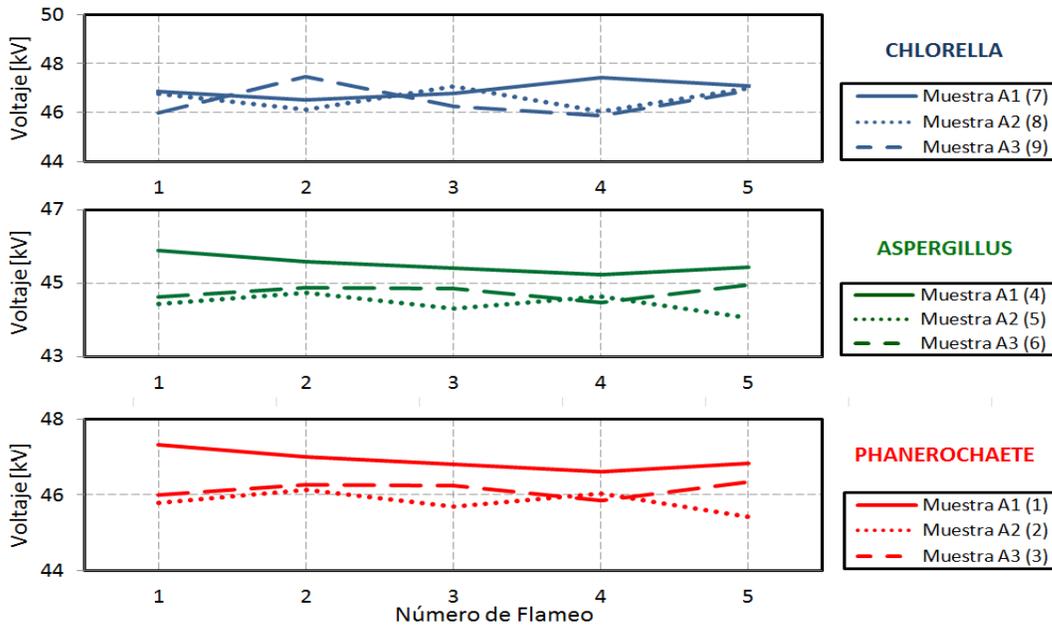


Figura 6.8 Tensiones de flameo al impulso tipo rayo aisladores ANSI 55-2 contaminados.

Fuente: Los Autores

Los niveles de tensión de flameo de los aisladores tipo ANSI 55-2 contaminados con *Aspergillus Niger* presentaron ligeramente menores magnitudes que los aisladores contaminados con *Chlorella Vulgaris* y *Phanerochaete Chrysosporium*, alcanzando niveles de tensión de 44 kV en la muestra A2. Sin embargo, no existen diferencias significativas entre las tensiones obtenidas para cada uno de los grupos de muestras, ya que en general las tensiones obtenidas con los elementos expuestos al desarrollo de los tres microorganismos oscilan entre 44 y 47 kV.

6.3.3. Tensiones promedio de flameo al impulso en aisladores contaminados

La Tabla 6.6 presenta las tensiones promedio de flameo al impulso tipo rayo por tipo de aislador en función del microorganismo con el cual fueron contaminados. El Anexo S3 presenta detalladamente los valores de tensión obtenidos para cada uno de los aisladores durante el proceso de ensayos eléctricos en las instalaciones del LAT-UD.

Tabla 6.3 Tensiones promedio de flameo al impulso tipo rayo en aisladores contaminados

Microorganismo	Aislador	
	ANSI 52-1	ANSI 55-2
Chlorella Vulgaris	60.96	46.67
Aspergillus Niger	58.51	45.41
Phanerochaete Chrysosporium	62.27	46.29

Fuente: Los Autores

Para aisladores tipo ANSI 52-1 y ANSI 55-2, las tensiones de flameo al impulso tipo rayo más bajas corresponden a los elementos expuestos al desarrollo de *Aspergillus Niger*. No obstante, y como se ha

mencionados en este apartado, las tensiones de flameo obtenidas en aisladores cerámicos no presentan variaciones significativas para los diferentes grupos de elementos expuestos al desarrollo microbiano.

6.4. Medición de corrientes de fuga

La medición de corrientes de fuga en aisladores contaminados se realizó de acuerdo a los protocolos y procedimientos descritos en el Capítulo 5. Se consideraron además las técnicas de asepsia y procesos para el manejo de muestras expuestas al desarrollo microbiano, como lo son el uso de guantes y tapabocas en el LAT-UD y el aislamiento de las muestras y el medio ambiente en tanto fue posible.

6.4.1. Aislador ANSI 52-1

El comportamiento de corrientes de fuga para aisladores tipo ANSI 52-1, expuestos al desarrollo de *Phanerochaete Chrysosporium*, *Chlorella Vulgaris* y *Aspergillus Niger* se presentan en la Figura 6.9. Para cada grupo de aisladores, se analizaron tres elementos y conforme a lo descrito en la Tabla 4.2, cada muestra fue designada como A1, A2 y A3 para analizar posteriormente.

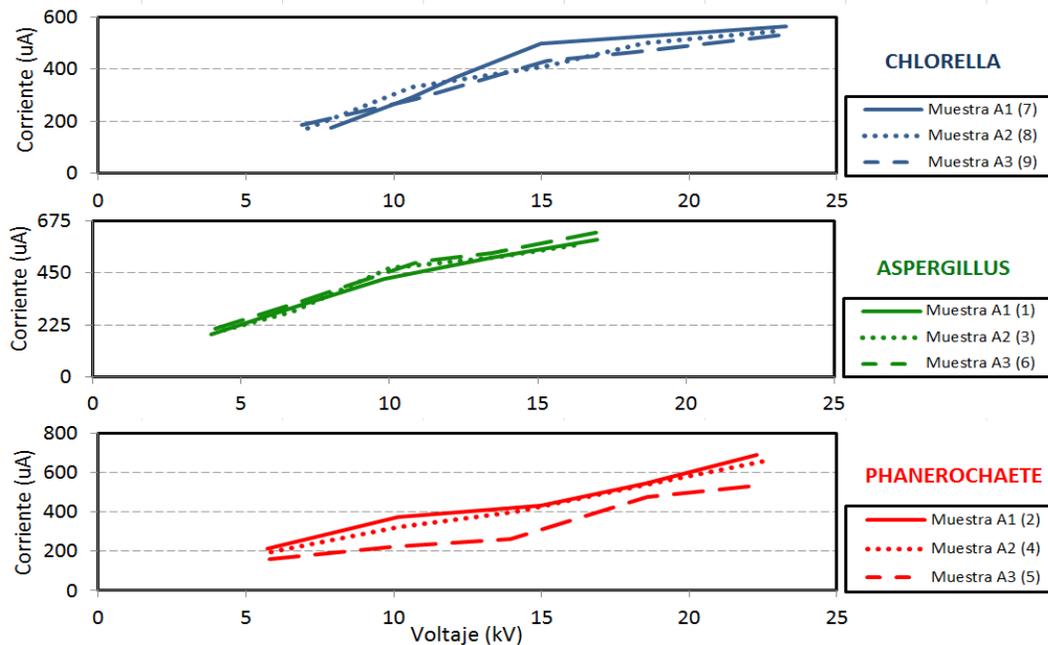


Figura 6.9 Corrientes de fuga aisladores ANSI 52-1 contaminados

Fuente: Los Autores

Las corrientes de fuga máximas alcanzadas en los elementos expuestos al desarrollo de los hongos *Aspergillus Niger* y *Phanerochaete Chrysosporium*, se encuentran en valores cercanos a los 700 μA . Sin embargo, las magnitudes de tensión alcanzadas durante los ensayos eléctricos difieren para cada grupo, alcanzando valores de 17 y 22 kV respectivamente. Para el grupo de muestras contaminadas con *Chlorella Vulgaris*, se obtuvieron corrientes de fuga máximas de alrededor de 600 μA a un nivel de tensión de 23 kV .

6.4.2. Aislador ANSI 55-2

En la Figura 6.10 se presenta el comportamiento de las corrientes de fuga para aisladores cerámicos tipo ANSI 55-2 expuestos al desarrollo de cada uno de los microorganismos propuestos en este

documento. Al igual que para las pruebas de flameo, se siguen los lineamientos de designación y codificación de muestras establecidos en el apartado 4.3 (Control y codificación de muestras).

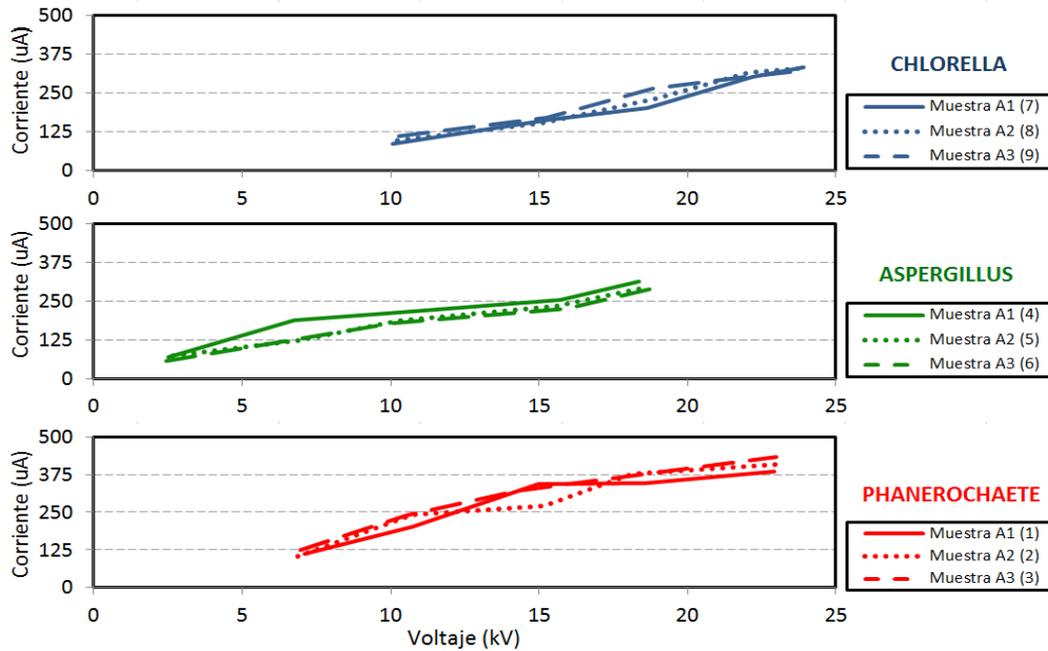


Figura 6.10 Corrientes de fuga aisladores ANSI 55-2 contaminados

Fuente: Los Autores

Los aisladores cerámicos tipo ANSI 55-2 expuestos al desarrollo de *Aspergillus Niger* presentan mayores valores de corriente de fuga respecto a los aisladores contaminados con los demás microorganismos entre 0 y 9 kV. Los valores máximos de corrientes de fuga oscilan entre 280 y 310 μA a niveles de tensión cercanos a 19 kV. Sin embargo, las corrientes de fuga más elevadas corresponden a las obtenidas en el grupo de elementos expuestos al desarrollo de *Phanerochaete Chrysosporium*, alcanzando magnitudes de hasta 440 μA a niveles de tensión cercanos a 24 kV. Por otro lado, las corrientes de fuga en aisladores expuestos al desarrollo de *Chlorella Vulgaris* alcanzan magnitudes máximas similares a las obtenidas con *Aspergillus Niger* conforme se alcanzan valores de tensión próximos a 25 kV.

6.4.3. Aislador ANSI DS-15

A continuación en la Figura 6.10 se presenta gráficamente el comportamiento de las corrientes de fuga obtenidas durante las etapas de ensayos eléctricos sobre aisladores poliméricos tipo ANSI DS-15. Estas pruebas fueron realizadas sobre aisladores bio-contaminados, previamente expuestos al desarrollo de los microorganismos *Aspergillus Niger*, *Chlorella Vulgaris* y *Phanerochaete Chrysosporium*.

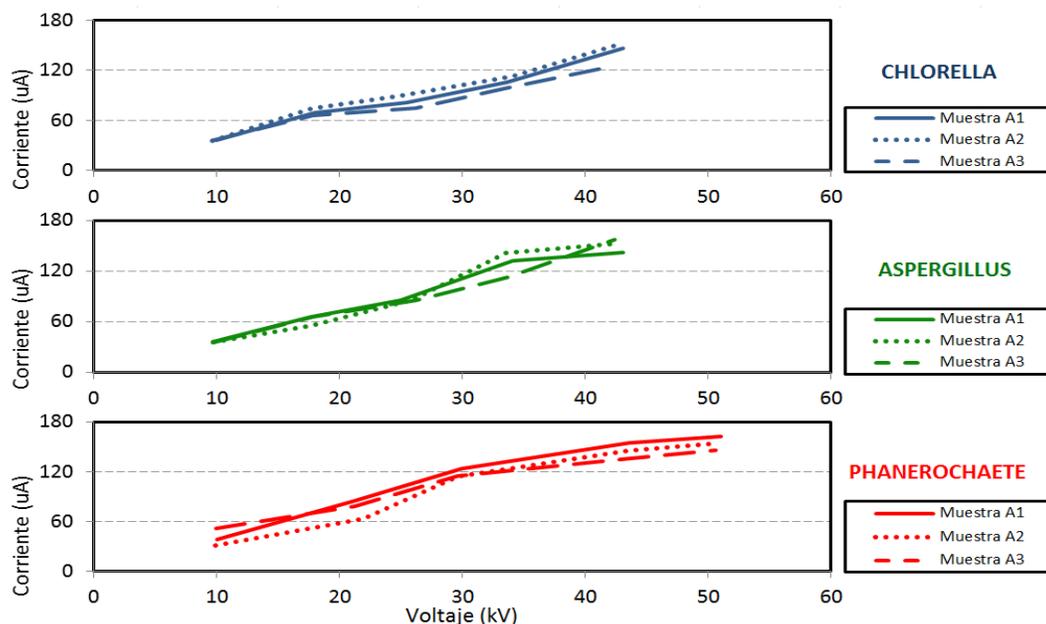


Figura 6.11 Corrientes de fuga aislador ANSI DS-15.

Fuente: Los Autores

El comportamiento de las corrientes de fuga para los aisladores poliméricos tipo ANSI DS-15 es similar para todos los elementos expuestos al desarrollo de los tres microorganismos, alcanzando valores máximos cercanos a 180 μA . Sin embargo, en el grupo de aisladores expuestos al desarrollo de *Phanerochaete Chrysosporium*, la tensión final de la prueba alcanzó los 50 kV, magnitud significativamente mayor a la aplicada sobre los demás grupos de muestras. Al comparar las magnitudes máximas de corrientes de fuga al finalizar el ensayo, no se aprecian diferencias significativas sobre este tipo de aislador.

6.5. Conclusiones del Capítulo

- Con este capítulo se da cumplimiento al tercer objetivo específico: *determinar los efectos que provoca el crecimiento biológico de Chlorella Vulgaris, Phanerochaete Chrysosporium y Aspergillus Niger, sobre las tensiones de flameo y las corrientes de fuga en los aisladores seleccionados, a partir de pruebas experimentales realizadas según la norma colombiana NTC 1285 (Método de Ensayo Para Aisladores de Potencia Eléctrica) y la norma internacional ANSI C29.1 (Test Methods for Electrical Power Insulators).*
- A partir de las pruebas eléctricas realizadas, se obtuvieron tensiones promedio de flameo en seco para los aisladores ANSI 52-1, ANSI 55-2 y ANSI DS-15 de 42.36 kV, 37.09 kV y 60.31 kV respectivamente y tensiones promedio de flameo en húmedo de 26.10 kV, 17.77 kV y 53.03 kV para los mismos elementos. Estas magnitudes de tensión resultan menores en los aisladores expuestos al desarrollo de *Aspergillus Niger* al compararse con las muestras expuestas a *Chlorella Vulgaris* y *Phanerochaete Chrysosporium*.
- Se evidencian mayores magnitudes en las corrientes de fuga (700 μA) presentes sobre aisladores tipo ANSI 52-1 bio-contaminados con *Aspergillus Niger* que con otros microorganismos. Por otro lado, al compararse con los demás elementos expuestos al desarrollo biológico, se observa que las magnitudes de las corrientes de fuga en aisladores tipo ANSI 55-2 son mayores (440 μA) en los elementos expuestos al desarrollo de *Phanerochaete Chrysosporium*.

(Página intencionalmente dejada en blanco)

7. EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO ELÉCTRICO DE AISLADORES

En este capítulo se analizan y se comparan los resultados eléctricos obtenidos en las pruebas de referencia (Capítulo 5) y los ensayos eléctricos aplicados a aisladores contaminados con los microorganismos bajo estudio (Capítulo 6). En todos los análisis se presentan las diferencias porcentuales entre las tensiones de flameo obtenidas para cada una de las pruebas y las pruebas de referencia. Así mismo, se presentan y analizan los resultados obtenidos para las corrientes de fuga de aisladores nuevos y bio-contaminados.

7.1. Prueba de flameo en seco a baja frecuencia

Una vez obtenidos los valores eléctricos correspondientes al ensayo de flameo en seco para aisladores de referencia (nuevos) y aisladores expuestos al desarrollo de microorganismos, se realizó el análisis comparativo a partir del cálculo de la diferencia porcentual entre las magnitudes de las tensiones. De acuerdo a lo descrito en la Tabla 4.2, cada aislador fue designado con un número y un código de grupo (A1, A2 y A3) para ser analizado posteriormente. La evaluación del desempeño eléctrico de cada elemento se realizó en función del microorganismo con el cual se contaminó.

La Tabla 7.1 presenta las reducciones porcentuales de la tensión de flameo promedio (calculadas con la Ecuación 3) de cada aislador bio-contaminado al compararse con su valor de referencia. Una comparación grafica de los resultados para cada aislador se presenta en el Anexo T.

Tabla 7.1 Reducción porcentual individual de la tensión de flameo en seco

		Porcentajes individuales de reducción [%]								
Tipo de aislador		ANSI 52-1			ANSI 55-2			ANSI DS-15		
Código de grupo		A1	A2	A3	A1	A2	A3	A1	A2	A3
Microorganismo	<i>Chlorella Vulgaris</i>	8,56	4,18	4,47	2,28	1,99	1,61	4,6	1,65	2,58
	<i>Aspergillus Niger</i>	18,4	20,24	22,19	10,14	17,65	12,59	6,67	5,05	2,14
	<i>Phanerochaete Chrysosporium</i>	10,07	7,73	13,72	12,41	11,17	9,34	2,07	2,78	3,77

Fuente: Los Autores

Para aisladores tipo ANSI 52-1 se observa que la mayor reducción en las tensiones de flameo es producto del desarrollo del organismo microscópico *Aspergillus Niger* con una reducción promedio cercana al 20%, siendo el caso más crítico el de la muestra A3 cuya reducción porcentual es de 22.19% respecto a su valor de referencia. Por otro lado, las muestras contaminadas con *Phanerochaete Chrysosporium* exhiben una reducción en la tensión de flameo entre el 7% y el 14%, mientras que las muestras contaminadas con *Chlorella Vulgaris* presentan las menores variaciones con una reducción en las tensiones de flameo por debajo del 10%.

En aisladores tipo ANSI 55-2, las reducciones porcentuales en las tensiones de flameo de los elementos expuestos al desarrollo de los dos hongos son similares. Sin embargo, se obtuvo un valor máximo en la reducción de la tensión de flameo en seco de 17.65% para la muestra A2 contaminada con el hongo *Aspergillus Niger* y un valor máximo de 12.41% para la muestra A1 contaminada con *Phanerochaete Chrysosporium*. En el caso de los elementos expuestos al desarrollo de *Chlorella Vulgaris* la reducción porcentual supera apenas el 2%, siendo el caso menos crítico el de la muestra A3 con una reducción de 1,61% respecto a su valor de referencia.

Finalmente, para aisladores poliméricos tipo ANSI DS-15 se aprecia una reducción inferior al 7% en las tensiones de flameo de los aisladores expuestos a los tres microorganismos. No obstante, de las pruebas experimentales se puede observar que el caso más crítico con aisladores poliméricos es el de la muestra A1 contaminada con *Aspergillus Niger* y la menor reducción se presenta en la muestra A2 contaminada con *Chlorella Vulgaris*, con porcentajes de 6.67% y 1.65% respectivamente. La Tabla 7.2 presenta la reducción porcentual promedio para cada tipo de aislador en función del microorganismo con el cual se contaminaron.

Tabla 7.2 Reducción porcentual promedio de la tensión de flameo en seco por tipo de aislador

		Porcentajes grupales de reducción [%]		
		ANSI 52-1	ANSI 55-2	ANSI DS-15
Microorganismo	Tipo de aislador			
	<i>Chlorella Vulgaris</i>	6,03	1,11	2,36
	<i>Aspergillus Niger</i>	20,07	13,92	4,92
	<i>Phanerochaete Chrysosporium</i>	10,75	10,55	3,3

Fuente: Los Autores

Una vez analizados los valores promedio por tipo de aislador y comparándolos respecto al microorganismo con el cual se contaminaron, se puede concluir que los aisladores expuestos al desarrollo de *Aspergillus Niger* presentan las reducciones más elevadas respecto a sus valores de referencia, alcanzando reducciones de hasta 20%. También se puede observar que el tipo de aislador más afectado por la colonización microbiana es el aislador cerámico tipo ANSI 52-1, cuyas reducciones porcentuales oscilan entre el 6% y el 20% dependiendo del microorganismo al cual fue expuesto.

Finalmente, al analizar los resultados mostrados en la Tabla 7.2, se puede evidenciar que los aisladores menos afectados en su desempeño eléctrico posteriormente a la bio-contaminación, son los aisladores poliméricos tipo ANSI DS-15, los cuales presentan una reducción promedio inferior del 5% en la tensión de flameo en seco para elementos expuestos al desarrollo de *Aspergillus Niger*.

7.2. Pruebas de flameo en húmedo en baja frecuencia

Al igual que para las pruebas de flameo en seco, en este apartado se presentan y se analizan las diferencias porcentuales de las magnitudes de tensión de flameo en húmedo al comparar los valores obtenidos durante las pruebas de referencia con las magnitudes obtenidas al realizar los ensayos eléctricos en aisladores expuestos al desarrollo microbiano, tal y como se muestra en la Tabla 7.3. Por otro lado, el Anexo U presenta gráficamente dichas comparaciones para cada uno de los tipos de aisladores bajo estudio.

Tabla 7.3 Reducción porcentual individual de la tensión de flameo en húmedo

		Porcentajes individuales de reducción [%]								
Tipo de aislador		ANSI 52-1			ANSI 55-2			ANSI DS-15		
Código de grupo		A1	A2	A3	A1	A2	A3	A1	A2	A3
Microorganismo	<i>Chlorella Vulgaris</i>	4,57	11,49	12,59	0,74	4,09	9,09	2,65	3,06	2,02
	<i>Aspergillus Niger</i>	19,4	17,73	18,5	15,27	19,29	18,99	6,59	10,48	8,64
	<i>Phanerochaete Chrysosporium</i>	12,96	9,14	10,92	8,38	10,37	11,42	7,87	7	7,5

Fuente: Los Autores

En aisladores cerámicos tipo ANSI 52-1 expuestos al desarrollo de *Aspergillus Niger*, se evidencian reducciones en la tensión de flameo cercanas al 20% para todas las muestras al compararse con los valores de referencia. Por otro lado, en las muestras A2 y A3 contaminadas con *Chlorella Vulgaris* se presentan reducciones cercanas a 12%, mientras que en la muestra A1 la reducción es de apenas 4.5%. Las muestras contaminadas con el hongo *Phanerochaete Chrysosporium* presentan reducciones que oscilan entre el 9% y el 13%, siendo el caso más crítico el de la muestra A1.

Al igual que en aisladores tipo ANSI 52-1, en aisladores tipo ANSI 55-2 expuestos al desarrollo *Aspergillus Niger* se presentan las reducciones porcentuales más elevadas de las tensiones de flameo al compararse con los valores de referencia, alcanzando reducciones de hasta 19%. Así mismo, los elementos contaminados con *Chlorella Vulgaris* presentan las reducciones porcentuales menos significativas respecto a sus valores de referencia, con porcentajes de 0.74%, 4.09% y 9.09% para las muestras A1, A2 y A3 respectivamente. Las reducciones obtenidas en las muestras expuestas al desarrollo de *Phanerochaete Chrysosporium* se encuentran en un rango comprendido entre 8.3% y 11.4%.

Para aisladores poliméricos tipo ANSI DS-15 se aprecia una reducción similar (8% en promedio) en las tensiones de flameo para los elementos expuestos al desarrollo de hongos. Sin embargo, se puede observar que el caso más crítico es el de la muestra A2 contaminada con *Aspergillus Niger* cuya reducción porcentual de la tensión de flameo en húmedo es de 10.48%. Por otro lado, los elementos contaminados con el alga tienen los porcentajes de reducción más bajos respecto a los valores obtenidos en las pruebas de referencia con valores cercanos al 3%. La Tabla 7.4 presenta los porcentajes grupales de reducción para cada tipo de aislador en función del microorganismo con el cual se contaminaron

Tabla 7.4 Reducción porcentual promedio de la tensión de flameo en húmedo por tipo de aislador

		Porcentajes grupales de reducción [%]		
Tipo de aislador		ANSI 52-1	ANSI 55-2	ANSI DS-15
Microorganismo	<i>Chlorella Vulgaris</i>	9	3,93	2,49
	<i>Aspergillus Niger</i>	19,75	17,72	8,7
	<i>Phanerochaete Chrysosporium</i>	10,13	11,14	7,27

Fuente: Los Autores

Al igual que para las pruebas de flameo en seco, en las pruebas de flameo en húmedo se puede concluir que los elementos expuestos al desarrollo de *Aspergillus Niger* presentan las reducciones porcentuales más altas respecto a sus valores de referencia alcanzando valores de hasta 19%. Cabe destacar también que los aisladores cerámicos presentan mayores reducciones porcentuales en las tensiones de flameo en húmedo que los aisladores de tipo polimérico, cuyas reducciones no exceden el 9% en promedio ante el desarrollo de los tres microorganismos.

Finalmente, al comparar las reducciones obtenidas para los dos tipos de aisladores cerámicos, no se evidencia una clara tendencia que permita establecer en que aislador se presentan las mayores reducciones en las tensiones de flameo ante la presencia de hongos. Sin embargo, para las muestras expuestas al desarrollo del alga se evidencia una reducción mayor en aisladores tipo ANSI 52-1, donde se alcanzan valores de hasta del 9% comprado con el 4% promedio de aisladores ANSI 55-2.

7.3. Pruebas de flameo al impulso tipo rayo

Al comparar las magnitudes de tensión de flameo al impulso tipo rayo que se obtuvieron durante la etapa de pruebas de referencia y la etapa posterior a la exposición microbiana, se analizaron las diferencias porcentuales existentes entre dichas tensiones y los resultados fueron consignados en la Tabla 7.5. Por otro lado, en el Anexo V se presentan gráficamente dichas comparaciones para cada uno de los tipos de aisladores bajo estudio. Es importante recordar que debido a las limitaciones de tensión máxima generada en el Laboratorio de Alta Tensión de la Universidad Distrital sólo se realizaron pruebas de flameo al impulso tipo rayo en aisladores cerámicos.

Tabla 7.5 Reducción porcentual individual de la tensión de flameo al impulso tipo rayo

		Porcentajes individuales de reducción [%]							
		Tipo de aislador		ANSI 52-1			ANSI 55-2		
		Código de grupo		A1	A2	A3	A1	A2	A3
Microorganismo	<i>Chlorella Vulgaris</i>	6,55	6	6,01	1,39	2,67	3,29		
	<i>Aspergillus Niger</i>	7,41	5,98	9,44	7,25	6,74	6,61		
	<i>Phanerochaete Chrysosporium</i>	3,03	1,04	3,52	1,24	3,84	6,6		

Fuente: Los Autores

En comparación a las pruebas de flameo a baja frecuencia donde se alcanzaron reducciones de hasta el 20%, el porcentaje de reducción de la tensión de flameo al impulso tipo rayo no sobrepasa en ningún caso el 10%. Este valor aproximado se obtuvo en la muestra A3 del aislador cerámico ANSI 52-1 contaminado con *Aspergillus Niger*. En aisladores tipo ANSI 52-1 expuestos al desarrollo de *Chlorella Vulgaris* la reducción porcentual se encuentra alrededor del 6% para todas las muestras, mientras que en el caso de los elementos expuesto al desarrollo de *Phanerochaete Chrysosporium*, la reducción porcentual supera apenas el 3,5%, siendo el caso menos crítico el de la muestra A2 con una reducción de apenas el 1% respecto a su valor de referencia.

En aisladores cerámicos tipo ANSI 55-2 las reducciones porcentuales de los elementos expuestos al desarrollo *Aspergillus Niger* presentan los mayores valores de reducción al compararse con las pruebas de referencia, obteniendo porcentajes que oscilan entre 6% y 7.2%. Por el contrario, las muestras contaminadas con *Chlorella Vulgaris* y *Phanerochaete Chrysosporium* presentan niveles de

tensión de flameo cuyo porcentaje de reducción apenas se aproxima al 4%, salvo por el caso de la muestra A3 contaminada con *Phanerochaete Chrysosporium* cuyo valor de reducción porcentual es 6.6%. La Tabla 7.6 presenta los porcentajes grupales de reducción para cada tipo de aislador en función del microorganismo con el cual se contaminaron.

Tabla 7.6 Reducción porcentual promedio de la tensión de flameo al impulso por tipo de aislador

		Porcentajes grupales de reducción [%]	
		ANSI 52-1	ANSI 55-2
Microorganismo	Tipo de aislador		
	<i>Chlorella Vulgaris</i>	4,96	3,24
	<i>Aspergillus Niger</i>	8,77	6,92
	<i>Phanerochaete Chrysosporium</i>	2,91	4,04

Fuente: Los Autores

Al analizar la reducción porcentual promedio por tipo de aislador, se puede observar que los elementos expuestos al desarrollo de *Aspergillus Niger* presentan las reducciones porcentuales más altas respecto a sus valores de referencia, alcanzando reducciones cercanas al 9%. Sin embargo, vale la pena resaltar que las reducciones porcentuales para cada uno de los elementos expuestos a la bio-contaminación no superan el 10% respecto a su valor de referencia en ninguno de los casos. Finalmente, no se evidencian diferencias significativas entre las reducciones porcentuales obtenidas en aisladores tipo ANSI 52-1 y aisladores tipo ANSI 55-2.

7.4. Prueba corrientes de fuga

Debido a las diferencias entre las magnitudes de tensión, corriente y tiempo previo al inicio de descargas múltiples sobre la superficie de los aisladores, resulta más sencillo analizar el comportamiento de las corrientes de fuga de manera gráfica e independiente por tipo de aislador y microorganismo objetivo. De acuerdo a los parámetros descritos en la Tabla 4.2, cada aislador fue designado con un número y se dividieron en tres grupos en función del microorganismo con el cual se contaminó cada elemento.

Para facilitar la comprensión de los resultados cada muestra (aislador bajo prueba) fue distinguido con un color diferente y en todos los casos las líneas continuas representan los valores de referencia y las líneas punteadas muestran los valores después de la bio-contaminación.

7.4.1. Pruebas en elementos expuestos al desarrollo de *Chlorella Vulgaris*

De acuerdo a los protocolos expuestos en el Capítulo 5, se realizaron pruebas de corrientes de fuga a tres grupos de aisladores y se compararon los resultados obtenidos con sus correspondientes valores de referencia. En la Figura 7.1 se presenta el comportamiento de las corrientes de fuga en aisladores tipo ANSI 55-2 expuestos al desarrollo de *Chlorella Vulgaris* al compararse con las corrientes obtenidas durante la etapa de pruebas de referencia.

De las pruebas se observa que los aisladores tipo ANSI 55-2 contaminados el alga presentan corrientes de fuga mayores respecto a las pruebas de referencia. En el caso de aisladores bio-contaminados se alcanzaron valores cercanos a los 350 μA para un nivel de tensión aplicada de 24 kV, mientras que para aisladores nuevos las corrientes de fuga llegaron a valores de 250 μA para un nivel de tensión de 30 kV.

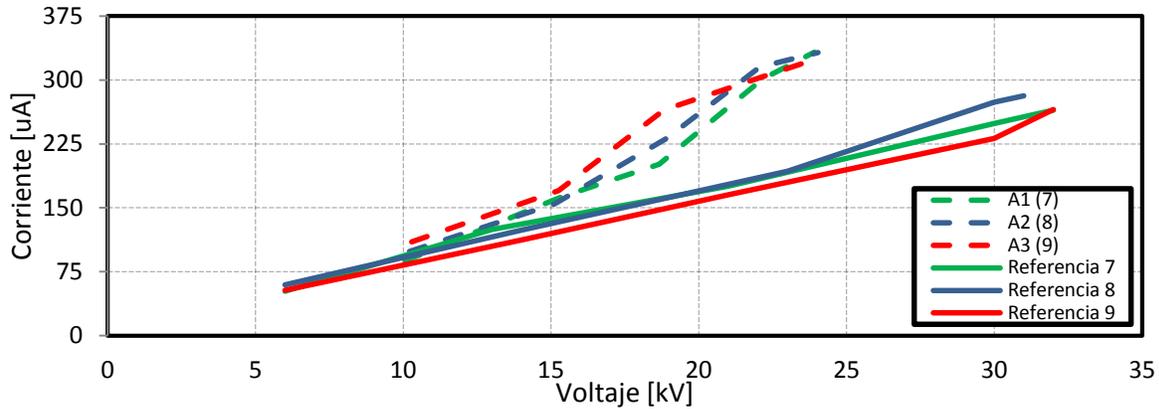


Figura 7.1 Corrientes de fuga ANSI 55-2 – *Chlorella Vulgaris*

Fuente: Los Autores

En la Figura 7.2 se presenta el comportamiento de las corrientes de fuga en aisladores tipo ANSI 52-1 expuestos al desarrollo de *Chlorella Vulgaris* al compararse con las corrientes obtenidas durante la etapa de pruebas de referencia. Las corrientes de fuga en aisladores tipo ANSI 52-1 contaminados con *Chlorella Vulgaris* presentan corrientes levemente mayores que las corrientes obtenidas en el grupo de referencia, alcanzando valores de 520 μA . Sin embargo, el valor de tensión alcanzado durante el desarrollo de la prueba instantes previos a la producción de descargas múltiples es menor que la tensión alcanzada en las pruebas de referencia llegando sólo hasta 24 kV, mientras que en los aisladores de referencia se lograron aplicar tensiones hasta los 36 kV.

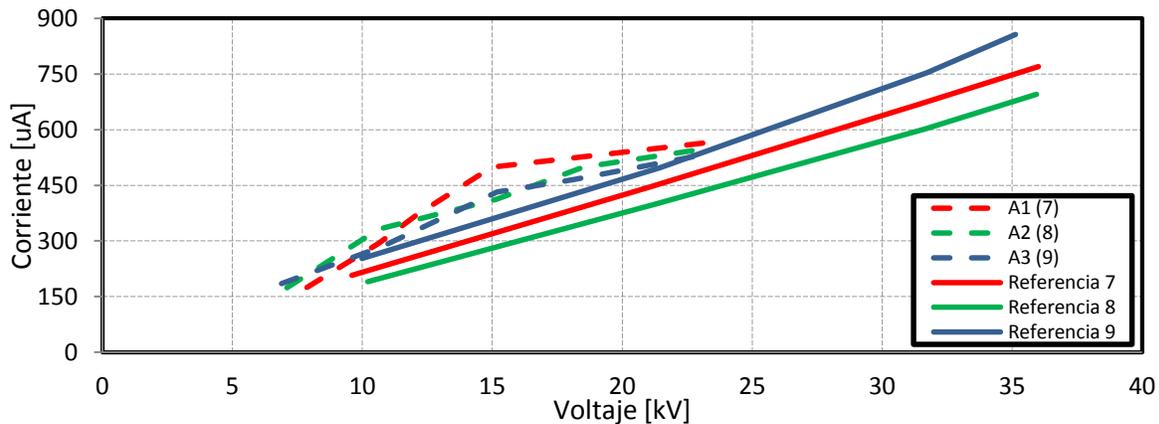


Figura 7.2 Corrientes de fuga ANSI 52-1 – *Chlorella Vulgaris*

Fuente: Los Autores

En la Figura 7.3 se presenta el comportamiento de las corrientes de fuga en aisladores tipo ANSI DS-15 expuestos al desarrollo de *Chlorella Vulgaris*. Para estos aisladores poliméricos se alcanzaron valores máximos de corrientes de fuga cercanos a los 150 μA tanto en aisladores nuevos como en aisladores contaminados. Sin embargo, la tensión alcanzada en las muestras contaminadas momentos previos a la producción de descargas múltiples fue cercana a los 42 kV el cual es un valor menor a los 60 kV alcanzados en las pruebas de referencia

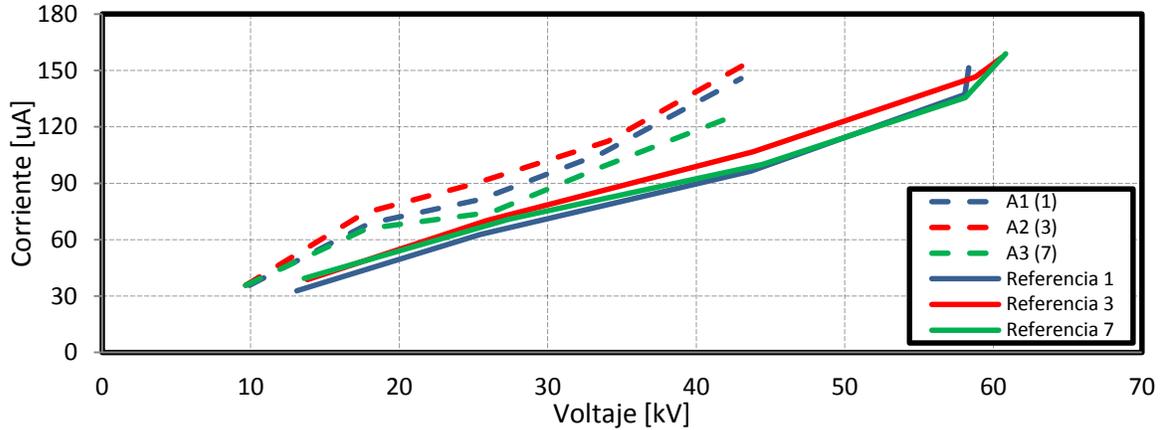


Figura 7.3 Corrientes de fuga ANSI DS-15 – *Chlorella Vulgaris*

Fuente: Los Autores

7.4.2. Pruebas en elementos expuestos al desarrollo de *Aspergillus Niger*

Al igual que para los elementos expuestos al desarrollo de *Chlorella Vulgaris*, se realizaron pruebas de corrientes de fuga a tres grupos de aisladores bio-contaminados con *Aspergillus Niger* y se compararon los resultados con los valores obtenidos durante las pruebas de referencia. La Figura 7.4 presenta el comportamiento de las corrientes de fuga en aisladores cerámicos tipo ANSI 55-2 antes y después de la bio-contaminación con el hongo *Aspergillus Niger*.

Se evidencia que la corriente de fuga en aisladores tipo ANSI 55-2 nuevos llega a valores cercanos a los 300 μA cuando se aplican alrededor de 32 kV, estos valores de corrientes de fuga se obtienen también con aisladores contaminados con *Aspergillus Niger* pero a una tensión aplicada de 18 kV.

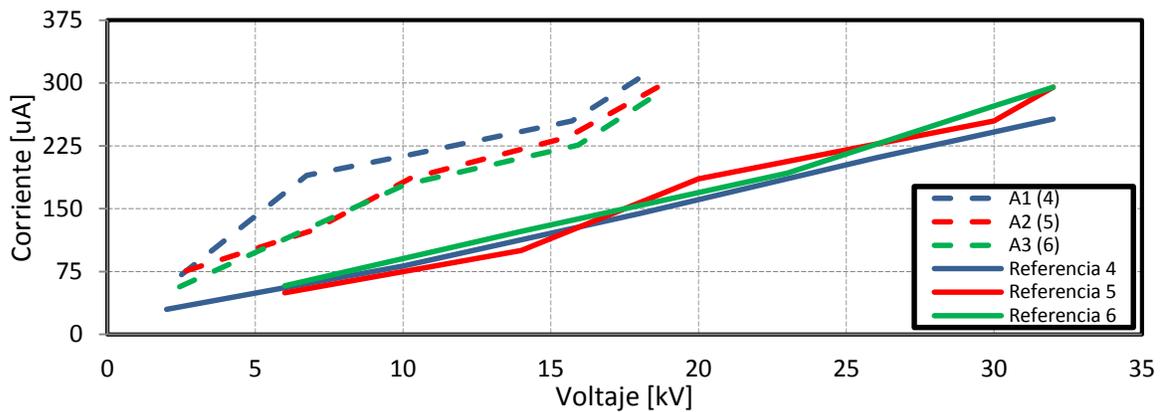


Figura 7.4 Corrientes de fuga ANSI 55-2 – *Aspergillus Niger*

Fuente: Los Autores

En la Figura 7.5 se muestra el comportamiento de las corrientes de fuga en aisladores tipo ANSI 52-1 antes y después de la bio-contaminación. En este caso, los aisladores contaminados con *Aspergillus Niger* presentan corrientes de fuga cercanas a los 600 μA cuando se aplica una tensión de 17 kV, mientras en aisladores de referencia se obtienen valores entre 600 y 700 μA pero aplicando casi dos veces la tensión registrada para aisladores bio-contaminados.

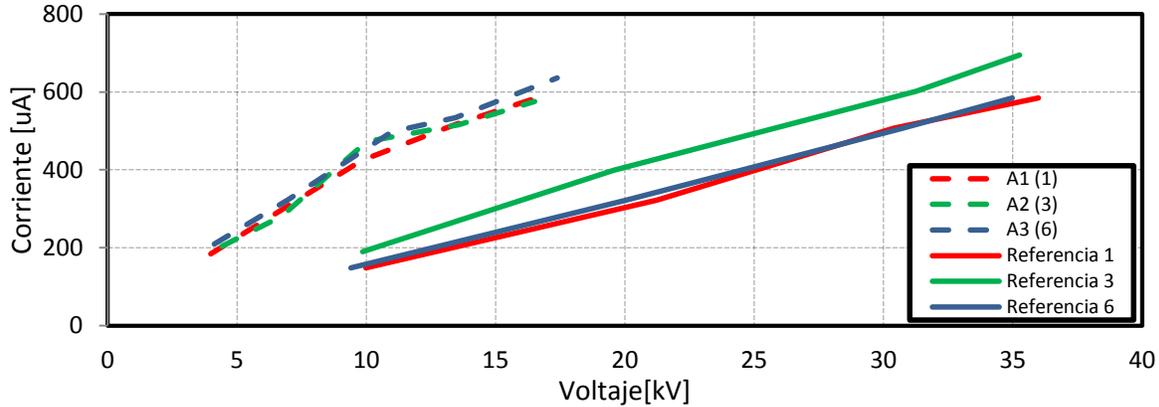


Figura 7.5 Corrientes de fuga ANSI 52-1 – *Aspergillus Niger*

Fuente: Los Autores

Las corrientes de fuga para aisladores poliméricos tipo ANSI DS-15 antes y después de la contaminación con *Aspergillus Niger* se muestran en la Figura 7.6. Para estos aisladores se alcanzaron valores de corrientes de fuga cercanos a los 150 μA tanto en aisladores nuevos como en aisladores contaminados. Sin embargo, la tensión aplicada a las muestras contaminadas momentos previos a la producción de descargas múltiples fue cercana a los 42 kV, un valor inferior a los 60 kV alcanzados en las pruebas de referencia.

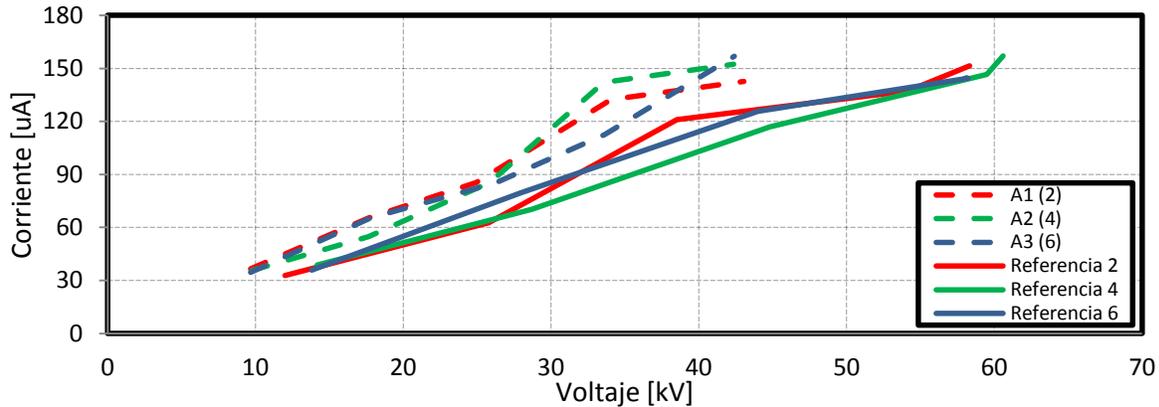


Figura 7.6 Corrientes de fuga ANSI DS-15 – *Aspergillus Niger*

Fuente: Los Autores

7.4.3. Pruebas en elementos expuestos al desarrollo de *Phanerochaete Chrysosporium*

El comportamiento de las corrientes de fuga en aisladores cerámicos tipo ANSI 55-2 expuestos al desarrollo de *Phanerochaete Chrysosporium* y su comparación con las corrientes obtenidas sobre aisladores nuevos en la etapa de pruebas de referencia se presenta en la Figura 7.7. Los aisladores tipo ANSI 55-2 contaminados con *Phanerochaete Chrysosporium* presentan corrientes de fuga con valores cercanos a los 400 μA para una tensión aplicada de 24 kV. Por el contrario, en aisladores nuevos se obtienen corrientes de por debajo de los 300 μA con una tensión aplicada de 30 kV.

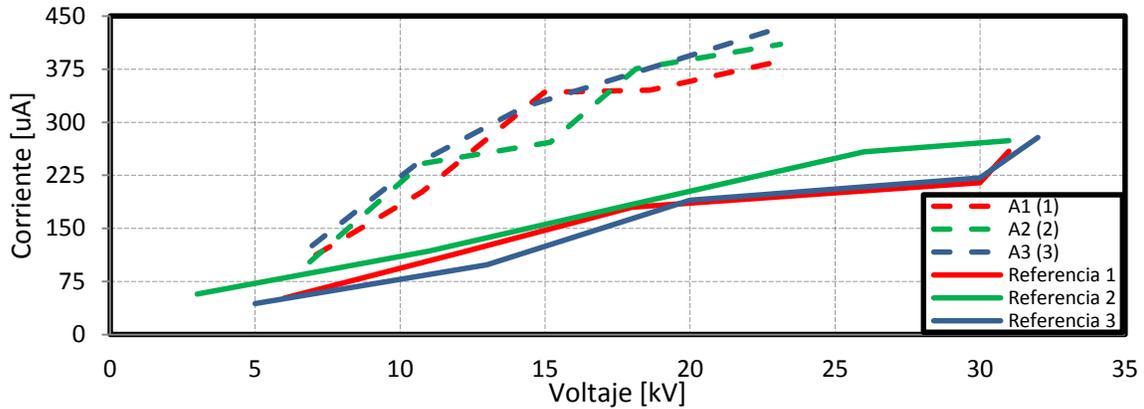


Figura 7.7 Corrientes de fuga ANSI 55-2 – Phanerochaete Chrysosporium

Fuente: Los Autores

La Figura 7.8 muestra el comportamiento de las corrientes de fuga en aisladores tipo ANSI 52-1 expuestos al desarrollo de *Phanerochaete Chrysosporium*. En este caso, las pruebas de referencia mostraron corrientes de fuga que oscilan entre 450 μA y 800 μA cuando se aplica una tensión de 35 kV aproximadamente, mientras que en los aisladores contaminados con *Phanerochaete Chrysosporium* se presentan corrientes de fuga con valores cercanos a los 650 μA luego de aplicar 23 kV.

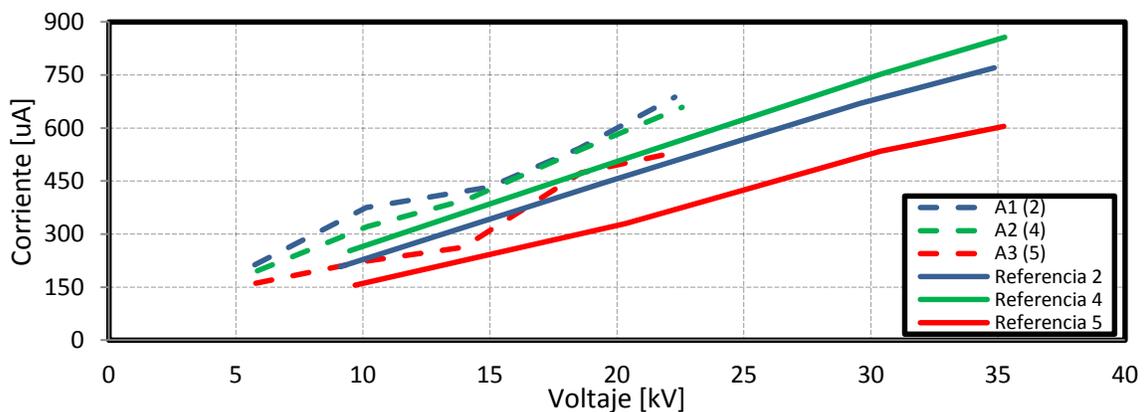


Figura 7.8 Corrientes de fuga ANSI 52-1 – Phanerochaete Chrysosporium

Fuente: Los Autores

La Figura 7.9 presenta el comportamiento de las corrientes de fuga en aisladores cerámicos tipo ANSI DS-15 antes y después de la bio-contaminación con el hongo *Phanerochaete Chrysosporium*. En aisladores tipo ANSI DS-15 los valores máximos de las corrientes de fuga tanto en aisladores contaminados como en aisladores de referencia es similar, alcanzado magnitudes finales cercanas a los 150 μA . La diferencia se encuentra en el valor de la tensión crítica aplicada (antes del inicio de descargas sobre los aisladores) pues en las pruebas de referencia el valor de la tensión máxima aplicada sobre aisladores nuevos estuvo cerca de los 60 kV, mientras en aisladores bio-contaminados se alcanzaron los 52 kV.

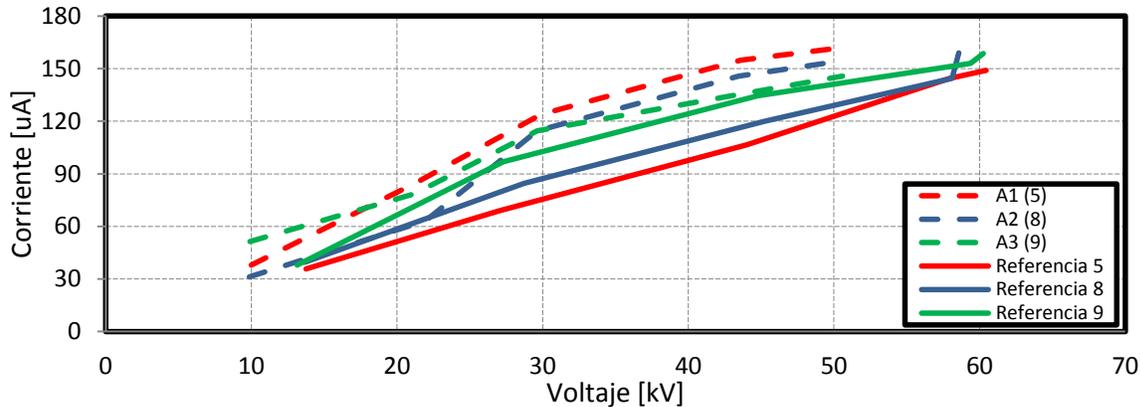


Figura 7.9 Corrientes de fuga ANSI DS-15 – Phanerochaete Chrysosporium

Fuente: Los Autores

7.5. Conclusiones del Capítulo

- Con este capítulo se da cumplimiento al cuarto objetivo específico: *comparar para los aisladores seleccionados, el desempeño eléctrico de las tensiones de flameo y las corrientes de fuga antes y después de someterlos a condiciones de crecimiento biológico en su superficie, teniendo en cuenta las reducciones porcentuales del desempeño eléctrico de cada aislador y por grupo de aisladores versus el microorganismo contaminante.*
- Posterior al análisis experimental, se observa para las pruebas de flameo en seco que el *Aspergillus Niger* es el microorganismo que afecta en mayor medida el desempeño eléctrico de los tres tipos de aisladores bajo estudio, alcanzando porcentajes de reducción generalizados de entre 6.03% y 20.27%. Por otro lado, el alga *Chlorella Vulgaris* es el organismo microscópico con las menores afectaciones sobre los tres tipos de aisladores, superando apenas el 6% en promedio de reducción de flameo en seco para el caso más crítico.
- Para las pruebas de flameo en húmedo, se obtuvieron resultados similares entre las tensiones de flameo obtenidas con los dos hongos, alcanzando valores de reducción promedio cercanos al 8% en aisladores poliméricos. Sin embargo, *Aspergillus Niger* presenta las mayores afectaciones en el desempeño eléctrico de aisladores cerámicos, con porcentajes que oscilan entre 17,7% y 19,7%.
- De los ensayos de flameo al impulso tipo rayo vale la pena aclarar que no se alcanzaron reducciones de tensión de flameo superiores al 10% para ninguna de las pruebas en aisladores bajo estudio, obteniéndose valores mucho menores que los registrados para las pruebas de flameo a baja frecuencia. El comportamiento de las tensiones de flameo registradas para los elementos expuestos a los tres microorganismos no presenta variaciones notorias.
- Se observan para los elementos expuestos al desarrollo biológico, corrientes de fuga con magnitudes mayores que las registradas en las pruebas de referencia. Estas corrientes máximas se obtuvieron momentos previos a la producción de descargas múltiples sobre la superficie de los aisladores, de ahí que nunca se alcanzó el nivel de tensión registrado en las pruebas de referencia para ninguno de los elementos bajo ensayo.

8. CONCLUSIONES GENERALES Y TRABAJOS A FUTURO

El presente trabajo de grado da cumplimiento al objetivo general: *evaluar el comportamiento eléctrico de aisladores cerámicos tipo pin clase ANSI 55-2, tipo clevis clase ANSI 52-1 y polimérico tipo suspensión clase ANSI DS-15, ante el crecimiento biológico en su superficie de los microorganismos Chlorella Vulgaris, Phanerochaete Chrysosporium y Aspergillus Niger*. A continuación se presentan las principales conclusiones obtenidas.

- Al comparar los resultados de referencia con las pruebas realizadas bajo condiciones de contaminación biológica, se demostró que el proceso de colonización microbiana incide directamente en el desempeño eléctrico de aisladores de media tensión, aumentando la magnitud de las corrientes de fuga circulantes a tierra y disminuyendo los niveles de tensión de flameo (en seco, en húmedo y ante impulsos de tensión) sobre aisladores bio-contaminados.
- El desarrollo microbiano sobre aisladores eléctricos es un problema real y evidente que aunque no ha sido explorado suficiente amplitud, está estrictamente relacionado con las condiciones ambientales a las que se hallan expuestos estos elementos. La humedad, la radiación solar y las temperaturas elevadas son factores claves que inciden en el desarrollo de organismos microscópicos sobre la superficie de aisladores eléctricos.
- La cámara de ambiente controlado diseñada y construida con la finalidad de simular un entorno que reprodujera las condiciones ambientales propicias para el desarrollo de los microorganismos *Aspergillus Niger*, *Chlorella Vulgaris* y *Phanerochaete Chrysosporium*, cumplió con todos los objetivos bajo los cuales se fundamentó su desarrollo. En este entorno controlado fue posible mantener condiciones óptimas que incentivaron el desarrollo de los organismos microscópicos objetivo.
- Los métodos de identificación y conteo poblacional efectuados por los laboratorios microbiológicos Bioquilab Ltda. y Laboratorio Dr. Calderón, certificaron la existencia de los microorganismos escogidos sobre los aisladores eléctricos tomados como muestra representativa de un sistema de distribución típico colombiano. Estos resultados certifican el aprendizaje de técnicas de manipulación e inoculación de muestras biológicas durante el desarrollo del presente proyecto.
- Las pruebas de referencia realizadas sobre aisladores eléctricos en el LAT-UD, incluyeron ensayos de tensión de flameo a baja frecuencia, tensión de flameo al impulso tipo rayo y medición de corrientes de fuga. Estos ensayos se llevaron a cabo siguiendo los lineamientos descritos en las normas NTC 1285 y ANSI C29.1 de acuerdo al alcance previsto al iniciar el desarrollo del proyecto.
- Durante las pruebas eléctricas realizadas en aisladores bio-contaminados, siempre se obtuvieron menores tensiones de flameo en las muestras expuestas al desarrollo del microorganismo

Aspergillus Niger al compararse con los resultados obtenidos con *Chlorella Vulgaris* y *Phanerochaete Chrysosporium*.

- Resultados de las pruebas eléctricas aplicadas sobre aisladores de media tensión, se evidenció que los aisladores cerámicos ANSI 52-1 y ANSI 55-2 presentan mayores afectaciones en su desempeño eléctrico frente al desarrollo biológico, al compararse con aisladores poliméricos tipo ANSI DS-15.
- El crecimiento y desarrollo de los microorganismos *Aspergillus Niger*, *Chlorella Vulgaris* y *Phanerochaete Chrysosporium* modificaron, para todos los casos analizados, el desempeño eléctrico de los aisladores tipo ANSI DS-15, ANSI 52-1 y ANSI 55-2, siendo el caso más crítico el de las muestras bio-contaminadas con el hongo filamentoso *Aspergillus Niger* con reducciones de hasta el 20% en las tensiones de flameo.

Los siguientes son recomendaciones sobre los trabajos futuros que se pueden desarrollar a partir de las actividades realizadas y los resultados obtenidos en el marco de este trabajo de grado:

- Analizar el desempeño eléctrico de aisladores a lo largo de diferentes periodos de contaminación, realizando ensayos de laboratorio de forma periódica para establecer si el tiempo de crecimiento y desarrollo microbiano es un factor incidente en el deterioro de estos elementos. Se recomienda establecer un tiempo de bio-exposición mayor a 8 semanas con el fin de obtener resultados diferentes a los obtenidos en este proyecto.
- Estudiar el efecto que produce la colonización de diferentes microorganismos hallados en la literatura tales como: *Epicoccum Nigrum*, *Curvularia Lunata*, *Pleorotus Ostreatus*, *Chlorella Saccharophila*, *Chlorella Pyrenoidosa* y otros citados en la Tabla 2.2, sobre el desempeño eléctrico de aisladores para así tener un panorama más amplio que el expuesto en el presente proyecto.
- Aumentar el número de aisladores eléctricos expuestos al desarrollo de microorganismos con el fin de obtener una tendencia más clara y contundente del comportamiento y la afectación en el desempeño eléctrico de aisladores.
- Generar proyectos interdisciplinarios con personal calificado que permitan abarcar de manera más profunda la relación existente entre el ámbito eléctrico y el ámbito biológico, analizando ampliamente temáticas tales como: degradación física de materiales, tiempo óptimo de operación de aisladores en condiciones de intemperie, desarrollo biológico en diferentes medios de cultivo y medidas para mitigar el desarrollo microbiano.
- Se recomienda realizar ensayos de flameo al impulso tipo rayo sobre aisladores poliméricos tipo ANSI DS-15 para establecer el comportamiento de estos elementos bajo la influencia de la contaminación microbiana.
- Realizar ensayos eléctricos de referencia y bajo condiciones de desarrollo microbiano a aisladores de baja y alta tensión. Esto con el propósito de obtener resultados que amplíen la temática abordada por este trabajo de grado, en el cual sólo se analizaron aisladores de media tensión.

- Estudiar y analizar el desempeño eléctrico de aisladores de baja, media y alta tensión, bajo condiciones de envejecimiento y desarrollo microbiano natural, obteniendo las muestras directamente de entornos de trabajo y operación cotidianos. Se recomienda correlacionar resultados obtenidos con muestras contaminadas artificialmente bajo condiciones de laboratorio.
- Examinar y comparar para los diferentes tipos de materiales que componen los aisladores eléctricos, soluciones y medidas que permitan mitigar el desarrollo microbiano sobre la superficie de estos elementos, proponiendo así alternativas que optimicen su selección para diversos tipos de aplicaciones.

(Página intencionalmente dejada en blanco)

REFERENCIAS

- [1] M. Farzaneh and W. Chisholm, *Insulators for Icing and Polluted Environments*, Series Edi. IEEE, 2005.
- [2] E. Kuffel, W. Zaengl, and J. Kuffel, *High Voltage Engineering: Fundamentals*, 2nd ed. London, 2000.
- [3] C. Wadhwa, *High Voltage Engineering*, 2nd ed. New Days international Publishers, 2007.
- [4] S. Gubanski and M. Fernando, "Effects of biological contamination on insulator performance," *Prop. Apl. Dielectr. Mater.*, pp. 797 – 801, 2000.
- [5] O. Fujii, K. Kondo, T. Kondo, Y. Utsumi, and T. Nakano, "Investigation on contamination performance of polymer insulators deposited with algae," *NGK Rev Overseas Ed*, no. 04, pp. 60 – 63, 2003.
- [6] R. Gorur and J. Montesinos, "Mold growth on nonceramic insulators and its impact on electrical performance," *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 18, no. 2, pp. 559–563, 2003.
- [7] K. Naito, R. Matsuoka, and K. Sakanishi, "Investigation of the insulation performance of the insulator covered with lichen," *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 5, no. 3, pp. 1634–1640, 1990.
- [8] S. Kumagai, "Influence of Algal Fouling on Hydrophobicity and Leakage Current on Silicone Rubber," *IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul.*, vol. 14, no. 5, pp. 1201–1206, Oct. 2007.
- [9] A. Wolf, "Mould fungus growth on sanitary sealants," *Constr. Build. Mater.*, vol. 3, no. 3, pp. 145–151, Sep. 1989.
- [10] "Mold growth on composite insulators A real problem or simply a cosmetic issue?," *Insul. News Mark. Rep.*, vol. 11, pp. 36 – 42, 2003.
- [11] H. Flemming, "Relevance of biofilms for the biodeterioration of surfaces of polymeric materials," *Polym. Degrad. Stab.*, pp. 309–315, 1997.
- [12] K. Hammel and A. Kapich, "Reactive oxygen species as agents of wood decay by fungi," *Enzyme Microb. Technol.*, pp. 445–453, 2002.
- [13] Z. Kırbaş, N. Keskin, and A. Güner, "Biodegradation of polyvinylchloride (PVC) by white rot fungi," *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, no. 63, pp. 335–342, 1999.
- [14] S. Wallström, E. Strömberg, and S. Karlsson, "Microbiological growth testing of polymeric materials: an evaluation of new methods," *Polym. Test.*, no. 5, pp. 557–563, Aug. 2005.
- [15] S. Wallström, "Biofilms on Silicone Rubber for Materials Outdoor High Voltage Insulation," *KTH Fibre Polym. Technol.*, no. 79, 2005.
- [16] J. Wang, S. Gubanski, J. Blennow, S. Atarjazarzadeh, E. Stromberg, and S. Karlsson, "Influence of biofilm contamination on electrical performance of silicone rubber based composite materials," *IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul.*, vol. 19, no. 5, pp. 1690–1699, Oct. 2012.
- [17] M. Madigan, J. Martinko, and J. Parker, *Biologia De Los Microorganismos*, 10th ed. Person Education, 2007.
- [18] N. Campbell and B. Reece, *Biologia*, 7th ed. Gestora de Derechos Autorales S.I, 2007.
- [19] M. Bengtssone, S. Wallstrom, R. Gronlund, B. Andersonac, M. Sjoholma, and A. Larsson, "Development of a tool for remote detection of fungi and algae on electrical insulators using laser induced fluorescence combined with principal component analysis," p. 8974, 2005.
- [20] Y. Iiyoshi, Y. Tsutsumi, and T. Nishida, "Polyethylene degradation by lignin-degrading fungi and manganese peroxidase," *J. wood Sci.*, vol. 44, pp. 222–229, 1998.
- [21] T. Deguchi, M. Kakezawa, and T. Nishida, "Nylon biodegradation by lignin-degrading fungi," *Appl. Environ. Microbiol.*, vol. 63, no. 1, pp. 329–331, 1997.
- [22] R. ten Have and P. Teunissen, "Oxidative mechanisms involved in lignin degradation by white-rot fungi," *Chem. Rev.*, p. 18, 2001.
- [23] A. Mohammad, A. Morshed, K. Fatema, Z. U. M. Khan, and T. Engineering, "An overview of microbiological process for the decolorization of textile dyecontaining effluent," *Bangladesh Text. Today*, pp. 3–6, 2015.

- [24] F.- Conicyt, “Manual De Normas De Bioseguridad,” *Com. Nac. Investig. Científica Y Tecnológica*, vol. 2, pp. 1–139, 2008.
- [25] L.-H. Fu, K.-D. Hu, L.-Y. Hu, Y.-H. Li, L.-B. Hu, H. Yan, Y.-S. Liu, and H. Zhang, “An antifungal role of hydrogen sulfide on the postharvest pathogens *Aspergillus niger* and *Penicillium italicum*,” *PLoS One*, vol. 9, no. 8, p. e104206, Jan. 2014.
- [26] S. Hernandez and A. Martinez, “Influencia de la Humedad y Contaminacion Sobre Aisladores EPDM - Siliconados,” Escuela Superiro De Ingeniería Mecánica y Eléctrica Unidad Zacatenco, 2009.
- [27] M. Del Valle, M. Deorsola, and D. Del Pozo, “EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA CONTAMINACIÓN SOBRE AISLADORES POLIMÉRICOS RETIRADOS DE SERVICIO,” *XIII ERIAC DÉCIMO Terc. ENCUESTRO Reg. Iberoam. CIGRÉ*, no. XIII/PI-D1–03, pp. 1–8, 2009.
- [28] T. Sorqvist and S. M. Gubanski, “Leakage current and flashover of field-aged polymeric insulators,” *IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul.*, vol. 6, no. 5, pp. 744–753, 1999.
- [29] I. Gutman, R. Hartings, and W. Vosloo, “Field testing of composite insulators at Natal test stations in South Africa,” *High Volt. Eng. Symp.*, pp. 50–53, 1999.
- [30] D. de Mello and J. Angelini, “Research about the Insulation Performance of Insulators due to Slimes Mitigation Occurrence,” *Int. Conf. High Volt. Eng. Appl.*, pp. 109–112, 2008.
- [31] F. Coowar and P. R. P. Hoole, “Discharge characteristics of alga-contaminated string insulators in the tropics,” *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 5, pp. 215–218, Dec. 1988.
- [32] M. Fernando, “Performance of Non-ceramic Insulators in Tropical Environments,” Chalmers University of Technology, 1999.
- [33] S. Wallström and S. Karlsson, “Biofilms on silicone rubber insulators; microbial composition and diagnostics of removal by use of ESEM/EDS,” *Polym. Degrad. Stab.*, vol. 85, no. 2, pp. 841–846, Aug. 2004.
- [34] R. Gorur and B. Bernstein, “Field and Laboratory Aging of Polymeric Distribution Cable Terminations Part 1: Field Aging,” *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 13, no. 2, pp. 316–322, 1997.
- [35] K. M. Josho, H. Miyakawa, M. Sakata, K. Arakawa and and Y. U. Tsuge, D. Usami, T. Kondo, “Long term field test of polymer insulators at Yonezawa Test Site,” *IEEJ Trans. HV*, no. 02, p. 27370, 2001.
- [36] A. Dernfalk and E. P. Engineering, “Diagnostic Methods for Composite Insulators with Biological Growth,” Chalmers University Technology, 2006.
- [37] G. Rackliffe, R. Lee, D. Fritz, P. Power, and R. Harmon, “Performance Evaluation of 15-KV Polymeric Insulators for Dead-End Type Applications on Distribution Systems,” *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 4, pp. 1223 – 1231, 1989.
- [38] C. Casal Bejarano, “Caracterización de la radiación ultravioleta en la provincia de Huelva e incidencia en la productividad y el valor biotecnológico de cultivos de interés comercial,” Universidad de Huelva, 2010.
- [39] B. A. Latorre, S. Rojas, G. A. Díaz, and H. Chuaqui, “Germicidal effect of UV light on epiphytic fungi isolated from blueberry,” *Cienc. e Investig. Agrar.*, vol. 39, no. 3, pp. 473–480, 2012.
- [40] E. ECHANDI, *MANUAL DE LABORATORIO PARA FITOPATOLOGIA GENERAL*, 1st ed. Lima, Peru: Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA, 1967.
- [41] S. Gubanski, “Performance of biologically contaminated high voltage insulators,” *First Int. Conf. Ind. Andin. Syst. ICIIS 2006*, no. August, pp. 8–11, 2006.
- [42] A. Larsson and A. Roslund, “In-situ diagnostics of HV outdoor insulators using laser-induced fluorescence spectroscopy,” *IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul.*, vol. 9, 2002.
- [43] A. Leon, H. Rojas, L. Cantor, and C. Perez, “Performance of ceramic and polymeric distribution insulators with mold growth on its surface,” *Transm. Distrib. Conf. Expo. - Lat. Am. (PES T&D-LA), 2014 IEEE PES*, pp. 1–6, 2014.

- [44] ICONTEC, *Norma Técnica Colombiana 5230 NTC 5230, Microbiología de alimentos y alimento para animales. Metodo horizontal de tecnicas de muestreo de superficies usando cajas de contacto y metodo de escobillon.* 2004, p. 7.
- [45] K. A. Ajijolakewu, A. Sani, G. P. Oyeyiola, N. Risikat, M. O. Arekemase, M. B. Odebisi-omakanye, and S. A. Laba, “Cellulase Production Potentials of the Microbial Profile of Some Sugarcane Bagasse Dumping Sites in Ilorin , Nigeria,” vol. 5, no. 4, pp. 445–449, 2013.
- [46] A. Heydaryinia, “A comparative study of the effects of the two preservatives , sodium benzoate and potassium sorbate on *Aspergillus niger* and *Penicillium notatum*,” vol. 4, pp. 301–307, 2011.
- [47] V. Moinuddin M and V. Mendhulkar, “Enhanced synthesis of andrographolide by *Aspergillus niger* and *Penicillium expansum* elicitors in cell suspension culture of *Andrographis paniculata* (Burm . f .) Nees,” *Bot. Stud.*, pp. 1–9, 2013.
- [48] H. Abbasi, S. R. Mortazavipoor, and M. Setudeh, “POLYGALACTURONASE (PG) PRODUCTION BY FUNGAL STRAINS USING AGRO-INDUSTRIAL BIOPRODUCT IN SOLID STATE FERMENTATION,” vol. 15, pp. 1–5, 2011.
- [49] A. Vojdani, “Croos-Reactivity of *Aspergillus*, *Penicillum*, and *Stachybotrys* Antigens Using Affinity-Purified Antibodies and Immunoassay,” *Arch. Environ. Heal.*, vol. 1, p. 11, 1996.
- [50] S. Marin, V. Sanchis, R. Saenz, A. J. Ramos, I. Vinas, and N. Magan, “Ecological determinants for germination and growth of some *Aspergillus* and *Penicillium* spp . from maize grain,” *J. Appl. Microbiol.*, no. 1988, pp. 25–36, 1998.
- [51] a Valero, M. Begum, S. L. Leong, a D. Hocking, a J. Ramos, V. Sanchis, and S. Marín, “Effect of germicidal UVC light on fungi isolated from grapes and raisins.,” *Lett. Appl. Microbiol.*, vol. 45, no. 3, pp. 238–43, Sep. 2007.
- [52] ICONTEC, *Norma Técnica Colombiana NTC 1285, Electrotecnia. Metodo de ensayo para aisladores de potencia electrica.* 1996, p. 28.
- [53] William R. Krues and J. Irvin N. Howell, “IEEE Standard Techniques For High Voltage Testing,” *IEEE Power Eng. Soc.*, vol. 6, p. 127, 1982.
- [54] J. R. Jones, “COMPORTAMIENTO DEL AISLAMIENTO BAJO LLUVIA Y CONTAMINACION. ENSAYOS Y NORMALIZACION,” *Bol. Tec. GAMMA*, vol. 18, pp. 1–15, 2005.
- [55] M. Fernando and S. Gubanski, “Ageing of silicone rubber insulators in coastal and inland tropical environment,” *IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul.*, vol. 17, no. 2, pp. 326–333, 2010.

(Página intencionalmente dejada en blanco)

ANEXOS

ANEXO A. Certificados ATCC

En este anexo se muestran los certificados del centro de recursos biológicos ATCC donde se especifican los medios de cultivo y los niveles de bio-seguridad para cada uno de los microorganismos bajo estudio.

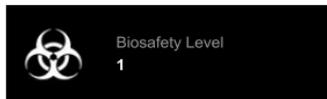
A1. *Chlorella Vulgaris*



Product Sheet

Chlorella vulgaris (ATCC® 9765™)

Please read this FIRST



Intended Use

This product is intended for research use only. It is not intended for any animal or human therapeutic or diagnostic use.

Citation of Strain

If use of this culture results in a scientific publication, it should be cited in that manuscript in the following manner: *Chlorella vulgaris* (ATCC® 9765™)

American Type Culture Collection
PO Box 1549
Manassas, VA 20108 USA
www.atcc.org

800.638.6597 or 703.365.2700
Fax: 703.365.2750
Email: Tech@atcc.org

Or contact your local distributor

Page 1 of 2

Description

Strain Designation: L-756a
Deposited Name: *Chlorella vulgaris* Beijerinck
Depositor: F Allison
Isolation:

Propagation

Growth Conditions
Temperature: 25.0°C
Duration: axenic

Medium
ATCC® Medium 5: Sporulation agar

Instructions for Complete Medium
ATCC Medium 5

Protocols

Frozen ampules packed in dry ice should either be thawed immediately or stored in liquid nitrogen. If liquid nitrogen storage facilities are not available, frozen ampules may be stored at or below -70°C for approximately one week. **Do not under any circumstance store frozen ampules at refrigerator freezer temperatures (generally -20°C).** Storage of frozen material at this temperature will result in the death of the culture.

- To thaw a frozen ampule, place in a 35°C water bath, until thawed (2-3 min). Immerse the ampule just sufficient to cover the frozen material. Do not agitate the ampule.
- Immediately after thawing, aseptically transfer the entire contents to a single 16 x 125 mm screw-capped test tube containing 5 ml of ATCC Medium 5 broth. Incubate the tube on a 15° horizontal slant with the cap screwed on loosely (loosened one half turn) at 25°C under a 14 hour light (~50 mEinsteins/m²/s irradiance)/10 hour dark cycle. Alternatively, add the entire thawed contents to the surface of a 20 x 100 mm Petri plate containing 20 ml of ATCC medium 5 agar. Wrap the plate culture with parafilm and incubate upright under the same light/dark cycle as specified for a test tube culture.

Culture Maintenance

- Screw the cap on tightly and vigorously agitate the culture.
- Aseptically transfer a 0.1ml aliquot to 5 ml of fresh medium in a 16 x 125 mm screw-capped test tube.
- Screw caps on loosely (loosened one-half turn) and incubate on a 15° horizontal slant at 25°C under a 14 hour light (~50 mEinsteins/m²/s irradiance)/10 hour dark cycle.
- Subculture every 14-21 days.

Cryopreservation

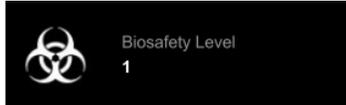
- Harvest cells from a culture that is at or near peak density by centrifugation at 800 x g for 5 min.
- Adjust the concentration of cells to 2 x 10⁶ - 2 x 10⁷/ml in fresh medium.
- While cells are centrifuging prepare a 10% (v/v) solution of sterile methanol in fresh medium.
- Mix the cell preparation and the 10% methanol in equal portions. Thus, the final concentration will be 10⁶ - 10⁷ cells/ml and 5% (v/v) Methanol. The time from the mixing of the cell preparation and methanol stock solution to the beginning of the freezing process should be no less than 5 min and no greater than 15 min.
- Dispense in 0.5 ml aliquots into 1.0 - 2.0 ml sterile plastic screw-capped cryovials (special plastic vials for cryopreservation).
- Place the vials in a controlled rate freezing unit. From room temperature cool at -1°C/min to -40°C. If the freezing unit can compensate for the heat of fusion, maintain rate at -1°C/min through the heat of fusion. At -40°C plunge into liquid nitrogen. Alternatively, place the vials in a Nalgene 1°C freezing apparatus. Place the apparatus at -80°C for 1.5 to 2 hours and then plunge ampules into liquid nitrogen. (The cooling rate in this apparatus is approximately -1°C/min.)
- The frozen preparations should be stored in either the vapor or liquid phase of a nitrogen refrigerator. Frozen preparations stored below -130°C are stable indefinitely. Those stored at temperatures above -130°C



Product Sheet

Chlorella vulgaris (ATCC® 9765™)

Please read this FIRST



Intended Use

This product is intended for research use only. It is not intended for any animal or human therapeutic or diagnostic use.

Citation of Strain

If use of this culture results in a scientific publication, it should be cited in that manuscript in the following manner: *Chlorella vulgaris* (ATCC® 9765™)

are progressively less stable as the storage temperature is elevated. Vials should not be stored above -55°C.

8. To establish a culture from the frozen state place an ampule in a water bath set at 35°C. Immerse the vial just to a level just above the surface of the frozen material. Do not agitate the vial.

9. Immediately after thawing, do not leave in the water bath, aseptically remove the contents of the ampule and add to a centrifuge tube containing 5 ml of ATCC medium 5 without agar. Centrifuge at 300 x g for 5 min.

10. Remove most of the supernatant (=methanol, which can inhibit growth) and then resuspend the pellet. Transfer the culture to a 16 x 125 mm screw-capped test tube containing 5 ml of ATCC medium 5 broth or to the surface of an ATCC medium 5 agar plate (20 x 100 mm Petri plate containing 20 ml of ATCC medium 5 agar).

11. Incubate the culture at 50-100 µEinsteins/m²/s irradiance at 25°C. Maintain under a 14/10h light-dark photoperiod.



References

References and other information relating to this product are available online at www.atcc.org.



Biosafety Level: 1

Appropriate safety procedures should always be used with this material. Laboratory safety is discussed in the current publication of the *Biosafety in Microbiological and Biomedical Laboratories* from the U.S. Department of Health and Human Services Centers for Disease Control and Prevention and National Institutes for Health.

ATCC Warranty

The viability of ATCC® products is warranted for 30 days from the date of shipment, and is valid only if the product is stored and cultured according to the information included on this product information sheet. ATCC lists the media formulation that has been found to be effective for this strain. While other, unspecified media may also produce satisfactory results, a change in media or the absence of an additive from the ATCC recommended media may affect recovery, growth and/or function of this strain. If an alternative medium formulation is used, the ATCC warranty for viability is no longer valid.

Disclaimers

This product is intended for laboratory research purposes only. It is not intended for use in humans.

While ATCC uses reasonable efforts to include accurate and up-to-date information on this product sheet, ATCC makes no warranties or representations as to its accuracy. Citations from scientific literature and patents are provided for informational purposes only. ATCC does not warrant that such information has been confirmed to be accurate.

This product is sent with the condition that you are responsible for its safe storage, handling, and use. ATCC is not liable for any damages or injuries arising from receipt and/or use of this product. While reasonable effort is made to insure authenticity and reliability of strains on deposit, ATCC is not liable for damages arising from the misidentification or misrepresentation of cultures.

Please see the enclosed Material Transfer Agreement (MTA) for further details regarding the use of this product. The MTA is also available on our Web site at www.atcc.org

Additional information on this culture is available on the ATCC web site at www.atcc.org.

© ATCC 2013. All rights reserved. ATCC is a registered trademark of the American Type Culture Collection. [02/26]

American Type Culture Collection
PO Box 1549
Manassas, VA 20108 USA
www.atcc.org

800.638.6597 or 703.365.2700
Fax: 703.365.2750
Email: Tech@atcc.org

Or contact your local distributor

Page 2 of 2

Figura A1 Certificado ATCC Chlorella Vulgaris

A2. Phanerochaete Chrysosporium



Product Sheet

Phanerochaete chrysosporium (ATCC® 64964™)

Please read this FIRST

Storage Temp.
Frozen: -80°C or colder
Freeze-Dried: 2°C to 8°C
Live Culture: See Propagation Section

Biosafety Level
1

Intended Use

This product is intended for research use only. It is not intended for any animal or human therapeutic or diagnostic use.

Citation of Strain

If use of this culture results in a scientific publication, it should be cited in that manuscript in the following manner: *Phanerochaete chrysosporium* (ATCC® 64964™)

American Type Culture Collection
PO Box 1549
Manassas, VA 20108 USA
www.atcc.org

800.638.6597 or 703.365.2700
Fax: 703.365.2750
Email: Tech@atcc.org

Or contact your local distributor

Description

Strain Designation: NRRL 15978 [SC26]

Deposited Name: *Phanerochaete chrysosporium* Burdsall, teleomorph

Product Description: An ampoule containing viable cells suspended in cryoprotectant.

Propagation

The information recommended in this section is to assist users in obtaining living culture(s) for their studies. The recommendation does not imply that the conditions or procedures provided below are optimum. Experienced researchers may initiate the growth of a culture in their own way.

ATCC® Medium 336: Potato dextrose agar (PDA)

Growth Conditions

Temperature: 25.0°C

Recommended Procedure

Frozen ampoules packed in dry ice should either be thawed immediately or stored in liquid nitrogen. If liquid nitrogen storage facilities are not available, frozen ampoules may be stored at or below -70°C for approximately one week. **Do not under any circumstance store frozen ampoules at refrigerator freezer temperatures (generally -20°C).** Storage of frozen material at this temperature will result in the death of the culture.

1. To thaw a frozen ampoule, place in a **25°C to 30°C** water bath, until just thawed (**approximately 5 minutes**). Immerse the ampoule just sufficient to cover the frozen material. Do not agitate the ampoule.
2. Immediately after thawing, wipe down ampoule with 70% ethanol and aseptically transfer at least 50 µL (or 2-3 agar cubes) of the content onto a plate or broth with medium recommended.
3. Incubate the inoculum/strain at the temperature and conditions recommended.
4. Inspect for growth of the inoculum/strain regularly for up to 4 weeks. The time necessary for significant growth will vary from strain to strain.

Isolation

UV-induced mutant of ATCC 24725

References

References and other information relating to this product are available online at www.atcc.org.

Biosafety Level: 1

Appropriate safety procedures should always be used with this material. Laboratory safety is discussed in the current publication of the *Biosafety in Microbiological and Biomedical Laboratories* from the U.S. Department of Health and Human Services Centers for Disease Control and Prevention and National Institutes for Health.

ATCC Warranty

The viability of ATCC® products is warranted for 30 days from the date of shipment, and is valid only if the product is stored and cultured according to the information included on this product information sheet. ATCC lists the media formulation that has been found to be effective for this strain. While other, unspecified media may also produce satisfactory results, a change in media or the absence of an additive from the ATCC recommended media may affect recovery, growth and/or function of this strain. If an alternative medium formulation is used, the ATCC warranty for viability is no longer valid.

Disclaimers

This product is intended for laboratory research purposes only. It is not intended for use in humans.

While ATCC uses reasonable efforts to include accurate and up-to-date information on this product sheet, ATCC makes no warranties or representations as to its accuracy. Citations from scientific literature and patents are provided for informational purposes only. ATCC does not warrant that such information has been confirmed to be accurate.

Figura A2 Certificado ATCC Phanerochaete Chrysosporium

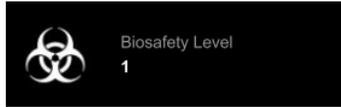
A3. Aspergillus Niger



Product Sheet

Aspergillus niger (ATCC® 16508™)

Please read this **FIRST**



Intended Use

This product is intended for research use only. It is not intended for any animal or human therapeutic or diagnostic use.

Citation of Strain

If use of this culture results in a scientific publication, it should be cited in that manuscript in the following manner: *Aspergillus niger* (ATCC® 16508™)

Description

Deposited Name: *Aspergillus niger* van Tieghem, anamorph

Propagation

ATCC® Medium 336: Potato dextrose agar (PDA)

Growth Conditions

Temperature: 24.0°C

References

References and other information relating to this product are available online at www.atcc.org.

Biosafety Level: 1

Appropriate safety procedures should always be used with this material. Laboratory safety is discussed in the current publication of the *Biosafety in Microbiological and Biomedical Laboratories* from the U.S. Department of Health and Human Services Centers for Disease Control and Prevention and National Institutes for Health.

ATCC Warranty

The viability of ATCC® products is warranted for 30 days from the date of shipment, and is valid only if the product is stored and cultured according to the information included on this product information sheet. ATCC lists the media formulation that has been found to be effective for this strain. While other, unspecified media may also produce satisfactory results, a change in media or the absence of an additive from the ATCC recommended media may affect recovery, growth and/or function of this strain. If an alternative medium formulation is used, the ATCC warranty for viability is no longer valid.

Disclaimers

This product is intended for laboratory research purposes only. It is not intended for use in humans.

While ATCC uses reasonable efforts to include accurate and up-to-date information on this product sheet, ATCC makes no warranties or representations as to its accuracy. Citations from scientific literature and patents are provided for informational purposes only. ATCC does not warrant that such information has been confirmed to be accurate.

This product is sent with the condition that you are responsible for its safe storage, handling, and use. ATCC is not liable for any damages or injuries arising from receipt and/or use of this product. While reasonable effort is made to insure authenticity and reliability of strains on deposit, ATCC is not liable for damages arising from the misidentification or misrepresentation of cultures.

Please see the enclosed Material Transfer Agreement (MTA) for further details regarding the use of this product. The MTA is also available on our Web site at www.atcc.org

Additional information on this culture is available on the ATCC web site at www.atcc.org.

© ATCC 2014. All rights reserved. ATCC is a registered trademark of the American Type Culture Collection. [09/08]

American Type Culture Collection
PO Box 1549
Manassas, VA 20108 USA
www.atcc.org

800.638.6597 or 703.365.2700
Fax: 703.365.2750
Email: Tech@atcc.org

Or contact your local distributor

Page 1 of 1

Figura A3 Certificado ATCC Aspergillus Niger

A4. *Penicillium* Sp.

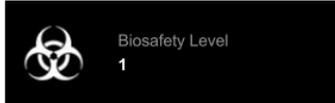


ATCC

Product Sheet

***Penicillium* sp. (ATCC®
20369™)**

Please read this **FIRST**



Intended Use

This product is intended for research use only. It is not intended for any animal or human therapeutic or diagnostic use.

Citation of Strain

If use of this culture results in a scientific publication, it should be cited in that manuscript in the following manner: *Penicillium* sp. (ATCC® 20369™)



Description

Strain Designation: MD/112
Deposited Name: *Penicillium* sp.



Propagation

Medium 336: Potato dextrose agar (PDA)

Growth Conditions
Temperature: 24.0°C



References

References and other information relating to this product are available online at www.atcc.org.



Biosafety Level: 1

Appropriate safety procedures should always be used with this material. Laboratory safety is discussed in the current publication of the *Biosafety in Microbiological and Biomedical Laboratories* from the U.S. Department of Health and Human Services Centers for Disease Control and Prevention and National Institutes for Health.

ATCC Warranty

The viability of ATCC® products is warranted for 30 days from the date of shipment, and is valid only if the product is stored and cultured according to the information included on this product information sheet. ATCC lists the media formulation that has been found to be effective for this strain. While other, unspecified media may also produce satisfactory results, a change in media or the absence of an additive from the ATCC recommended media may affect recovery, growth and/or function of this strain. If an alternative medium formulation is used, the ATCC warranty for viability is no longer valid.

Disclaimers

This product is intended for laboratory research purposes only. It is not intended for use in humans.

While ATCC uses reasonable efforts to include accurate and up-to-date information on this product sheet, ATCC makes no warranties or representations as to its accuracy. Citations from scientific literature and patents are provided for informational purposes only. ATCC does not warrant that such information has been confirmed to be accurate.

This product is sent with the condition that you are responsible for its safe storage, handling, and use. ATCC is not liable for any damages or injuries arising from receipt and/or use of this product. While reasonable effort is made to insure authenticity and reliability of strains on deposit, ATCC is not liable for damages arising from the misidentification or misrepresentation of cultures.

Please see the enclosed Material Transfer Agreement (MTA) for further details regarding the use of this product. The MTA is also available on our Web site at www.atcc.org

Additional information on this culture is available on the ATCC web site at www.atcc.org.
© ATCC 2012. All rights reserved. ATCC is a registered trademark of the American Type Culture Collection. [12/06]

American Type Culture Collection
PO Box 1549
Manassas, VA 20108 USA
www.atcc.org

800.638.6597 or 703.365.2700
Fax: 703.365.2750
Email: Tech@atcc.org

Or contact your local distributor

Page 1 of 1

Figura A4 Certificado ATCC *Penicillium* Sp.

ANEXO B. Matrices de crecimiento de microorganismos en aisladores eléctricos

En las siguientes tablas se evidencia los lugares con características tropicales y subtropicales donde aparecen reiteradamente reportes de crecimiento microbiano sobre aisladores eléctricos, así mismo, se consignan los tipos de pruebas eléctricas realizadas a los aisladores bajo estudio para determinar la afectación que el crecimiento microbiológico produce sobre dichos elementos.

B1. Frecuencia de contaminación aisladores cerámicos

Nivel de Tensión	Año	Lugar	Microorganismo					Pruebas			
			Algas	Hongos	Musgo	Liquen	Bacterias	Flashover wet	Flashover Dry	Impulso	RIV
-	1995	New Orleans	X	X		X	X				
33 KV	2000	Sri Lanka, Tanzania	X			X		X	X		
15-25 KV	1998	Texas, Georgia		X							
-	1988	Papua (New Guinea)	X								
220-400 KV	1990	México, Paraguay, New Zelanda	X			X		X	X		
230 KV	1999	Florida*				X					

Figura B1 Frecuencia de contaminación aisladores cerámicos

B2. Frecuencia de bio-contaminación en aisladores poliméricos

Nivel de Tensión	Año	Lugar	Microorganismo					Pruebas			
			Algas	Hongos	Musgo	Liquen	Bacterias	Flashover Wet	Flashover Dry	Impulso	RIV
15 KV	1989	Pensilvania		X				X	X	Negativo	X
88-132 KV	1997	Sudáfrica			X						
33 KV	1999	Sri Lanka, Tanzania	X								
33 KV	2000	Sri Lanka, Tanzania	X								
-		Suecia*									
138-230 KV	2003	Florida		X				X	X		
15-25 KV	1998	Texas, Georgia		X							
66-275 KV	2001	Yonezawa, Japón	X								
-		Alemania									
230 KV	1997	Florida		X							
33 KV	1997	Tanzania	X								
-	2004	Tanzania, Sri Lanka, Suecia	X	X			X				
-	2004	Suecia	X	X				X			
11-130 KV	2004	Suecia	X	X		X	X	X			
-	1997	Mulheim, Alemania		X			X				

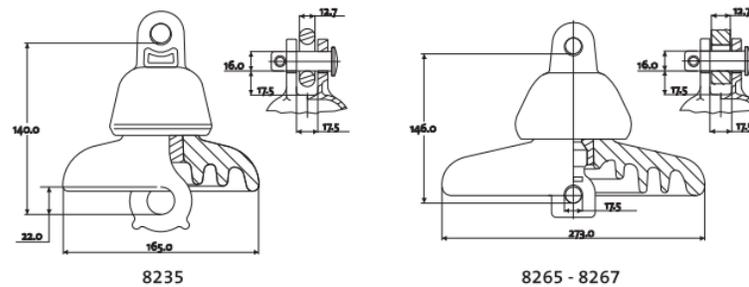
Figura B2 Frecuencia de contaminación aisladores poliméricos

ANEXO C. características físicas aisladores eléctricos para el estudio

En este anexo se muestran las características físicas de cada uno de los aisladores usados durante el presente trabajo de grado.

C1. ANSI 52-1

Aisladores de Suspensión Tipo Clevis



NÚMERO DE CATÁLOGO	8235	8265	8267
CLASE ANSI (C29.2 - 1992)	52-1	52-4	52-4
DISTANCIAS CRÍTICAS, mm			
Distancia de arco	114	197	197
Distancia de fuga	180	300	300
VALORES MECÁNICOS			
Resistencia electromecánica, kN	44.5	67	89
Resistencia al impacto, N.m	5	6	10
Prueba de carga de rutina, kN	22	33.5	44.5
Prueba de carga sostenida, kN	27	44.5	60
Carga máxima de trabajo, kN	22	33.5	44.5
VALORES ELECTRICOS, kV			
Flameo de baja frecuencia en seco	60	80	80
Flameo de baja frecuencia en húmedo	30	50	50
Flameo crítico al impulso positivo	100	125	125
Flameo crítico al impulso negativo	100	130	130
Voltaje de perforación a baja frecuencia	80	110	110
RADIO INFLUENCIA			
Voltaje de prueba RMS a tierra, kV	7.5	10	10
RIV máximo a 1000 kHz, μ V	50	50	50

Nota 1: Esmalte café o esmalte gris ANSI 70

Nota 2: Los aisladores pueden solicitarse con doble capa de galvanizado en campana y perno para zonas contaminadas

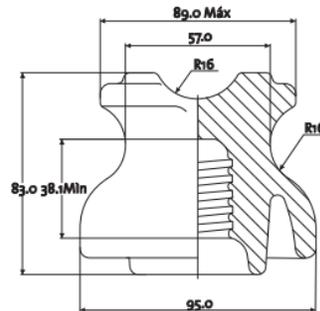
Nota 3: Para las referencias 8265 y 8267, los aisladores pueden solicitarse con manguito de zinc en el perno para zonas contaminadas

Nota 4: Los aisladores referencias 8267 cumplen con toda la especificación según ANSI clase 52-4 Sin embargo, tienen una resistencia electromecánica mayor a la requerida por la norma

GAMMA

Figura C1 Especificaciones técnicas aislador ANSI 52-1

Aisladores Tipo Pin Sencillo



NÚMERO DE CATÁLOGO	8155	8156
CLASE ANSI (C29.5 - 1984)	55-2	55-2
DISTANCIAS CRÍTICAS, mm		
Distancia de arco	86	86
Distancia de fuga	127	127
Altura mínima del espigo	102	102
VALORES MECÁNICOS, kN		
Resistencia al cantilever	11	11
VALORES ELÉCTRICOS, kV		
Voltaje típico de aplicación	7.2	7.2
Flameo de baja frecuencia en seco	50	45
Flameo de baja frecuencia en húmedo	25	25
Flameo crítico al impulso positivo	75	70
Flameo crítico al impulso negativo	95	85
Voltaje de perforación a baja frecuencia	70	70
RADIO INFLUENCIA		
Esmalte RF	NO	SI
Voltaje de prueba RMS a tierra, kV	5	5
RIV máximo a 1000 kHz, μV	2500	50

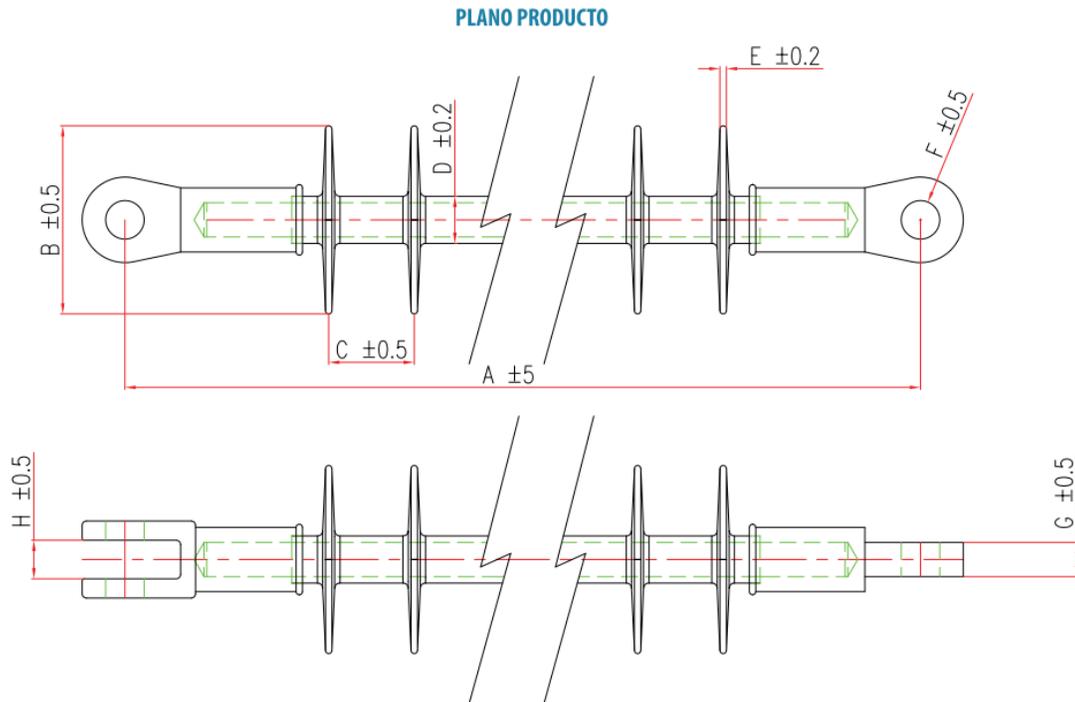
Nota 1: Rosca tipo estándar $\varnothing 25.4$ mm, según ANSI C29.5 - 1984

Nota 2: Esmalte blanco, café o gris ANSI 70

GAMMA

Figura C2 Especificaciones técnicas aislador ANSI 55-2

C3. ANSI DS-15



Cotas en milímetros								
MODELO	A	B(ø)	C	D(ø)	E	F(ø)	G	H
AS-15-4FD	320	88	40	21,7	3	18	14	18
AS-28-8FD	475	79	40	21,7	3	18	14	18
AS-35-10FD	550	88	40	21,7	3	18	14	18

SILPAK S.A. Manufacturas de Silicona

Planta Quilicura - Parinacota 381 Módulo 11 - Lo Echevers - Quilicura / Tel. 56-2-7390829 Fax : 56-2-7392188
 Planta Villa Alemana - Viena 829 - Villa Alemana / Email : silpak@silpak.cl / WebSite: www.silpak.cl

Figura C3 Especificaciones técnicas aislador ANSI DS-15

ANEXO D. Dimensiones y vistas de la cámara de ambiente controlado.

En el presente anexo se muestra el diseño inicial de la cámara de ambiente controlado, así como las dimensiones de la misma:

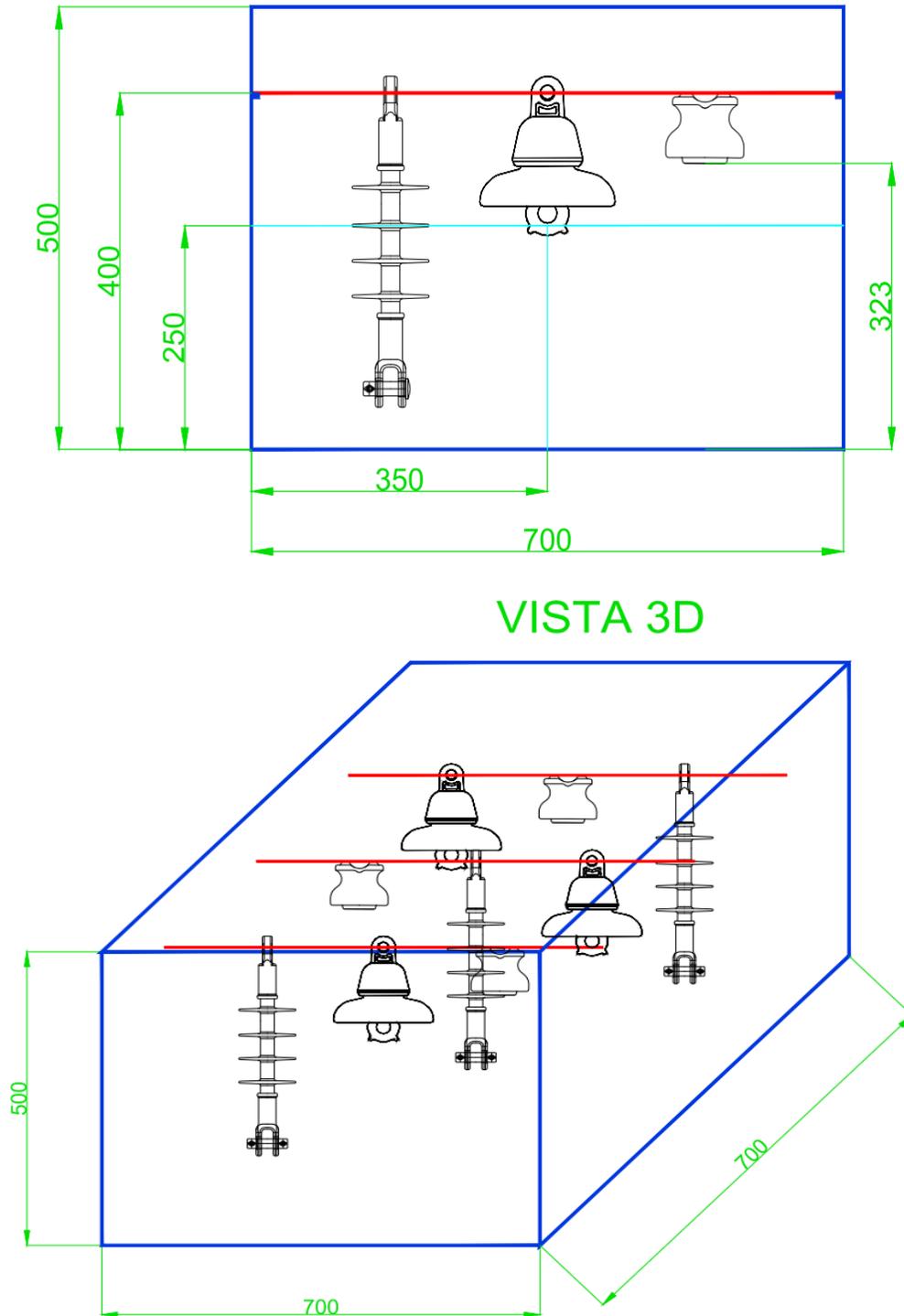


Figura D1 Dimensiones cámara de ambiente controlado

ANEXO E. Elementos para el control de variables físicas

En este anexo se muestran los catálogos y características técnicas de cada uno de los elementos usados para el control de las variables físicas en la cámara de ambiente controlado.

E1. Bombillas Cerámicas

CERAMIC HEATER / EMISOR TÉRMICO DE CERÁMICA



- 100% eficiencia de calor
- Emite un calor infrarrojo natural que "se parece al sol"
- No emite luz, no perturba los normales foto periodos (día/noche)
- Elemento de cerámica sólido, apto para ambientes húmedos

La Ceramic Heater de Exo Terra es una fuente de calor radiante que genera un calor parecido al del sol con un patrón uniforme. Las ondas infrarrojas de calor producidas por esta lámpara suministrarán calor a los reptiles de forma efectiva. También aumenta la temperatura del aire en el terrario. El calor infrarrojo penetra las escamas y los tejidos de la piel, beneficiando la salud y bienestar ya que dilata las venas y arterias e incrementa el flujo sanguíneo. Esta fuente sólo debe emplearse junto la lámpara de abrazaderas.

CERAMIC HEATER PT2045 - 60W



60W	Distancia		Temp.	
	Inch	cm	°F	°C
↓	4	10	113	42
	8	20	86	30
	12	30	80	27
	16	40	77	25
	20	50	74	23
	24	60	72	22
	28	70	72	22
	30	80	72	22
	35	90	72	22
	40	100	72	22

Valores aproximados a 72°F/22°C.

Figura E1 Especificaciones técnicas bombillas cerámicas

E2. Sistema de Rocío a Alta Presión



MONSOON RS400

High-Pressure Rainfall System

- Programmable misting unit for terrariums and greenhouses
- Easy to install on any type of terrarium or greenhouse
- Multiple nozzle applications (up to 6!)
- Large 9.5 liter (2.5 gallon) reservoir



The Exo Terra® Monsoon accessories allow you to grow your existing terrarium setup or extend the system to multiple terrariums. Up to 4 nozzles can easily be added to one Exo Terra® Monsoon RS400 Misting System (for a total of 6 nozzles).

PT2498	Y-Connector	
PT2500	Water Filter	
PT2501	Nozzles	2-pack
PT2502	Suction Cups	
PT2503	Nozzle Tool	
PT2504	Tubing	1,8 m / 6 ft



Nozzle Extension Kit

The Exo Terra® Monsoon Nozzle Extension Kit contains one, easy-to-install nozzle that allows you to grow your existing terrarium setup or extend the system to multiple terrariums. Up to 4 nozzles can easily be added to one Exo Terra® Monsoon RS400 Misting System (for a total of 6 nozzles).

PT2495	Monsoon RS400	22 x 22 x 33 cm / 8.5" x 8.5" x 13"
PT2496	Remote Control / Monsoon RS400	
PT2497	Nozzle Extension Kit	



www.exo-terra.com

Figura E2 Especificaciones técnicas aislador sistema de rocío artificial

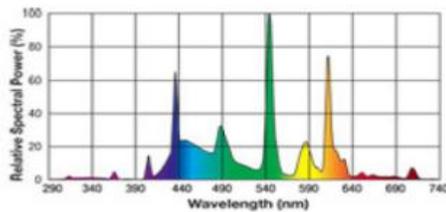
E3. Sistema de Iluminación U.V.

REPTI GLO 2.0, 5.0 & 10.0 / TUBOS FLUORESCENTES



Los tubos fluorescentes Repti Glo tiene una alta potencia y divide más eficientemente la energía en terrarios anchos. Exo Terra tiene un rango completo de siete medidas para cada tipo, Repti Glo 2.0, Repti Glo 5.0 y Repti Glo 10.0, para satisfacer cualquier medida de terrario. Las medidas más largas pueden siempre ser colocados en multiples terrarios.

- Estimula el crecimiento de las plantas
- Alta producción de luz visible
- La luz ultravioleta "A" estimula el apetito, la actividad y el comportamiento reproductivo
- Alto Índice de Emisión de Color 98
- Temperatura de Color a 6700 °K
- Se recomienda usar en combinación con Repti Glo 5.0 o Repti Glo 10.0



Reptil Glo 2.0 Exo Terra es una fuente de luz general con una alta potencia de luz visible y un muy alto índice de color rendering (CRI), pero baja radiación UVB. Esta bombillas son adecuadas para serpientes, todos los anfibios (ranas, sapos y salamandras) y animales nocturnos. También, las plantas crecerán con fuerza bajo esta luz. Es también una luz complementaria perfecta para bombilla UVB para reforzar la luz visible.

LIGHT UNIT / LÁMPARA CONTROLADORA ELECTRÓNICA PARA TERRARIOS



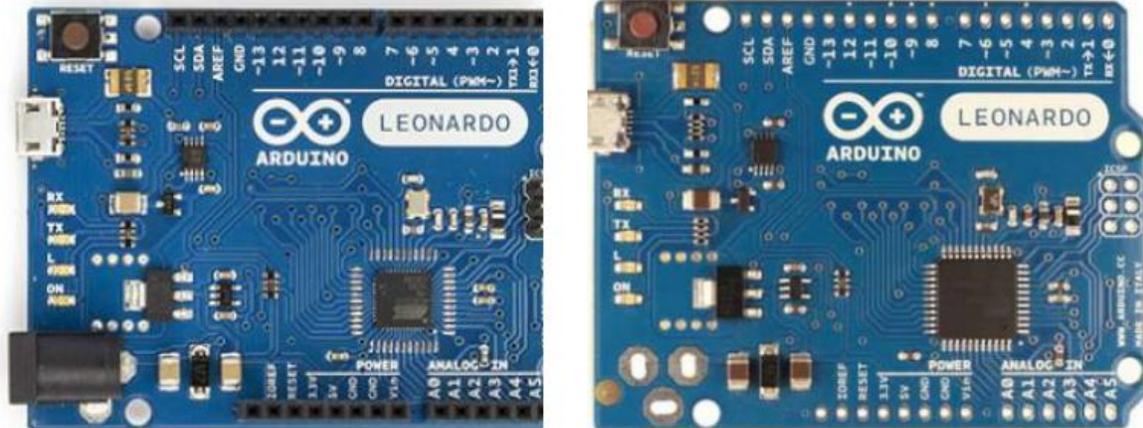
Los controladores de luz de Exo Terra están diseñados para adaptarse fácilmente a cualquier tipo de terrario. Sólo empleamos reactancias electrónicas, las cuales son energéticamente más eficientes, estables, más pequeñas y livianas que las reactancias convencionales. Los controladores pueden operar 2 luces fluorescentes que son capaces de crear un espectro completo. Todas las unidades tienen su interruptor de encendido/apagado y pueden ser montados en una pantalla o colocarlos simplemente al lado o cerca del terrario.

Figura E3 Especificaciones técnicas aislador sistema de iluminación U.V.

ANEXO F. Sistemas de control

En este anexo se muestran los catálogos y características técnicas de cada uno de los elementos usados para el control electrónico así como el código implementado en la programación de la placa Arduino Leonardo.

F1. Placa Microcontroladora Arduino Leonardo



Overview

The Arduino Leonardo is a microcontroller board based on the ATmega32u4 (datasheet (<http://www.atmel.com/devices/atmega32u4.aspx>)). It has 20 digital input/output pins (of which 7 can be used as PWM outputs and 12 as analog inputs), a 16 MHz crystal oscillator, a micro USB connection, a power jack, an ICSP header, and a reset button. It contains everything needed to support the microcontroller; simply connect it to a computer with a USB cable or power it with a AC-to-DC adapter or battery to get started.

The Leonardo differs from all preceding boards in that the ATmega32u4 has built-in USB communication, eliminating the need for a secondary processor. This allows the Leonardo to appear to a connected computer as a mouse and keyboard, in addition to a virtual (CDC) serial / COM port. It also has other implications for the behavior of the board; these are detailed on the getting started page (<http://arduino.cc/en/Guide/ArduinoLeonardo>).

Summary

Microcontroller	ATmega32u4
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limits)	6-20V
Digital I/O Pins	20
PWM Channels	7
Analog Input Channels	12
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	32 KB (ATmega32u4) of which 4 KB used by bootloader
SRAM	2.5 KB (ATmega32u4)
EEPROM	1 KB (ATmega32u4)
Clock Speed	16 MHz
Length	68.6 mm
Width	53.3 mm
Weight	20g

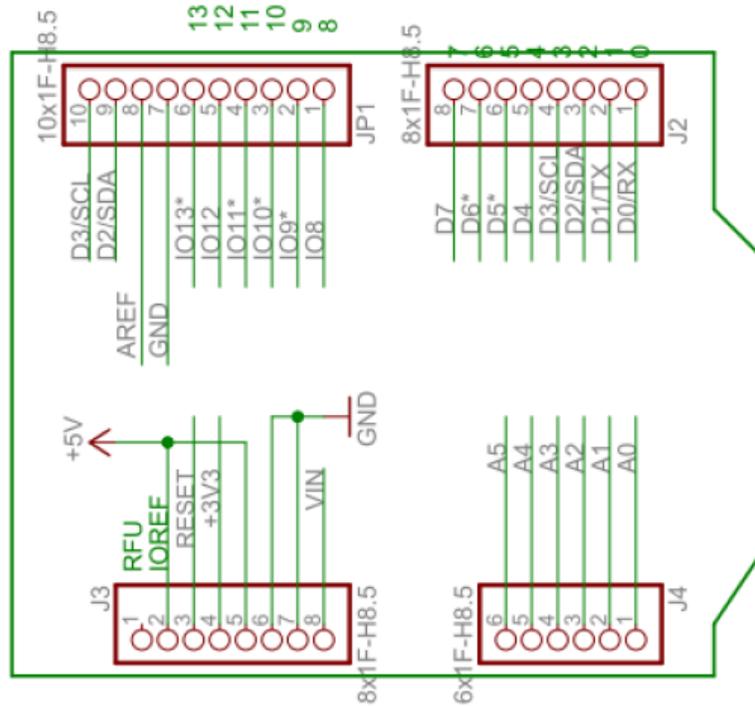
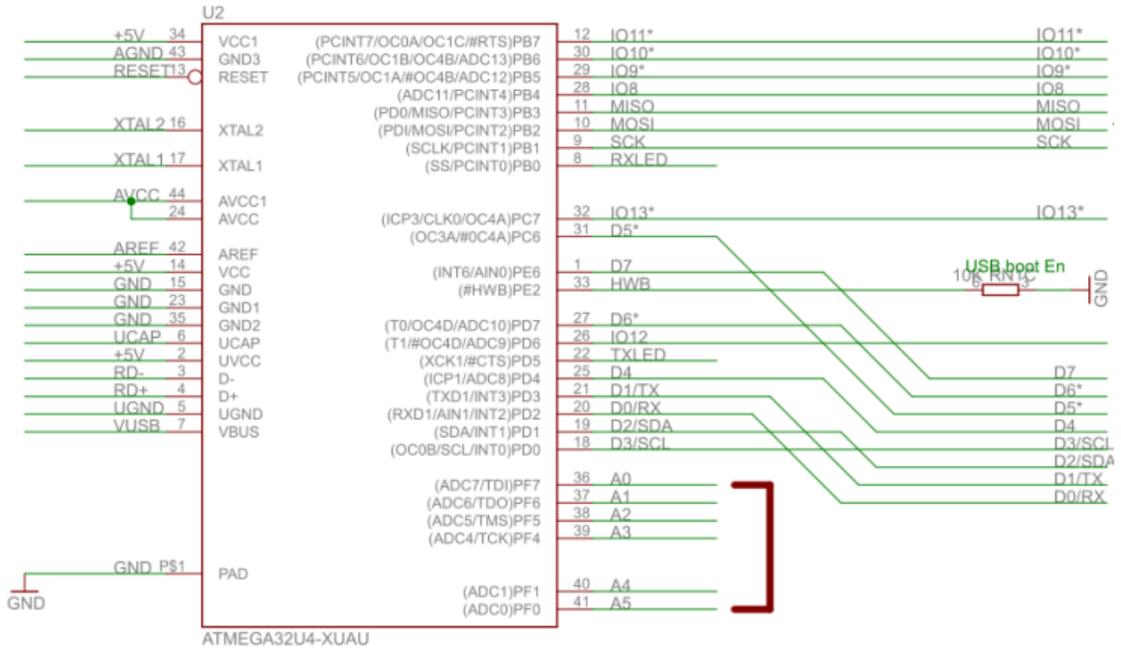


Figura F1 Especificaciones técnicas controlador Arduino

F2. Sensor Temperatura y Humedad DTH22



Digital relative humidity & temperature sensor RHT03

1. Feature & Application:

- *High precision
- *Capacitive type
- *Full range temperature compensated
- *Relative humidity and temperature measurement
- *Calibrated digital signal
- *Outstanding long-term stability
- *Extra components not needed
- *Long transmission distance, up to 100 meters
- *Low power consumption
- *4 pins packaged and fully interchangeable

2. Description:

RHT03 output calibrated digital signal. It applies exclusive digital-signal-collecting-technique and humidity sensing technology, assuring its reliability and stability. Its sensing elements is connected with 8-bit single-chip computer.

Every sensor of this model is temperature compensated and calibrated in accurate calibration chamber and the calibration-coefficient is saved in type of programme in OTP memory, when the sensor is detecting, it will cite coefficient from memory.

Small size & low consumption & long transmission distance(100m) enable RHT03 to be suited in all kinds of harsh application occasions. Single-row packaged with four pins, making the connection very convenient.

3. Technical Specification:

Model	RHT03
Power supply	3.3-6V DC
Output signal	digital signal via MaxDetect 1-wire bus
Sensing element	Polymer humidity capacitor
Operating range	humidity 0-100%RH; temperature -40~80Celsius
Accuracy	humidity +2%RH (Max +5%RH); temperature +0.5Celsius
Resolution or sensitivity	humidity 0.1%RH; temperature 0.1Celsius
Repeatability	humidity +-1%RH; temperature +-0.2Celsius
Humidity hysteresis	+0.3%RH
Long-term Stability	+0.5%RH/year
Interchangeability	fully interchangeable

4. Dimensions: (unit---mm)

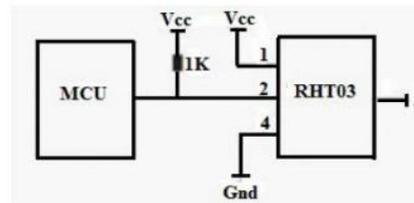
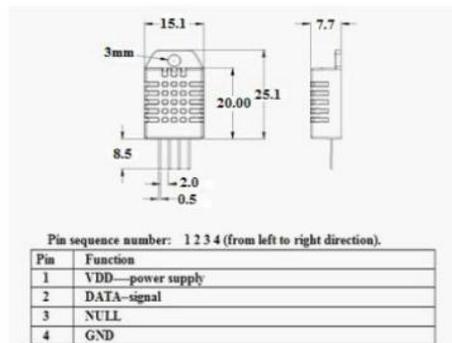


Figura F2 Especificaciones técnicas sensor DTH22

ANEXO G. Sensor EXTECH SD700

En este anexo se muestran los catálogos y características técnicas de cada uno de los elementos usados para el control electrónico así como el código implementado en la programación de la placa Arduino Leonardo.

G1. Características del sensor



Barometric Pressure/Humidity/Temperature Datalogger

 **Records data on an SD card in Excel® format**
For easy transfer to a PC for analysis

Features:

- Displays Barometric Pressure in 3 units of measure: hPa, mmHg, and inHg
- Triple LCD simultaneously displays Barometric Pressure, Temperature, and Relative Humidity
- Datalogger date/time stamps and stores readings on an SD card in Excel® format for easy transfer to a PC
- Selectable data sampling rate: 5, 10, 30, 60, 120, 300, 600 seconds
- Complete with (6) AAA batteries, 2G SD card, Universal AC adaptor, and mounting bracket

Applications:

- Monitors Barometric Pressure, Humidity, and Temperature levels in clean rooms, warehouses, storage rooms, and water damage restoration projects



Specifications	
Barometric Pressure	10 to 1100 hPa; 7.5 to 825.0 mmHg; 0.29 to 3248 inHg
Resolution	0.1 hPa, 0.1mmHg, 0.01inHg
Temperature	32 to 122°F (0 to 50°C)
Resolution/Basic Accuracy	0.1°F(°C) / ±1.5°F (0.8°C)
Relative Humidity	10 to 90%RH
Resolution/Basic Accuracy	0.1% / ±(4% of rdg ± 1% RH)
Datalogging	20M data using 2G SD card
Dimensions	5.2 x 3.1 x 1.3" (132 x 80 x 32mm)
Weight	10oz (285g)

Ordering Information:

SD700Barometric Pressure/Humidity/Temperature Datalogger



www.extech.com

Specifications subject to change without notice. Copyright © 2010 Extech Instruments Corporation. All rights reserved including the right of reproduction in whole or in part in any form. 2/8/12 - R1

Figura G1 Especificaciones técnicas sensor SD7000

G2. Certificado del sensor



FLIR COMMERCIAL SYSTEMS, INC. - EXTECH BRAND
9 Townsend West, Nashua NH 03063 / Phone: 603.324.7800 / Fax: 603.324.7864

Declaration of Conformity

Extech Model: SD700
Description: Humidity/Temperature Dataloggers plus Barometric Pressure
Date of Issue: 07-Nov-13

We, FLIR Commercial Systems, Inc. - Extech Brand, 9 Townsend West, Nashua, NH 03063 declare that a sample of the product listed above has been tested by a third party for CE marking according to:

EMC Directive: 2004/108/EC
Report Number: 100226-O
Report Date of Issue: 2/26/2010

Standards:
EN 61000-4-3
EN 55022
EN 61000-4-2

The test reports show that the product fulfills the requirement in the EC EMC Directive for CE Marking. On this basis, together with the manufacturer's own documented production control, the manufacturer (or his European authorized representative) can in his EC Declaration of Conformity verify compliance with the EC EMC Directive.



Tony Campagna
Director of Quality Services

Figura G2 Certificado de calibración sensor SD7000

ANEXO H. Resultados biológicos

En este anexo se muestran los resultados biológicos obtenidos después de analizar las muestras extraídas de cada grupo de aisladores.

H1. Chlorella Vulgaris





ASISTENCIA TÉCNICA AGRÍCOLA
FOLIAR
SUELOS
AGUAS
CONTROL DE CALIDAD

ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

		No. Laboratorio	10347
Propietario:	Carlos Daniel Pérez	Fecha de Análisis:	21-ago-14
		Fecha de Reporte:	03-sep-14
Dirección:	Cll 83 A No. 112 F - 15 Int 31 Apto 103	Fecha de Muestreo:	21-ago-14
Ciudad:	Bogotá	Fecha de Recepción:	21-ago-14
		Orden de T. #	51819

Procedencia	Nombre del Análisis	Características
BOGOTÁ	Identificación de Algas	Líquido color verde
Identificación de la Muestra		
Algas - Aislador Polimerico		

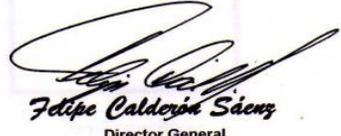
RESULTADOS DEL ANÁLISIS

ENT. No.	NOMBRE CIENTIFICO	NOMBRE VULGAR	POBLACION	METODO ANALITICO
1	<i>Chlorella spp</i>		572000 celulas/ml	LBC - 370
2	Sin Especificar			
3	Sin Especificar			
4	Sin Especificar			
5	Sin Especificar			
6	Sin Especificar			
7	Sin Especificar			
8	Sin Especificar			
9	Sin Especificar			
10	Sin Especificar			
11	Sin Especificar			
12	Sin Especificar			

OBSERVACIONES



Edna Sandoval-Eiza
Microbióloga Industrial



Felipe Calderón Sáenz
Director General

LABORATORIO Y OFICINAS: AVDA. CRA 20 No. 87-81 FAX: 623 65 76 TELS: 622 26 87 - 622 55 67 - 622 49 85 - 533 15 59
E-MAIL: calderon@drcalderonlabs.com - WEB SITE: www.drcalderonlabs.com - BOGOTÁ, D.C. - COLOMBIA S.A.



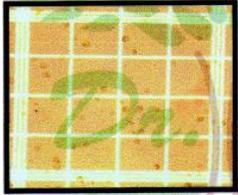
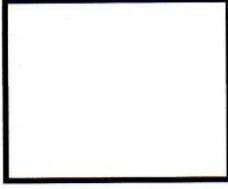
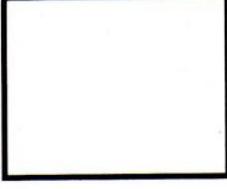
ASISTENCIA TECNICA AGRICOLA
 FOLIAR
 SUELOS
 AGUAS
 CONTROL DE CALIDAD

ANALISIS MICROBIOLÓGICO

		No. Laboratorio 10347	
Propietario	Carlos Daniel Perez	Fecha de Análisis	Fecha de Reporte
Dirección	Cll 83 A No. 112 F- 15 Int 31 Apto 103	21-ago- 14	03- sep-14
Ciudad	Bogotá	Fecha de Muestreo	Fecha de Recepción
		21-ago -14	21-ago-14

Nombre del Análisis Identificación de Algas	Identificación de la Muestra Algas – Aislador Polimérico
--	---

ENTIDADES PATOGENAS Y NO PATOGENAS IDENTIFICADAS

<p>1</p>  <p><i>Chlorella spp.</i></p>	<p>2</p>  <p><i>Sin Especificar</i></p>
<p>3</p>  <p><i>Sin Especificar</i></p>	<p>4</p>  <p><i>Sin Especificar</i></p>
<p>5</p>  <p><i>Sin Especificar</i></p>	<p>6</p>  <p><i>Sin Especificar</i></p>

LABORATORIO Y OFICINAS: AVDA. CRA 20 No. 87-81 FAX: 623 65 76 TELS: 622 26 87 - 622 55 67 - 622 49 85 - 533 15 59
 E-MAIL: calderon@drcalderonlabs.com - WEB SITE: www.drcalderonlabs.com - BOGOTÁ, D.C. - COLOMBIA S.A.



ASISTENCIA TÉCNICA AGRÍCOLA
FOUJAR
SUELOS
AGUAS
CONTROL DE CALIDAD

ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

Propietario: Carlos Daniel Pérez		No. Laboratorio: 10348
Dirección: Cll 83 A No. 112 F - 15 Int 31 Apto 103		Fecha de Análisis: 21-ago-14
Ciudad: Bogotá		Fecha de Reporte: 03-sep-14
		Fecha de Muestreo: 21-ago-14
		Fecha de Recepción: 21-ago-14
		Orden de T. #: 51819
Procedencia: BOGOTÁ	Nombre del Análisis: Recuento de Algas	Características: Líquido color verde
Identificación de la Muestra: Algas - Aislador 52-1		

RESULTADOS DEL ANÁLISIS

ENT. No.	NOMBRE CIENTIFICO	NOMBRE VULGAR	POBLACION	METODO ANALITICO
1	Algas		534000 células/ml	LBC - 370
2	Sin Especificar			
3	Sin Especificar			
4	Sin Especificar			
5	Sin Especificar			
6	Sin Especificar			
7	Sin Especificar			
8	Sin Especificar			
9	Sin Especificar			
10	Sin Especificar			
11	Sin Especificar			
12	Sin Especificar			

OBSERVACIONES

Edna Santoval Sisa
Microbióloga Industrial

Felipe Calderón Sáenz
Director General



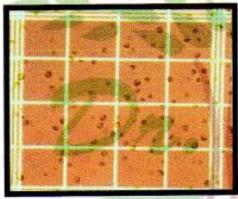
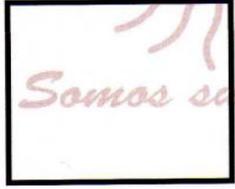
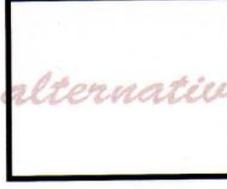
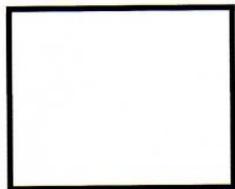
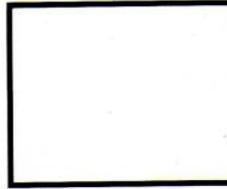
ASISTENCIA TECNICA AGRICOLA
 FOLIA
 SUELOS
 AGUAS
 CONTROL DE CALIDAD

ANALISIS MICROBIOLÓGICO

		No. Laboratorio	
		10348	
Propietario	Carlos Daniel Perez	Fecha de Análisis	Fecha de Reporte
Dirección	Cll 83 A No. 112 F- 15 Int 31 Apto 103	21-ago-14	03- sep-14
Ciudad	Bogotá	Fecha de Muestreo	Fecha de Recepción
		21-ago -14	21-ago-14

Nombre del Análisis	Identificación de la Muestra
Recuento de algas	Algas – Aislador 52-1

ENTIDADES PATOGENAS Y NO PATOGENAS IDENTIFICADAS

1		2	
	<i>Algas</i>		<i>Sin Especificar</i>
3		4	
	<i>Sin Especificar</i>		<i>Sin Especificar</i>
5		6	
	<i>Sin Especificar</i>		<i>Sin Especificar</i>

LABORATORIO Y OFICINAS: AVDA. CRA 20 No. 87-81 FAX: 623 65 76 TELS: 622 26 87 - 622 55 67 - 622 49 85 - 533 15 59
 E-MAIL: calderon@drcalderonlabs.com - WEB SITE: www.drcalderonlabs.com - BOGOTÁ, D.C. - COLOMBIA S.A.



ASISTENCIA TECNICA AGRICOLA
FOJAR
SUELOS
AGUAS
CONTROL DE CALIDAD

ANALISIS MICROBIOLÓGICO

Propietario: Carlos Daniel Pérez		Fecha de Análisis: 21-ago-14	No. Laboratorio: 10349
Dirección: Cll 83 A No. 112 F - 15 Int 31 Apto 103		Fecha de Muestreo: 21-ago-14	Fecha de Reporte: 03-sep-14
Ciudad: Bogotá		Orden de T. #: 51819	Fecha de Recepción: 21-ago-14
Procedencia: BOGOTÁ	Nombre del Análisis: Recuento de Algas	Características: Líquido color verde	
Identificación de la Muestra: Algas - Aislador 55-2			

RESULTADOS DEL ANALISIS

ENT. No.	NOMBRE CIENTIFICO	NOMBRE VULGAR	POBLACION	METODO ANALITICO
1	Algas		480000 celulas/ml	LBC - 370
2	Sin Especificar			
3	Sin Especificar			
4	Sin Especificar			
5	Sin Especificar			
6	Sin Especificar			
7	Sin Especificar			
8	Sin Especificar			
9	Sin Especificar			
10	Sin Especificar			
11	Sin Especificar			
12	Sin Especificar			

OBSERVACIONES

Edna Santoval Sisa
Microbióloga Industrial

Felipe Calderón Sáenz
Director General



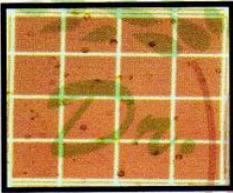
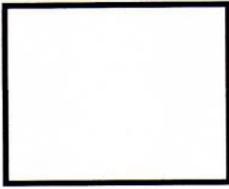
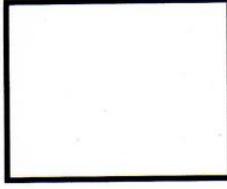
ASISTENCIA TECNICA AGRICOLA
 FOJAR
 SUELOS
 AGUAS
 CONTROL DE CALIDAD

ANALISIS MICROBIOLÓGICO

		No. Laboratorio	
		10349	
Propietario	Carlos Daniel Perez	Fecha de Análisis	Fecha de Reporte
Dirección	Cll 83 A No. 112 F- 15 Int 31 Apto 103	21-ago- 14	03- sep-14
Ciudad	Bogotá	Fecha de Muestreo	Fecha de Recepción
		21-ago -14	21-ago-14

Nombre del Análisis	Identificación de la Muestra
Recuento de algas	Algas – Aislador 55-2

ENTIDADES PATOGENAS Y NO PATOGENAS IDENTIFICADAS

1  Algas	2  Sin Especificar
3  Sin Especificar	4  Sin Especificar
5  Sin Especificar	6  Sin Especificar

LABORATORIO Y OFICINAS: AVDA. CRA 20 No. 87-81 FAX: 622 65 76 TELS: 622 26 87 - 622 55 67 - 622 49 85 - 533 15 59
 E-MAIL: calderon@drcalderonlabs.com - WEB SITE: www.drcalderonlabs.com - BOGOTÁ, D.C. - COLOMBIA S.A.

Figura H1 Resultados biológicos Chlorella Vulgaris

H2. Aspergillus Niger / Penicillium Sp.



INFORME DE LABORATORIO No.V-0030132-01-MB

FECHA DEL INFORME: Mayo 23 de 2014
FECHA DE TOMA: Mayo 03 de 2014
FECHA LLEGADA: Mayo 03 de 2014
FECHA ANÁLISIS: Mayo 03 de 2014
PROCEDENCIA: Andrés León
REMITENTE: Andrés Felipe León
RESPONSABLE TOMA DE MUESTRA: Adriana Martínez
DIRECCIÓN: Carrera 11A # 1 - 45
Aspergillus niger /
MUESTRA: MUESTRA 3: CERÁMICO
ANSI 52 - 2

ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DE SUPERFICIES

PARÁMETRO	MÉTODO	RESULTADO	VALOR REFERENCIA
Recuento de mohos	Frotis	- UFC	<100 UFC

* Para el análisis solicitado no existe norma de comparación.

Límites sugeridos
por Bioquilab para superficie

Características morfológicas (macroscópica y microscópicas) típicas de: Aspergillus niger

Los resultados son válidos únicamente para la muestra analizada.
Prohibida su reproducción sin autorización.

CALIDAD MICROBIOLÓGICA: NO CONFORME

ELABORADO POR:

César Javier González Bohórquez
Coordinador Operativo Externo

REVISADO POR:

María Claudia Quintero Lopez
Gerente Comercial y de Calidad

APROBADO POR:

Clara Cárdenas
Gerente General

FIN DEL INFORME

INFORME ORIGINAL

BOGOTÁ, D.C. CARRERA 47A No. 91-85 - TELÉFONO: 257 8722 - TELEFAX: 236 6930
E-mail: servicioalcliente@bioquilab.com - COLOMBIA

PÁG 4 DE 7

INFORME DE LABORATORIO No.V-0030130-01-MB

FECHA DEL INFORME: Mayo 23 de 2014
 FECHA DE TOMA: Mayo 03 de 2014
 FECHA LLEGADA: Mayo 03 de 2014
 FECHA ANÁLISIS: Mayo 03 de 2014
 PROCEDENCIA: Andrés León
 REMITENTE: Andrés Felipe León
 RESPONSABLE TOMA DE MUESTRA: Adriana Martínez
 DIRECCIÓN: Carrera 11A # 1 - 45
 Aspergillus niger /
 MUESTRA 1:
 MUESTRA: POLIMÉRICO ANSI
 DS-15

ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DE SUPERFICIES

PARÁMETRO	MÉTODO	RESULTADO	VALOR REFERENCIA
Recuento de mohos	Frotis	- UFC	<100 UFC

* Para el análisis solicitado no existe norma de comparación.
 Límites sugeridos
 por Bioquilab para superficie

Los resultados son válidos únicamente para la muestra analizada.
 Prohibida su reproducción sin autorización.

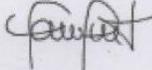
CALIDAD MICROBIOLÓGICA: NO CONFORME

ELABORADO POR:



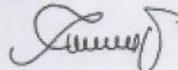
César Javier González Bohórquez
 Coordinador Operativo Externo

REVISADO POR:



María Claudia Quintero Lopez
 Gerente Comercial y de Calidad

APROBADO POR:



Clara Cárdenas
 Gerente General

FIN DEL INFORME

INFORME DE LABORATORIO No.V-0030131-01-MB

FECHA DEL INFORME: Mayo 23 de 2014
 FECHA DE TOMA: Mayo 03 de 2014
 FECHA LLEGADA: Mayo 03 de 2014
 FECHA ANÁLISIS: Mayo 03 de 2014
 PROCEDENCIA: Andrés León
 REMITENTE: Andrés Felipe León
 RESPONSABLE TOMA DE MUESTRA: Adriana Martínez
 DIRECCIÓN: Carrera 11A # 1 - 45
 Aspergillus niger /
 MUESTRA: MUESTRA 2: CERÁMICO
 ANSI 52 - 1

ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DE SUPERFICIES

PARÁMETRO	MÉTODO	RESULTADO	VALOR REFERENCIA
Recuento de mohos	Frotis	- UFC	<100 UFC

* Para el análisis solicitado no existe norma de comparación.
 Límites sugeridos
 por Bioquilab para superficie

Los resultados son válidos únicamente para la muestra analizada.
 Prohibida su reproducción sin autorización.

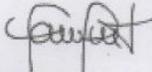
CALIDAD MICROBIOLÓGICA: NO CONFORME

ELABORADO POR:



César Javier González Bohórquez
 Coordinador Operativo Externo

REVISADO POR:



María Claudia Quintero Lopez
 Gerente Comercial y de Calidad

APROBADO POR:



Clara Cárdenas
 Gerente General

FIN DEL INFORME

INFORME DE LABORATORIO No.V-0031739-01-MB

FECHA DEL INFORME: Junio 26 de 2014
 FECHA DE TOMA: Junio 20 de 2014
 FECHA LLEGADA: Junio 20 de 2014
 FECHA ANÁLISIS: Junio 20 de 2014
 PROCEDENCIA: Andrés León
 REMITENTE: Andrés León
 RESPONSABLE TOMA DE MUESTRA: Javier Bonilla
 DIRECCIÓN: Carrera 11A # 1 - 45
 MUESTRA: CAJA DE PETRI CON
 Aspergillus niger

ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DE IDENTIFICACIÓN DE MICROORGANISMO

PARÁMETRO	MÉTODO	RESULTADO
Identificación de microorganismo	Microscopia - macroscopia	Penicillium sp.

Microscopia: Se observan estructuras fungicas compatibles con Penicillium sp.

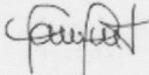
Los resultados son válidos únicamente para la muestra analizada.
 Prohibida su reproducción sin autorización.

ELABORADO POR:



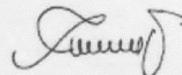
Erika Fajardo
Coordinadora Operativa Externa

REVISADO POR:



Maria Claudia Quintero Lopez
Gerente Comercial y de Calidad

APROBADO POR:



Clara Cárdenas
Gerente General

FIN DEL INFORME

INFORME DE LABORATORIO No.V-0031536-01-MB

FECHA DEL INFORME: Junio 19 de 2014
 FECHA DE TOMA: Junio 14 de 2014
 FECHA LLEGADA: Junio 14 de 2014
 FECHA ANÁLISIS: Junio 14 de 2014
 PROCEDENCIA: Andrés León
 REMITENTE: Andrés León
 RESPONSABLE TOMA DE MUESTRA: Javier Bonilla
 DIRECCIÓN: Carrera 11A # 1 - 45
 MUESTRA: Aspergillus niger /
 POLIMERO ANSI D5-15

ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DE SUPERFICIES

PARÁMETRO	MÉTODO	RESULTADO	VALOR REFERENCIA
Recuento de mohos y levaduras	NTC 5230	M:150.000 L:<10 UFC	<100 UFC

* Para el análisis solicitado no existe norma de comparación.

Límites sugeridos por Bioquilat para superficie

Los resultados son válidos únicamente para la muestra analizada.
 Prohibida su reproducción sin autorización.

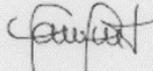
CALIDAD MICROBIOLÓGICA: NO CONFORME

ELABORADO POR:



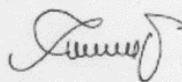
Erika Fajardo.
 Coordinadora Operativa Externa

REVISADO POR:



Maria Claudia Quintero Lopez
 Gerente Comercial y de Calidad

APROBADO POR:



Clara Cárdenas
 Gerente General

FIN DEL INFORME

INFORME DE LABORATORIO No.V-0031538-01-MB

FECHA DEL INFORME: Junio 19 de 2014
 FECHA DE TOMA: Junio 14 de 2014
 FECHA LLEGADA: Junio 14 de 2014
 FECHA ANÁLISIS: Junio 14 de 2014
 PROCEDENCIA: Andrés León
 REMITENTE: Andrés León
 RESPONSABLE TOMA DE MUESTRA: Javier Bonilla
 DIRECCIÓN: Carrera 11A # 1 - 45
 MUESTRA: Aspergillus niger /
 CERAMICA ANSI 52 - 1

ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DE SUPERFICIES

PARÁMETRO	MÉTODO	RESULTADO	VALOR REFERENCIA
Recuento de mohos y levaduras	NTC 5230	M:96.000 L:<10 UFC	<100 UFC

* Para el análisis solicitado no existe norma de comparación.

Límites sugeridos por Bioquilat para superficie

Los resultados son válidos únicamente para la muestra analizada.
 Prohibida su reproducción sin autorización.

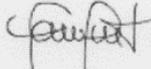
CALIDAD MICROBIOLÓGICA: NO CONFORME

ELABORADO POR:



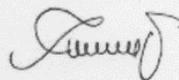
Erika Fajardo.
 Coordinadora Operativa Externa

REVISADO POR:



Maria Claudia Quintero Lopez
 Gerente Comercial y de Calidad

APROBADO POR:



Clara Cárdenas
 Gerente General

FIN DEL INFORME

INFORME DE LABORATORIO No.V-0031540-01-MB

FECHA DEL INFORME: Junio 19 de 2014
 FECHA DE TOMA: Junio 14 de 2014
 FECHA LLEGADA: Junio 14 de 2014
 FECHA ANÁLISIS: Junio 14 de 2014
 PROCEDENCIA: Andrés León
 REMITENTE: Andrés León
 RESPONSABLE TOMA DE MUESTRA: Javier Bonilla
 DIRECCIÓN: Carrera 11A # 1 - 45
 MUESTRA: Aspergillus niger /
 CERAMICA ANSI 55 - 2

ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DE SUPERFICIES

PARÁMETRO	MÉTODO	RESULTADO	VALOR REFERENCIA
Recuento de mohos y levaduras	NTC 5230	M:200.000 L:<10 UFC	<100 UFC

* Para el análisis solicitado no existe norma de comparación.

Límites sugeridos por Bioquilat para superficie

Los resultados son válidos únicamente para la muestra analizada.
 Prohibida su reproducción sin autorización.

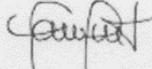
CALIDAD MICROBIOLÓGICA: NO CONFORME

ELABORADO POR:



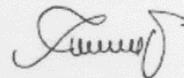
Erika Fajardo.
 Coordinadora Operativa Externa

REVISADO POR:



Maria Claudia Quintero Lopez
 Gerente Comercial y de Calidad

APROBADO POR:



Clara Cárdenas
 Gerente General

FIN DEL INFORME

Figura H2 Resultados biológicos Aspergillus Niger/Penicillium Sp

H3. Phanerochaete Chrysosporium



INFORME DE LABORATORIO No.V-0036373-01-MB

FECHA DEL INFORME: Diciembre 16 de 2014
FECHA DE TOMA: Noviembre 24 de 2014
FECHA LLEGADA: Noviembre 24 de 2014
FECHA ANÁLISIS: Noviembre 24 de 2014
PROCEDENCIA: Andrés León
REMITENTE: Andres Leon
RESPONSABLE TOMA DE MUESTRA: Cliente *
DIRECCIÓN: Carrera 11A # 1 - 45
IDENTIFICACIÓN DE MICROORGANISMO
MUESTRA: MUESTRA ALEATORIA

ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DE IDENTIFICACIÓN DE MICROORGANISMO

PARÁMETRO	MÉTODO	RESULTADO
Identificación de microorganismo	Microscopia - macroscopia	Phanerochaete chrysosporium

Los resultados son válidos únicamente para la muestra analizada.
Prohibida su reproducción sin autorización.

ELABORADO POR:

César Javier González Bohórquez
Coordinador Operativo Externo

REVISADO POR:

Erika E. Fajardo Castillo
Directora Proceso Operativo

APROBADO POR:

Clara Cárdenas
Gerente General

FIN DEL INFORME

INFORME ORIGINAL

BOGOTÁ, D.C. CARRERA 47A No. 91-85 - TELÉFONO: 257 0722 - TELEFAX: 236 6930
E-mail: servicioalcliente@bioquilab.com - COLOMBIA

INFORME DE LABORATORIO No.V-0037057-01-MB

FECHA DEL INFORME: Diciembre 29 de 2014
 FECHA DE TOMA: Diciembre 16 de 2014
 FECHA LLEGADA: Diciembre 16 de 2014
 FECHA ANÁLISIS: Diciembre 16 de 2014
 PROCEDENCIA: Andrés León
 REMITENTE: Andres Leon
 RESPONSABLE TOMA DE MUESTRA: Cliente *
 DIRECCIÓN: Carrera 11A # 1 - 45
 MUESTRA: DS-15

ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DE SUPERFICIES

PARÁMETRO	MÉTODO	RESULTADO	VALOR REFERENCIA
Recuento de mohos y levaduras	NTC 5230	M:730.000 L:200.000 UFC	NO APLICA

* Para el análisis solicitado no existe norma de comparación.

Los resultados son válidos únicamente para la muestra analizada.
 Prohibida su reproducción sin autorización.

CALIDAD MICROBIOLÓGICA: NO APLICA

ELABORADO POR:



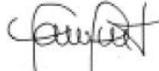
César Javier González
Bohórquez
Coordinador Operativo Externo

REVISADO POR:



Erika E. Fajardo Castillo
Directora Proceso Operativo

APROBADO POR:



Maria Claudia Quintero Lopez
Gerente Comercial y de Calidad

FIN DEL INFORME

INFORME ORIGINAL

BOGOTÁ, D.C. CARRERA 47A No. 91-85 - TELÉFONO: 257 0722 - TELEFAX: 236 6930
 E-mail: servicioalcliente@bioquilab.com - COLOMBIA

PÁG 1 DE 1

INFORME DE LABORATORIO No.V-0037058-01-MB

FECHA DEL INFORME: Diciembre 29 de 2014
 FECHA DE TOMA: Diciembre 16 de 2014
 FECHA LLEGADA: Diciembre 16 de 2014
 FECHA ANÁLISIS: Diciembre 16 de 2014
 PROCEDENCIA: Andrés León
 REMITENTE: Andres Leon
 RESPONSABLE TOMA DE MUESTRA: Cliente *
 DIRECCIÓN: Carrera 11A # 1 - 45
 MUESTRA: 52-1

ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DE SUPERFICIES

PARÁMETRO	MÉTODO	RESULTADO	VALOR REFERENCIA
Recuento de mohos y levaduras	NTC 5230	M:8.000 L:<10 UFC	NO APLICA

* Para el análisis solicitado no existe norma de comparación.

Los resultados son válidos únicamente para la muestra analizada.
 Prohibida su reproducción sin autorización.

CALIDAD MICROBIOLÓGICA: NO APLICA

ELABORADO POR:



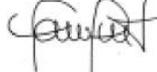
César Javier González
Bohórquez
Coordinador Operativo Externo

REVISADO POR:



Erika E. Fajardo Castillo
Directora Proceso Operativo

APROBADO POR:



Maria Claudia Quintero Lopez
Gerente Comercial y de Calidad

FIN DEL INFORME

INFORME DE LABORATORIO No.V-0037059-01-MB

FECHA DEL INFORME: Diciembre 29 de 2014
 FECHA DE TOMA: Diciembre 16 de 2014
 FECHA LLEGADA: Diciembre 16 de 2014
 FECHA ANÁLISIS: Diciembre 16 de 2014
 PROCEDENCIA: Andrés León
 REMITENTE: Andres Leon
 RESPONSABLE TOMA DE MUESTRA: Cliente *
 DIRECCIÓN: Carrera 11A # 1 - 45
 MUESTRA: 55-2

ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DE SUPERFICIES

PARÁMETRO	MÉTODO	RESULTADO	VALOR REFERENCIA
Recuento de mohos y levaduras	NTC 5230	M:120.000 L:630.000 UFC	NO APLICA

* Para el análisis solicitado no existe norma de comparación.

Los resultados son válidos únicamente para la muestra analizada.
 Prohibida su reproducción sin autorización.

CALIDAD MICROBIOLÓGICA: NO APLICA

ELABORADO POR:



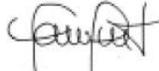
César Javier González
Bohórquez
Coordinador Operativo Externo

REVISADO POR:



Erika E. Fajardo Castillo
Directora Proceso Operativo

APROBADO POR:



Maria Claudia Quintero Lopez
Gerente Comercial y de Calidad

FIN DEL INFORME

INFORME ORIGINAL

BOGOTÁ, D.C. CARRERA 47A No. 91-85 - TELÉFONO: 257 0722 - TELEFAX: 236 6930
 E-mail: servicioalcliente@bioquilab.com - COLOMBIA

PÁG 1 DE 1

Figura H3 Resultados biológicos Phanerochaete Chrysosporium

ANEXO I. Certificados CIDET aisladores para el estudio

En este anexo se muestran los certificados CIDET de cada uno de los aisladores usados durante el presente trabajo de grado.

II. ANSI 52-1

ACREDITADO
Industria y Comercio
SUPERINTENDENCIA
No. 4845 expedida 7 de 2008

CIDET
CORPORACIÓN CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y
DESARROLLO TECNOLÓGICO DEL SECTOR ELÉCTRICO

ONAC
ACREDITADO ISO/IEC Guías 65:1996
04-CPR-004

CERTIFICADO DE CONFORMIDAD DE PRODUCTO

Modelo de Certificación
Tipo Marca de Conformidad

El CIDET certifica que el producto:

DENOMINACIÓN	TIPO	REFERENCIA
AISLADORES DE PORCELANA MARCA GAMMA - AISLADORES CORONA	SUSPENSIÓN: CLEVIS, CUENCA Y BOLA Y FOG	CLEVIS: ANSI 52-1, 52-4, 52-9A Y 52-9B; CUENCA Y BOLA: ANSI 52-3 Y 52-5; FOG: ANSI 52-3, 52-4, 52-5 Y 52-6

Fabricado por la empresa ELECTROPORCELANA GAMMA S.A. planta de SABANETA; ha sido evaluado por el CIDET y se verificó que está fabricado y probado CONFORME con las normas NTC 1170/1996, ANSI C29.2/1992 y la RESOLUCIÓN 18 1294 de 2008 del MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA – RETIE.

Esta Certificación está sujeta a que el producto cumpla permanentemente las condiciones con las cuales fue evaluado respecto a las normas descritas, para lo cual el CIDET le hace verificación y seguimiento respectivos y publica las novedades y vigencia del presente CERTIFICADO en la página www.cidet.org.co.

Todas las características e identificación de este producto se describen en un documento anexo que contiene dos páginas y hace parte integral del presente CERTIFICADO, el cual puede ser consultado por los usuarios ante el CIDET.

Certificado Nro. 01919 Fecha de Certificación: 7 DE OCTUBRE DE 2005
Fecha de 2ª Actualización: 20 DE ABRIL DE 2010

César Alberto Tobón Giraldo
DIRECTOR EJECUTIVO

DESARROLLO • TECNOLOGÍA • INVESTIGACIÓN • INNOVACIÓN
Al servicio del Sector Eléctrico

Bogotá - Medellín | COLOMBIA

Figura II Certificado CIDET aislador ANSI 52-1

I2. ANSI 55-2



CORPORACIÓN CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y
DESARROLLO TECNOLÓGICO DEL SECTOR ELÉCTRICO

CERTIFICADO DE CONFORMIDAD DE PRODUCTO

Modelo de Certificación

Tipo Marca de Conformidad

El CIDET certifica que el producto:

DENOMINACIÓN	TIPO	REFERENCIA
AISLADORES DE PORCELANA MARCA GAMMA - AISLADORES CORONA	ESPIGA DE B.T. Y M.T. (PIN SENCILLO)	ANSI 55-1, 55-2, 55-3, 55-4, 55- 5, 55-6, 55-7

Fabricado por la empresa ELECTROPORCELANA GAMMA S.A. planta de SABANETA; ha sido evaluado por el CIDET y se verificó que está fabricado y probado CONFORME con las normas NTC 739/1998, ANSI C29.5/1984 y la RESOLUCIÓN 18 1294 de 2008 del MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA – RETIE.

Esta Certificación está sujeta a que el producto cumpla permanentemente las condiciones con las cuales fue evaluado respecto a las normas descritas, para lo cual el CIDET le hace verificación y seguimiento respectivos y publica las novedades y vigencia del presente CERTIFICADO en la página www.cidet.org.co.

Todas las características e identificación de este producto se describen en un documento anexo que contiene una página y hace parte integral del presente CERTIFICADO, el cual puede ser consultado por los usuarios ante el CIDET.

Certificado Nro. 01922



César Alberto Tobón Giraldo
DIRECTOR EJECUTIVO

Fecha de Certificación: 7 DE OCTUBRE DE 2005
Fecha de 2ª Actualización: 20 DE ABRIL DE 2010

Bogotá - Medellín | COLOMBIA



DESARROLLO • TECNOLOGÍA • INVESTIGACIÓN • INNOVACIÓN
Al servicio del Sector Eléctrico

Figura I2 Certificado CIDET aislador ANSI 55-2

I3. ANSI DS-15



DIVISION ELECTRICA

Aisladores Poliméricos de Silicona Suspensión - Retención

DESCRIPCION

Los aisladores poliméricos SILPAK están fabricados con recubrimiento de silicona, un núcleo de fibra de vidrio de alta resistencia mecánica y terminales de acero galvanizado en caliente lo que asegura un mínimo deterioro en el tiempo, producto de la exposición permanente al medio ambiente.

CERTIFICACIONES

Sistema de Gestión:
Bureau Veritas Certificado N° 4519
Referencial: ISO 9001:2008
NCh 9001 Of 2009



Conformidad de producto:
Cidet Certificado N° 04917
Referencial: ANSI C29.13/2013
e IEC 61109 Ed. 2.0/2008 y la resolución
18 1294 de 2008 del Ministerio de Minas y Energía



CARACTERISTICAS E IDENTIFICACION DE AISLADORES POLIMERICOS DE SILICONA TIPO SUSPENSION - RETENCION MARCA SILPAK CLASE 15 kV, 28 kV y 35 kV

DESCRIPCION		CARACTERISTICAS FISICAS						PROPIEDADES ELECTRICAS			
MODELO	CLASE	N° FALDAS	PESO (Kg)	DIAMETRO FALDAS (mm)	DISTANCIA (mm)			(kV)			
					ENTRE EJES	FUGA	ARCO SECO	TENSION DE CONTORNEO EN SECO	TENSION DE CONTORNEO EN HUMEDO	TENSION CRITICA IMPULSO POSITIVO	TENSION CRITICA IMPULSO NEGATIVO
AS-15-4FD	15 kV	4	0,94	88 (+- 0,5)	320 (+- 5)	387	185	100	70	155	155
AS-28-8FRD	28 kV	8	1,15	79 (+- 0,5)	475 (+- 5)	713	337	140	120	270	270
AS-35-10FD	35 kV	10	1,28	88 (+- 0,5)	550 (+- 5)	1000	435	185	150	300	320

CARGA MECANICA ESPECIFICADA (CME): 7.000 Kg. CARGA MECANICA INDIVIDUAL: (CMI): 5.000 Kg. por 10 Seg.

PRESENTACION

MODELO	FORMATO	PESO CAJA (Kg.)
AS-15-4FD	Caja 12 unidades	11,60 Aprox.
AS-28-8FRD	Caja 12 unidades	14,10 Aprox.
AS-35-10FD	Caja 12 unidades	16,00 Aprox.



Planta Quilicura - Parinacota 381 Módulo 11 - Lo Echevers - Quilicura / Tel. 56-2-7390829 Fax : 56-2-7392188
Planta Villa Alemana - Viena 829 - Villa Alemana / Email : silpak@silpak.cl / WebSite: www.silpak.cl

Figura I3 Certificado CIDET aislador ANSI DS-15

ANEXO J. Elementos laboratorio alta tensión

En este anexo se muestran los elementos usados durante las pruebas eléctricas realizadas a lo largo del presente estudio.

J1. Módulo De Control HV 9103



Technical data

Supply Voltage:	220 - 230 V 50/60 Hz single phase/25 A
Regulating Transformer:	5kVA Continuous rating driven by 24 V DC geared motor drive.
Regulating Voltage:	0-220 V AC
Output:	5kVA Continuous 10 kVA (short time duty 2 min.)
Dimensions:	1220x105x800mm (h,w,d)
Weight:	275 kg

Figura J1 Especificaciones técnicas módulo HV 9103

J2. TRANSFORMADOR HV 9105



Technical data

Ratio:	2x220V/100kV/220V
Rated cont. Current:	2x11,4A/50mA/15.2A Continuous.
Output:	5 kVA, 10kVA for 60 min. outputs for AC.
Impedance Voltage:	4% approx.
Frequency:	50Hz or 60 Hz
Partial Discharge Level:	at 100 kV < 3pC.
Height:	770 mm
Diameter:	550 mm
Weight:	215 kg

Figura J2 Especificaciones técnicas transformador HV 9105

J3. Elementos Pasivos

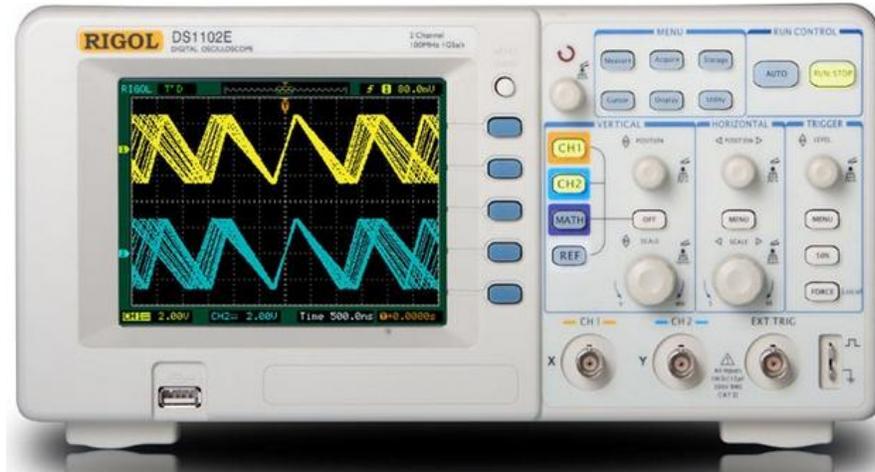
	<p>HV 9112 Technical data DC and Impulse voltages: 140 kV Capacitance: 25nF Length/Height: 665 mm Weight: 20 kg</p>	<p>Impulse Capacitor</p>	<p>Application Impulse capacitor for generation of impulse voltages. It can also be used as smoothing capacitor in DC voltage generation.</p>
	<p>HV 9141 Technical data AC voltages: 100 kV Capacitance: 100 pF Length/Height: 665 mm Weight: 9 kg</p>	<p>Measuring Capacitor</p>	<p>Application High voltage divider capacitor for measurement of AC voltages.</p>
	<p>HV 9124 Technical data AC voltage: 100 kV DC and impulse voltage: 140 kV Length/ Height: 665 mm Weight: 1.5 kg</p>	<p>Insulating Rod</p>	<p>Application Insulating component</p>
	<p>HV 9111 Technical data Inverse Peak voltage: 140 kV Rated current: 20 mA Protective Resistor: 100 k Ω Length/ Height: 665 mm Weight: 8 kg</p>	<p>Silicon Rectifier</p>	<p>Application Rectifier for use in impulse voltage and DC voltage generation.</p>
	<p>HV 9122 Technical data Impulse voltage: 140 kV Resistance: 350 Ω Length/ Height: 665 mm Weight: 5 kg</p>	<p>Wave Front Resistor</p>	<p>Application For generation of impulse voltages. The resistors determine the rise time of the impulse voltage in lightning and switching impulse voltage generation.</p>
	<p>HV 9125 Technical data Impulse voltage: 140 kV Sphere Diameter: 100 mm Max. gap settings: 80 mm With gap settings indicator Length/ Height: 665 mm Weight: 7 kg</p>	<p>Sphere Gap</p>	<p>Application For impulse voltage generation, for pre-settings of Impulse voltage peak.</p>
	<p>HV 9113 Technical data DC voltage: 140 kV Resistance: 280 M Ω Rated continuous current: 0.5 mA Length/ Height: 665 mm Weight: 5 kg</p>	<p>Measuring Resistor</p>	<p>Application High voltage series resistor for measurement of DC voltages.</p>
	<p>HV 9131 Technical data Supply voltage: 220 V 50 Hz Dimensions: 142x 173 x 245 (W x H x D) Weight: 3.7 kg</p>	<p>Trigger Device</p>	<p>Application For triggering the impulse voltage generator, impulse voltage oscilloscope and chopping spark gap. The trigger impulse is transferred to the high voltage sphere by means of a fibreoptic cable. The impulse is amplified in the electronic trigger sphere.</p>

Figura J3 Especificaciones técnicas elementos pasivos

ANEXO K. Elementos instrumentación laboratorio alta tensión

En este anexo se muestran los elementos de instrumentación usados durante las pruebas eléctricas realizadas a lo largo del presente estudio.

K1. Osciloscopio DS1102E



Model	<u>DS1102E</u>			
Bandwidth	100 MHz			
Analog Channels	2			
Vertical Sensitivity	2 mV/div - 10V/div			
Real-time Sample Rate	1 GSa/s (each channel) , 500 MSa/s (dual channels)			
Equivalent Sample Rate	25 GSa/s			
Memory Depth	Mode	capture rate	common	long memory
	one channel	1 GSa/s	16 kpts	N/A
		500 MSa/s	16 kpts	1 Mpts
dual channels	500 MSa/s 250 MSa/s or less	8 kpts 8 kpts	N.A. 512 kpts	
Standard Interface	USB Host & Device, RS-232, P/F Out			
Vertical Resolution	8 bits			
Math	+, -, ×, FFT			
Max Input Voltage	All inputs 1MΩ 15pF 300 V RMS CATI			
Cursor Measurements	Manual, Track and Auto Measure modes			

Figura K1 Especificaciones técnicas osciloscopio DS1102E

K2. Multímetro Digital FLUKE 289 TRUE RMS

FLUKE®

The new Fluke 287 True-rms Electronics Logging Multimeter with TrendCapture arms electronics professionals with trendsetting technology.



Models	Fluke 287	Fluke 289
Bandwidth: 100 kHz	•	•
Voltage: 1000 V (0.01 mV to 1000.0 V)	•	•
Current: 10 A (0.01 A to 10 A)	•	•
Resistance: 500 M Ω (0.01 Ω to 500 M Ω)	•	•
Continuity/Diode	•	•
Conductance: 0.01 nS to 50.00 nS (20 M Ω to 100 G Ω)	•	•
Capacitance: 1 pF to 100mF (0.001 nF to 100.00mF)	•	•
Frequency 1 MHz (0.1 Hz to 999.99kHz)	•	•
Min/Max/Average, Hold, Auto and Manual Range	•	•
Temperature: -200 °C to +1350 °C (Display °C or °F)	•	•
(dBm), Selectable References or (dBV)	•	•
Peak/Crest Factor 250 μ s Peak Min or Max (From 1.0 to 4.0)	•	•
Duty Cycle: 1 % to 99 %	•	•
Low Pass Filter	N/A	•
Resistance Low Ohm: (0.001 Ω to 50.000 Ω 10 mA source)	N/A	•
Lo Z	N/A	•

Ordering information:

Fluke-289 True-rms Industrial Logging Multimeter with TrendCapture

Fluke-287 True-rms Electronics Logging Multimeter with TrendCapture

Fluke-289/FVF Logging Multimeter Combo Kit

Recommended Accessories

A wide array of accessories is available to help you maximize the productivity of the Fluke 289 but the following are essential for most users.



FlukeView® Forms
Software and Cable

TLK289
Electronic Test Lead Kit

TPAK
Magnetic
Hanger



C781
Soft Meter Case

i400 Current Clamp

For more information on how the Fluke 289 True-rms Industrial Logging Multimeter with TrendCapture can help you, go to www.fluke.com/289.

New! Fluke 289 FlukeView® Forms Combo Kit



Maximize productivity with the combined Fluke 289 and FlukeView Forms Software Combo Kit. With built in data logging and TrendCapture capability, the Fluke 289 helps you track down elusive, intermittent problems, monitoring equipment with any of its functions while you do other jobs. Overlay your logged data from six meters or six time periods to find cause and effect relationships or for condition monitoring applications in FVF software. Turn your data into meaningful graphs and tables for a professional report. The Fluke 289/FVF combo kit gives you a practical and affordable approach to predictive maintenance.

**Fluke. Keeping your world
up and running.®**

Fluke Corporation
PO Box 9090, Everett, WA USA 98206
Fluke Europe B.V.
PO Box 1186, 560 2 BD
Eindhoven, The Netherlands

For more information call:
In the U.S.A. (800) 443-5853 or
Fax (425) 446-5116
In Europe/M-East/Africa +31 (0) 40 2675 200 or
Fax +31 (0) 40 2675 222
In Canada (800)-36-FLUKE or
Fax (905) 890-6866
From other countries +1 (425) 446-5500 or
Fax +1 (425) 446-5116
Web access: <http://www.fluke.com/IAQ>

©2007 Fluke Corporation. All rights reserved.
Specifications subject to change without notice.
Printed in U.S.A. 7/2007 3032980 D-EN-N Rev A

Figura K2 Especificaciones multímetro FLUKE 289

K3. Multímetro Digital FLUKE 189



Basic Specifications

Function	Ranges/Description
DC Voltage	0 to 1000 V
AC Voltage, true RMS	2.5 mV to 1000 V – 100 kHz bandwidth
Basic Accuracy	DC voltage: 0.025 % AC voltage: 0.4 %
DC Current	0 to 10 A (20 A for 30 seconds)
AC Current, true RMS	25 μ A to 10 A (20 A for 30 seconds)
Resistance	0 to 500 M Ω
Conductance	0 to 500 nS
Capacitance	0.001 nF to 50 mF
Diode Test	3.1 V
Temperature	–200 $^{\circ}$ C to 1350 $^{\circ}$ C (–328 $^{\circ}$ F to 2462 $^{\circ}$ F)
Frequency	0.5 Hz to 1000 kHz
LOGGING Intervals (Model 189 only)	At least 288 intervals may be stored. Up to 707 unstable event values (see AutoHold) are automatically added to LOGGING memory for viewing only through optional PC software. Additional intervals will be logged up to 995 if the signal is stable.
SAVE Readings (Model 189 only)	Up to 100 readings may be saved by the user in a memory separate from LOGGING memory. These readings may be viewed using VIEW MEM.

Figura K3 Especificaciones técnicas multímetro FLUKE 189

K4. Punta de Prueba de Alto Voltaje FLUKE 80K-40



Product Information

- **Color:** Red
- **Current Rating:** 40 μ A
- **For Use With:** Fluke AC/DC Voltmeters & Multimeters
- **Insulator Color:** Black
- **Lead Length:** -
- **SVHC:** No SVHC (16-Jun-2014)
- **Test Connector Type A:** Test Tip Probe
- **Test Connector Type B:** 4mm Stackable Double Banana Plug
- **Voltage Rating:** 40kV
- **Voltage Rating Max:** 40000V

Figura K4 Especificaciones técnicas punta FLUKE80K-40

K5. Rama resistiva

Tabla K5 Caracterización rama resistiva

V alimentación BT	V alimentación AT	Vdiv RES BT	Vdiv RES AT	Sonda AT	Sonda BT	Relación
8,23	3744,40	0,53	3731,53	3742	3,742	7020,63
14,24	6474,84	0,92	6433,91	6476	6,476	7039,13
20,25	9205,28	1,02	7169,02	7207	7,207	7038,08
26,25	11935,71	1,70	11971,7	11937	11,937	7017,63
32,26	14666,15	2,08	14541,07	14667	14,667	7041,28
38,27	17396,58	2,48	17362,48	17397	17,397	7006,44
44,27	20127,02	2,86	20022,86	20129	20,129	7038,11
50,28	22857,46	3,25	22753,25	22860	22,86	7033,84
Promedio						7029,39

K6. Rama capacitiva

Tabla K6 Caracterización rama capacitiva

V alimentación BT	V alimentación AT	Vdiv CAP BT	Vdiv CAP AT	Vdiv RES BT	Vdiv RES AT	Relación
11,7	5318,18	1,51	4997,71	0,72	5067,90	3347,36
22,55	10249,99	2,90	9579,50	1,38	9728,13	3352,21
32,98	14990,90	4,26	14088,66	2,03	14311,04	3353,10
44,2	20090,90	5,72	18885,02	2,72	19146,99	3346,79
55,17	25077,26	7,14	23588,94	3,41	23997,00	3358,10
66,7	30318,17	8,61	28428,21	4,12	28987,59	3365,95
77,1	35045,45	9,96	32891,16	4,78	33598,62	3372,00
88,2	40090,90	11,41	37667,71	5,48	38525,94	3376,21
99,3	45136,35	12,85	42431,05	6,18	43481,39	3382,71
110,9	50409,08	14,33	47333,03	6,913	48591,47	3388,76
Promedio						3364,32

ANEXO L. Calculo resistividad del agua para la prueba de flameo en húmedo

En este anexo se presenta el cálculo de resistividad de diferentes fuentes de agua, así como las características constructivas del elemento empleado para realizar dichas mediciones.

Elemento Medicion Resistividad		Volumen (cm3)		Volumen (m3)	
Longitud (cm)	100	Volumen (cm3)	126,677	Volumen (m3)	0,000127
Diametro (Inches)	0,5				
Radio (cm)	0,635				
Radio (m)	0,00635				

Muestra	Tensión DC (V)	Corriente (uA)	Resistencia (Ω)	Resistividad (Ω•m)	R Prome (Ω)	Resistividad Prom (Ω•m)
1	5,01	1,69	2964497,041	375,5332057	2807817,821	355,6855725
	10,06	3,57	2817927,171	356,9661933		
	15,03	5,44	2762867,647	349,9914251		
	19,99	7,37	2712347,354	343,5916726		
	26,09	9,38	2781449,893	352,3453659		
2	5	4,07	1228501,229	155,6226901	1228101,886	155,5721027
	10,02	8,18	1224938,875	155,1714224		
	14,99	12,2	1228688,525	155,6464162		
	20,05	16,3	1230061,35	155,8203214		
	25,07	20,41	1228319,451	155,5996632		
3	4,987	2,21	2256561,086	285,8540948	2248673,675	284,8549423
	10,057	4,54	2215198,238	280,6143787		
	15,045	6,6	2279545,455	288,7656827		
	19,97	8,845	2257772,753	286,007585		
	24,89	11,14	2234290,844	283,0329703		
4	4,94	67,42	73272,02611	9,281870909	65088,81405	8,245247222
	10,03	146,5	68464,16382	8,672825965		
	14,98	239,56	62531,3074	7,921270284		
	19,98	325,27	61425,89234	7,781239764		
	25,02	418,74	59750,68061	7,569029187		

Figura L1 Calculo resistividad del agua para ensayos de flameo en húmedo

ANEXO M. Circuito generador de impulsos tipo rayo

En este anexo se presenta el circuito usado de acuerdo a la literatura para la generación de impulsos tipo rayo normalizado.

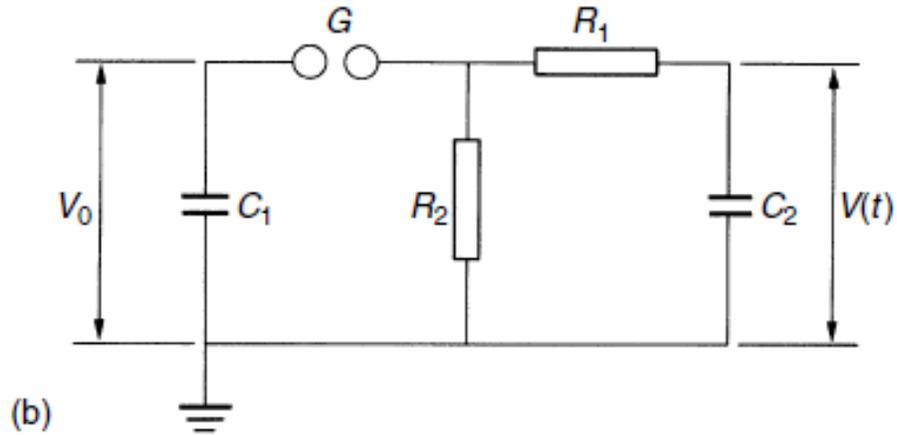


Figura M1 Circuito generador de impulsos tipo rayo

$C_1 =$ Capacitancia de descarga

$C_2 =$ Capacitancia de carga

$R_1 =$ Resistencia de frente

$R_2 =$ Resistencia de cola

$G =$ Espinterometro

$$\tau_2 = R_1 * (C_{eq}) = R_1 * \frac{(C_1 * C_2)}{(C_1 + C_2)}$$

$$T_{frente} = K_{frente} * \tau_2$$

$$K_{frente} = 1,8 \sim 3$$

$$\tau_1 = R_2 * (C_{eq}) = R_2 * (C_1 + C_2)$$

$$T_{cola} = K_{cola} * \tau_1$$

$$K_{cola} = 0,7 \sim 0,8$$

ANEXO N. Impulso normalizado y capacitancia crítica

En este anexo se presenta la normalización práctica y teórica del impulso tipo rayo, adicionalmente se muestra el cálculo de la capacitancia crítica del objeto de prueba.

N1. Normalización práctica del impulso tipo rayo con aislador ANSI 52-1

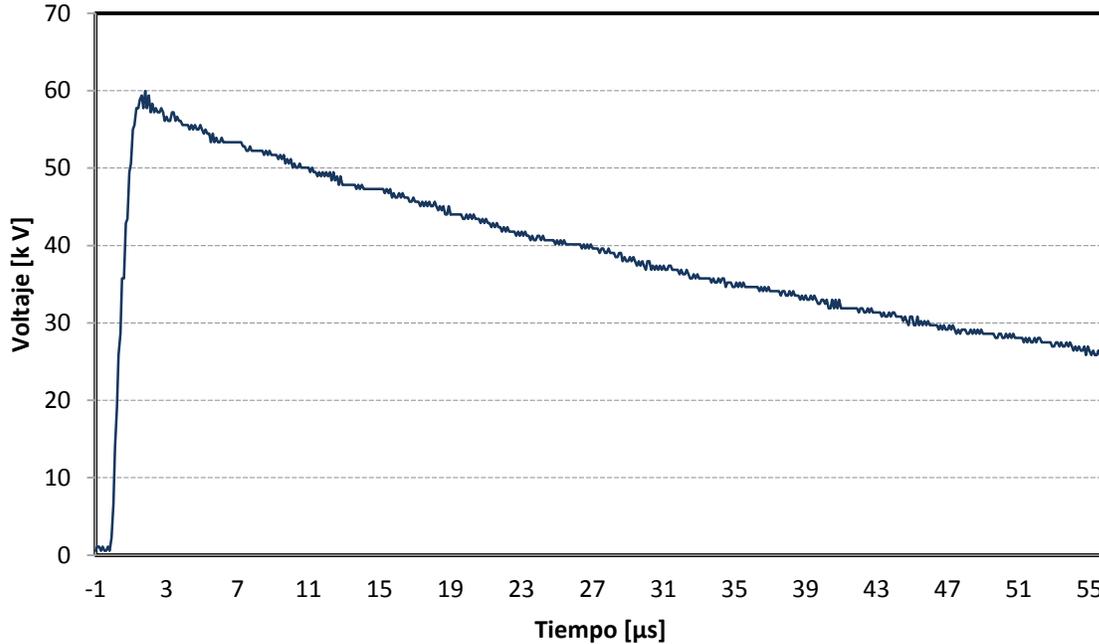


Figura N1 Impulso tipo rayo normalizado aislador ANSI 52-1

Aplicando las siguientes formulas y con base en los resultados experimentales, es posible calcular los tiempos de frente y de cola para el impulso:

$$\begin{aligned} \text{Tiempo de Frente} &= 1.67(T3 - T1) \\ \text{Tiempo de Cola} &= T2 + 0.5T3 - 1.5T1 \end{aligned}$$

Dónde:

$T3$ = Tiempo al 90% de la tensión pico.

$T2$ = Tiempo al 50% de la tensión pico.

$T1$ = Tiempo al 30% de la tensión pico.

Así pues, los tiempos de frente y de cola son:

$$\begin{aligned} \text{Tiempo de Frente} &= 1.67(1.05 \text{ us} - 0.25 \text{ us}) = 1.336 \text{ us} \\ \text{Tiempo de Cola} &= 49.85 \text{ us} + 0.5 * 1.05 \text{ us} - 1.5 * 0.25 \text{ us} = 50 \text{ us} \end{aligned}$$

Los tiempos están dentro de las tolerancias, 1.2 uS +/- 30% y 50 us +/- 20%.

N2. Normalización práctica del impulso tipo rayo con aislador ANSI 55-2

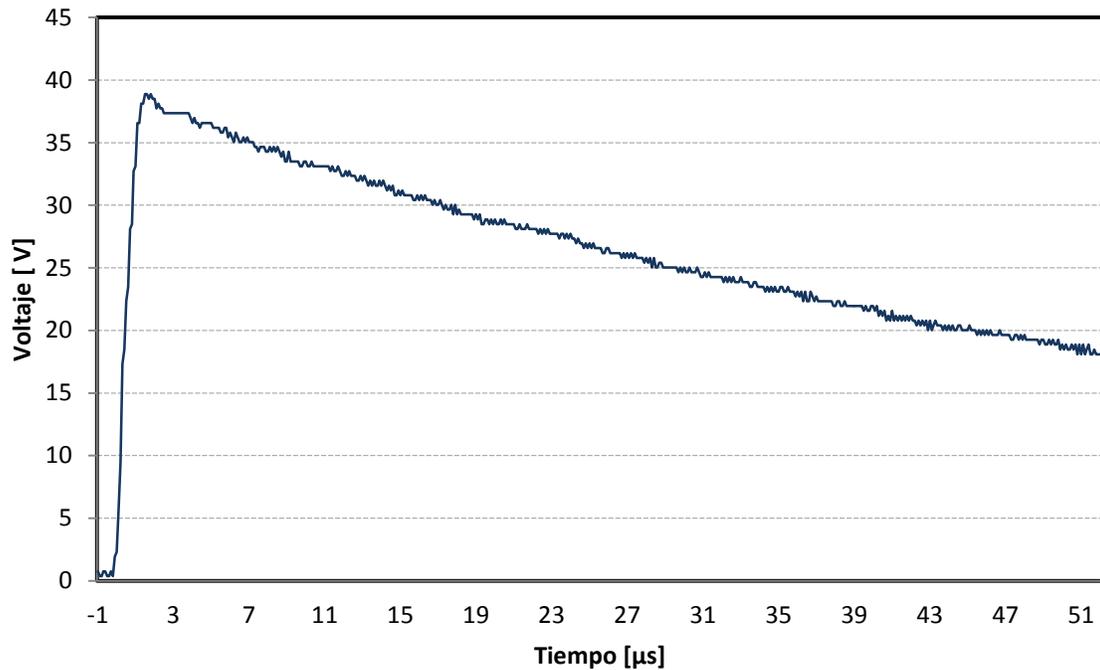


Figura N2 Impulso tipo rayo normalizado aislador ANSI 55-2

Así pues, los tiempos de frente y de cola son:

$$\begin{aligned} \text{Tiempo de Frente} &= 1.67(1.05 \text{ us} - 0.25 \text{ us}) = 1.336 \text{ us} \\ \text{Tiempo de Cola} &= 47.25 \text{ us} + 0.5 * 1.05 \text{ us} - 1.5 * 0.25 \text{ us} = 47,4 \text{ us} \end{aligned}$$

Los tiempos están dentro de las tolerancias, 1.2 uS +/- 30% y 50 us +/- 20%.

N3. Normalización teórica del impulso tipo rayo

Aplicando las siguientes formulas y con base en la literatura, es posible calcular los tiempos de frente y de cola para el impulso:

Caso 1: Sin objeto de prueba

$$\begin{aligned} C2 &= \frac{(1227 \text{ pF} * 1.686 \text{ uF})}{(1227 \text{ pF} + 1.686 \text{ uF})} = 1226 \text{ pF} \\ \tau2 &= R1 * (Ceq) = 350 \Omega * \frac{(25 \text{ nF} * 1226 \text{ pF})}{(25 \text{ nF} + 1226 \text{ pF})} = 0.4090 \text{ us} \\ T_{\text{frente}} &= 2.6 * 0.4090 \text{ uS} = 1.0634 \text{ uS} \end{aligned}$$

$$\tau_1 = R_2 * (C_{eq}) = 2640\Omega * (25nF + 1226 pF) = 69.23 us$$

$$T_{cola} = 0.75 * 69.23 us = 51.92 uS$$

Caso 2: Con objeto de prueba

$$C_2 = \frac{(1227pF * 1.686 uF)}{(1227 pF + 1.686 uF)} + 25 pF = 1251 pF$$

$$\tau_2 = R_1 * (C_{eq}) = 350\Omega * \frac{(25nF * 1251 pF)}{(25 nF + 1251 pF)} = 0.41685 us$$

$$T_{frente} = 2.6 * 0.41685 us = 1.08381 uS$$

$$\tau_1 = R_2 * (C_{eq}) = 2640\Omega * (25nF + 1251 pF) = 69.30 us$$

$$T_{cola} = 0.75 * 69.30 us = 51.975 uS$$

N4. Capacitancia crítica para el sistema

La capacitancia máxima del objeto de prueba será la siguiente:

$C_2 = \text{Capacitancia de descarga} + \text{capacitancia del objeto de pruebas} + \text{capacitancia del divisor}$

$$C_2 = \frac{(1227pF * 1.686 \mu F)}{(1227 pF + 1.686 \mu F)} + 615 pF = 1841 pF$$

$$\tau_2 = R_1 * (C_{eq}) = 350\Omega * \frac{(25nF * 1841 pF)}{(25 nF + 1841 pF)} = 0.5986 \mu s$$

$$T_{frente} = 2.6 * 0.6002 \mu s = 1.56052 \mu s$$

$$\tau_1 = R_2 * (C_{eq}) = 2640\Omega * (25nF + 1841 pF) = 70,86 \mu s$$

$$T_{cola} = 0.75 * 70,86 \mu s = 53,145 \mu s$$

La capacitancia máxima del objeto de prueba para que el impulso sea normalizado es de 615 pF.

O3. Tabla registro corrientes de fuga

Datos Prácticos

Aislador	CORRIENTES DE FUGA			
	Vrms BT de alimentación (V)	Vrms de AT alimentación (KV)	Vrms Shunt (V)	Irms Fuga (uA)
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				

Figura O3 Tabla de registro corrientes de fuga

ANEXO P. Resultados de referencia de flameo en seco.

A continuación se presentan los valores de referencia obtenidos por cada prueba y tipo de aislador para la prueba de flameo en seco

P1. Tensión de flameo en seco aislador ANSI 52-1.

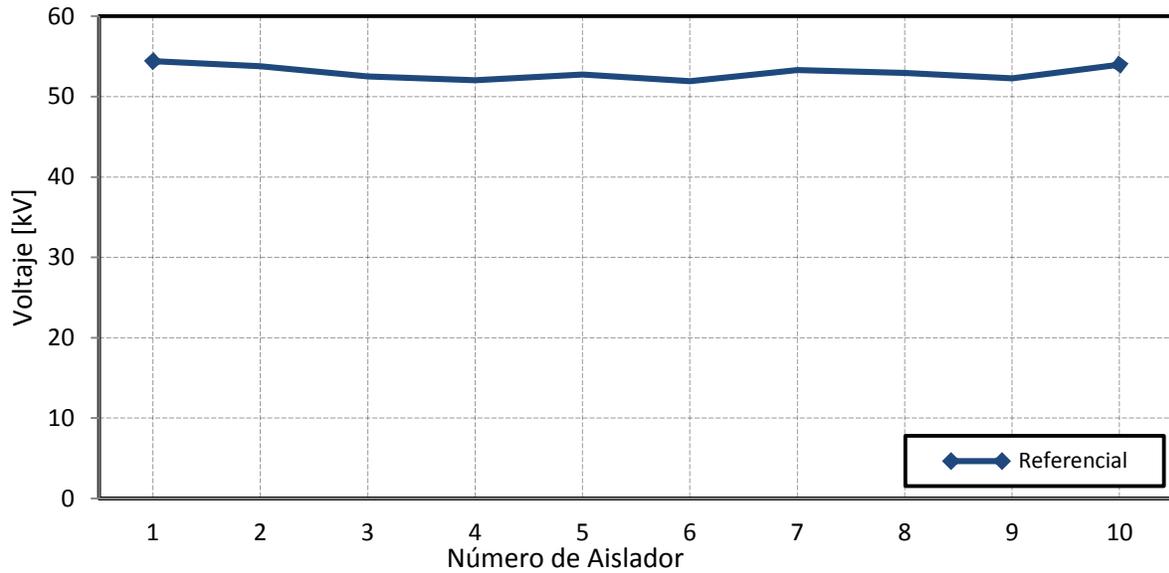


Figura P1 Tension de flameo en seco promedio aislador ANSI 52-1

P2. Tensión de flameo en seco aislador ANSI 55-2.

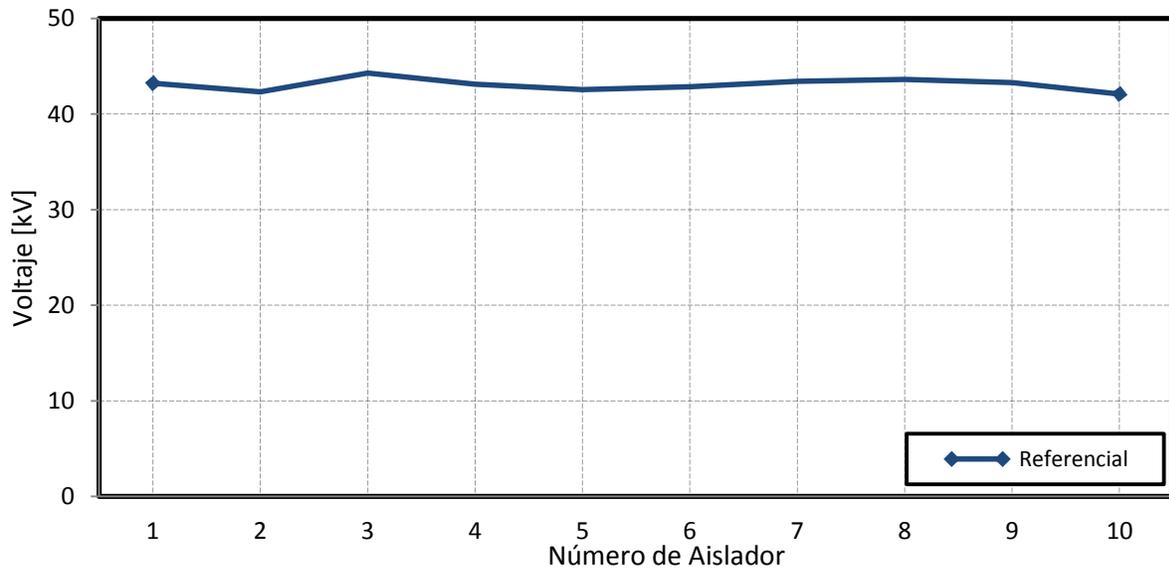


Figura P2 Tension de flameo en seco promedio aislador ANSI 55-2

P3. Tensión de flameo en seco aislador ANSI DS-15.

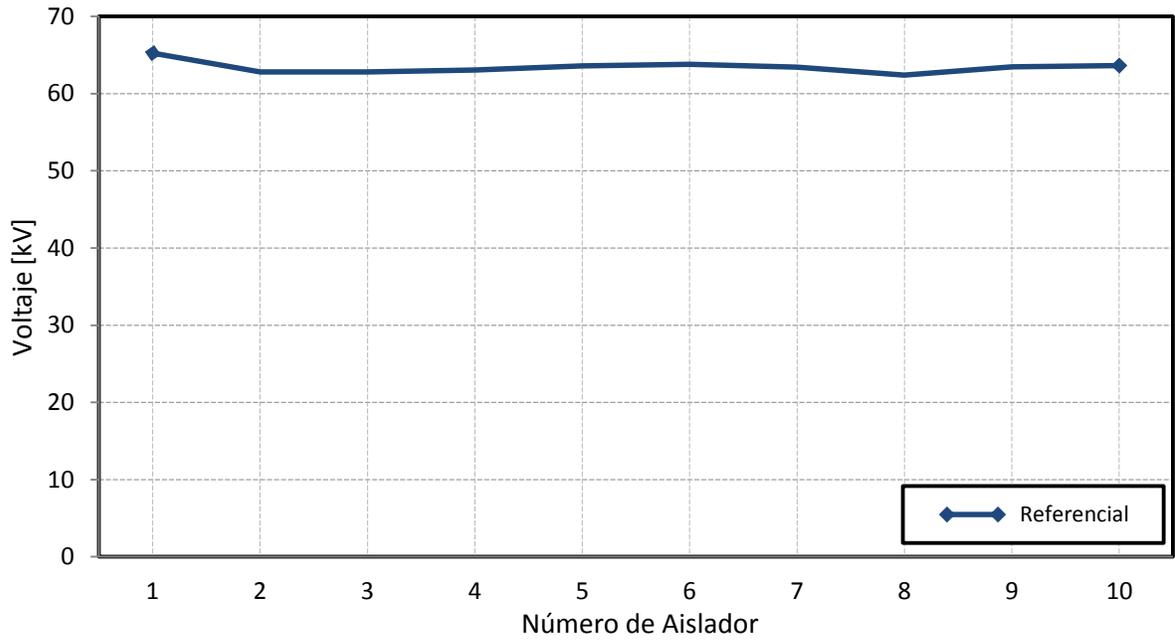


Figura P3 Tension de flameo en seco promedio aislador ANSI DS-15

ANEXO Q. Resultados de referencia de flameo en húmedo.

A continuación se presentan los valores de referencia obtenidos por cada prueba y tipo de aislador para la prueba de flameo en húmedo.

Q1. Tensión de flameo en húmedo aislador ANSI 52-1.

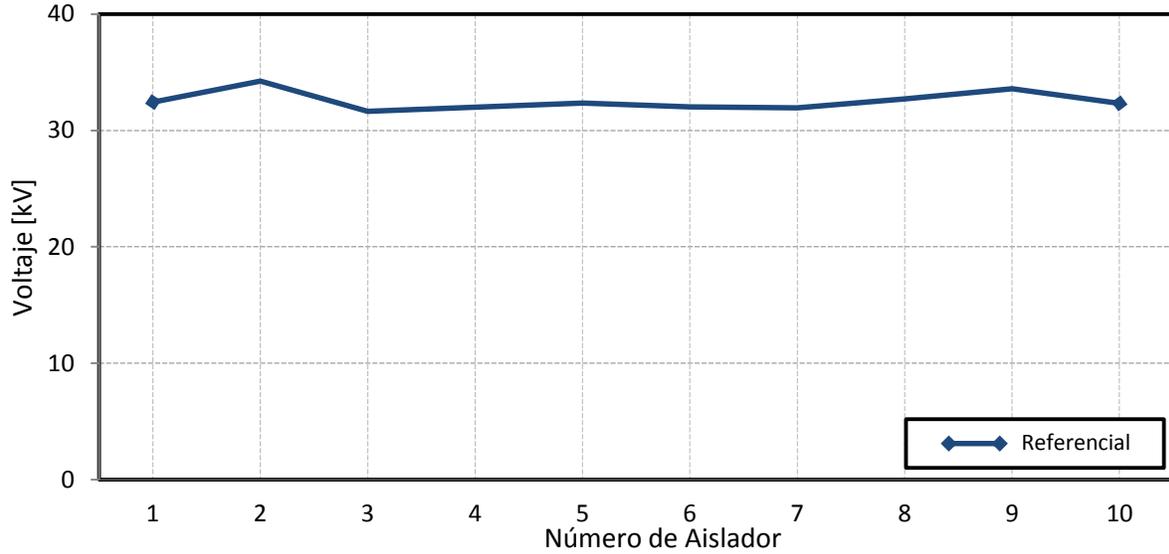


Figura Q1 Tension de flameo en húmedo promedio aislador ANSI 52-1

Q2. Tensión de flameo en húmedo aislador ANSI 55-2.

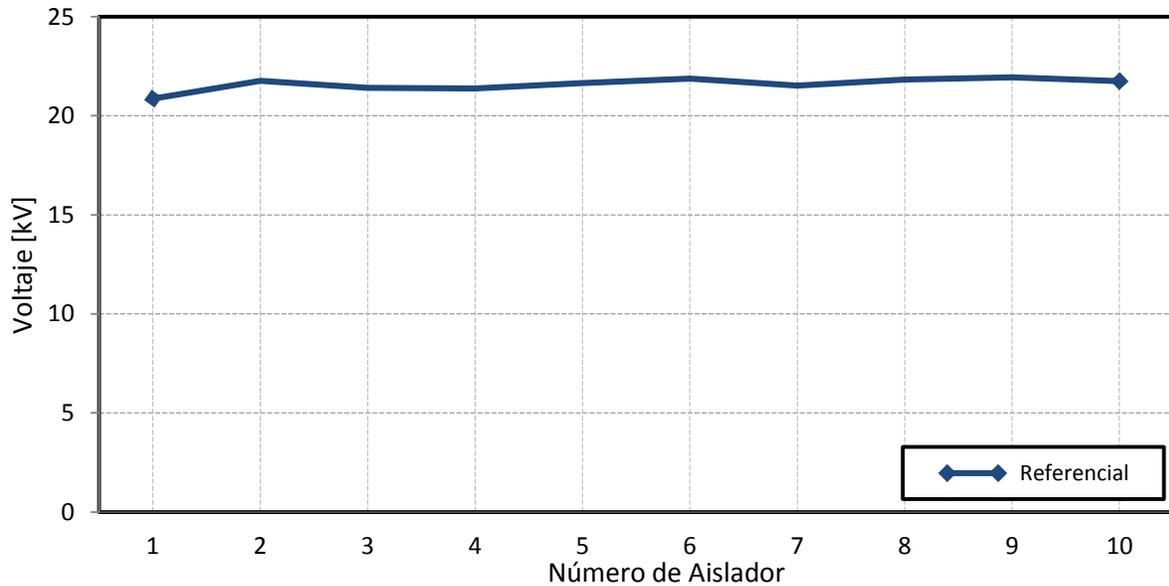


Figura Q2 Tension de flameo en húmedo promedio aislador ANSI 55-2

Q3. Tensión de flameo en húmedo aislador ANSI DS-15.

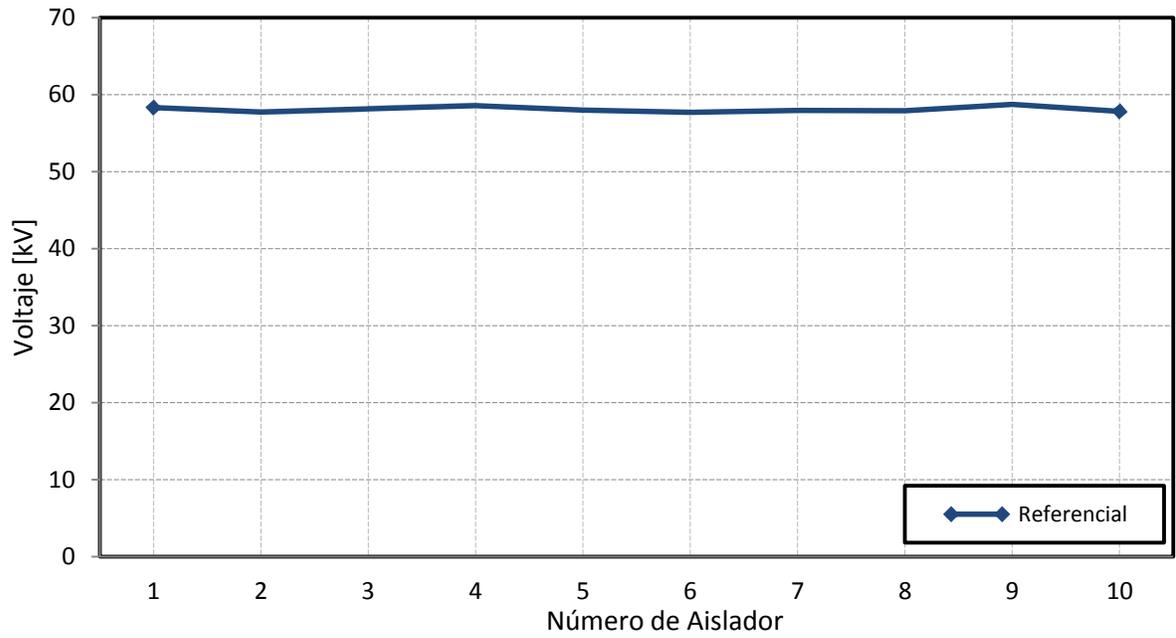


Figura Q3 Tension de flameo en húmedo promedio aislador ANSI DS-15

ANEXO R. Resultados de referencia de flameo al impulso tipo rayo.

A continuación se presentan los valores de referencia obtenidos por cada prueba y tipo de aislador para la prueba de flameo al impulso tipo rayo.

R1. Tensión de flameo al impulso tipo rayo aislador ANSI 52-1.

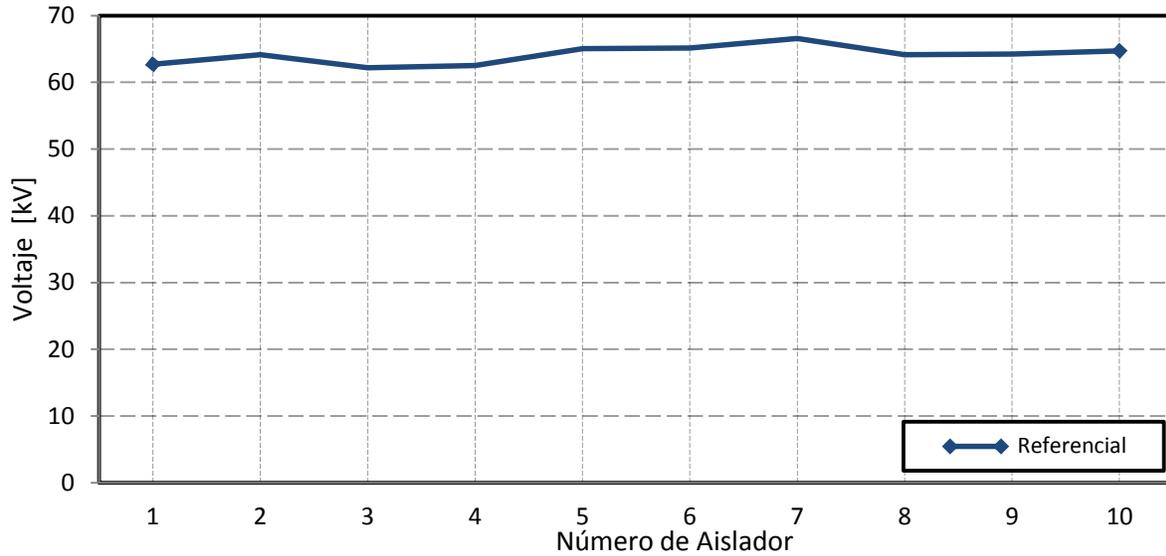


Figura R1 Tension de flameo al impulso promedio aislador ANSI 52-1

R2. Tensión de flameo al impulso tipo rayo aislador ANSI 55-2.

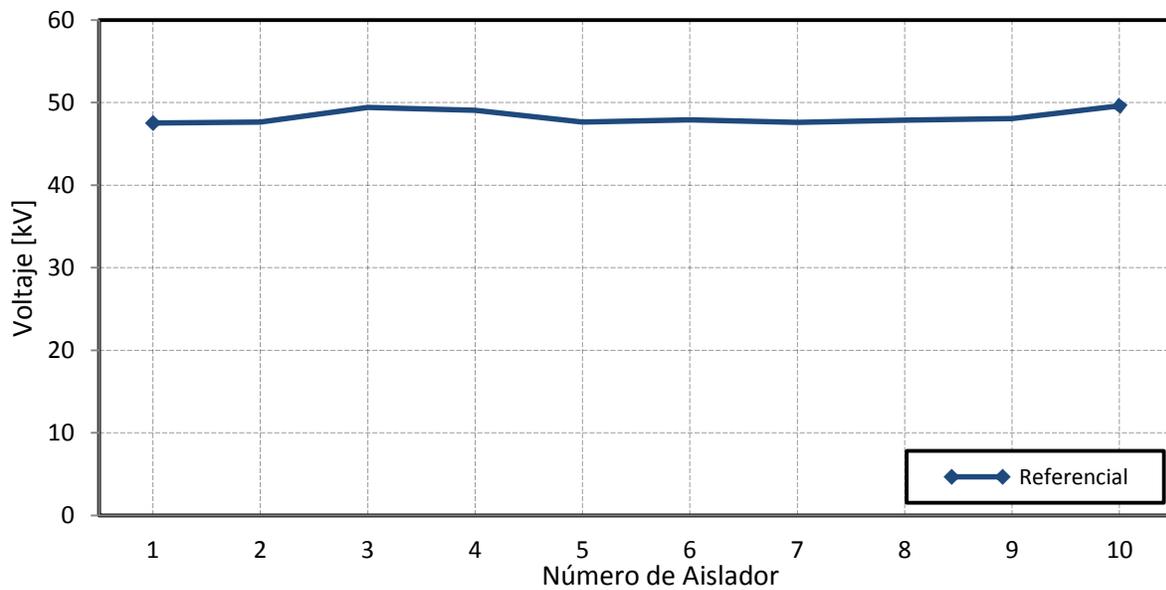


Figura R2 Tension de flameo al impulso promedio aislador ANSI 55-2

ANEXO S. Tensiones de flameo promedio sobre aisladores contaminados

A continuación se presentan los valores de las tensiones promedio de flameo por cada tipo de aislador.

S1. Flameo en seco

Tabla S1 Tensiones de flameo en seco aisladores contaminados

		N° de Aislador	Valor de flameo en seco [kV]		
			ANSI 52-1	ANSI 55-2	ANSI DS-15
Microorganismo	<i>Chlorella Vulgaris</i>	A1	48,736	42,434	62,232
		A2	50,761	42,771	61,778
		A3	49,931	42,596	61,784
	<i>Aspergillus Niger</i>	A1	44,397	38,761	58,628
		A2	41,883	35,036	59,89
		A3	40,793	37,46	62,415
	<i>Phanerochaete Chrysosporium</i>	A1	48,345	37,864	62,277
		A2	48,018	37,59	60,678
		A3	45,514	40,151	61,062

S2. Flameo en húmedo

Tabla S2 Tensiones de flameo en húmedo aisladores contaminados

		N° de Aislador	Valor de flameo en húmedo [kV]		
			ANSI 52-1	ANSI 55-2	ANSI DS-15
Microorganismo	<i>Chlorella Vulgaris</i>	A1	30,478	21,371	56,789
		A2	28,952	20,931	56,364
		A3	29,36	19,954	56,767
	<i>Aspergillus Niger</i>	A1	26,154	18,118	53,941
		A2	26,034	17,478	52,428
		A3	26,096	17,718	52,717
	<i>Phanerochaete Chrysosporium</i>	A1	29,791	19,111	53,404
		A2	29,085	19,504	53,847
		A3	28,812	18,966	54,335

S3. Flameo al impulso tipo rayo polaridad positiva

Tabla S3 Tensiones de flameo al impulso tipo rayo aisladores contaminados

		N° de Aislador	Valor de flameo al impulso tipo rayo [kV]	
			ANSI 52-1	ANSI 55-2
Microorganismo	<i>Chlorella Vulgaris</i>	A1	62,217	46,93
		A2	60,275	46,601
		A3	60,381	46,498
	<i>Aspergillus Niger</i>	A1	58,081	45,512
		A2	58,493	44,44
		A3	58,983	44,758
	<i>Phanerochaete Chrysosporium</i>	A1	62,191	46,919
		A2	61,863	45,815
		A3	62,77	46,142

ANEXO T. Comparación grafica de los valores de tensión de flameo en seco

A continuación se presentan los valores de referencia obtenidos por cada prueba y tipo de aislador para la prueba de flameo en seco a frecuencia industrial.

T1. Aislador ANSI 52-1 *Chlorella Vulgaris*

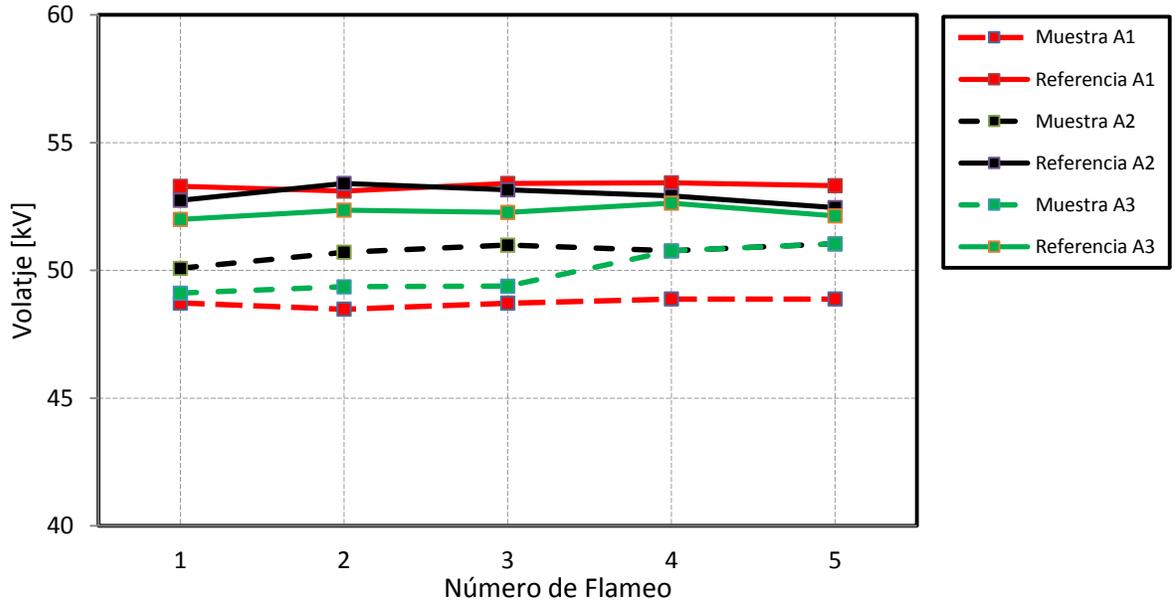


Figura T1 Comparacion tensiones de flameo ANSI 52-1 contaminados con *Chlorella Vulgaris*

T2. Aislador ANSI 55-2 *Chlorella Vulgaris*

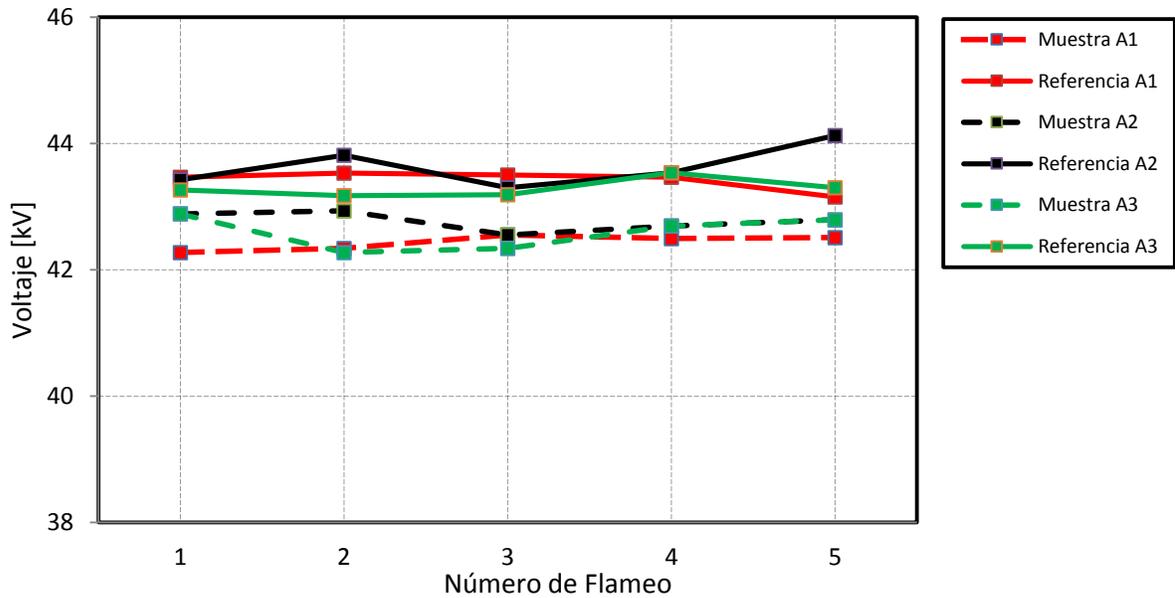


Figura T2 Comparacion tensiones de flameo ANSI 55-2 contaminados con *Chlorella Vulgaris*

T3. Aislador ANSI DS-15 *Chlorella Vulgaris*

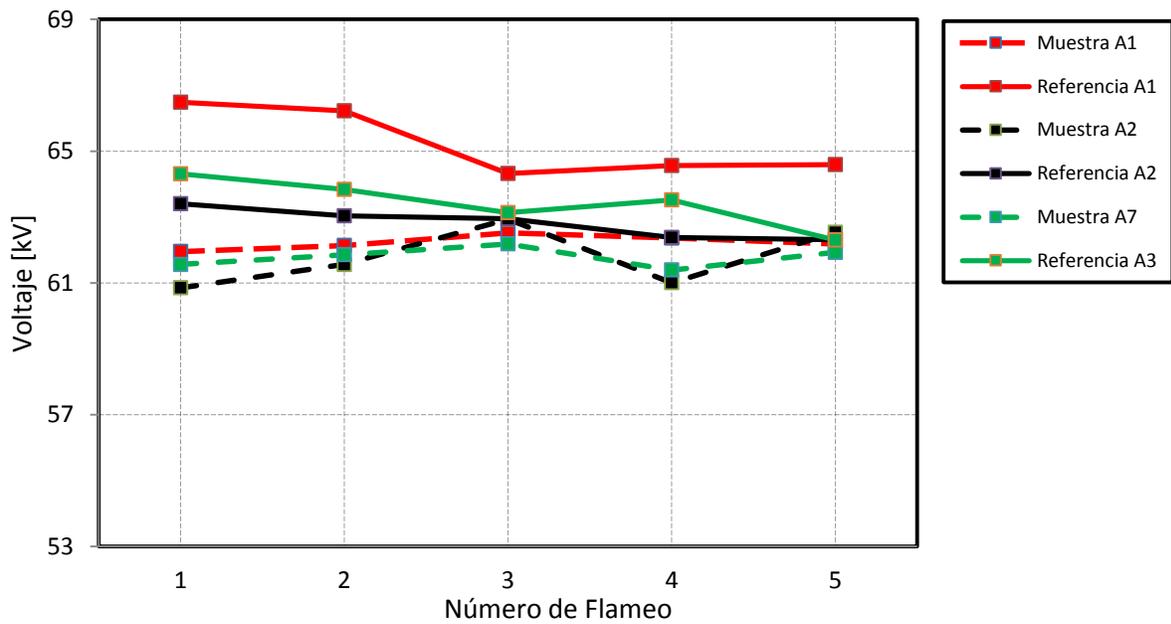


Figura T3 Comparacion tensiones de flameo ANSI DS-15 contaminados con *Chlorella Vulgaris*

T4. Aislador ANSI 52-1 *Aspergillus Niger*

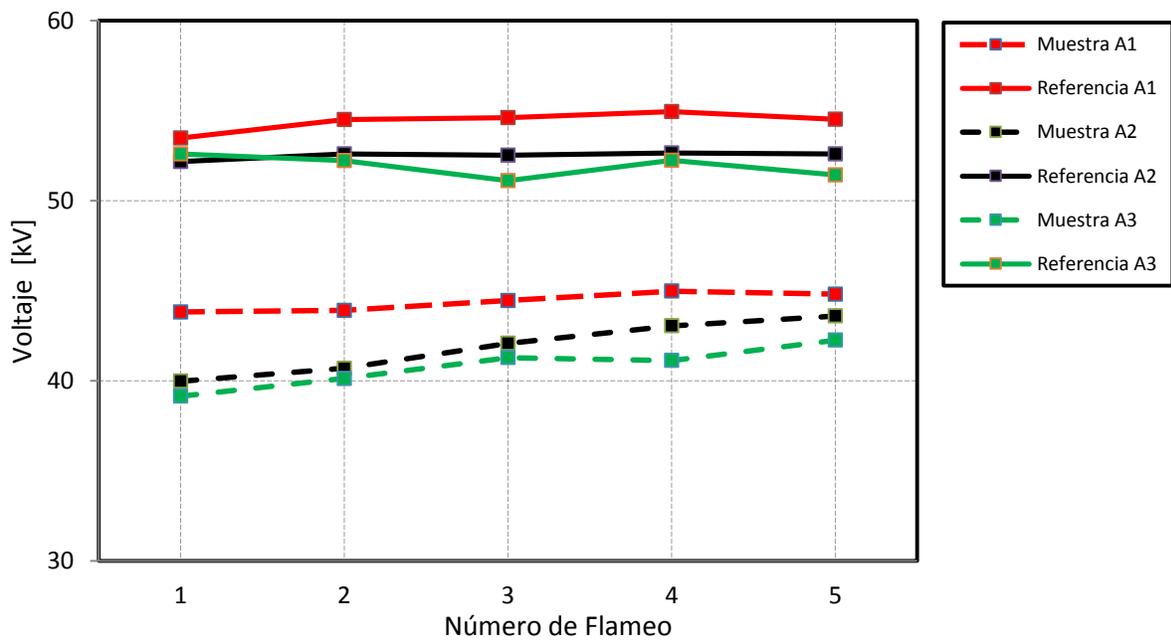


Figura T4 Comparacion tensiones de flameo ANSI 52-1 contaminados con *Aspergillus Niger*

T5. Aislador ANSI 55-2 *Aspergillus Niger*

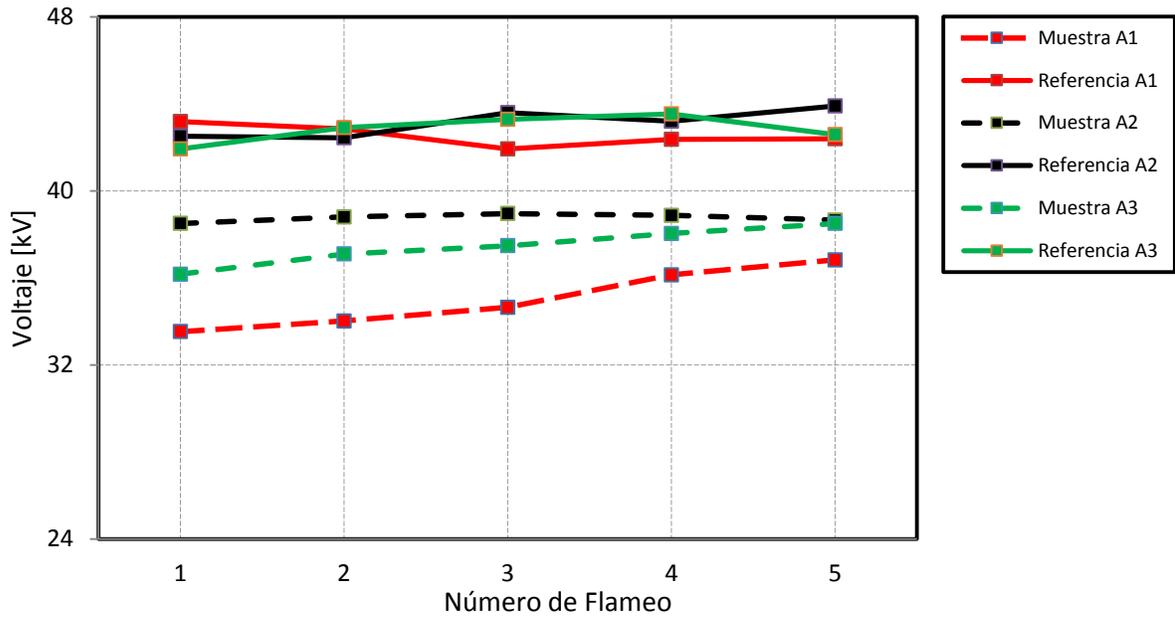


Figura T5 Comparacion tensiones de flameo ANSI 55-2 contaminados con *Aspergillus Niger*

T6. Aislador ANSI DS-15 *Aspergillus Niger*

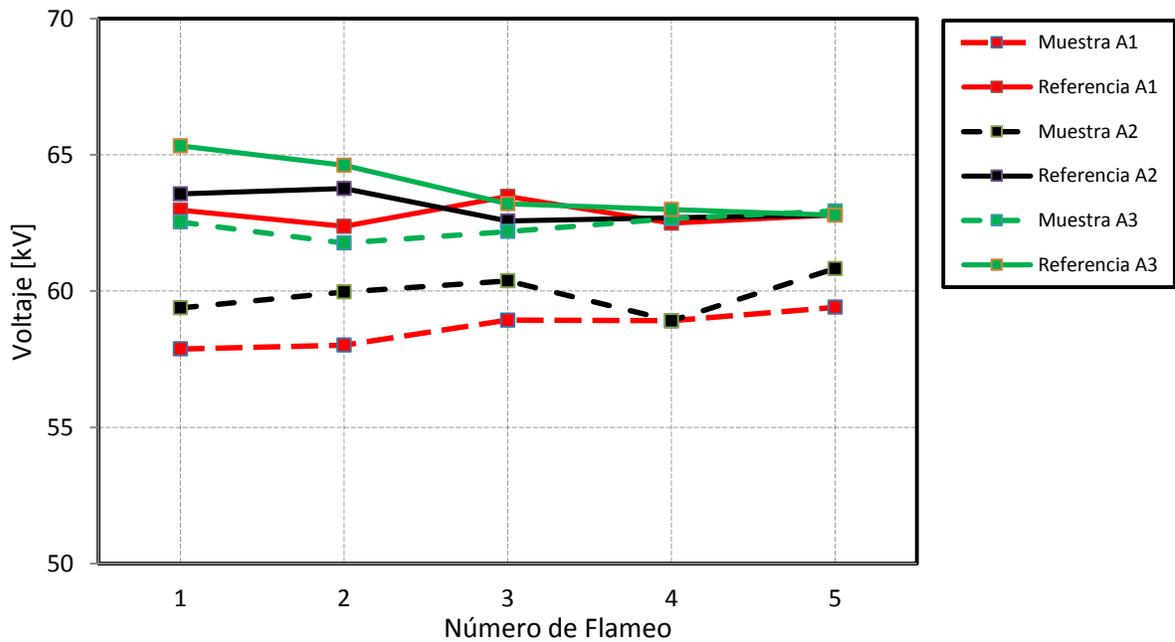


Figura T6 Comparacion tensiones de flameo ANSI DS-15 contaminados con *Aspergillus Niger*

T7. Aislador ANSI 52-1 *Phanerochaete Chrysosporium*

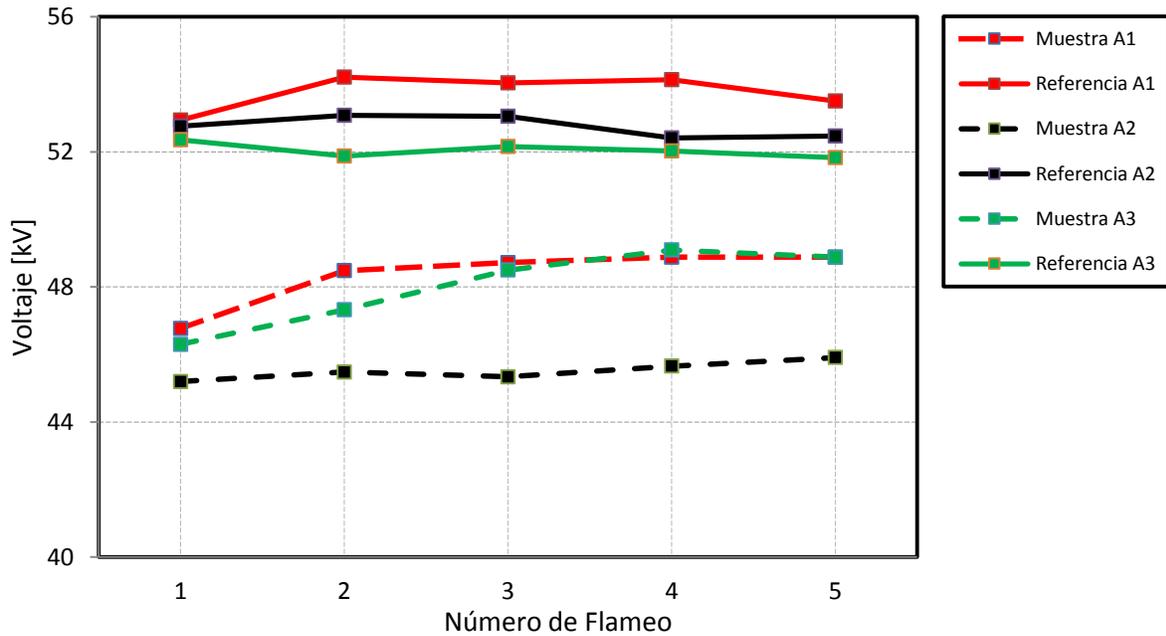


Figura T7 Comparacion tensiones de flameo ANSI 52-1 contaminados con Phanerochaete C.

T8. Aislador ANSI 55-2 *Phanerochaete Chrysosporium*

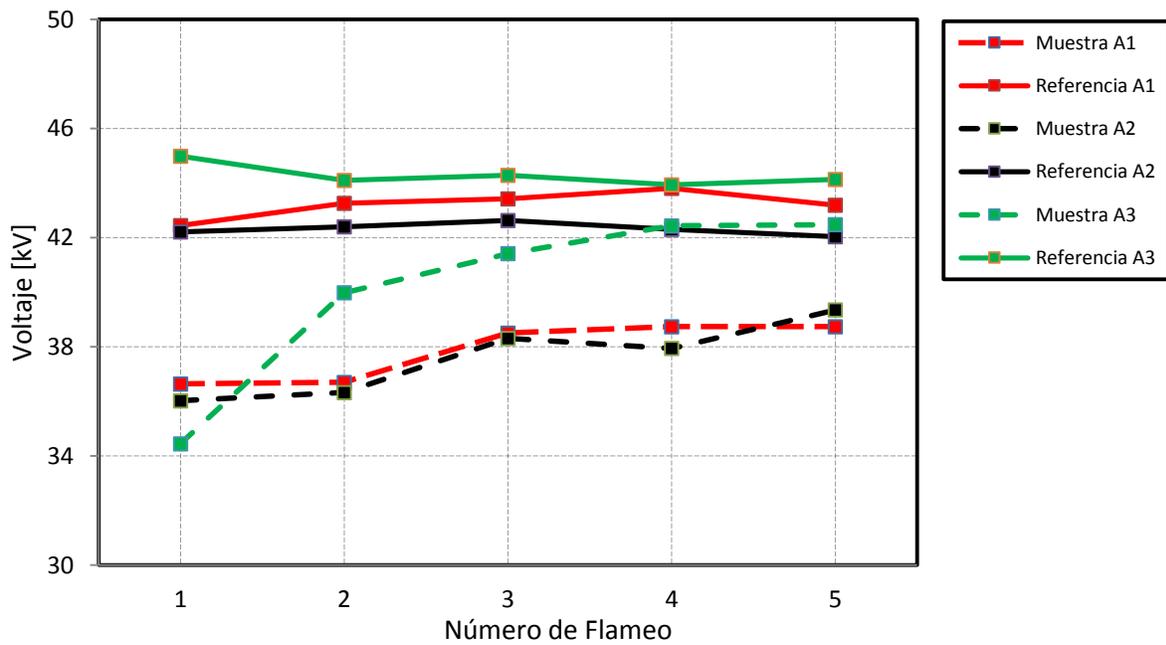


Figura T8 Comparacion tensiones de flameo ANSI 55-2 contaminados con Phanerochaete C.

T9. Aislador ANSI DS-15 *Phanerochaete Chrysosporium*

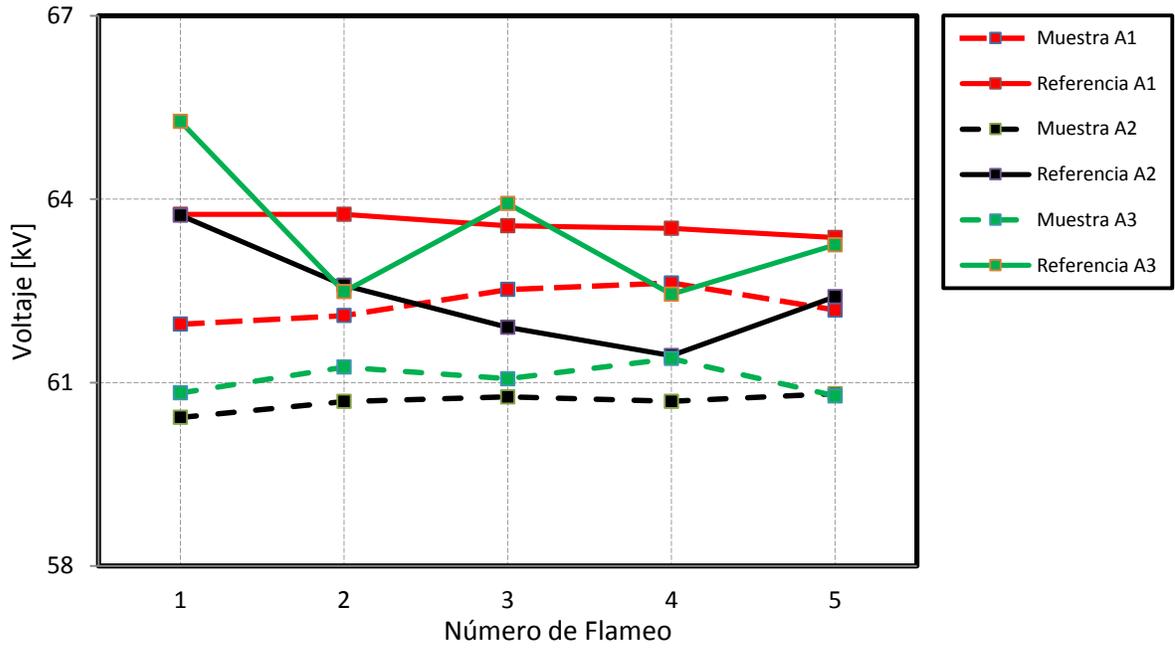


Figura T9 Comparacion tensiones de flameo ANSI DS-15 contaminados con *Phanerochaete C.*

ANEXO U. Comparación grafica de los valores de tensión de flameo en húmedo

A continuación se presentan los valores de referencia obtenidos por cada prueba y tipo de aislador para la prueba de flameo en húmedo a frecuencia industrial.

U1. Aislador ANSI 52-1 *Chlorella Vulgaris*

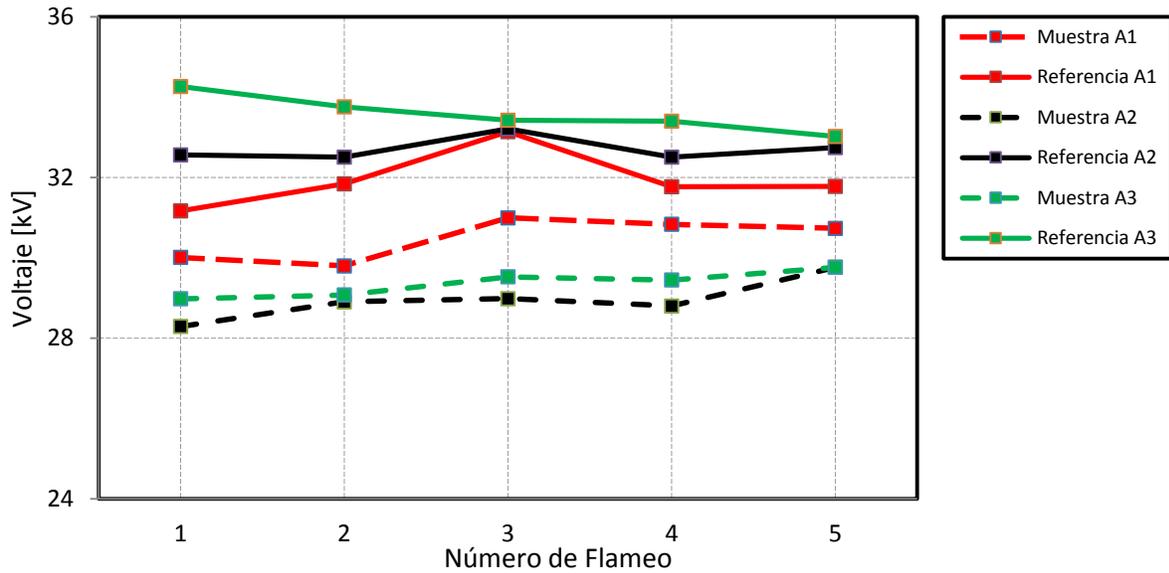


Figura U1 Comparacion tensiones de flameo en húmedo ANSI 52-1 contaminados con *Chlorella Vulgaris*

U2. Aislador ANSI 55-2 *Chlorella Vulgaris*

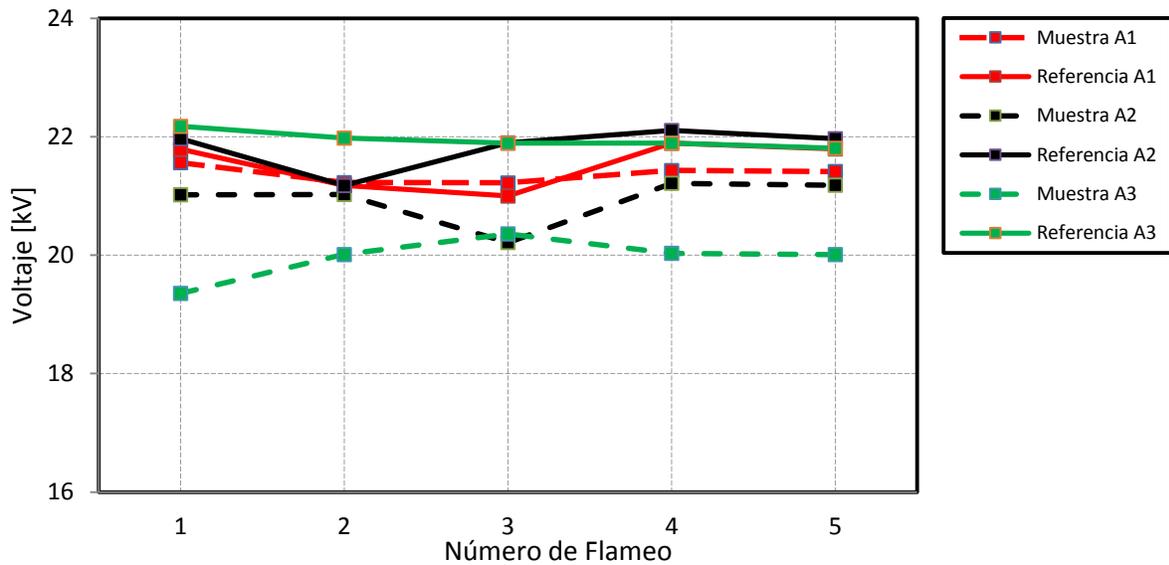


Figura U2 Comparacion tensiones de flameo en húmedo ANSI 55-2 contaminados con *Chlorella Vulgaris*

U3. Aislador ANSI DS-15 *Chlorella Vulgaris*

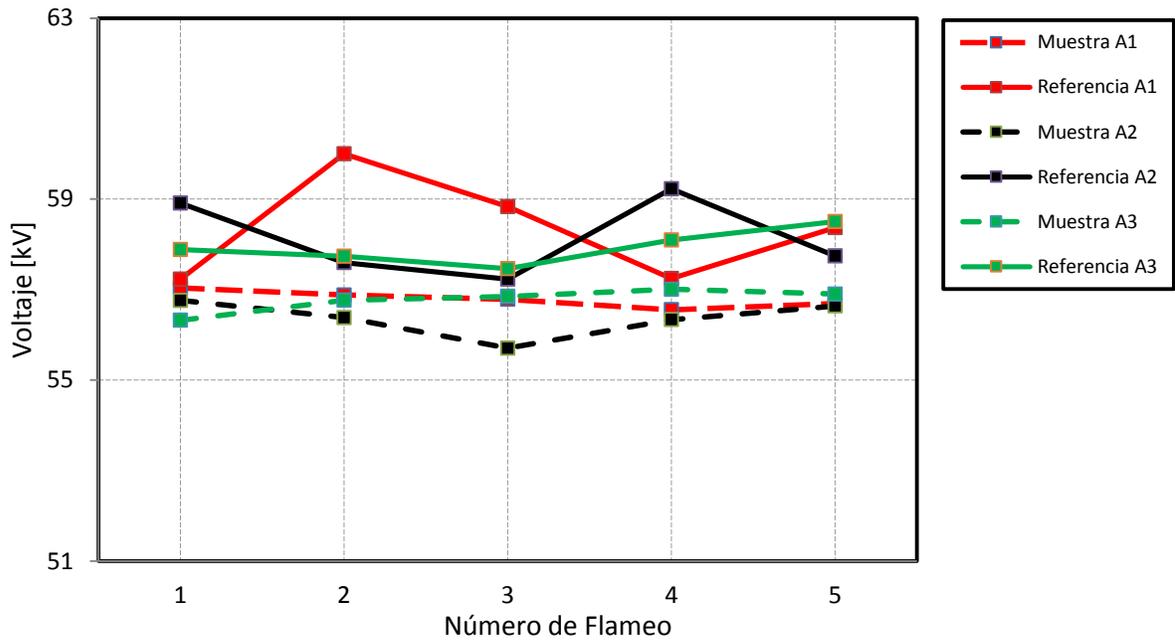


Figura U3 Comparacion tensiones de flameo en húmedo ANSI DS-15 contaminados con *Chlorella Vulgaris*

U4. Aislador ANSI 52-1 *Aspergillus Niger*

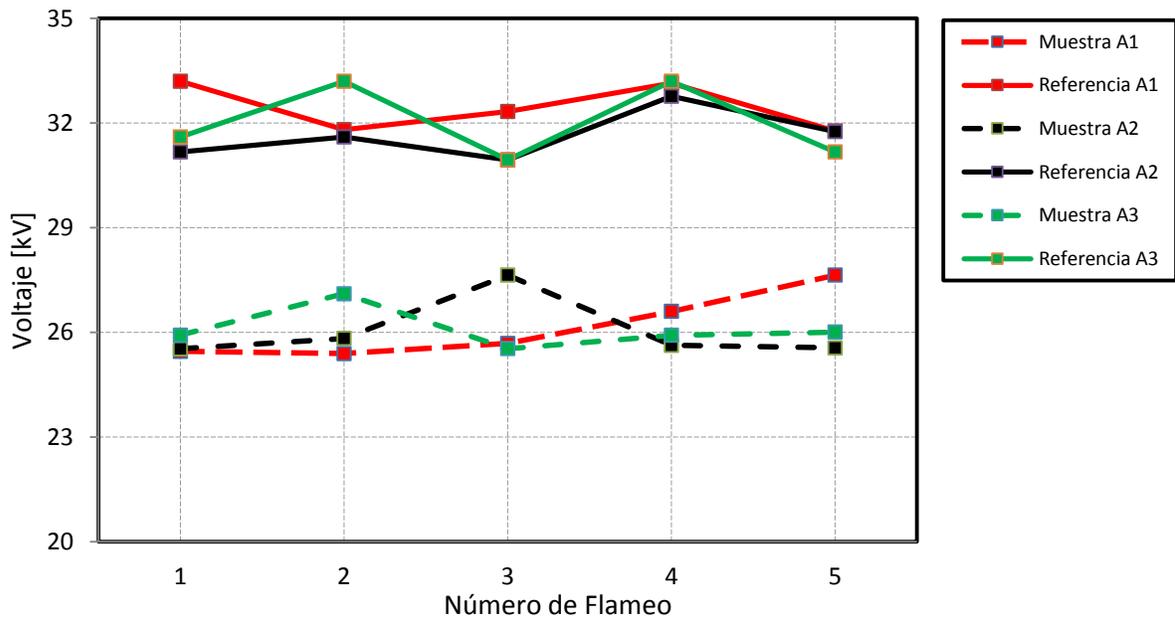


Figura U4 Comparacion tensiones de flameo en húmedo ANSI 52-1 contaminados con *Aspergillus Niger*

U5. Aislador ANSI 55-2 *Aspergillus Niger*

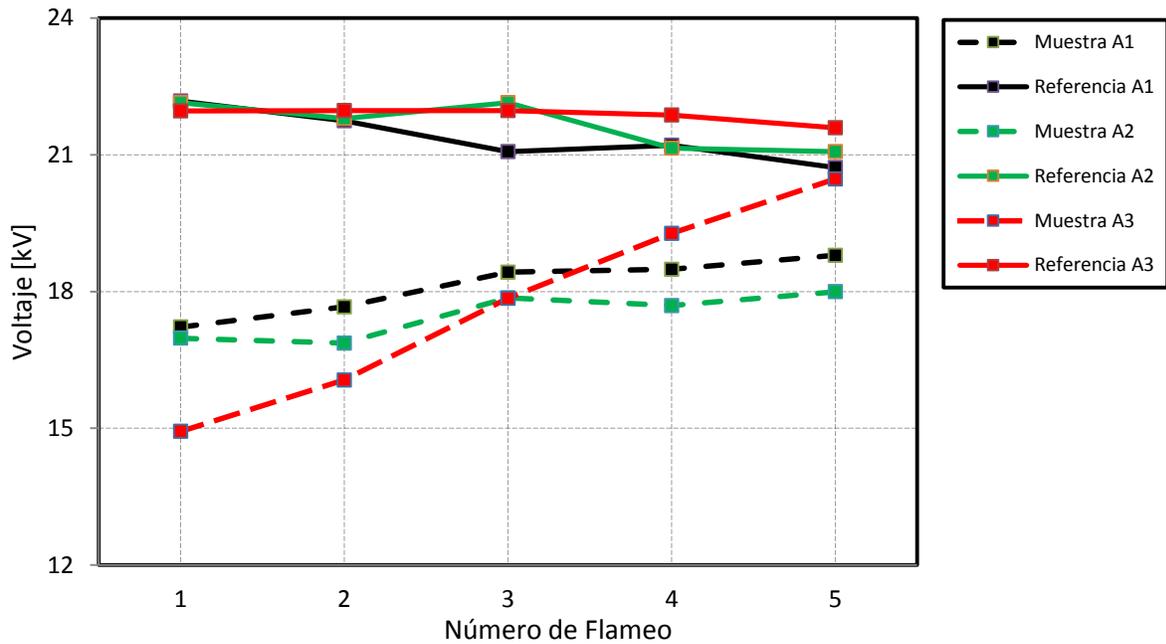


Figura U5 Comparacion tensiones de flameo en húmedo ANSI 55-2 contaminados con *Aspergillus Niger*

U6. Aislador ANSI DS-15 *Aspergillus Niger*

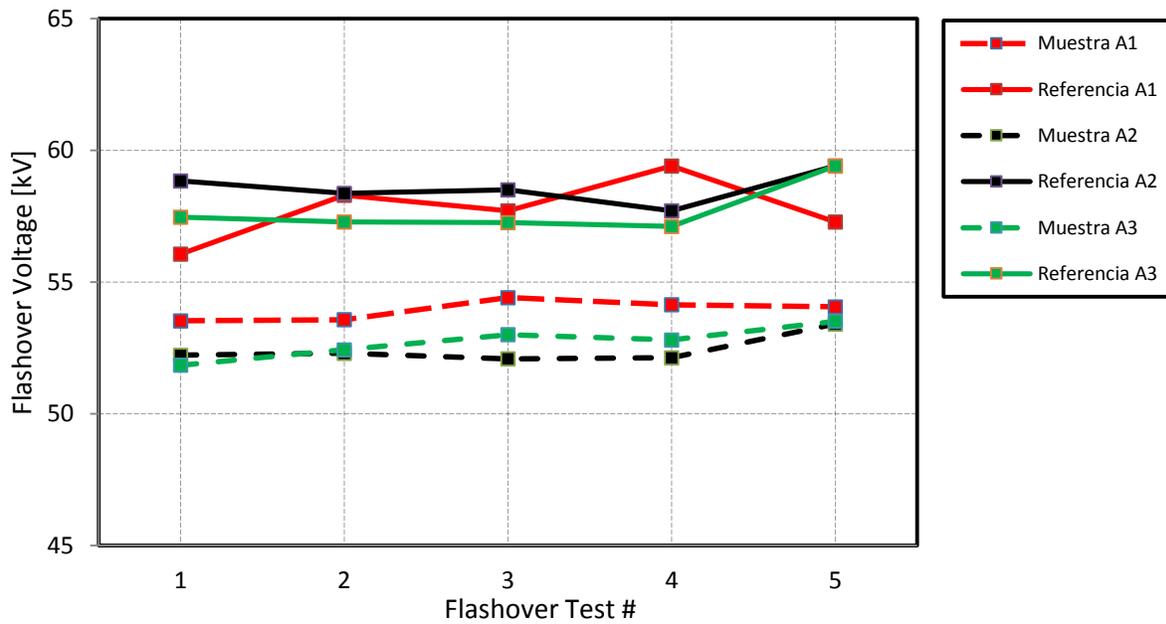


Figura U6 Comparacion tensiones de flameo en húmedo ANSI DS-15 contaminados con *Aspergillus Niger*

U7. Aislador ANSI 52-1 *Phanerochaete Chrysosporium*

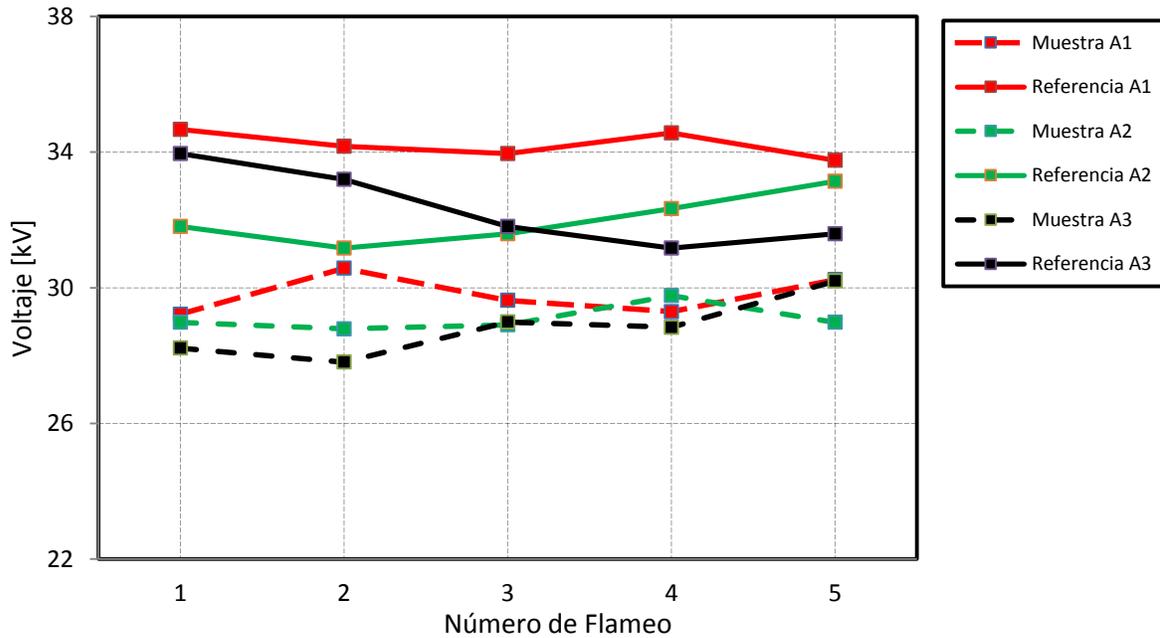


Figura U7 Comparacion tensiones de flameo en húmedo ANSI 52-1 contaminados con *Phanerochaete Chrysosporium*

U8. Aislador ANSI 55-2 *Phanerochaete Chrysosporium*

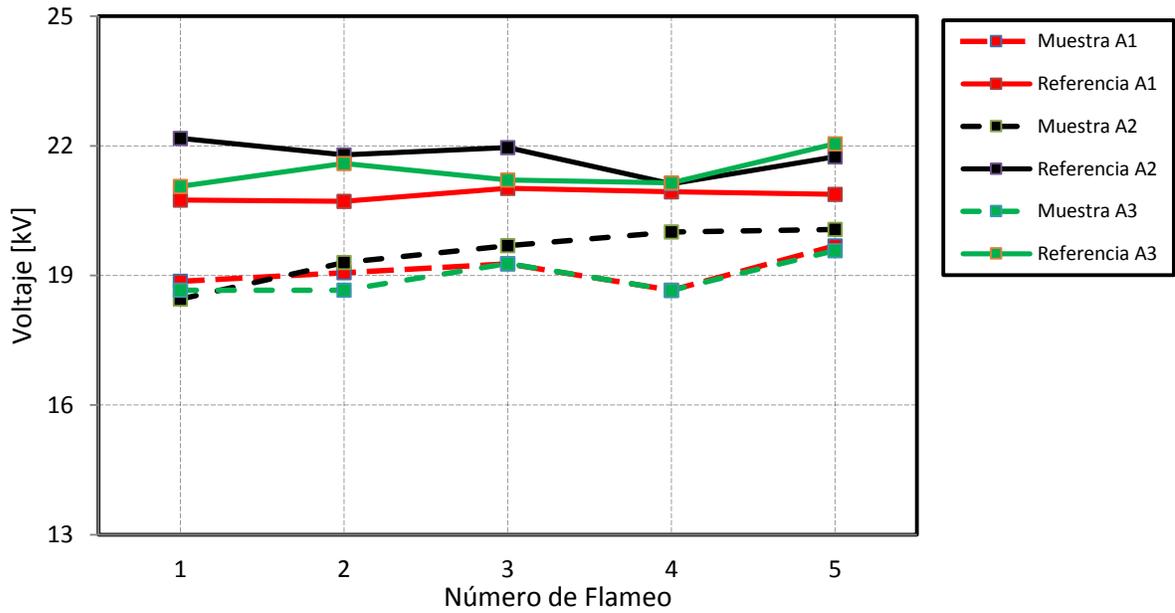


Figura U8 Comparacion tensiones de flameo en húmedo ANSI 55-2 contaminados con *Phanerochaete Chrysosporium*

U9. Aislador ANSI DS-15 *Phanerochaete Chrysosporium*

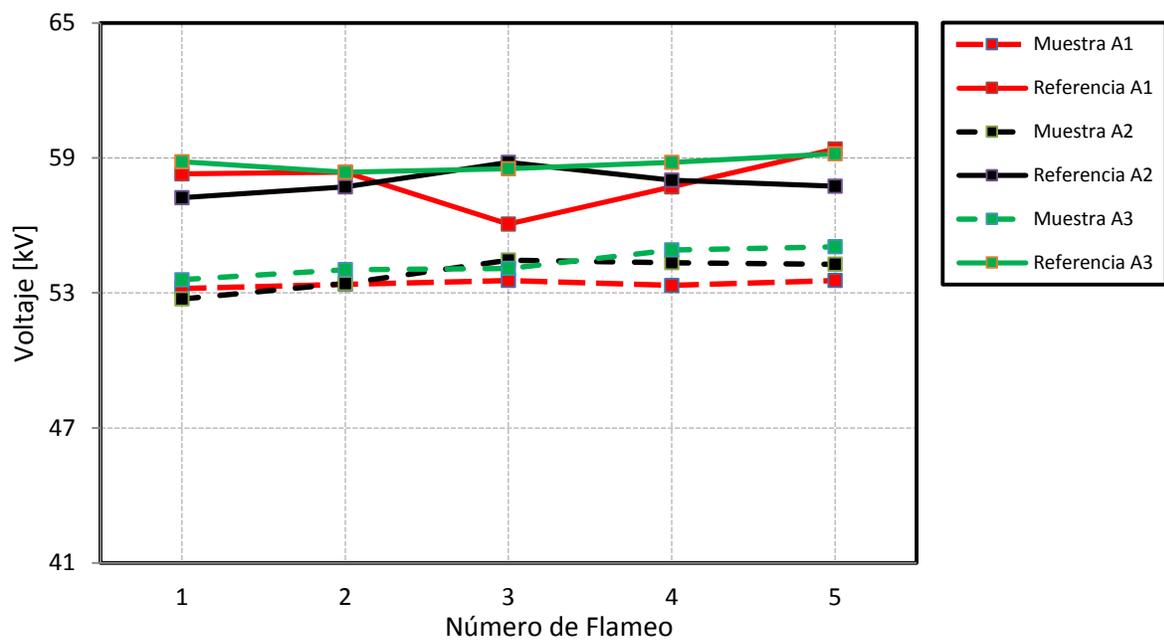


Figura U9 Comparacion tensiones de flameo en húmedo ANSI DS-15 contaminados con *Phanerochaete Chrysosporium*

ANEXO V. Comparación grafica de los valores de tensión de flameo al impulso tipo rayo

A continuación se presentan los valores de referencia obtenidos por cada prueba y tipo de aislador para la prueba de flameo al impulso tipo rayo polaridad positiva.

V1. Aislador ANSI 52-1 *Chlorella Vulgaris*

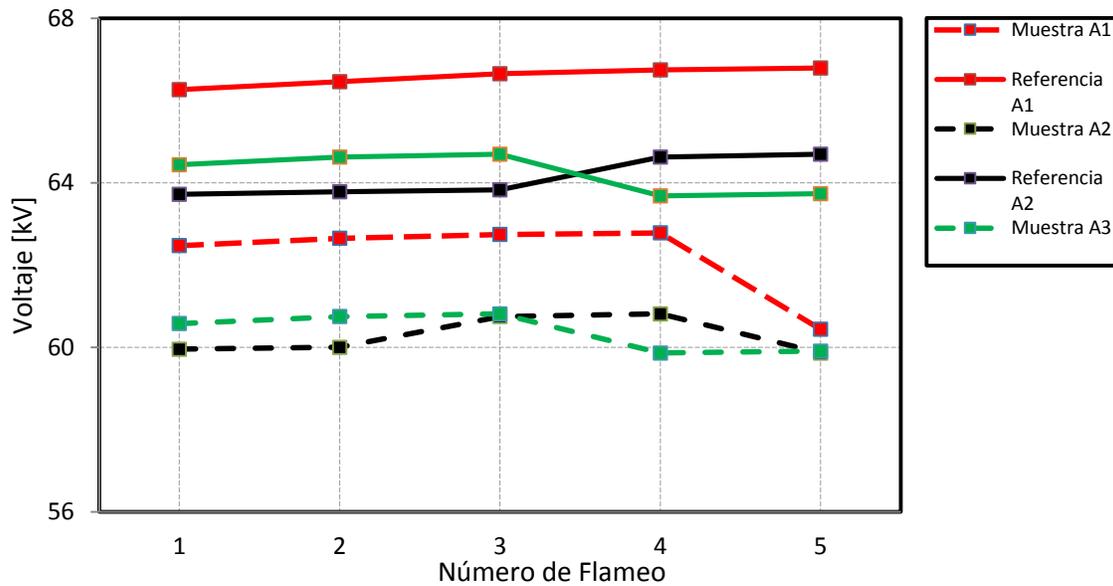


Figura V1 Comparacion tensiones de flameo al impulso ANSI 52-1 contaminados con *Chlorella Vulgaris*

V2. Aislador ANSI 55-2 *Chlorella Vulgaris*

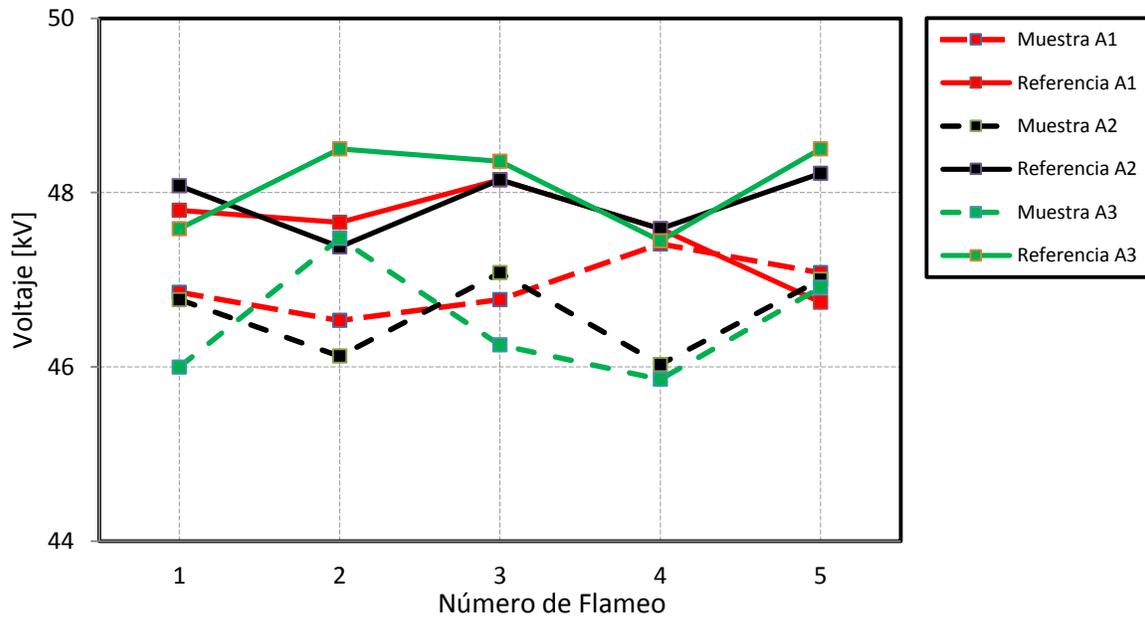


Figura V2 Comparacion tensiones de flameo al impulso ANSI 55-2 contaminados con *Chlorella Vulgaris*

V3. Aislador ANSI 52-1 *Aspergillus Niger*

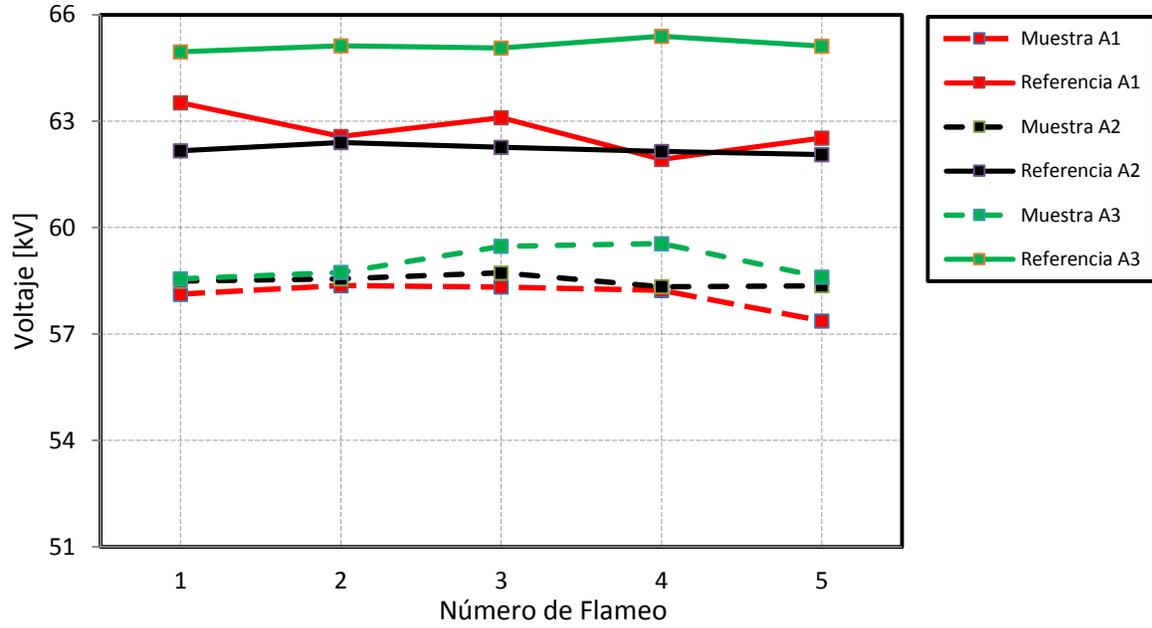


Figura V3 Comparacion tensiones de flameo al impulso ANSI 52-1 contaminados con *Aspergillus Niger*

V4. Aislador ANSI 55-2 *Aspergillus Niger*

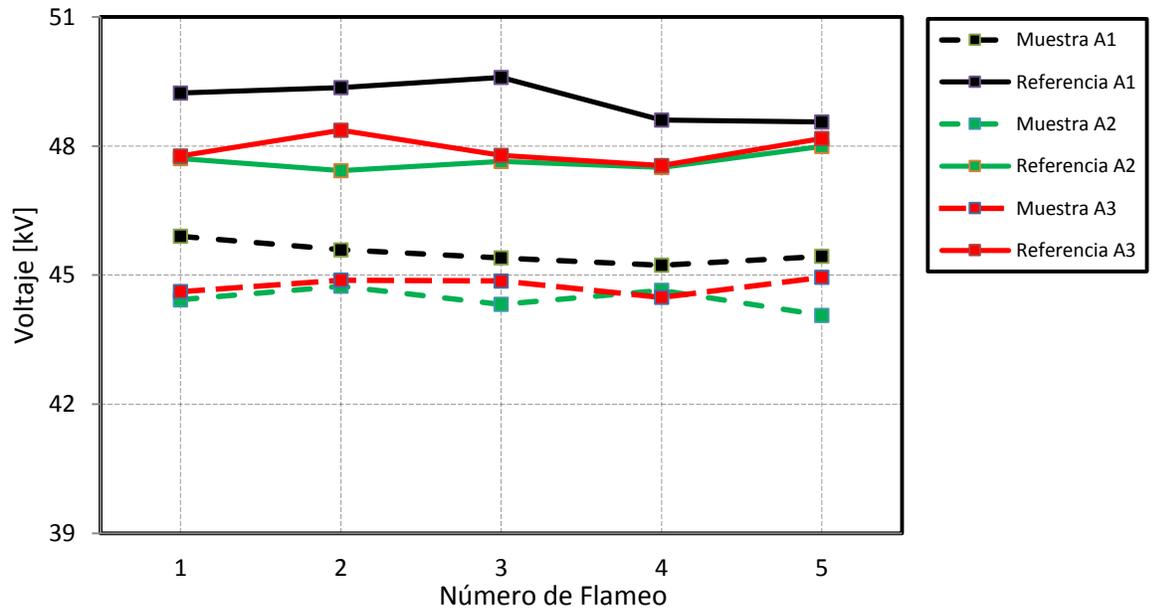


Figura V4 Comparacion tensiones de flameo al impulso ANSI 55-2 contaminados con *Aspergillus Niger*

V5. Aislador ANSI 52-1 *Phanerochaete Chrysosporium*

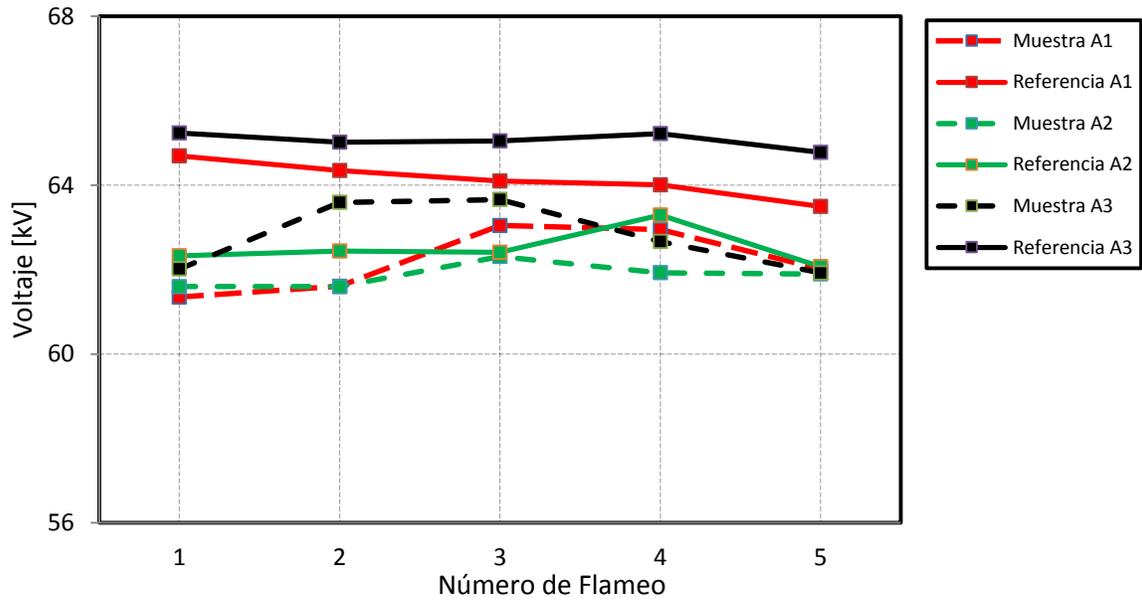


Figura V5 Comparacion tensiones de flameo al impulso ANSI 52-1 contaminados con *Phanerochaete Chrysosporium*

V6. Aislador ANSI 55-2 *Phanerochaete Chrysosporium*

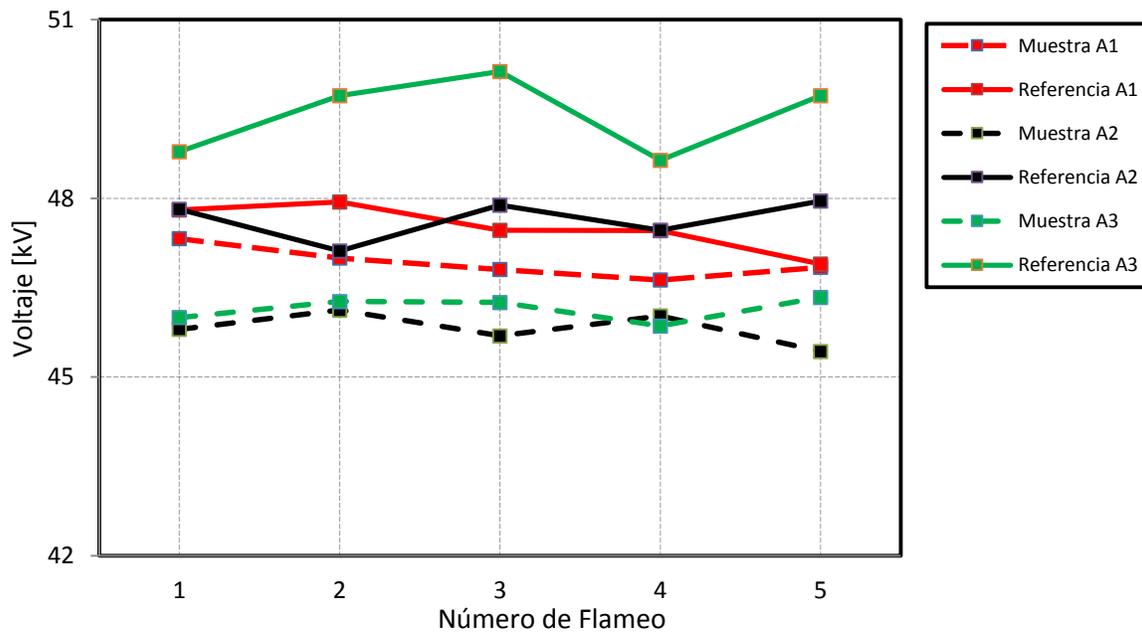


Figura V6 Comparacion tensiones de flameo al impulso ANSI 55-2 contaminados con *Phanerochaete Chrysosporium*